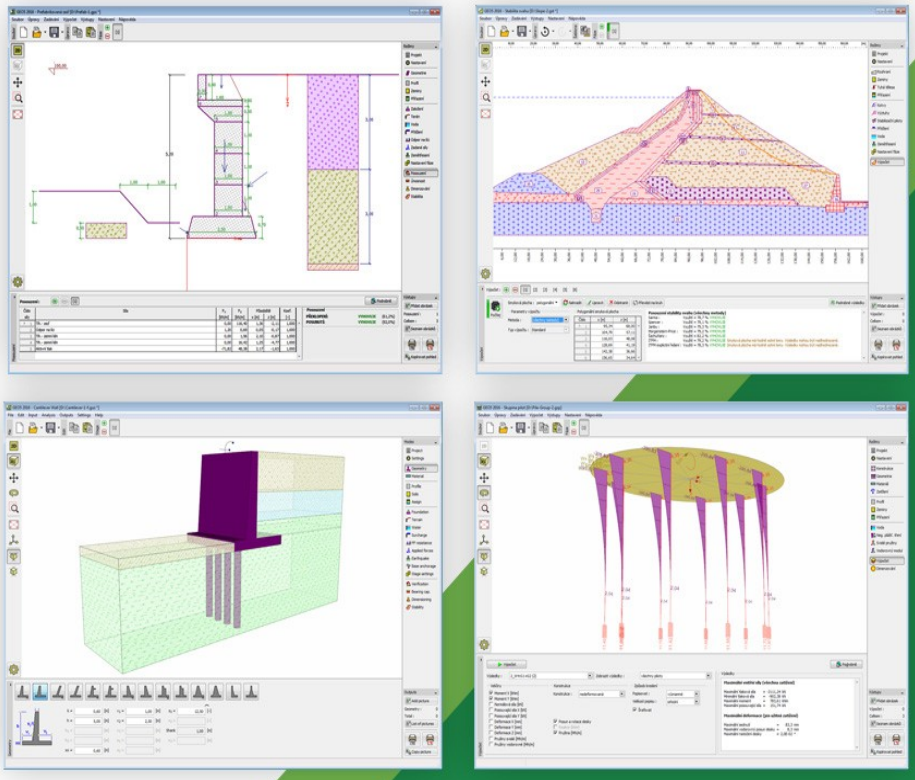
GEO5

Podręcznik Użytkownika

Edycja 2019



fine civil engineering software

Spis zawartości

Używanie pomocy....40
Używanie funkcji wyszukaj....41
Środowisko użytkownika....42
Okno aplikacji....43
Menu sterowania....44
Paski narzędzi i sterowania....45
Plik....46
Edytuj....47
Szablon....48
Fazy budowy....48
Wizualizacja....49
Tryby....51
Wyniki....51
Wizualizacja 3D....52
Konfiguracja rysunku....53
Administrator stylów rysunku....55
Ramki....56
Tabele....58
Okna dialogowe....60
Aktywne wymiary i obiekty....61
Funkcje myszy....62
Menu kontekstowe myszy....65
Jednostki - metryczne / angielskie....66
Kopiowanie do schowka....67
GeoSchowek....67
Kopiowanie i wklejanie informacji o projekcie....68
Kopiowanie i wklejanie warstw 2D....69
Kopiowanie i wklejanie gruntów i elementów sztywnych....70
Kopiowanie i wklejanie przyporządkowania 2D....70
Opcje....71
Opcje - wprowadzanie danych....72
Opcje - kopiuj do schowka....73
Opcje - druk i rysunki....74
Wspólne wprowadzanie danych....75
Definiowanie i edycja gruntów....76

Klasyfikacja gruntów....77
Symbole gruntów i skał....79
Ręczna klasyfikacja gruntów....80
Warstwy w środowisku 2D....81
Dodawanie warstwy....82
Edycja punktów warstwy....84
Edytowanie i usuwanie warstwy....86
Korektor definiowanych warstw....87
Wymiary modelu....89
Definiowanie obiektów i danych....92
Dodaj....92
Dodaj graficznie....93
Przyporządkowywanie gruntów....94
Współczynniki obliczeniowe....95
Wykonywanie wielu analiz / sprawdzeń....96
Współpraca programów....97
Zapisane widoki....98
Konfiguracja rysunku : Obliczenia....99
Ustawianie zakresu kolorów....100
Definicja skali barw....101
Import i eksport DXF....102
Wczytywanie danych do szablonu....103
Wczytywanie danych do warstw....104
Wczytywanie danych do GeoSchowka....105
Wprowadzanie danych za pomocą szablonu....105
Modyfikowanie szablonu podczas wprowadzania danych....106
Eksport DXF....108
Import DXF....108
Import danych tabelarycznych....109
(1) Plik wejściowy....112
(2) Podgląd pliku wejściowego....113
(3) Parametry podziału pliku wejściowego na kolumny....114
(4) Plik wejściowy podzielony na kolumny....115
(5) Przyporządkowanie kolumn do importowanych danych....115
(6) Podgląd wyniku importu....116
Import_LandXML....117
Dziedziczność - fazy budowy....118

Site view on Google Maps....119
Normy i metody obliczeniowe....121
Administrator ustawień....121
Eksport i import ustawień....122
Lista ustawień....123
Ustawienia obliczeń....124
Materiały i normy....125
Konstrukcje oporowe....126
Analiza parć....127
Analiza stateczności....128
Osiadania....129
Fundamenty bezpośrednie....130
Kotwy....131
Pale....131
Pale CPT....132
Mikropale....133
Grupa pali....134
Dodawanie nowego ustawienia....134
Metodyka obliczeń....135
Analiza według współczynnika bezpieczeństwa....136
Analiza według stanów granicznych....137
Analiza według normy EN 1997....137
Współczynniki częściowe....138
Podejścia obliczeniowe....139
Podejście obliczeniowe 1....140
Podejście obliczeniowe 2....140
Podejście obliczeniowe 3....141
Załącznik krajowy (ZK)....141
Współczynniki częściowe do oddziaływania wody....142
Analiza konstrukcji oporowych....143
Analiza ścian wykopów....144
Obliczanie fundamentów (Fundament bezpośredni, Pale)....145
Analiza stateczności zbocza....146
Kombinacje obciążeń....147
Analiza według LRFD....148
LRFD - Sytuacje obliczeniowe....148
LRFD - Analiza ścian (Konstrukcji wsporczych)....149

LRFD - Analiza fundamentów....151
LRFD 2012 - Analiza stateczności zboczy....152
Analiza według norm chińskich....152
Sytuacje obliczeniowe....153
Programy....154
Program Parcie....154
Projekt....155
Ustawienia....156
Geometria....156
Profil....157
Grunty....158
Dane podstawowe....159
Przyporządkowanie....160
Teren....161
Woda....162
Obciążenie....163
Obciążenia sejsmiczne....164
Ustawienia fazy....165
Obliczenia....165
Program Ściana kątowa....166
Projekt....167
Ustawienia....168
Geometria....169
Materiał....170
Profil....171
Grunty....172
Dane podstawowe....173
Przyporządkowanie....174
Fundament....175
Nasyp za konstrukcją....176
Teren....177
Woda....178
Obciążenie....179
Odpór na licu....180
Zdefiniowane siły....181
Obciążenia sejsmiczne....182
Kotwienie fundamentu....183

Ustawienia fazy....184
Analiza....185
Nośność....186
Wymiarowanie....188
Stateczność....190
Program Ściana oporowa....190
Projekt....191
Ustawienia....192
Geometria....192
Dowolny/własny kształt ściany....194
Materiał....198
Profil....199
Grunty....200
Dane podstawowe....201
Przyporządkowanie....202
Fundament....203
Nasyp za konstrukcją....204
Teren....205
Woda....206
Obciążenie....207
Odpór na licu....208
Zdefiniowane siły....209
Obciążenia sejsmiczne....210
Ustawienia fazy....211
Analiza....212
Nośność....213
Wymiarowanie....215
Stateczność....216
Program Ściana prefabrykowana....217
Projekt....218
Ustawienia....218
Geometria....219
Profil....220
Grunty....221
Dane podstawowe....222
Przyporządkowanie....223
Fundament....224

Nasyp za konstrukcją....225
Teren....226
Woda....227
Obciążenie....228
Odpór na licu....229
Zdefiniowane siły....230
Obciążenia sejsmiczne....231
Ustawienia fazy....232
Analiza....232
Nośność....233
Wymiarowanie....235
Poślizg po zbrojeniu....236
Stateczność....237
Program Mur oporowy....238
Projekt....239
Ustawienia....239
Geometria....240
Typy bloków....241
Materiał....242
Profil....243
Grunty....244
Dane podstawowe....245
Przyporządkowanie....246
Fundament....247
Nasyp za konstrukcją....248
Teren....249
Woda....250
Obciążenie....251
Odpór na licu....252
Zdefiniowane siły....253
Obciążenia sejsmiczne....254
Kotwienie fundamentu....255
Ustawienia fazy....256
Analiza....257
Nośność....258
Wymiarowanie....260
Stateczność....261

Program Gabion....262
Projekt....263
Ustawienia....263
Material....264
Geometria....265
Profil....266
Grunty....267
Dane podstawowe....268
Przyporządkowanie....269
Fundament....270
Nasyp za konstrukcją....271
Teren....272
Woda....273
Obciążenie....274
Odpór na licu....275
Zdefiniowane siły....276
Obciążenia sejsmiczne....277
Ustawienia fazy....278
Analiza....278
Nośność....279
Wymiarowanie....281
Stateczność....282
Program Przyczółek....283
Projekt....284
Ustawienia....284
Geometria - przekrój....285
Skrzydła....286
Geometria - rzut....287
Stopnie fundamentu....288
Materiał....289
Profil....290
Grunty....291
Dane podstawowe....292
Przyporządkowanie....293
Obciążenie - SO....294
Fundament....295
Nasyp za konstrukcją....296

Teren....297
Woda....298
Obciążenie....299
Odpór na licu....300
Zdefiniowane siły....301
Obciążenia sejsmiczne....302
Ustawienia fazy....303
Analiza....304
Nośność....305
Wymiarowanie....307
Stateczność....308
Program Zbocze gwoździowane....309
Projekt....310
Ustawienia....310
Geometria....311
Typ gwoździ....312
Geometria gwoździ....313
Materiał....314
Profil....315
Grunty....316
Dane podstawowe....317
Przyporządkowanie....318
Teren....319
Woda....320
Obciążenie....321
Obciążenia sejsmiczne....322
Ustawienia fazy....323
Stateczność wewnętrzna....323
Analiza....324
Nośność....325
Wymiarowanie....327
Stateczność....328
Program RediRock Wall....329
Project....330
Analysis methods....331
Blocks....331
Geometry....332

Footing....333
Profile....334
Soils....335
Basic data....336
Assign....337
Types of Reinforcements....338
Reinforcements....339
Terrain....342
Woda....343
Obciążenie....344
Odpór na licu....345
Zdefiniowane siły....346
Obciążenia sejsmiczne....347
Stage Settings....348
Analysis - Gravity Wall....348
Verification....349
Dimensioning....350
Bearing capacity....351
Analysis - MSE Wall....352
Verification....354
Dimensioning....355
Bearing Capacity....356
Slip on Georeinforcement....357
Internal Stability....358
Stability....359
Program Ściana projekt....360
Projekt....361
Ustawienia....361
Profil....362
Grunty....363
Dane podstawowe....364
Przyporządkowanie....365
Geometria....366
Materiał....367
Kotwy....368
Rozpory....369
Podpory....370

Definiowanie parcia....371
Redystrybucja parcia gruntu....372
Teren....374
Woda....375
Obciążenie....375
Zdefiniowane siły....376
Obciążenia sejsmiczne....377
Ustawienia fazy....378
Obliczenia....378
Wymiarowanie....380
Stateczność....381
Program Ściana analiza....383
Projekt....384
Ustawienia....384
Profil....385
Moduł Kh....386
Badania presjometryczne (PMT)....387
Badanie dylatometryczne (DMT)....388
Grunty....389
Dane podstawowe....390
Geometria....391
Materiał....392
Definiowanie parcia....393
Przyporządkowanie....394
Wykop....395
Teren....396
Woda....397
Obciążenie....398
Zdefiniowane siły....399
Kotwy....400
Rozpory....401
Podpory....402
Obciążenia sejsmiczne....403
Ustawienia fazy....404
Obliczenia....404
Stateczność wewnętrzna....409
Stateczność zewnętrzna....410

Stateczność dna wykopu....411
Wymiarowanie....412
Wymiarowanie kotew....413
Program Pal stabilizujący....414
Projekt....415
Ustawienia....416
Profil....417
Moduł Kh....417
Badania presjometryczne (PMT)....419
Badanie dylatometryczne (DMT)....420
Grunty....421
Dane podstawowe....422
Geometria....423
Materiał....424
Definiowanie parcia....425
Skała....426
Przyporządkowanie....427
Lico konstrukcji....428
Teren....429
Woda....430
Obciążenie....431
Zdefiniowane siły....432
Kotwy....433
Podpory....434
Obciążenia sejsmiczne....435
Ustawienia fazy....436
Obliczenia....437
Wymiarowanie....440
Wymiarowanie kotew....441
Program Szyb....442
Projekt....443
Ustawienia....443
Geometria....444
Profil....445
Grunty....446
Dane podstawowe....447
Przyporządkowanie....448

Woda....449
Obciążenie....450
Ustawienia fazy....452
Analiza obciążeń....452
Wymiarowanie....453
Program Stateczność zbocza....455
Projekt....456
Ustawienia....456
Warstwa....457
Nasyp....458
Wykop....459
Grunty....460
Dane podstawowe....461
Elementy sztywne....462
Przyporządkowanie....463
Kotwy....464
Gwoździe....465
Zbrojenie....466
Pale stabilizujące....467
Obciążenie....468
Woda....469
Obciążenia sejsmiczne....470
Ustawienia fazy....471
Obliczenia....472
Definiowanie powierzchni poślizgu....474
Ograniczenia procedury optymalizacji....475
Mnożnik wysokości....476
Program Stateczność zbocza skalnego....477
Projekt....478
Ustawienia....479
Teren....480
Skała....482
Płaska powierzchnia poślizgu....483
Łamana powierzchnia poślizgu....484
Woda - płaska powierzchnia poślizgu....485
Woda - łamana powierzchnia poślizgu....486
Parametry - łamana powierzchnia poślizgu....487

Obciążenie - płaska i łamana powierzchnia poślizgu....489
Zdefiniowane siły - płaska powierzchnia poślizgu....489
Kotwy - płaska i łamana powierzchnia poślizgu....490
Obciążenia sejsmiczne....491
Ustawienia fazy....492
Obliczenia - płaska pwierzchnia poślizgu....493
Obliczenia - łamana powierzchnia poślizgu....493
Geometria....494
Powierzchnia poślizgu - klin skalny....496
Parametry - klin skalny....498
Woda - klin skalny....500
Obciążenie - klin skalny....502
Kotwy - klin skalny....504
Obliczenia - klin skalny....506
Program Nasypy zbrojone....508
Projekt....509
Ustawienia....509
Geometria....510
Materiał....511
Typy zbrojenia....512
Dodawanie i edycja typu zbrojenia....513
Katalog użytkownika....514
Zbrojenie....516
Zbrojenie....517
Profil....518
Grunty....519
Dane podstawowe....520
Przyporządkowanie....521
Teren....522
Woda....523
Woda....524
Obciążenie....525
Odpór na licu....526
Zdefiniowane siły....527
Obciążenia sejsmiczne....528
Ustawienia fazy....529
Analiza....530

Wymiarowanie....531
Nośność....532
Poślizg wzdłuż zbrojenia....533
Stateczność wewnętrzna....534
Stateczność globalna....535
Stateczność zbocza....537
Program Fundamenty bezpośrednie....537
Projekt....538
Ustawienia....539
Profil....540
Badania dylatometryczne (DMT)....540
Grunty....541
Dane podstawowe....542
Przyporządkowanie....543
Fundament....544
Obciążenie....545
Geometria....546
Podłoże fundamentowe....548
Podsypka piaskowo-żwirowa....548
Materiał....549
Obciążenie....550
Woda, podłoże nieściśliwe....551
Obciążenia sejsmiczne....552
Ustawienia fazy....553
1.SG - nośność....554
2.SG - osiadanie i obrót fundamentu....555
Wymiarowanie....556
PMTs....557
Klasyfikacja gruntów....558
Program Pal....559
Projekt....560
Ustawienia....561
Profil....561
Moduł reakcji podłoża....562
Grunty....563
Dane podstawowe....564
Przyporządkowanie....565

Obciążenie....566
Geometria....567
Materiał....568
Woda, podłoże nieściśliwe....569
Tarcie negatywne....570
Ustawienia fazy....571
Nośność pionowa - rozwiązanie analityczne....571
Nośność pionowa MES....572
Osiadanie - liniowa krzywa obciążenie-osiadanie (Poulos)....574
Osiadanie - nieliniowa krzywa obciążenie-osiadanie (Masopust)....575
Nośność pozioma - podłoże sprężyste....576
Nośność pozioma - metoda Bromsa....579
Program Pal CPT....580
Projekt....581
Ustawienia....581
Badania CPT....582
ZWG + NSF....583
Klasyfikacja gruntów....585
Profil....586
Grunty....587
Dane podstawowe....588
Przyporządkowanie....589
Konstrukcja....590
Grupa pali....592
Geometria....593
Efekt obniżenia poziomu terenu....594
Nośność....595
Osiadanie....596
Program Grupa pali....598
Projekt....598
Ustawienia....599
Konstrukcja....600
Dowolny kształt grupy pali....601
Geometria konstrukcji....606
Materiał....607
Obciążenie....608
Obciążenie działające na grupę pali....609

Profil....611
Grunty....612
Dane podstawowe....613
Przyporządkowanie....614
Woda....615
Tarcie negatywne....616
Sprężyny pionowe....617
Moduł poziomy....618
Ustawienia fazy....619
Nośność pionowa - rozwiązanie analityczne....620
Osiadanie - grunt spoisty....621
Osiadanie - grunt niespoisty (krzywa obciążenie-osiadanie)....621
Analiza - metoda sprężysta....622
Wymiarowanie....623
Nośność....624
Program Mikropal....626
Projekt....627
Ustawienia....627
Profil....628
Grunty....629
Dane podstawowe....630
Geometria....631
Materiał....632
Przyporządkowanie....633
Obciążenie....634
Woda....635
Badania SPT....636
Badanie presjometryczne....637
Analiza przekroju....638
Analiza buławy....639
Program Płyta....640
Projekt....641
Ustawienia....641
Węzły....642
Linie....643
Makroelementy....644
Otwory....645

Zagęszczenia węzłów....646
Zagęszczenia linii....647
Zagęszczenia makroelementów....648
Generacja siatki....649
Ostrzeżenia generatora siatki....652
Podpory w węzłach....654
Podpory linii....656
Elementy belkowe....657
Katalog materiałów....658
Edytor materiału....660
Typy przekrojów....661
Katalog profili....662
Edytor przekroju....663
Przeguby wewnętrzne....664
Podłoże makroelementu....665
Winkler-Pasternak parametry C1 i C2....666
Wyliczenie stałych Winklera-Pasternaka z parametrów odkształceniowych gruntów..667
Stany obciążeniowe....667
Parametry stanów obciążeniowych....668
Obciążenia węzłów....670
Obciążenia linii....671
Obciążenia temperaturowe....672
Obciążenia makroelementów....672
Swobodne obciążenie puntowe....673
Swobodne obciążenie liniowe....674
Swobodne obciążenie powierzchniowe....675
Kombinacja SGN....676
Parametry kombinacji SGN....677
Generator kombinacji SGN....679
Kombinacja SGU....682
Parametry kombinacji SGU....682
Generator kombinacji SGU....683
Parametry wymiarowania....683
Wymiarowanie makroelementu....684
Analiza....685
Procedura analizy....686
Wyniki....687

Pasek narzędzi - wyniki....688
Ustawienia wizualizacji wyników....689
Lista parametrów....690
Lista parametrów wymiarowania....690
Redukcja momentów zginających....691
Wyniki....693
Rozkłady....694
Układ współrzędnych (konwencja znaków)....696
Program Belka....698
Projekt....699
Ustawienia....700
Parametry C1 i C2 modelu Winklera-Pasternaka....701
Obliczanie parametrów C1 i C2 modelu Winklera-Pasternaka na podstawie profilu geologicznego....701
Obliczanie stałych Winklera-Pasternaka na podstawie parametrów odkształceniowych gruntów....702
Geometria....702
Podłoże....703
Warstwa....704
Lokalizacja....705
Grunty....706
Dane podstawowe....707
Przyporządkowanie....708
Woda....709
Podpory....710
Stany obciążeniowe....711
Parametry stanów obciążeniowych....712
Obciążenie....714
Kombinacja SGN....715
Parametry kombinacji SGN....716
Generator kombinacji....717
Kombinacja SGU....720
Parametry kombinacji SGU....721
Generator kombinacji....722
Analiza....722
Program Osiadanie....723
Projekt....724

Ustawienia....724
Warstwa....725
Nasyp....726
Wykop....727
Podłoże nieściśliwe....728
Grunty....729
Dane podstawowe....730
Przyporządkowanie....731
Obciążenie....732
Woda....733
Ustawienia fazy....734
Obliczenia....735
Parametry konsolidacji....737
Program Wyrobisko....739
Projekt....740
Ustawienia....740
Budynki....741
Profil....742
Grunty....742
Przyporządkowanie....743
Geometria....744
Pomiar....745
Ustawienia fazy....746
Obliczenia....747
Uszkodzenia....748
Program Teren....750
Projekt....750
Dane podstawowe....751
Globalny układ współrzędnych....752
Grunty....753
Przyporządkowanie....754
Punkty....755
Import punktów....757
Automatyczne obliczanie wysokości....758
Krawędzie....759
Woda....760
Odwierty....761

Niwelacja terenu....763
Budowa....765
Generuj....767
Modelowanie terenu na krawędziach....768
Budowy punktowe....769
Budowy liniowe....771
Aktywacja....772
Program Stratygrafia 3D....774
Projekt....774
Ustawienia....775
Modelowanie 2D....776
Coordinate systems....777
Templates....778
Creation of User-defined Template....780
Input data....781
Print of Output Protocols....784
Budowa....786
Aktywne krawędzie....787
Punkty terenu....788
Terrain Edges....789
Field Tests (Exploration Points)....790
Additional Data of Field Tests....791
Import badań....792
Otwór....794
Dokumentacja geologiczna....796
Grunty....797
Profile badań....798
Zależność między Badaniem polowym, Profilem badania i Otworem....799
Creation of Soil Profile from Borehole....800
Creation of Soil Profile from CPT....800
Creation of Soil Profile using Classification of Soils....801
Tworzenie Profilu badania na podstawie sondowań SPT, DPT, PMT....803
Geological Sections....804
Drawing of Geological Section....805
Model geologiczny....806
Tworzenie modelu geologicznego....807
Tworzenie modelu geologicznego....807

Budowanie modelu terenu....809
Model geologiczny z poziomym uwarstwieniem....810
Model geologiczny z warstwami zgodnymi z powierzchnią terenu....814
Krawędzie budowy - krawędź aktywna....815
Edycja warstw gruntu....818
Tworzenie soczewek gruntu....819
Dodawanie nowej warstwy do modelu....823
Modelling of Fault....826
Status otworu....834
Otwór bazowy....836
Edycja otworu....838
Dodawanie otworu....841
Kompatybilność otworów....843
Definition of Interface in Borehole....844
Order of layer generation....847
Profile wynikowe....849
Przekroje....849
Kopiowanie danych z programu Stratygrafia 3D do innych programów GEO5....850
Program MES....852
Topologia....853
Układy współrzędnych....854
Projekt....856
Ustawienia....856
Analiza stateczności....857
Płaski stan odkształcenia....858
Symetria osiowa....859
Tunele....862
Konsolidacja....862
Zasada numerycznego rozwiązania konsolidacji....863
Procedura Ko....867
Przepływ wody....868
Obliczenia przepływu....869
Warstwa....870
Grunty....871
Modele materiałowe....872
Modele liniowe....873
Model sprężysty....874

Model sprężysty modyfikowany....874
Modele nieliniowe....875
Mohr-Coulomb (MC)....877
Model Mohra-Coulomba z wykluczeniem rozciągania....877
Mohr-Coulomb Modyfikowany (MCM)....878
Model Druckera-Pragera....878
Osłabienie i wzmocnienie....879
Kąt dylatancji....881
Wpływ modelu materiałowego....881
Modyfikowany model Cam-Clay (MCC)....882
Uogólniony model Cam-Clay (GCC)....885
Numeryczna implementacja modeli MCC i GCC....887
Model hipoplastyczny dla iłów....889
Zmienna sztywność....895
Modele materiałowe w analizie przepływu....896
Współczynnik filtracji....900
Dane podstawowe....902
Naprężenie geostatyczne, wypór....904
Elementy sztywne....905
Przyporządkowanie....906
Typy elementów kontaktowych....907
Elementy kontaktowe....909
Obudowa....910
Moduł obudowa MES....911
Punkty swobodne....912
Linie swobodne....913
Zagęszczenie linii....914
Ustawienia....915
Generator kształtu obudowy....916
Generator obszarów kotwionych....918
Fazy budowy....919
Punkty swobodne....920
Linie swobodne....922
Zagęszczenie punktów....923
Zagęszczenie linii....924
Dowolne zagęszczenie....925
Generacja siatki....926

Ostrzeżenia generatora siatki....928
Edycja początkowej geometrii....930
Standardowe warunki brzegowe....931
Fazy budowy....932
Wykop....933
Aktywacja....934
Aktywacja obszarów poniżej ZWG....936
Przyporządkowanie....937
Obudowa....938
Elementy belkowe....938
Kotwy....939
Obciążenie belki....940
Generator kotew na liniach swobodnych....941
Elementy belkowe....942
Typy przekrojów....944
Rodzaje podparć elementów belkowych....945
Osłabienie i wzmocnienie elementów belkowych....946
Katalog profili....947
Edytor przekroju....948
Katalog materiałów....948
Edytor materiału....949
Elementy kontaktowe....950
Elementy kontaktowe i belkowe (Przepływ wody)....951
Podparcie punktowe....952
Punkty - przepływ....953
Podparcie liniowe....954
Linie - przepływ....955
Kotwy....956
Punkty końcowe kotew....957
Kotwy w analizie stateczności....958
Rozpory....959
Zbrojenie....961
Kotwienie zbrojenia....962
Sztywność osiowa geosyntetyków....964
Obciążenie....965
Obszary sprężyste....967
Obciążenie belki....968

Woda....970
Obliczenia....971
Obliczenia przepływu nieustalonego....972
Zalecana procedura modelowania....978
Utrata konwergencji analizy nieliniowej....979
Ustawienia i Opis Analizy....980
Metoda rozwiązania....981
Zmiana macierzy sztywności....982
Początkowy krok obliczeniowy....983
Maksymalna liczba iteracji....983
Kryterium konwergencji....984
Ustawienia w metodzie Newtona-Raphsona....984
Ustawienia w metodzie Arc-length....985
Ustawienia Arc-Length....986
Automatyczna kontrola długości łuku....987
Metoda Line Search....988
Plastyczność....989
Przebieg obliczeń....990
Wyniki....991
Pasek narzędzi - wyniki....992
Konfiguracja rysunku : Obliczenia....992
Lista zmiennych....993
Monitory....995
Ustawienia monitorów....996
Wykresy....997
Stateczność....997
Ustawienia podstawowych parametrów analizy stateczności zbocza....999
Ustawienia wiodących parametrów relaksacji współczynnika redukcji....1000
Obszary bez redukcji....1001
Obciążenia sejsmiczne....1002
Dane wyjściowe....1002
Dodawanie rysunków....1003
Lista rysunków....1005
Druk i eksport dokumentu....1007
Druk i eksport rysunku....1009
Pasek narzędzi - Druk i eksport....1011
Ustawienia strony....1013

Ustawienia nagłówka i stopki....1013
Numeracja stron....1015
O firmie....1015
Teoria....1017
Naprężenia w gruncie....1017
Naprężenie geostatyczne, wypór....1017
Naprężenia efektywne / uogólnione w gruncie....1018
Przyrost parcia gruntu od obciążenia....1020
Przyrost parcia gruntu pod fundamentem....1021
Parcia gruntu....1022
Konwencja znaków....1022
Czynne parcie gruntu....1023
Czynne parcie gruntu - teoria Mazindrani'ego....1023
Czynne parcie gruntu - teoria Coulomb'a....1024
Czynne parcie gruntu - teoria Müller-Breslau....1025
Czynne parcie gruntu - teoria Caquot....1027
Czynne parcie gruntu - teoria Absi'ego....1028
Czynne parcie gruntu - naprężenie całkowite....1029
Bierne parcie gruntu....1029
Bierne parcie gruntu - teoria Rankina i Mazindrani'ego....1030
Bierne parcie gruntu - teoria Coulomba....1031
Bierne parcie gruntu - teoria Caquot - Kérisela....1031
Współczynnik biernego parcia gruntu Kp....1032
Współczynnik redukcji biernego parcia gruntu....1035
Bierne parcie gruntu - teoria Müller - Breslau....1036
Bierne parcie gruntu - teoria Absi'ego....1037
Bierne parcie gruntu - teoria Sokolovskiego....1037
Bierne parcie gruntu - naprężenie całkowite....1040
Spoczynkowe parcie gruntu....1040
Spoczynkowe parcie gruntu dla pochyłej powierzchni terenu za konstrukcją....1041
Zwiększone parcie czynne....1042
Rozkład parć gruntu w przypadku terenu załamanego....1042
Wpływ wody....1043
Brak wody gruntowej, woda nie jest uwzględniana....1043
Parcie hydrostatyczne, woda gruntowa za konstrukcją....1044
Parcie hydrostatyczne, woda gruntowa za i przed konstrukcją....1044
Parcie hydrodynamiczne....1045

Specjalny rozkład parcia wody....1046
Wypór w podstawie fundamentu....1047
Wpływ rys rozciąganych....1048
Minimalne parcie do wymiarowania....1048
Klin parcia gruntu....1049
Wpływ obciążenia na parcia gruntu....1050
Obciążenie powierzchniowe - czynne parcie gruntu....1051
Obciążenie pasmowe - czynne parcie gruntu....1052
Obciążenie trapezowe - czynne parcie gruntu....1053
Obciążenie skupione - czynne parcie gruntu....1053
Obciążenie liniowe - czynne parcie gruntu....1054
Przyrost parcia gruntu pod wpływem obciążenia poziomego....1056
Obciążenie powierzchniowe w gruntach niejednorodnych....1057
Obciążenie powierzchniowe - spoczynkowe parcie gruntu....1058
Obciążenie pasmowe - spoczynkowe parcie gruntu....1058
Obciążenie trapezowe - spoczynkowe parcie gruntu....1059
Obciążenie skupione - spoczynkowe parcie gruntu....1059
Obciążenie powierzchniowe - bierne parcie gruntu....1060
Wpływ obciążeń sejsmicznych....1061
Teoria Mononobe - Okabe....1063
Teoria Arrango....1064
NCMA - SRW....1065
Wpływ wody....1066
EN 1998-5 Oddziaływania sejsmiczne....1068
Siły od parcia spoczynkowego oddziałującego na sztywną konstrukcję....1068
Wpływ obciążeń sejsmicznych według norm chińskich....1069
Earthquake_Chinese_Standards_JTJ_004_89....1069
Influence of Earthquake according to JTS 146-2012....1070
Influence of Earthquake according to SL 203-97....1073
Seismic Fortification Intensity according to Chinese Standards....1074
Water Influence according to Chinese Standards....1075
Importance Coefficient for Seismic Design Ci....1077
Adjusting Coefficient for Seismic Bearing Capacity ξa....1077
Wpływ tarcia pomiędzy gruntem a konstrukcją....1078
Tabela kątów tarcia na styku konstrukcji z gruntem dla materiałów nietypowych...1079
Przyleganie gruntu - adhezja....1081
Parametry skał....1081

Analiza ścian....1082
Wyznaczanie sił w poziomie podstawy fundamentu....1083
Analiza - stany graniczne....1083
Analiza - współczynnik bezpieczeństwa....1084
Stateczność wewnętrzna....1085
Zbrojenie gruntu....1086
Kotwienie fundamentu....1088
Uwzględnienie odsadzki ściany....1089
Nośność podłoża fundamentowego....1090
Wymiarowanie ściany....1091
Wymiarowanie ścian użebrowanych....1093
Stateczność wewnętrzna gabionu....1094
Stateczność wewnętrzna ściany z gabionów - współczynnik bezpieczeństwa....1097
Stateczność wewnętrzna ściany z gabionów - stany graniczne....1099
Obliczanie sił przyczółku....1100
Zredukowane parcie bierne gruntu....1101
Zbocze gwoździowane....1102
Analiza stateczności wewnętrznej....1102
Analiza nośności gwoździ....1103
Zalecane wartości tarcia na pobocznicy....1105
Całkowita nośność gwoździ....1107
Analiza - współczynnik bezpieczeństwa....1108
Analiza - teoria stanów granicznych....1109
Siła w gwoździu....1109
Wymiarowanie osłony betonowej....1110
Projektowanie wykopów....1111
Definiowanie przekroju....1111
Palisada....1112
Ściana żelbetowa - prostokątna....1113
Ściana z grodzic stalowych (ścianka szczelna)....1114
Ściana z grodzic winylowych....1115
Ściana berlińska....1117
Steel 2xU-profile....1117
Przekrój definiowany przez użytkownika - A, I, E, G....1118
Katalog użytkownika....1120
Automatyczne wyznaczanie współczynnika redukcji parcia poniżej dna wykopu....1121
Ściana projekt....1122

Analiza ścian wspornikowych....1122
Analiza ścian kotwionych utwierdzonych w gruncie....1123
Analiza ścian kotwionych z prostym podparciem w podstawie....1124
Ściana analiza....1125
Rodzaje kotew....1127
Kotwy iniekcyjne prętowe....1129
Kotwy iniekcyjne splotowe....1130
Kotwy śrubowe....1131
Kotwy bierne prętowe....1133
Kotwy bierne z płytą kotwiącą....1134
Nośność kotew....1136
Nośność na wyciąganie z gruntu....1137
Nośność na wyciąganie z buławy....1138
Metoda parć zależnych....1139
Metoda sprężysta według JGJ 120-2012....1141
Moduł reakcji podłoża....1142
Moduł reakcji podłoża według Schmitt'a....1143
Moduł reakcji podłoża według Chadeisson'a....1143
Moduł reakcji podłoża według CUR 166....1144
Moduł reakcji podłoża wyznaczany iteracyjnie....1146
Moduł reakcji podłoża według Menarda....1147
Moduł reakcji podłoża według NF P 94-282....1148
Moduł reakcji podłoża na podstawie badań dylatometrycznych (DMT)....1149
Moduł reakcji podłoża według norm chińskich....1150
Nieliniowy moduł reakcji podłoża....1151
Ściana berlińska....1152
Wzmocnienie gruntu....1153
Wewnętrzna stateczność kotew....1154
Stateczność dna wykopu....1155
Osiadanie terenu za obudową wykopu....1157
Metoda trójkątów....1157
Metoda wskaźnikowa....1158
Metoda paraboliczna....1159
DG/TJ08-61-2010....1160
Pal stabilizujący....1162
Wyznaczanie sił działających na pal stabilizujący....1162
Rozklad parć powyżej powierzchni poślizgu....1164

Szyb....1165
Wyznaczanie obciążeń oddziałujących na szyb....1165
Podatna konstrukcja szybu....1167
Półpodatna konstrukcja szybu....1168
Sztywna konstrukcja szybu....1169
Wyznaczanie sił wewnętrznych w konstrukcji szybu (wymiarowanie)....1170
Stateczność zbocza....1171
Grunt....1171
Wpływ wody....1172
Obciążenie....1174
Kotwy....1175
Gwoździe....1176
Geo-zbrojenia....1177
Zakończenie zbrojenia....1179
Pale stabilizujące....1180
Wpływ obciążeń sejsmicznych....1181
Wpływ obciążeń sejsmicznych - metoda klasyczna....1182
Earthquake Analysis According to GB 50111-2006....1183
Earthquake Analysis According to NB 35047-2015....1183
Earthquake Analysis According to GB 50330-2013....1184
Earthquake Analysis According to JTG B02-2013....1185
Analiza według EN 1997....1185
Analiza zgodnie z teorią stanów granicznych / współczynnika bezpieczeństwa....1186
Łamana powierzchnia poślizgu....1187
Sarma....1188
Spencer....1190
Janbu....1193
Morgenstern-Price....1196
Shahunyants....1200
Metoda ITF (Imbalance Thrust Force Method)....1203
Nadwyżka siły przesuwającej....1206
Optymalizacja łamanej powierzchni poślizgu....1207
Zmiana nachylenia płaszczyzn dzielących....1208
Kołowa powierzchnia poślizgu....1208
Fellenius / Petterson....1210
Bishop....1210
Spencer....1211

Janbu....1211
Morgenstern-Price....1211
Shahunyants....1211
Metoda ITF (Imbalance Thrust Force Method)....1211
Optymalizacja kołowej powierzchni poślizgu....1211
Foliacja....1212
Wpływ rys rozciąganych....1212
Stateczność zbocza skalnego....1213
Płaska powierzchnia poślizgu....1214
Schodkowa powierzchnia poślizgu....1214
Wytrzymałość na rozciąganie skały....1215
Szorstka powierzchnia poślizgu....1216
Kotwienie zbocza skalnego....1217
Obciążenie zbocza skalnego....1218
Wpływ wody działającej na powierzchnię poślizgu....1218
Zwierciadło wody gruntowej nad podstawą skarpy....1219
Zwierciadło wody gruntowej na spękaniu tensyjnym....1220
Zwierciadło wody gruntowej na spękaniu tensyjnym....1221
Ciśnienie porowe tylko na spękaniu tensyjnym....1223
Własne definiowanie oddziaływania wody tylko na powierzchni poślizgu....1223
Własne definiowanie ciśnienia porowego....1224
Łamana powierzchnia poślizgu....1224
Geometria bloku skalnego....1225
Siły w kotwach, obciążenie....1226
Wpływ wody....1227
Procedura rozwiązania....1229
Koncepcja stożka tarcia....1230
Klin skalny....1231
Geometria klina skalnego....1232
Rzut stereograficzny....1233
Wpływ wody gruntowej....1235
Rozkład działających sił....1236
Weryfikacja....1237
Weryfikacja według współczynnika bezpieczeństwa....1237
Weryfikacja zgodnie z teorią stanów granicznych....1238
Skała - kryteria wytrzymałości na ścinanie....1238
Mohr - Coulomb....1238

Parametry modelu Mohra - Coulomba....1239
Hoek - Brown....1239
Parametry modelu Hoek - Brown....1240
Obliczanie parametrów modelu Hoeka-Browna....1243
Barton - Bandis....1245
Parametry modelu Bartona - Bandisa....1245
Ciężar objętościowy skał....1248
Wpływ obciążeń sejsmicznych....1249
Nasypy zbrojone....1251
Stateczność wewnętrzna....1251
Analiza - współczynnik bezpieczeństwa....1253
Analiza - stany graniczne....1253
Kształty powierzchni poślizgu....1254
Zbrojenie podatne - parcie czynne gruntu....1255
Zbrojenie niepodatne - kombinacja parć gruntu....1256
Analiza nośności fundamentu....1257
Nośność podłoża z odpływem....1258
Analiza nośności sejsmicznej....1259
Analiza standardowa....1260
Nośność gruntu bez odpływu....1262
Analiza standardowa....1262
Nośność fundamentu na podłożu skalnym....1263
Analiza standardowa....1263
Analiza nośności fundamentu według CSN 73 1001....1264
Analiza nośności fundamentu według EC 7-1 (EN 1997-1:2003)....1264
Parametry do obliczania nośności fundamentu....1265
Nośność pozioma fundamentu....1269
Homogenizacja podłoża uwarstwionego....1270
Powierzchnia efektywna....1272
Wyznaczanie sił wewnętrznych przekroju poprzecznego....1273
Sprawdzenie mimośrodowości fundamentu....1274
Analiza fundamentu rozciąganego....1275
Podejście klasyczne....1275
Metoda stożka....1276
DL/T 5219 - 2005....1277
Analiza Pali....1279
Nośność pionowa....1279

Rozwiązanie analityczne....1279
NAVFAC DM 7.2....1280
Nośność podstawy pala....1280
Opór pobocznicy pala....1280
Współczynnik nośności Nq....1281
Współczynnik parcia bocznego gruntu K....1281
Kąt tarcia na pobocznicy pala....1282
Współczynnik adhezji....1283
Głębokość krytyczna....1283
Tomlinson....1284
Współczynnik adhezji....1285
Długość efektywna....1285
Metoda naprężeń efektywnych....1286
Współczynniki nośności pala....1287
CSN 73 1002....1287
Analiza....1288
Analiza według teorii stanów granicznych....1288
Współczynniki obliczeniowe....1289
Analiza według współczynników bezpieczeństwa....1290
Nośność pionowa - metoda sprężysta....1290
Graniczna krzywa obciążeniowa (obciążenie-osiadanie)....1291
Nośność na ścinanie pobocznicy....1292
Współczynnik przyrostu tarcia granicznego na pobocznicy....1293
Głębokość strefy wpływu....1293
Podłoże nieściśliwe....1296
Tarcie ujemne....1296
Wpływ technologii....1297
Wytrzymałość na ścinanie....1297
Sztywność podłoża pod podstawą pala....1299
Rozkłady sił działających na palu....1299
Wpływ ścinania na przemieszczenie....1299
Osiadanie pali....1300
Teoria nieliniowa (Masopust)....1300
Podejście obliczeniowe według Masopusta....1301
Współczynniki regresji....1303
Współczynniki m1, m2....1304
Sieczny moduł odkształcenia Es....1305

Współczynnik osiadania Is.....1307
Teoria liniowa (Poulos).....1308
Osiadanie pali według Poulosa.....1309
Sieczny moduł odkształcenia gruntu Es.....1310
Współczynnik korekcyjny do współczynnika Poissona.....1312
Współczynnik korekcyjny sztywności gruntu Rb.....1312
Współczynnik określający część obciążenia przenoszoną przez podstawę dla pala nieściśliwego BETAo.....1313
Współczynnik korekcyjny ściśliwości pala Ck.....1314
Współczynnik korekcyjny do współczynnika Poissona Cv.....1315
Współczynnik korekcyjny sztywności podłoża gruntowego Cb.....1316
Współczynnik sztywności pala K.....1317
Podstawowy współczynnik wpływu osiadania Io.....1317
Współczynnik korekcyjny ściśliwości pala Rk.....1318
Współczynnik korekcyjny dla skończonej miąższości warstwy na podłożu sztywnym Rh 1319
Nośność pozioma - podłoże sprężyste.....1320
Stały rozkład modułu reakcji podłoża.....1321
Liniowy rozkład modułu reakcji podłoża.....1321
Moduł reakcji podłoża zgodnie z CSN 73 1004.....1322
Moduł reakcji podłoża wg Matlock'a i Rees'a.....1323
Moduł reakcji podłoża według Vesic'a.....1324
Nośność pozioma - metoda Broms'a.....1324
Obliczenia w programie Pal CPT.....1326
Nośność.....1327
EN 1997-2 (EC7).....1328
NEN 6743.....1328
LCPC (Bustamante).....1329
Określanie równoważnego średniego oporu gruntu pod stożkiem sondy.....1329
Metoda Schmertmanna.....1330
Określanie średniego oporu gruntu pod stożkiem sondy.....1331
Współczynnik korelacji K.....1332
Ujemne tarcie na pobocznicy.....1333
Współczynnik tarcia na pobocznicy ALFA s.....1334
Wpływ prekonsolidacji (OCR).....1337
Współczynnik wpływu kształtu pala s.....1338
Współczynnik wpływu poszerzenia podstawy pala BETA.....1338

Współczynnik redukcji nośności podstawy pala ALFA p.....1339
Grupa pali.....1340
Obliczanie osiadania podstawy pala.....1341
Wykresy służące do obliczeń osiadania.....1341
Obliczanie granicznej krzywej obciążeniowej (obciążenie-osiadanie).....1343
Obliczenia.....1343
Analiza według EN 1997-2.....1343
Współczynniki korelacyjne do wyznaczania nośności pali na podstawie badań CPT 1344
Analiza według współczynnika bezpieczeństwa.....1345
Analiza według teorii stanów granicznych.....1345
Fundamenty bezpośrednie CPT.....1345
Analiza nośności pionowej.....1346
Metoda Meyerhofa (CPT).....1346
Metoda Schmertmanna (CPT).....1347
Metoda Skemptona (CPT).....1349
Metoda Meyerhofa (SPT).....1352
NF P94-261 (PMT).....1353
Analiza osiadania.....1356
Metoda Schmertmanna (CPT).....1356
Metoda NAVFAC DM7 (SPT).....1358
NF P94-261 (PMT).....1360
Grupa pali.....1362
Rozwiązanie analityczne.....1362
Grunty niespoiste (analiza w warunkach z odpływem).....1362
Efektywność grupy pali.....1363
Grunty spoiste (analiza w warunkach bez odpływu).....1364
Analiza według współczynnika bezpieczeństwa.....1364
Analiza według teorii stanów granicznych.....1365
Osiadanie grupy pali.....1365
Metoda sprężysta.....1367
Wyznaczanie sztywności sprężyn pionowych.....1368
Mikropal.....1368
Analiza według teorii współczynnika bezpieczeństwa.....1369
Analiza według teorii stanów granicznych.....1369
Analiza rury mikropala.....1370
Nośność przekroju złożonego.....1371

Żywotność mikropala....1371
Współczynnik wpływu korozji....1371
Nośność przekroju złożonego obciążonego siłą normalną....1372
Nośność przekroju złożonego obciążonego kombinacją momentu zginającego i siły normalnej....1373
Wpływ wyboczenia....1374
Nośność wewnętrzna....1375
Metoda geometryczna (Eulera)....1376
Rozwiązanie według Salasa....1378
Stała A odzwierciedlająca rodzaj podparcia głowicy mikropala....1378
Współczynnik f....1379
Rozwiązanie według Souche'go....1379
Moduł reakcji poziomej gruntu....1380
Obliczanie modułu reakcji poziomej podłoża gruntowego Er....1380
Wartości modułu reakcji podłoża gruntowego Ep....1381
Nośność buławy mikropala....1383
Metoda Lizzi....1383
Tarcie na pobocznicy buławy....1384
Metoda Littlejohna....1385
Metoda Zwecka....1386
Metoda Bowlesa....1386
Metoda Véas'a....1387
Współczynniki sposobu wykorzystania mikropala....1388
Nośność buławy mikropala w skale....1388
Tarcie na pobocznicy i nośność buławy mikropala w skale....1389
Metoda Bustamante (SPT, presjometer PMT)....1389
Tarcie na pobocznicy buławy mikropala - wykresy....1390
Badania polowe....1392
Sondowanie statyczne CPT (Cone Penetration Test)....1392
Klasyfikacja gruntów według Robertsona....1393
Współczynnik penetrometru (przekroju netto)....1397
Import badania CPT....1397
Sondowania dynamiczne DPT (Dynamic Penetration Test)....1398
Sondowanie SPT (Standard Penetration Test)....1400
Sondowanie presjometryczne (PMT)....1402
Badanie dylatometryczne (DMT)....1404
Analiza osiadania....1405

Naprężenie pod fundamentem.....1406
Całkowite osiadanie i obrót fundamentu.....1407
Wpływ głębokości posadowienia i podłoża nieściśliwego.....1408
Wpływ podsypki piaskowo-żwirowej.....1409
Analiza za pomocą modułu edometrycznego.....1410
Analiza za pomocą stałej ściśliwości C.....1411
Analiza za pomocą wskaźnika ściśliwości.....1411
Analiza według NEN (Buismann, Ladd).....1411
Analiza za pomocą modelu Soft Soil.....1413
Analiza osiadania według teorii Janbu.....1414
Analiza osiadania gruntów niespoistych.....1414
Analiza osiadania gruntów gruboziarnistych.....1414
Analiza osiadania dla piasków i pyłów.....1415
Analiza osiadania prekonsolidowanych piasków i pyłów.....1415
Analiza osiadania gruntów spoistych.....1416
Analiza osiadania dla prekonsolidowanych gruntów spoistych.....1416
Analiza osiadania z wykorzystaniem DMT (modułu dylatometrycznego).....1417
Teoria osiadania.....1418
Osiadanie pierwotne.....1419
Osiadanie wtórne.....1421
Obliczenia konsolidacji.....1422
Wyznaczanie głębokości aktywnej.....1424
Teoria wytrzymałości strukturalnej.....1424
Metoda ograniczenia wartości naprężenia pierwotnego.....1425
Parametry w analizie osiadania.....1426
Wskaźnik ściśliwości.....1427
Moduł edometryczny.....1429
Stała ściśliwości.....1431
Stała ściśliwości 10.....1432
Wskaźnik porowatości.....1432
Wskaźnik ściśliwości przy powtórnym obciążeniu.....1433
Parametry w teorii Janbu.....1434
Wpływ historii obciążania.....1434
Współczynnik m.....1435
Zmodyfikowany wskaźnik ściśliwości.....1436
Wskaźnik ściśliwości wtórnej.....1437
Wskaźnik prekonsolidacji ściśliwości wtórnej.....1439

Obliczenia w programie wyrobisko....1439
Analiza niecki osiadania....1439
Strata objętości....1439
Zalecane wartości parametrów do obliczeń straty objętości....1440
Teoria klasyczna....1442
Analiza podłoża uwarstwionego....1443
Kształt niecki osiadania....1445
Współczynnik obliczania punktu przegięcia....1446
Niecka osiadania przy kilku wyrobiskach....1446
Analiza niecki osiadania na głębokości....1446
Obliczanie innych zmiennych....1447
Analiza uszkodzeń budynków....1447
Zarysowanie przy rozciąganiu....1448
Gradient niecki....1448
Przemieszczenie względne....1449
Analiza fragmentu budynku....1450
Wymiarowanie konstrukcji betonowych....1451
EN 1992-1-1 (EC2)....1451
Materiały, współczynniki, oznaczenia....1451
Standardowe wartości współczynników częściowych....1452
Analiza przekroju poprzecznego z betonu niezbrojonego....1454
Analiza prostokątnego przekroju żelbetowego....1456
Analiza żelbetowego przekroju kołowego....1458
Analiza fundamentu bezpośredniego na przebicie....1460
Projektowanie zbrojenia podłużnego w płytach....1462
Projektowanie zbrojenia na ścinanie w płytach....1463
Sprawdzenie rozwarcia rys....1463
CSN 73 1201 R....1464
Materiały, współczynniki, oznaczenia....1464
Analiza przekroju poprzecznego z betonu niezbrojonego....1465
Analiza prostokątnego przekroju żelbetowego....1466
Analiza żelbetowego przekroju kołowego....1468
Analiza fundamentu bezpośredniego na przebicie....1470
Projektowanie zbrojenia podłużnego w płytach....1471
Projektowanie zbrojenia na ścinanie w płytach....1472
CSN 73 6206....1472
PN-B-03264 : 2002....1473

Materiały, współczynniki, oznaczenia....1474
Analiza przekroju poprzecznego z betonu niezbrojonego....1474
Analiza prostokątnego przekroju żelbetowego....1476
Analiza żelbetowego przekroju kołowego....1477
Analiza fundamentu bezpośredniego na przebicie....1478
Projektowanie zbrojenia podłużnego w płytach....1479
Projektowanie zbrojenia na ścinanie w płytach....1481
BS 8110 : 1997....1481
Materials, Coefficients, Notation....1481
Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete....1482
Verification of Rectangular RC Cross-Section....1483
Verification of Circular RC Cross-Section....1485
Verification of Spread Footing for Punching Shear....1486
Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs....1487
Projektowanie zbrojenia na ścinanie w płytach....1488
IS 456....1489
Materials, Coefficients, Notation....1489
Verification of Rectangular Cross-Sections Made of Plain Concrete....1490
Verification of Rectangular RC Cross-Section....1491
Verification of Circular RC Cross-Section....1493
Verification of Spread Footing for Punching Shear....1494
Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs....1495
Design of Shear Reinforcement for Slabs....1496
ACI 318-11....1497
Materials, Coefficients, Notation....1497
Analiza przekroju poprzecznego z betonu niezbrojonego....1497
Analiza prostokątnego przekroju żelbetowego....1498
Analiza żelbetowego przekroju kołowego....1500
Analiza fundamentu bezpośredniego na przebicie....1501
Projektowanie zbrojenia podłużnego w płytach....1503
Projektowanie zbrojenia na ścinanie w płytach....1504
AS 3600 - 2001....1504
Materials, Coefficients, Notation....1504
Verification of Rectangular Cross-Sections Made of Plain Concrete....1505
Verification of Rectangular RC Cross-Section....1505
Verification of Circular RC Cross-Section....1507
Verification of Spread Footing for Punching Shear....1508

Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs.....1509
Design of Shear Reinforcement for Slabs.....1510
SNiP 52-101 - 2003.....1511
Materials, Coefficients, Notation.....1511
Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete.....1512
Verification of Rectangular RC Cross-Section.....1513
Verification of Circular RC Cross-Section.....1514
Verification of Spread Footing for Punching Shear.....1515
Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs.....1516
Design of Shear Reinforcement for Slabs.....1517
GB 50010 - 2010.....1517
Materials, Coefficients, Notation.....1518
Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete.....1518
Verification of Rectangular RC Cross-Section.....1519
Verification of Circular RC Cross-Section.....1521
Verification of Spread Footing for Punching Shear.....1523
Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs.....1524
Design of Shear Reinforcement for Slabs.....1525
NZS 3101-2006.....1526
Materials, Coefficients, Notation.....1526
Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete.....1527
Verification of Rectangular RC Cross-Section.....1528
Verification of Circular RC Cross-Section.....1530
Verification of Spread Footing for Punching Shear.....1532
Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs.....1534
Design of Shear Reinforcement for Slabs.....1534
CSA A23.3-14.....1535
Materials, Coefficients, Notation.....1535
Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete.....1536
Verification of Rectangular RC Cross-Section.....1537
Verification of Circular RC Cross-Section.....1539
Verification of Spread Footing for Punching Shear.....1540
Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs.....1542
Design of Shear Reinforcement for Slabs.....1543
NBR 6118-2014.....1543
Materials, Coefficients, Notation.....1543
Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete.....1544

Verification of Rectangular RC Cross-Section....1546
Verification of Circular RC Cross-Section....1547
Verification of Spread Footing for Punching Shear....1549
Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs....1550
Design of Shear Reinforcement for Slabs....1551
Wymiarowanie przekrojów stalowych....1551
Sprawdzenie według EN 1993-1-1 (EC 3)....1553
Sprawdzenie według CSN 73 1401....1554
Sprawdzenie według teorii współczynnika bezpieczeństwa....1555
Sprawdzenie według teorii stanów granicznych....1556
GB 50017-2003....1557
Wymiarowanie przekrojów drewnianych....1558
EN 1995-1-1 (EC5)....1559
Sprawdzenie według współczynnika bezpieczeństwa....1561
Sprawdzenie według teorii stanów granicznych....1562
Wymiarowanie konstrukcji murowanych....1562
Wymiarowanie ściany murowanej według AS 3700....1562
Wymiarowanie muru zgodnie z EN 1996-1-1....1564
Wymiarowanie ściany oporowej - konstrukcja murowana według EN 1996-1-1....1565
GB 50003-2011 - Gravity Wall....1567
Wymiarowanie grodzic plastikowych (winylowych)....1568

Używanie pomocy

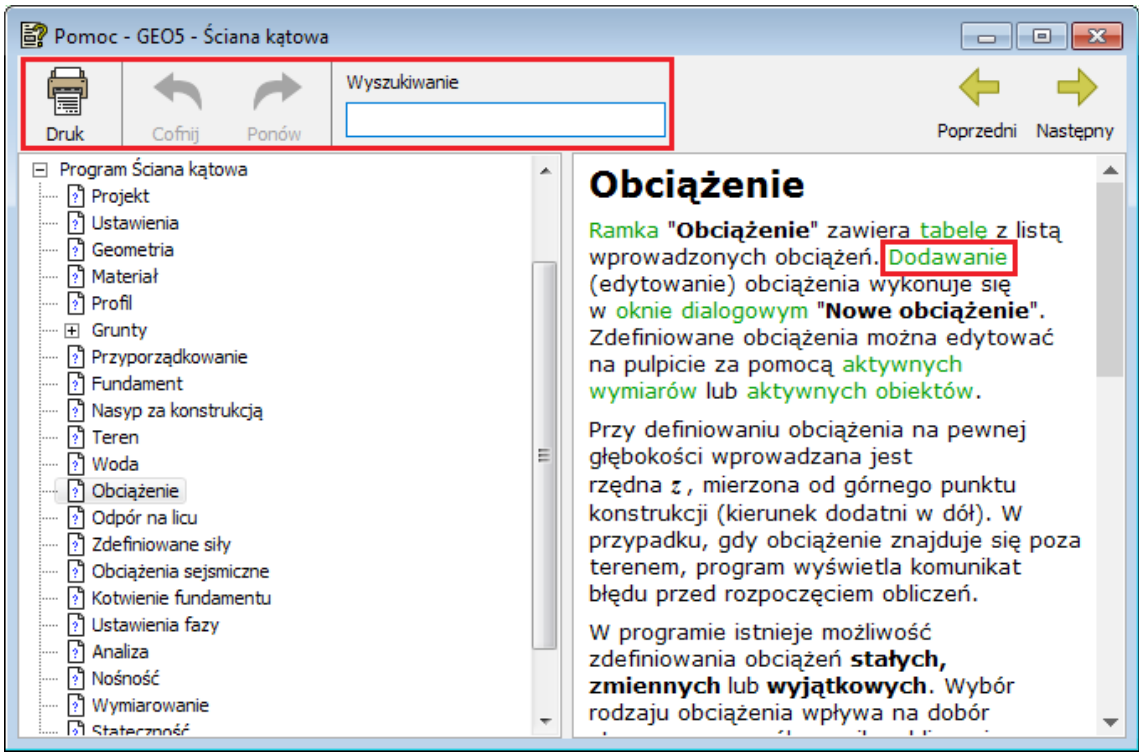
Pomoc tekstowa wszystkich naszych programów wyświetlana jest w standardowym oknie dialogowym. Pomoc może być uruchomiona przez menu programu (pozycje "**Pomoc**", "**Zawartość**") bądź za pomocą przycisku funkcyjnego "**F1**" w dowolnym miejscu programu.

Niektóre okna dialogowe (np. "**Dodaj nowy grunt**") umożliwiają otwarcie odpowiadającego im rozdziału Pomocy poprzez naciśnięcie przycisku pomocy "?".

Okno dialogowe zawiera:

- Pasek z przyciskami podstawowych narzędzi. Przycisk "**Drukuj**" otwiera okno dialogowe drukowania. Przyciski ("**Cofnij/Ponów**") umożliwiają przemieszczanie się pomiędzy stronami wcześniej przeglądanymi. Przyciski "**Poprzedni/Następny**" umożliwiają przemieszczanie się pomiędzy stronami menu "**Drzewiastego**".
- Pole wpisywania "Wyszukaj".
- "**Drzewo**", ktore zawiera listę tematów - poszczególne pozycje w tym drzewie są o**twierane/zamykane** poprzez kliknięcie symboli "⊞"/"⊟" przed nazwą.
- Okno do wyświetlania tekstu pomocy - nagłówek okna zawiera nazwę aktualnie wyświetlanej strony.

Każdy tekst pomocy może zawierać także odsyłacze do innych pozycji. Tekst tych odsyłaczy jest zaznaczony kolorem zielonym.

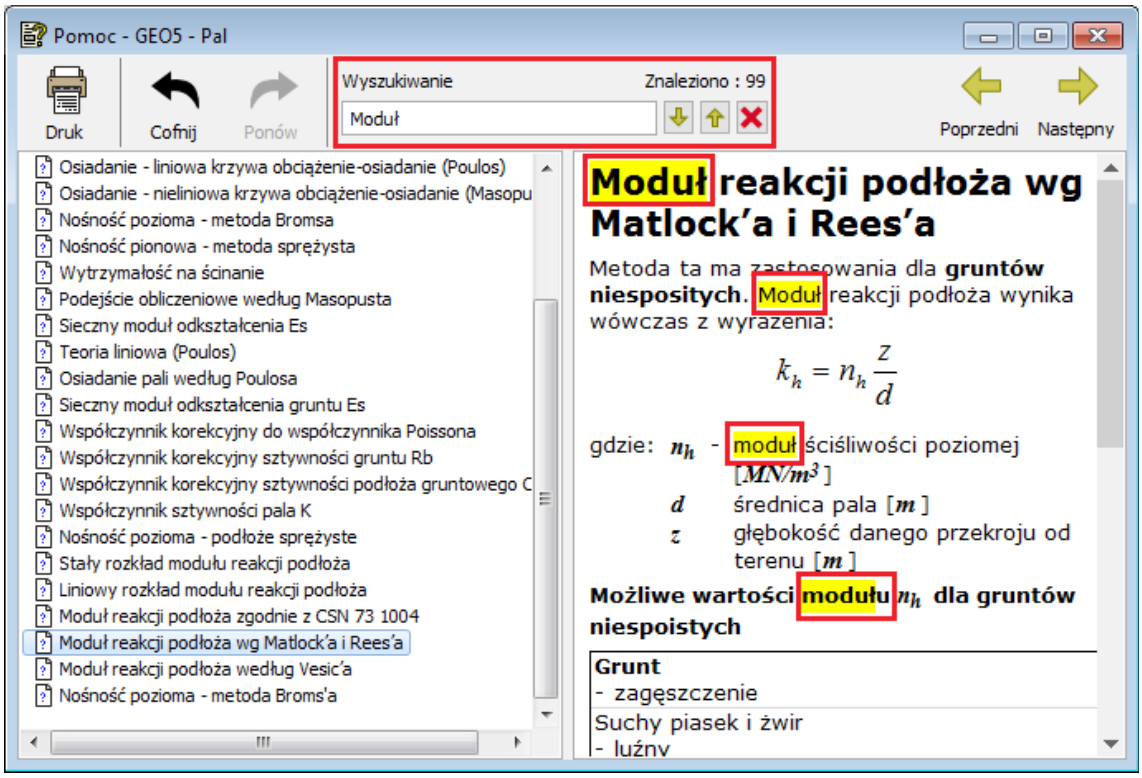


Okno dialogowe "Pomoc" - zakładka "Spis treści"

Używanie funkcji wyszukaj

Funkcja "**Wyszukaj**" pozwala wyszukać dowolny tekst w tematach pomocy:

- Wyszukiwany tekst należy wpisać w pole "**Wyszukiwanie**".
- Wyszukiwanie uruchamiane jest automatycznie poprzez wpisanie tekstu.
- Algorytm wyszukuje wprowadzony do okna tekst w każdym wyrażeniu, w którym jest on chociażby częściowo zawarty.
- Wyszukiwany tekst podświetlony jest na żółto.
- Lista znalezionych stron zawierających wyszukiwany tekst wyświetlana jest z lewej strony okna dialogowego.
- Przyciski " / " umożliwiają poruszanie się pomiędzy stronami w menu "**Drzewiastym**".
- Wyszukiwanie zostanie zakończone i pojawi się wyjściowe menu drzewiaste poprzez wciśnięcie przycisku "", "**Cofnij**" lub po kliknięciu na dowolny link kontekstowy.



Okno dialogowe "Pomoc" - zakładka "Wyszukiwanie"

Środowisko użytkownika

Programy GEO5 są standardowymi aplikacjami systemu Windows respektującymi właściwości interfejsu tego systemu.

Środowisko aplikacji (użytkownika) opisane jest na stronach:

- Okno aplikacji
- Menu sterowania
- Paski narzędzi i sterowania

- Wizualizacja 3D
- Konfiguracja rysunku
- Ramki
- Tabele
- Okna dialogowe

Funkcje myszy opisane są na stronach:

- Aktywne wymiary i obiekty
- Funkcje myszy
- Kontekstowe menu myszy

Wszystkie programy GEO5 obsługują dwa **systemy jednostek** (Metryczne / Angielskie).

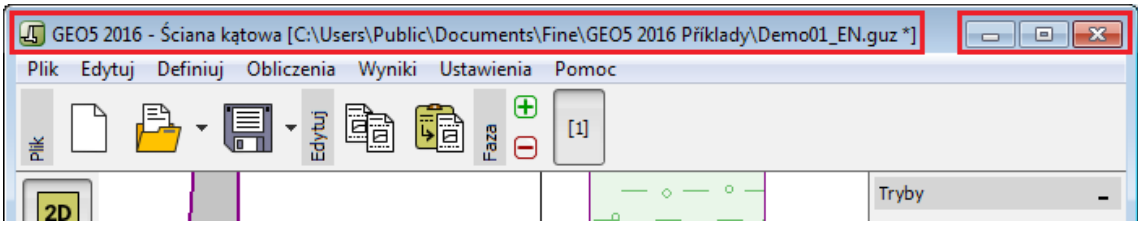
Funkcje schowka opisane są na stronach:

- Kopiowanie do schowka
- GeoSchowek

Programy pozwalają na ustawianie innych, indywidualnych ustawień, np. **Parameterów wydruku**, **Kopiowania do Schowka** oraz **Parametrów definiowania** (funkcji **cofnij - ponów**, **dowiąż do siatki,** poziome i pionowe **linijki**) w oknie dialogowym "Opcje".

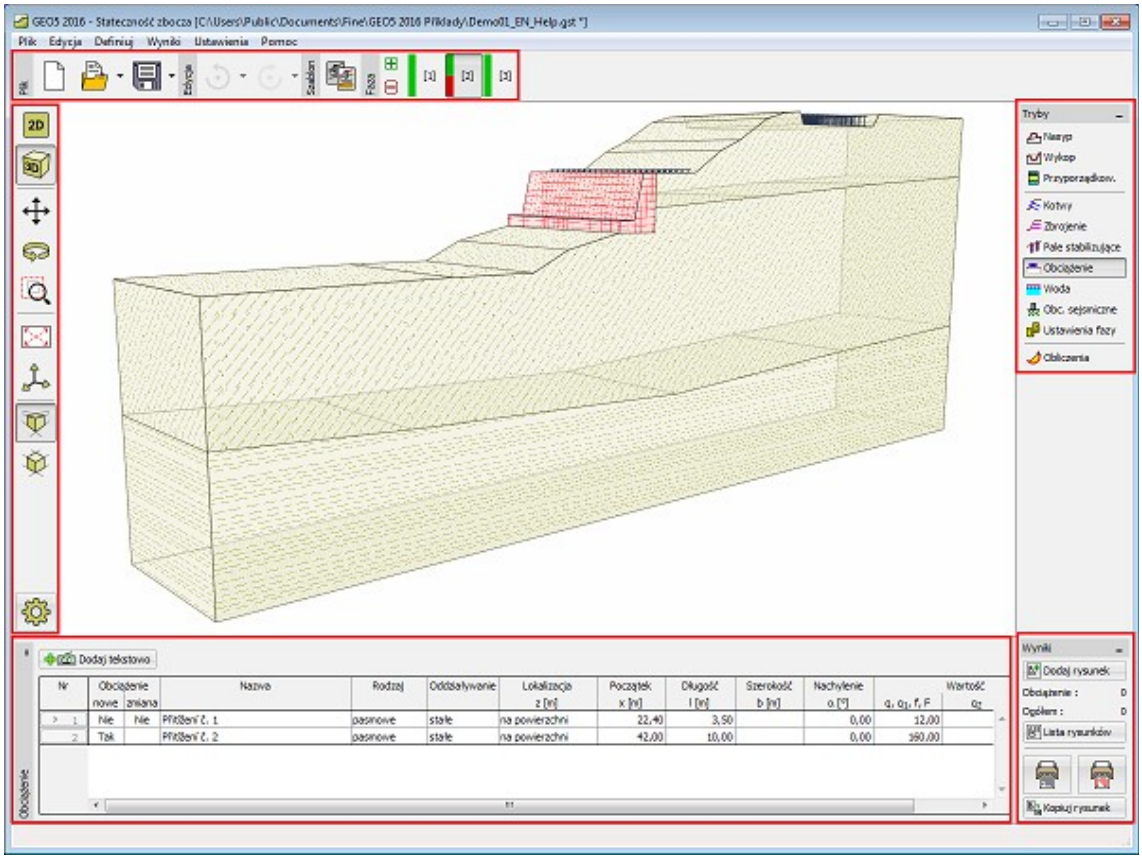
Okno aplikacji

Aplikacja uruchamiana jest w standardowym oknie dialogowym zawierającym wszystkie narzędzia do zarządzania typowe dla środowiska Windows (minimalizowanie, maksymalizowanie i zamykanie okna programu). Nagłówek okna wyświetla informacje o aktualnie wykonywanym zadaniu (nazwa pliku i jego położenie) - patrz rysunek:



Narzędzia do zarządzania oknem aplikacji

Okno programu zawiera menu sterowania, paski narzędzi i sterowania, oraz pulpit, na którym wizualizowane jest analizowane zadanie. Dolna część pulpitu wyświetla ramki, które pozwalają użytkownikowi wprowadzać rozmaite parametry wejściowe zadania. Położenie poszczególnych elementów na pulpicie zostało przedstawione na poniższym rysunku:



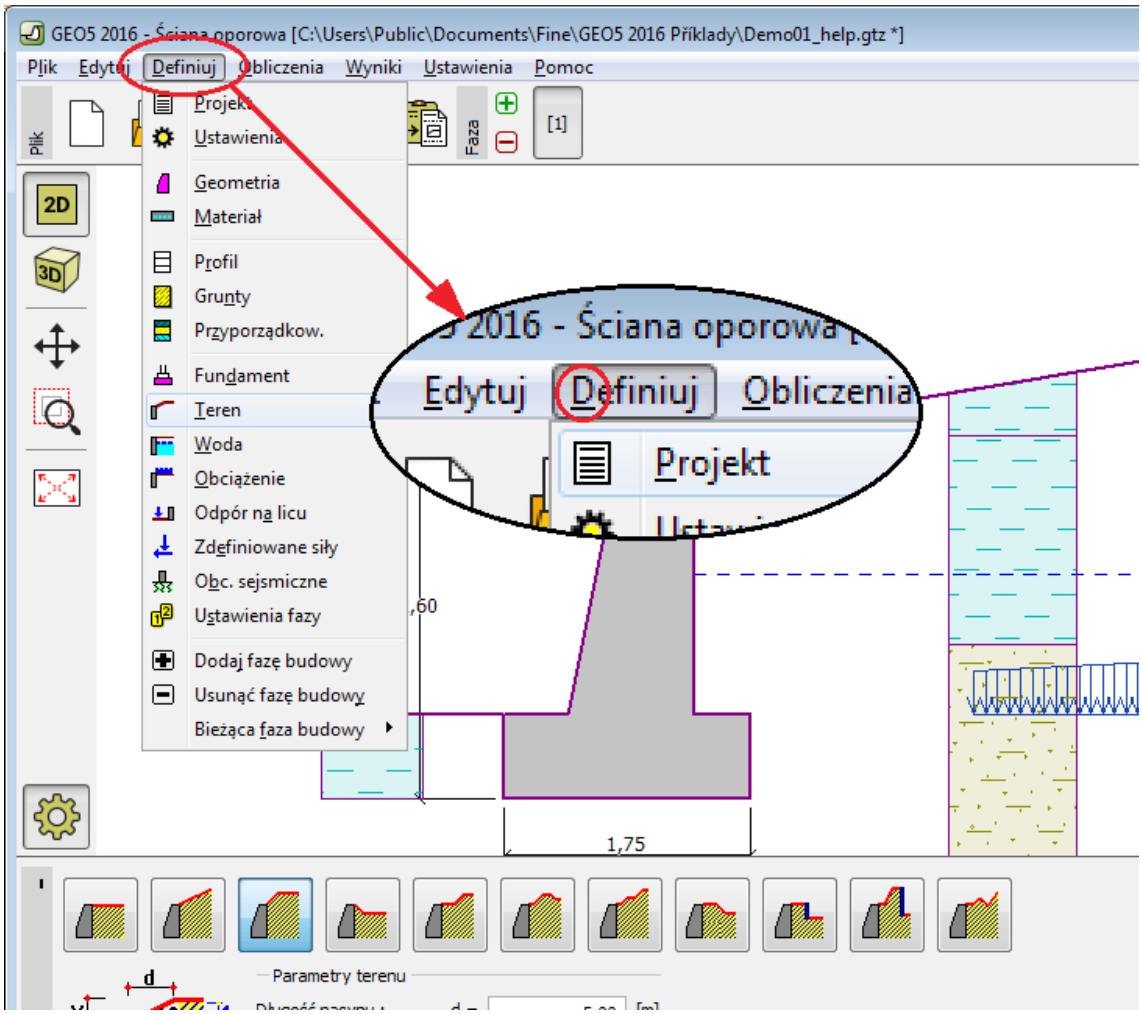
Rozmieszczenie narzędzi programu

Menu sterowania

Wyboru pozycji z menu dokonuje się poprzez kliknięcie **lewym przyciskiem myszy**, lub alternatywnie, za pomocą klawiatury, naciskając **ALT + podkreśloną literę** w wybranej pozycji menu.

W środowisku Windows istnieje możliwość zastąpienia niektórych opcji w menu przyciskami na poszczególnych paskach narzędzi lub poleceniami skrótu wprowadzanymi z klawiatury (pod warunkiem, że są wyświetlane obok polecenia w menu - np. **Zapisz plik - CTRL+S**).

Niektóre z opcji w programie mogą być ustawiane przy pomocy menu - np. "Opcje" programu.

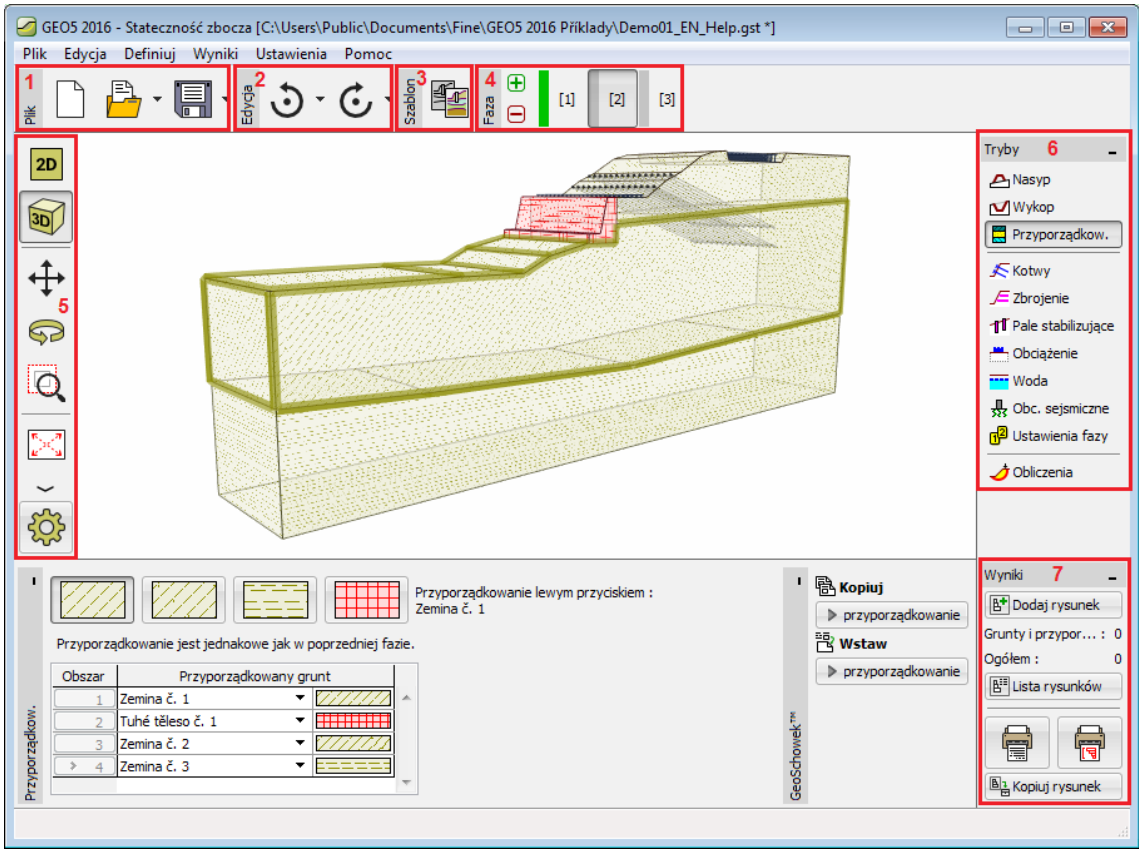


Menu sterowania w programie GEO5

Paski narzędzi i sterowania

Program zawiera następujące paski narzędzi i sterowania:

- (1) Plik
- (2) Edytuj
- (3) Szablon
- (4) Faza
- (5) Wizualizacja
- (6) Tryby
- (7) Wyniki



Lokalizacja na Pulpicie Pasków Narzędzi i Sterowania

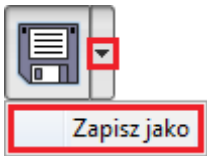
Plik

Przyciski na pasku narzędzi służą do pracy z plikami. Pasek narzędzi zawiera następujące przyciski:



Pasek narzędzi "Plik"

Niektóre przyciski podzielone są na dwie części dzięki czemu przycisk może kontrolować więcej funkcji (prawa strona ze strzałką).



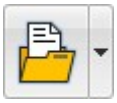
Wykorzystanie przycisku do większej liczby funkcji

Funkcje poszczególnych przycisków są następujące:



Nowy plik

- Otwiera nowy plik - jeśli istnieje plik wcześniej otwarty w tym samym oknie, program zwróci uwagę użytkownikowi o konieczności zapisu niezapisanych danych.



Otwórz plik

- Otwiera istniejący plik - jeśli istnieje plik wcześniej otwarty w tym samym oknie, program zwróci uwagę użytkownikowi o konieczności zapisu niezapisanych danych.



Otwórz ostatnie pliki

- Otwiera listę ostatnio edytowanych plików.



Zapisz dane do pliku

- Zapisuje dane aktualnie otwartego zadania - w przypadku gdy nie została wcześniej przypisana do zadania nazwa, program otwiera okno dialogowe "**Zapisz jako**".



Zapisz jako

- Otwiera okno dialogowe "**Zapisz jako**" - aktualnie otwarte zadanie może być zapisane pod inną nazwą lub w innej lokalizacji.

Edytuj

Przyciski na pasku narzędzi służą do pracy z danymi w bieżącym zadaniu. Pasek narzędzi ma inny wygląd w programach 1D i 2D. Pasek ten zawiera następujące przyciski.

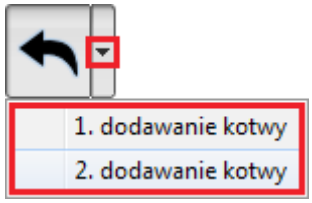


Pasek narzędzi "Edytuj" - programy 1D



Pasek narzędzi "Edytuj" - programy 2D

Niektóre przyciski podzielone są na dwie części dzięki czemu przycisk może kontrolować więcej funkcji (prawa strona ze strzałką).



Zastosowanie przycisku do większej liczby funkcji

Funkcje poszczególnych przycisków są następujące:



Kopiuj dane do schowka

- Kopiuje dane z bieżącego zadania do schowka



Wstaw

- Otwiera okno dialogowe i wstawia wybrane dane z innego programu GEO5 - przykładowo z programu "**Parcie**" do programu "**Ściana oporowa**".



Cofnij

- Cofa ostatni wykonany krok (funkcja ta jest dostępna wyłącznie w w programach o środowisku 2D i musi być

włączona w oknie "Opcje").

Cofnij (więcej kroków)
- Otwiera listę kroków, które mogą zostać cofnięte.

Ponów
- Przywraca jeden cofnięty krok (funkcja ta jest dostępna wyłącznie w w programach o środowisku 2D i musi być włączona w oknie "Opcje").

Ponów (więcej kroków)
- Otwiera listę kroków, które mogą być ponowione.

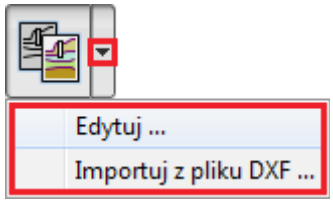
Szablon

Przyciski na pasku narzędzi służą do pracy z szablonami DXF. Pasek ten zawiera następujące przyciski:



Pasek narzędzi "Szablon"

Niektóre przyciski podzielone są na dwie części dzięki czemu przycisk może kontrolować więcej funkcji (prawa strona ze strzałką). Funkcja ta pojawia się na przycisku dopiero po wgraniu szablonu.



Zastosowanie przycisku do większej liczby funkcji

Funkcje poszczególnych przycisków są następujące:

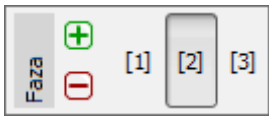
Szablon
- Importuje szablon z pliku DXF. W przypadku gdy szablon jest wczytany **włącza** / **wyłącza** jego wizualizację na pulpicie.

Edytuj
- Otwiera okno dialogowe edycji warstw szablonu.

Import z pliku DXF
- Otwiera okno dialogowe importu nowego szablonu z pliku DXF.

Fazy budowy

Ten paskek narzędzi służy do zarządzania fazami budowy. Rysunek przedstawia położenie poszczególnych przycisków:



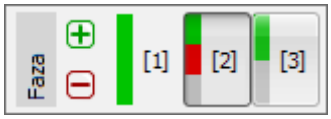
Pasek narzędzi "Fazy"

	Dodaje fazę budowy	• dodaje nową fazę budowy na końcu listy
	Usuwa fazę budowy	• usuwa ostatnią fazę budowy z listy
[1] [2]	**Faza budowy 1,2 ...**	• przełącza pomiędzy poszczególnymi fazami budowy - wyboru dokonuje się za pomocą lewego przycisku myszy

Pasek ten umożliwia definiowanie faz budowy. Fazy budowy służą do modelowania stopniowego tworzenia budowy (**niezbędne dla programów** "**Ściana - analiza**", "**Osiadanie**", "**MES**"). Funkcję tę można również wykorzystać do studiów parametrycznych, aby w każdej fazie budowy założyć inne przyporządkowanie gruntu lub inne współczynniki obliczeniowe. Korzystnie jest również modelować skutki obciążeń sejsmicznych w odrębnej fazie budowy, bowiem można wówczas założyć różne współczynniki bezpieczeństwa bądź różne współczynniki obliczeniowe.

Dla poszczególnych typów wprowadzanych danych (przyporządkowanie gruntu, kotwy, podpory…) zawsze istnieje powiązanie w fazach budowy (Dziedziczność).

W niektórych programach status obliczeń fazy budowy oznaczony jest paskami o różnych kolorach.



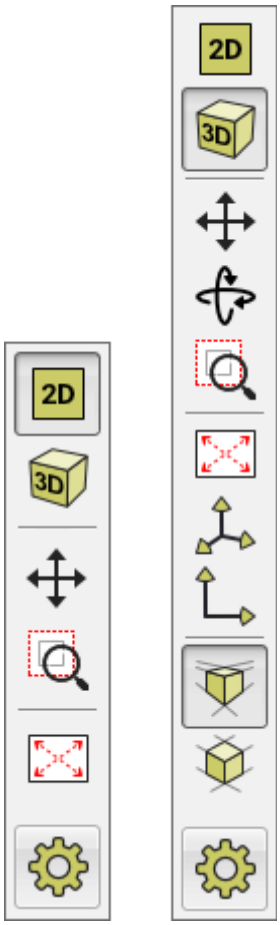
Pasek narzędzi "Fazy" z kolorowymi paskami statusu obliczeń

Kolory mają następujące znaczenie:

- [1] zielony - w obrębie fazy przeprowadzono analizę, której wynik JEST SATYSFAKCJONUJĄCY
- [2] czerwony - w obrębie fazy przeprowadzono analizę, której wynik NIE JEST SATYSFAKCJONUJĄCY
- [3] szary - w danej fazie budowy istnieje analiza, która nie została jeszcze przeprowadzona

Wizualizacja

Przyciski na pasku narzędzi pozwalają użytkownikowi na zmianę ustawień wizualizacji na pulpicie. Pasek narzędzi ma inny wygląd w trybie 2D i 3D. Pasek ten zawiera następujące przyciski.



Pasek narzędzi "Wizualizacja" - wygląd paska narzędzi w trybie 2D i 3D

Funkcje poszczególnych przycisków są następujące:



Widok 2D

- Włącza tryb wizualizacji 2D.



Widok 3D

- Włącza tryb wizualizacji 3D.



Przesunie pokazany fragment

- Przesuwa aktualny widok w określonym kierunku - aby wykonać przesunięcie należy poruszyć myszką w wybranym kierunku trzymając wciśnięty lewy przycisk na myszce.



Obróci obraz

- Obraca wyświetlony rysunek w określonym kierunku (Widok 3D) - aby poruszyć obrazem należy przesunąć myszkę trzymając wciśnięty lewy przycisk na myszce.



Pokaże zaznaczony obszar

- Przeskalowuje widok, w taki sposób, aby wszystkie obiekty były widoczne (wciskając lewy przycisk na myszce).



Zmień skalę

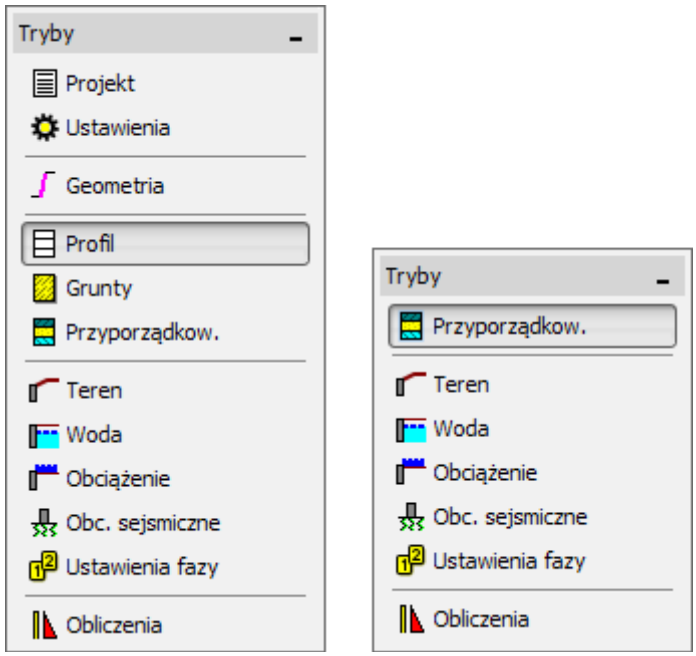
- Przeskalowuje widok, w taki sposób, aby wszystkie obiekty były widoczne (wciskając lewy przycisk na myszce).

Predefiniowany widok 3D	• Pokazuje predefiniowany widok 3D rysunku (Widok 3D).
Predefiniowany widok 2D	• Widok w kierunku osi Z
Widok w perspektywie	• Pokazuje widok rysunku w perspektywie (Widok 3D).
Widok w aksonometrii	• Pokazuje widok aksonometryczny rysunku (Widok 3D).
Ustawienia wizualizacji	• Przycisk ten otwiera ramkę "Konfiguracja rysunku". W ramce tej można dokonać modyfikacji parametów rysunku.

Tryby

Pionowe paski narzędzi służą do wyboru trybu wprowadzania danych (Projekt, Geometria, Profil itp), łącznie z typem analizy i sprawdzenia. Wybór trybu z tego paska powoduje wyświetlenie w dolnej części pulpitu odpowiedniej ramki definiowania danych.

Pasek ten zawiera wyłącznie te ramki, w których definiowanie danych w danym momencie ma sens. Oznacza to, że w przypadku zadań obejmujących więcej faz budowy, pasek narzędzi jest kompletny, jednakże niektóre pozycje są niedostępne w kolejnych fazach budowy. Nie ma możliwości zmiany danych w brakujących ramkach.



Pasek sterowania "Tryby" do przełączania trybów definiowania danych

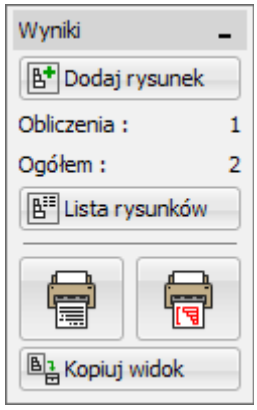
Wyniki

Osobny pasek narzędzi służy do zarządzania rysunkami i dokumentacją wynikową.

Przycisk "**Dodaj rysunek**" otwiera okno dialogowe "Nowy rysunek". Następna linia na pasku podaje liczbę zapisanych rysunków w danym trybie wprowadzania danych. Linia "**Ogółem**" pokazuje całkowita liczbę zapisanych rysunków. Przycisk "**Lista rysunków**" otwiera listę rysunków.

Pozostałe dwa przyciski otwierają okna dialogowe "Druk i eksport dokumentacji" oraz "Druk i eksport rysunku".

Przycisk "**Kopiuj rysunek**" zapisuje do schowka aktualny widok wyświetlany na pulpicie.

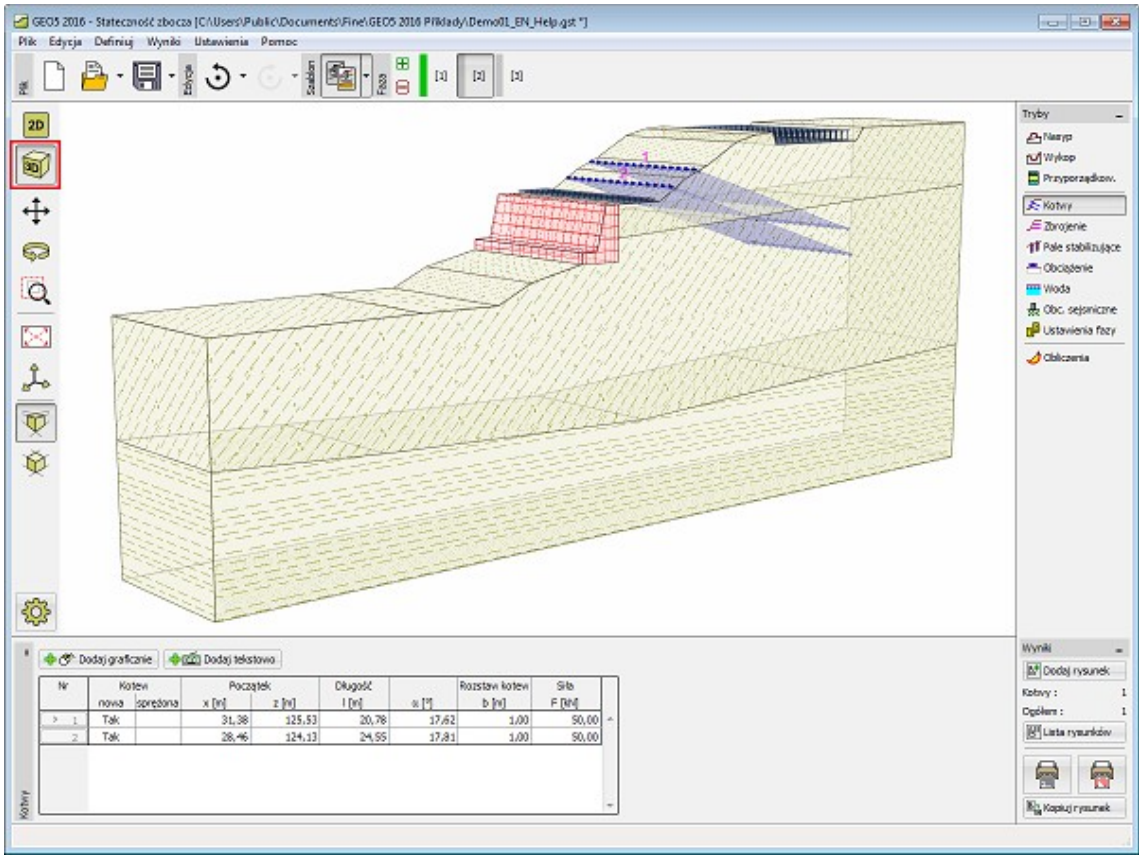


Pasek sterowania "Wyniki"

Wizualizacja 3D

Programy (1D i 2D) umożliwiają wizualizację obrazów 3D na pulpicie. Wizualizacja 3D ma charakter informacyjny i służy do lepszej orientacji w konstrukcji (np. wyszukania błędnej lokalizacji obiektów) oraz prezentacji wyników.

Wizualizację 3D można wybrać na pasku narzędzi "Wizualizacja", który zawiera także narzędzia do pracy z wizualizacją.



Wizualizacja 3D

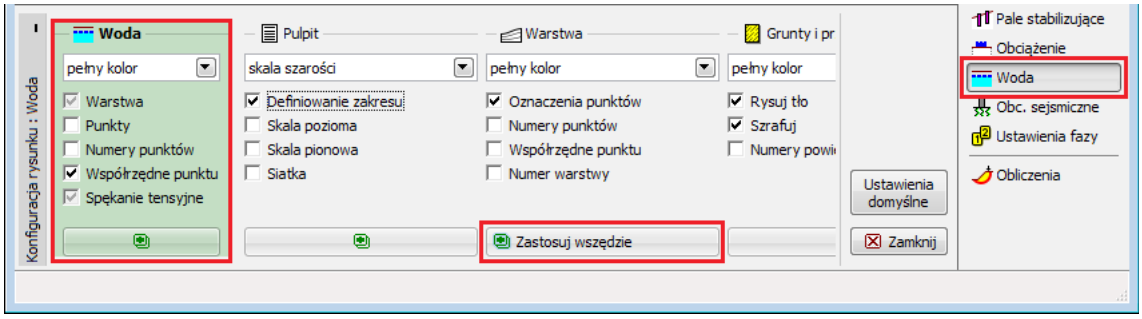
Konfiguracja rysunku

W ramce "**Konfiguracja rysunku**", można ustawić parametry wizualizacji (tego co widoczne jest na pulpicie). W każdej ramce istnieje możliwość przełączenia się do trybu "**Konfiguracja rysunku**" poprzez kliknięcie przycisku na pasku "Wizualizacja".



Przycisk ustawień wizualizacji

Poszczególne kolumny w oknie odpowiadają poszczególnym ramkom. Po lewej stronie są zawsze ustawienia dla ramki bieżącej (ramka "**Woda**" na rysunku). W kolejnych kolumnach definiuje się wizualizację innych obiektów. Istnieje możliwość definiowania ustawień wizualizacji wyłącznie tych obiektów, które są aktualnie przeglądane.



Ramka "Konfiguracja rysunku"

Przycisk "**Zastosuj wszędzie**" w dolnej części każdej kolumny powoduje przypisanie zdefiniowanych parametrów wizualizacji do **wszystkich** ramek.

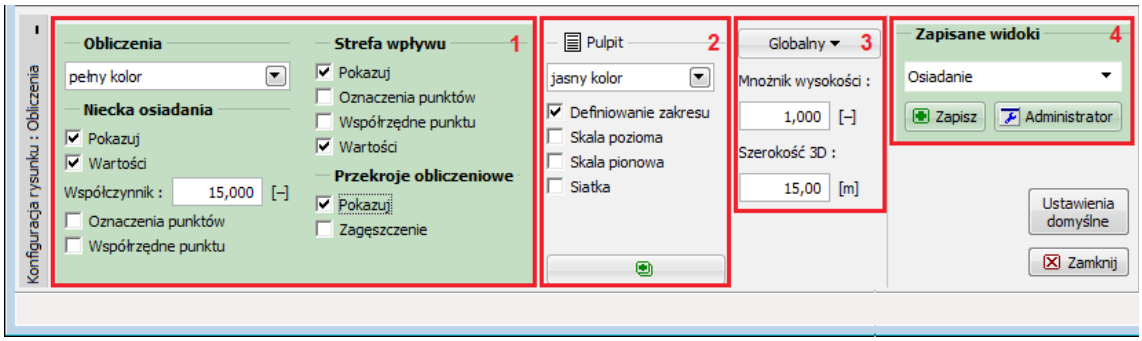
Przycisk "**Ustawienia domyślne**" powoduje przyjęcie wszystkich parametrów domyślnych.

Ustawienia w tej ramce służą głównie definiowaniu parametrów wizualizacji na pulpicie – ustawienia parametrów rysunków wynikowych do wydruków są definiowane w trybie "Dodawanie rysunków".

Ramka może również zawierać kolumny ze specjalnymi ustawieniami, które są wyświetlane tylko w kilku przypadkach, w niektórych programach:

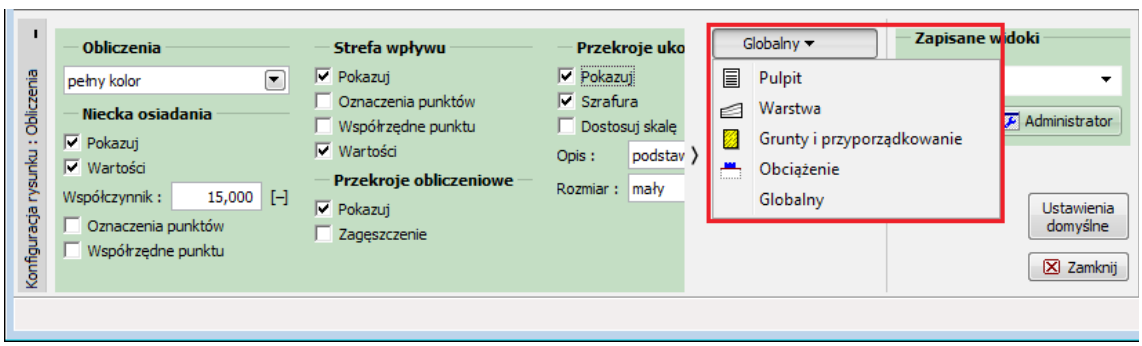
- Ustawienia wizualizacji wyników obliczeń (**1**).
- Pulpit (programy 2D) - definiuje pewne specjalne ustawienia (definiowanie zakresu, skali); są one ustawieniami globalnymi dla wszystkich ramek (**2**).
- Globalny - Mnożnik wysokości (programy 2D) - umożliwia zmianę skali w kierunku pionowym (z) (**3**).
- Globalny - Rozciągnięcie Rysunku (programy 1D) - umożliwia zmianę skali w kierunku poziomym (x) (**3**).
- Globalny - Szerokość 3D - definiuje szerokość konstrukcji wizualizowanej w trybie wizualizacji 3D (**3**).
- Zapisane widoki (programy Osiadnie, MES) (**4**).

Ustawianie kolorów tła, stylów linii i wypełnień odbywa się we wszystkich programach w "Administratorze stylów widoku".



Ramka "Ustawienia Wizualizacji" - ustawienia specjalne

Pierwsza kolumna w tej ramce czasami jest podzielona na kilka sekcji (np. ustawienia wizualizacji wyników). W tym przypadku, kolumny są łączone w jedną w innych ramkach. Istnieje możliwość wyboru ramki, której wizualizacja ma być ustawiana, poprzez użycie przycisku w nagłówku kolumny.

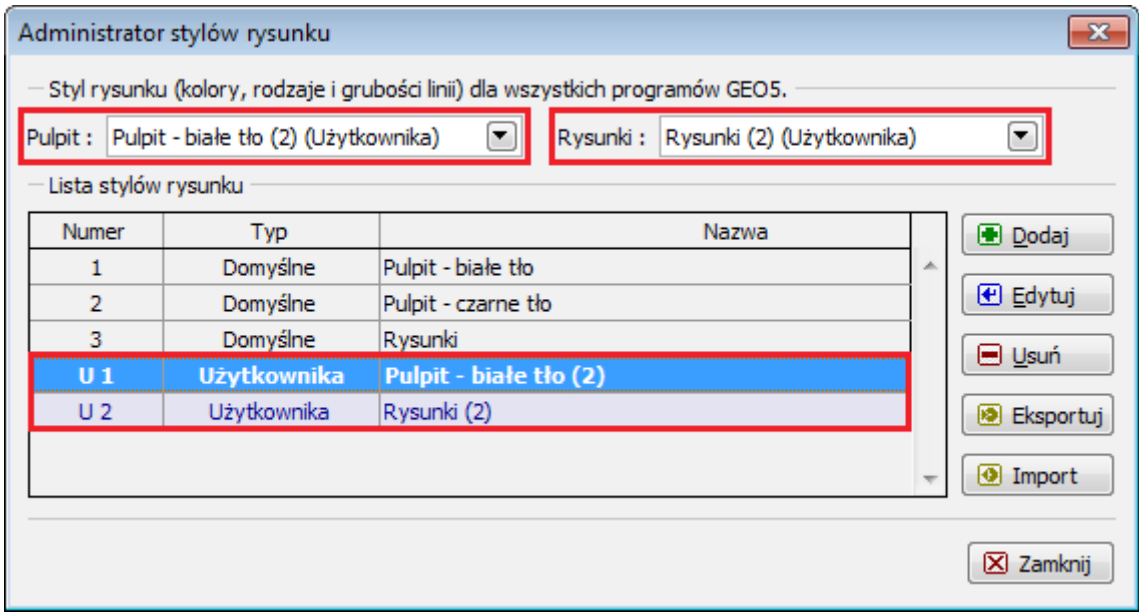


Ramka "Ustawienia Wizualizacji" - połączenie kliku sekcji (kolumn)

Administrator stylów rysunku

Administrator stylów rysunku umożliwia globalne ustawienie stylów rysunku (kolorów, stylów linii i wypełnienia, wyboru kolorów). Okno dialogowe dostępne jest z menu (pozycje "**Ustawienia**", "**Styl rysunku**"). Użytkownik może określić styl wizualizacji dla rysunków na pulpicie lub dla wyników dla wszystkich programów GEO5.

Styl wizualizacji konstrukcji definiowany jest z wykorzystaniem list rozwijanych "**Pulpit**" i "**Rysunki**".



Okno dialogowe "Administrator stylów rysunku"

Program zawiera trzy predefiniowane style rysunku - dwa dotyczące wizualizacji na pulpicie (białe lub czarne tło) oraz jeden do rysunków. Istnieje także możliwość zdefiniowania własnych stylów rysunku przez użytkownika.

Kroki definiowania własnego Stylu rysunku:

Wybierz jeden styl rysunku z "**Listy stylów rysunku**".

Wciśnij przycisk "**Dodaj**" - otwarte zostanie okno dialogowe "**Dodaj styl rysunku**".

W oknie dialogowym "**Pokaż ustawienia dla programu**" z listy rozwijanej można dokonać wyboru pokazywanych ustawień dla poszczególnych programów lub dla wszystkich programów pakietu GEO5.

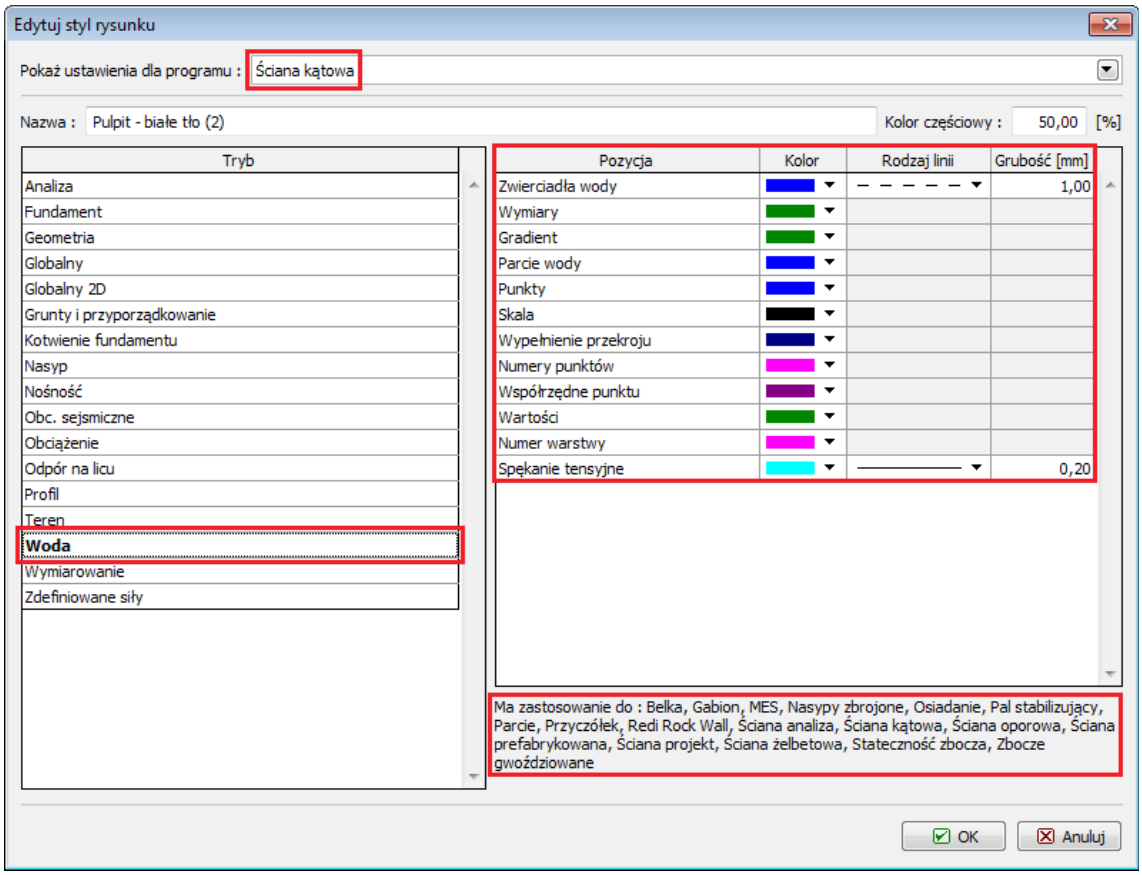
W oknie dialogowym "**Nazwa**" należy zdefiniować nazwę własnego stylu rysunku.

Z listy "**Tryb**" (z lewej strony okna) **należy wybrać tryb**, np. Zdefiniowane siły, Nasyp, Kotwienie fundamentu...), dla którego chcieliby Państwo dokonać zmiany stylu rysunku. W prawej części okna definiuje się nowe style poszczególnych obiektów w wybranym trybie (np. Zwierciadła wody, Wymiary, Gradient itp.).

Lista programów GEO5, których dotyczy zmiana pokazana jest w dolnej części okna.

Przykład: Jeśli zmieniamy styl rysunku (kolor, rodzaj linii i jej grubość) dla "Rys rozciąganych" (tryb Woda) w programie Ściana kątowa, nowe ustawienia **będą obowiązywały także we wszystkich programach** wymienionych na liście w dolnej części okna **(Belka, Gabion, MES**

itp.). Nowe ustawienia będą zapisane po przyciśnięciu przycisku "**OK**". Zdefiniowane i zapisane nowe ustawienie będzie dodane do **"Listy stylów rysunku"** i będzie dostępne w listach rozwijanych "**Pulpit**" oraz "**Rysunki**". Po dodaniu nowego stylu rysunku, aby został zastosowany dla pulpitu lub wydruku, **konieczne jest wybranie go** z odpowiedniej listy rozwijanej.



Okno dialogowe "Edytuj styl rysunku"

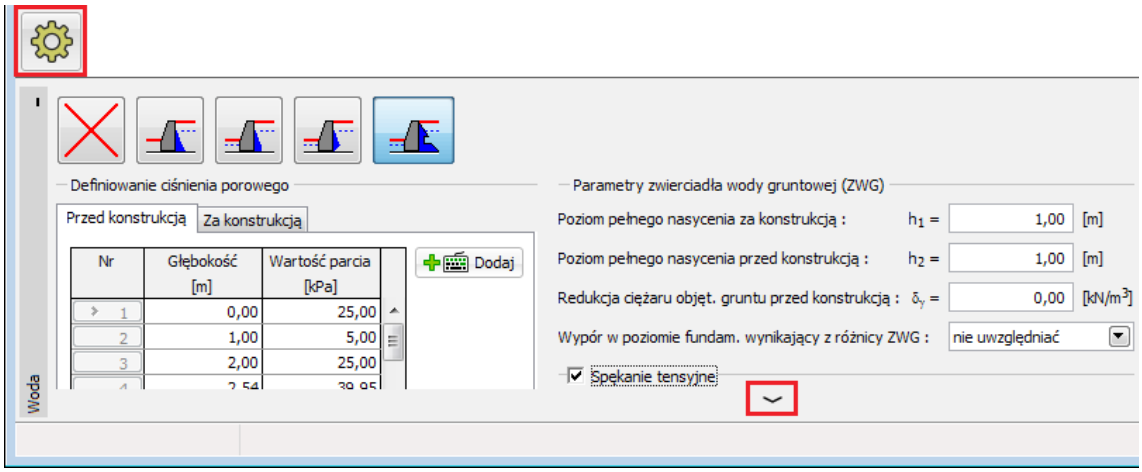
Ramki

Ramka jest stale otwartym oknem w dolnej części okna aplikacji. Ramki zmieniają się w zależności od wybranego trybu wprowadzania danych danego zadania wybranego z paska narzędzi Tryby oraz przy użyciu przycisku na pasku narzędzi "Konfiguracja rysunku". Ramka może zawierać następujące pozycje: tabela, lista wyboru, pola do wprowadzania danych (h_1, h_2....) oraz przyciski poleceń.

Przy wybieraniu danych z wykorzystaniem klawiatury należy stosować klawisz funkcyjny "**Tab**" razem ze strzałką kursora do przemieszczania się w obrębie wybranego elementu (np. po liście wyboru). Zaznaczenie pól wyboru wykonywane jest za pomocą klawisza spacji, a przy użyciu myszy - lewym przyciskiem myszy.

Przyciski, które otwierają okna dialogowe ("**Dodaj**", "**Dodaj w oknie**" oraz "**Dodaj graficznie**") mogą być kontrolowane wyłącznie za pomocą lewego klawisza myszy.

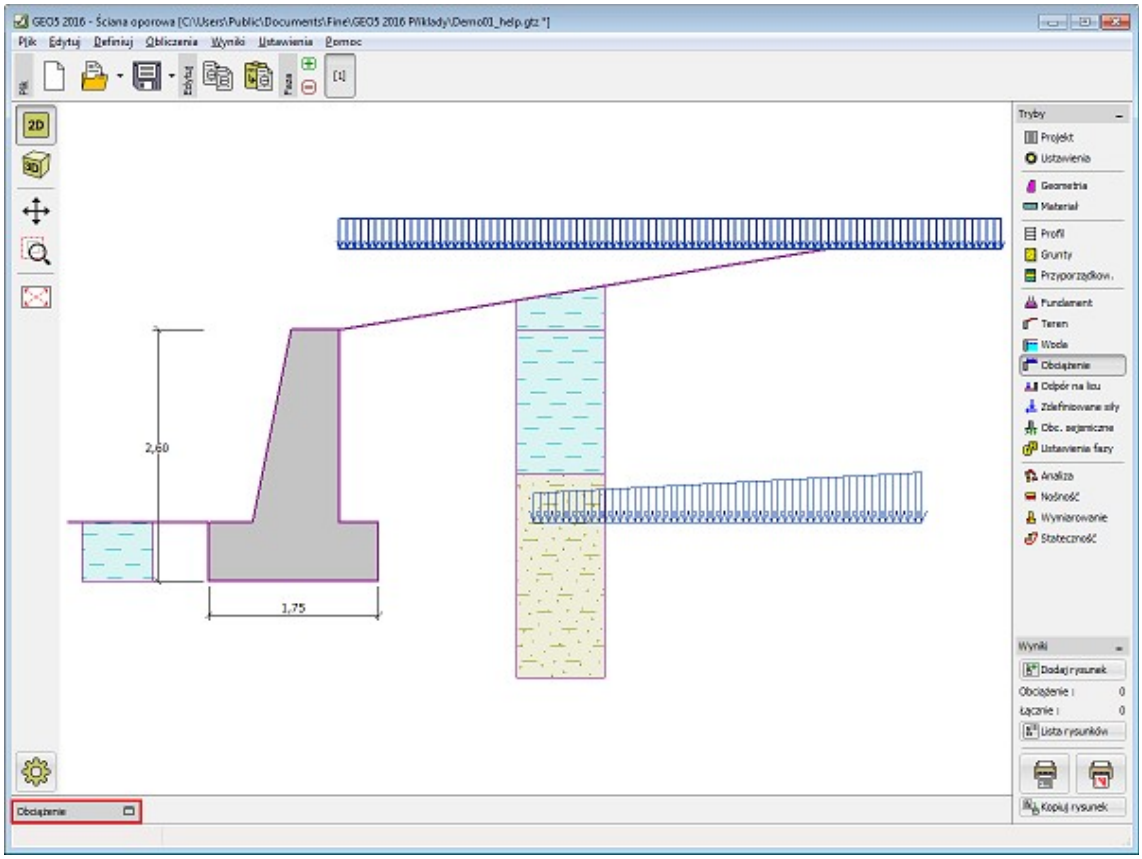
W przypadku gdy okno ramki jest niewystarczająco szerokie (lub wysokie), tak aby wszystkie elementy były widoczne, istnieje mozliwość przesunięcia ramki w pionie lub w poziomie za pomocą strzałek.



Elementy sterowania ramką

Ramkę można zminimalizować za pomocą przycisku w lewym górnym rogu. W takim przypadku, powstała wolna przestrzeń zajmowana jest przez rysunek. Istnieje także możliwość zmiany wysokości ramki poprzez kliknięcie lewym klawiszem myszki na górną krawędź ramki a następnie przesunięcie jej w górę lub w dół. W niektórych przypadkach, bardziej korzystne jest wykorzystanie przestrzeni ramki na zwiększenie obszaru rysunku. Jest to możliwe ze względu na to, że program wykorzystuje system aktywnych wymiarów i aktywnych obiektów, co powoduje, że ramka nie musi być stale wyświetlana.

W celu przywrócenia (zmaksymalizowania) ramki do jej pierwotnego rozmiaru należy przycisnąć przycisk z nazwą ramki, znajdujący się w lewym, dolnym rogu pulpitu. Jeżeli ramka jest zminimalizowana, np. w trybie "**Woda**", pozostaje ukryta nawet po przełączeniu do innych trybów wprowadzania danych.



Elementy sterowania ramką

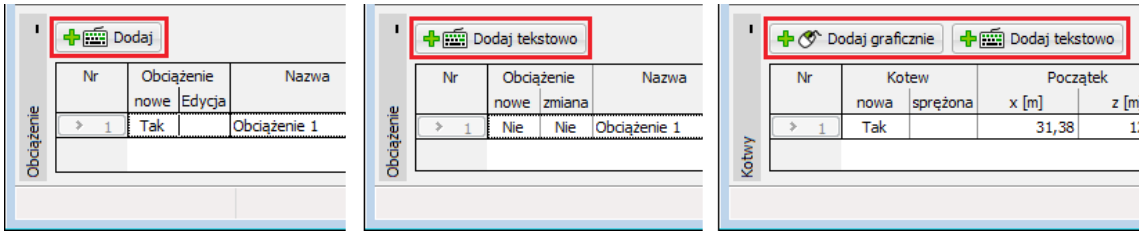
Tabele

Tabela jest listą zdefiniowanych danych wejściowych (np. listą obciążeń, gruntów, profili warstw itp.) Nagłówek tabeli zawiera listę pozycji (obciążenie, nazwa, szerokość, rozmiar...).

Dodawanie nowych pozycji do tabeli

Format tabeli zależy od wybranej ramki. Graficzne powiązania pomiędzy pozycjami w tabeli i na pulpicie są istotne. Niektóre dane (obiekty) mogą być definiowane tylko tekstowo, inne mogą być również definiowane graficznie za pomocą myszki. Jeśli program umożliwia zarówno definiowanie tekstowe jak i graficzne, wówczas obydwa przyciski są pokazane w tabeli.

W przypadku, gdy tabela **nie zawiera jeszcze żadnych pozycji** lub **żadna pozycja w tabeli nie została wybrana**, wówczas nad tabelą widoczne są tylko przyciski **"Dodaj"**, **"Dodaj w oknie"** lub **"Dodaj graficznie".** Użycie tych przycisków, powoduje dodanie nowych pozycji do tabeli.

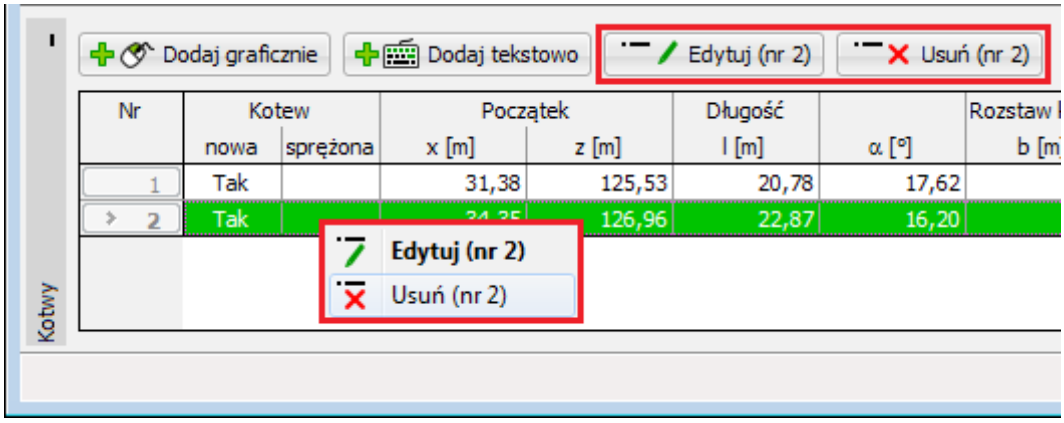


Dodawanie nowej pozycji do tabeli

Edytowanie pozycji w tabeli

Jeśli został wybrany rząd (podświetlony na zielono), przyciski **"Edytuj"** i **"Usuń"** ponad tabelą zostają aktywowane. **Numer pozycji** podawany jest w nawiasie. Używając tych przycisków można edytować poszczególne rzędy.

Wyboru pozycji można dokonać za pomocą lewego klawisza myszy. Kliknięcie prawego klawisza myszy otwiera natomiast **menu kontekstowe**.

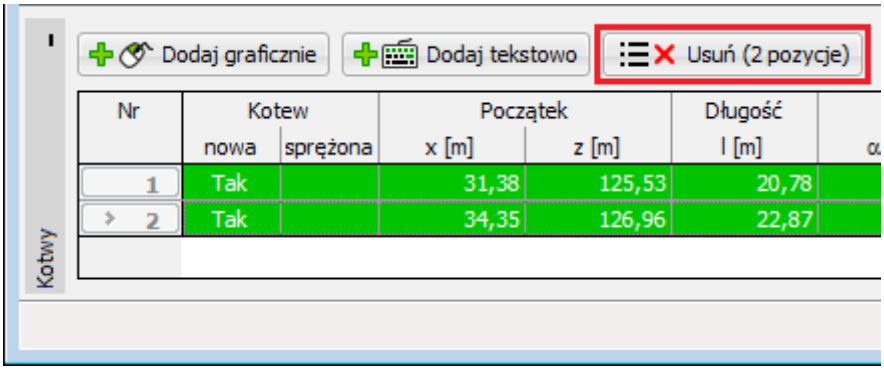


Edytowanie pozycji w tabeli

Jeśli operacja **dopuszcza** to (np. **usunięcie pozycji** z tabeli), wówczas istnieje możliwość edytowania większej liczby pozycji jednorazowo. Na rysunku poniżej wybrane są dwa rzędy. Można na nim zauważyć, że jedyną możliwością w tym przypadku jest usunięcie obydwu pozycji z tabeli, w związku z tym przycisk "**Edytuj**" jest niedostępny.

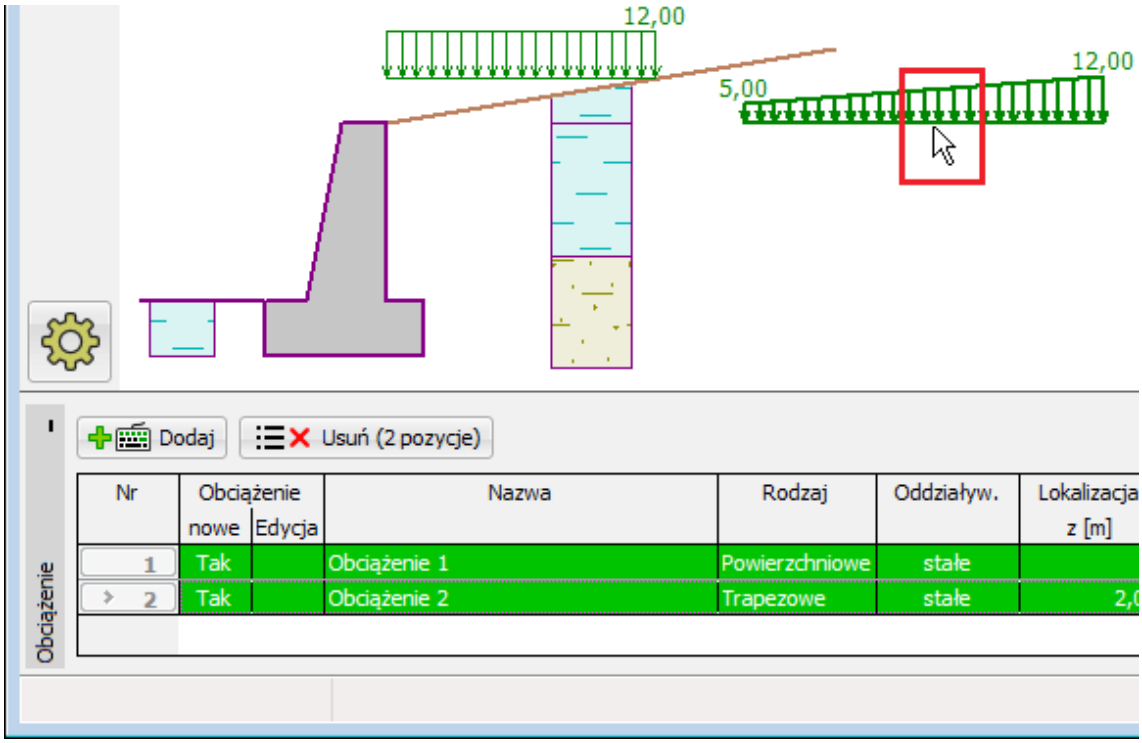
Wyboru większej liczby pozycji (rzędów) w tabeli dokonujemy przytrzymując klawisz CTRL i klikając lewym klawiszem myszy. Przytrzymując **SHIFT** i klikając lewym klawiszem myszy, wybierane są wszystkie rzedy powyżej lub poniżej wybranego rzędu.

Kliknięcie poza wybranymi rzędami tabeli, powoduje anulowanie dokonanych wcześniej wyborów.



Edytowanie większej liczby pozycji w tabeli

Stan wyboru rzędów w tabeli odpowiada wizualizacji obiektów na pulpicie (i odwrotnie). Jeśli rząd lub kilka rzędów są wybrane w tabeli, to odpowiednie obiekty na pulpicie są podświetlone w tym samym kolorze. Jeśli kursor myszy znajduje się nad obiektem, wówczas obiekt ten jest widoczny jako **pogrubiony**. Po kliknięciu przycisku "**Usuń**", obiekty i rzędy tabeli wyświetlane są na **czerwono**.



Wizualizacja wybranych obiektów

Oznaczanie obiektów takimi kolorami jest przyjęte domyślnie. Istnieje jednak możliwość zmiany tych ustawień w oknie dialogowym "Administrator Stylów Widoku".

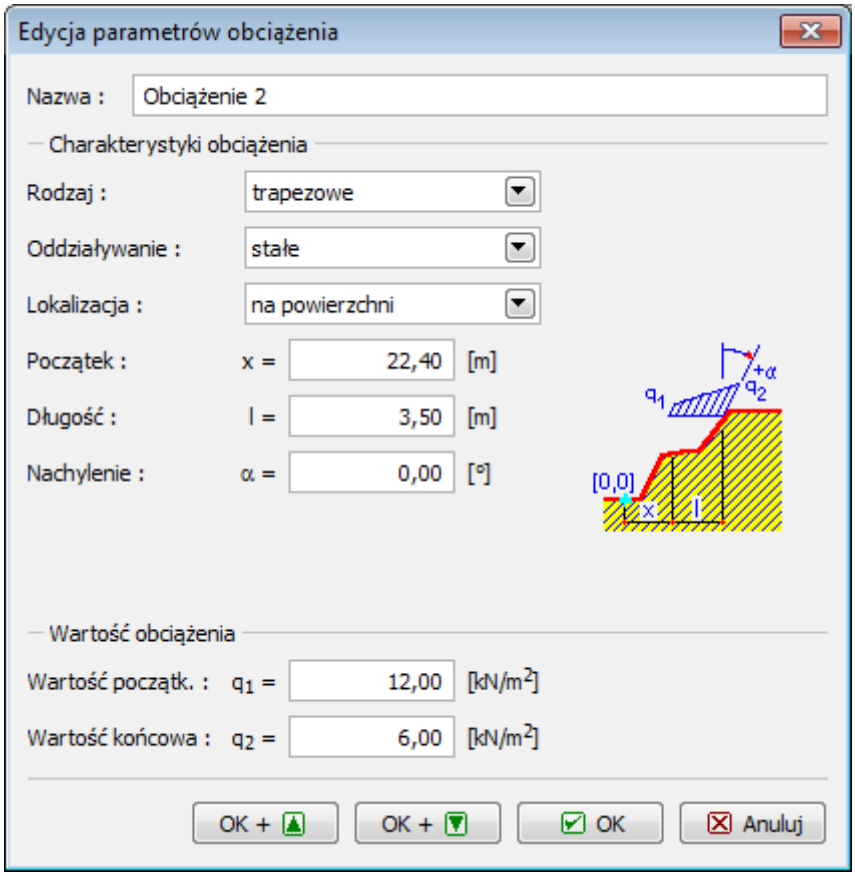
Okna dialogowe

Okno dialogowe jest jednym z elementów, które umożliwiają wprowadzanie danych do programu. We wszystkich programach GEO, okno dialogowe odpowiada zwykłemu zarządzaniu oknami w środowisku WINDOWS. Lewy przycisk myszy używany jest do wyboru obiektów w oknie lub alternatywnie klawisz "**Tab**" w przypadku używania klawiatury. Przy poruszaniu się w obrębie obiektu (np. pola definiowania) należy używać klawiszy strzałek oraz klawisza "**ENTER**".

Okno dialogowe może zawierać następujące pozycje: tabela, lista wyboru, pola wprowadzania danych (numer, tekst) oraz przyciski poleceń. Przycisk polecenia "**OK**" zatwierdza zaznaczenie, natomiast przycisk "**Anuluj**" opuszcza tryb wprowadzania.

Pod warunkiem, że okno zawiera pewien nietypowy element sterowania (lub gdy element ten posiada nietypowy efekt), wówczas jego funkcja jest opisana w odpowiednim trybie wprowadzania danych.

Dla przykładu rozważmy następujący rysunek przedstawiający okno dialogowe "**Edytuj dodatkowe obciążenie**", które zawiera przyciski "**OK+↑**" i "**OK+↓**". Przyciski te pozwalają użytkownikowi przemieszczać się na liście wprowadzonych dodatkowych obciążeń i jednocześnie potwierdzać zmiany dokonane w tym oknie. Naciśnięcie tego przycisku powoduje to samo działanie, co zamkniecie okna przyciskiem "**OK**" oraz jego ponowne otwarcie dla następnego elementu na liście.

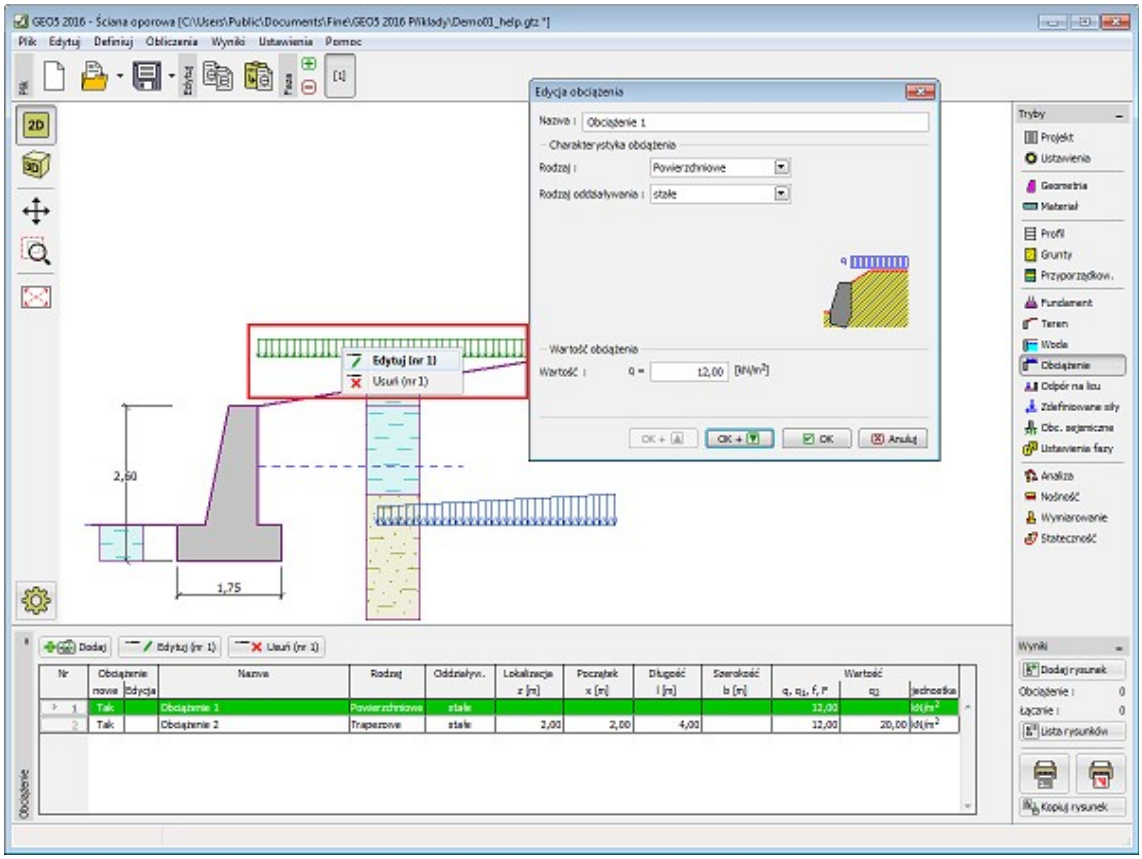


Przykładowe okno dialogowe

Aktywne wymiary i obiekty

System aktywnych wymiarów i obiektów pozwala na szybsze edytowanie wprowadzanych danych.

- **Aktywnym wymiarem** jest wymiar, który może być edytowany bezpośrednio na pulpicie. Wartość aktywnego wymiaru jest oznaczona ramką (linia przerywana). Kliknięcie tej wartości lewym przyciskiem myszki zmienia widok ramki (teraz rysowany jest linią ciągłą), kursor zaczyna migać i wymiar może być modyfikowany. Przycisk "**Enter**" zamyka tryb edycji. Zmiana jest natychmiast wyświetlana na pulpicie.
- **Aktywny obiekt** funkcjonuje w podobny sposób. Kliknięcie obiektu (dwukrotne) włącza tryb jego edycji. Jednak w tym przypadku, wartości nie są edytowane bezpośrednio na pulpicie, lecz w oknie dialogowym pierwotnie używanym do utworzenia tego obiektu. Rysunek przedstawia przykład aktywnego obiektu (obciążenie). Kliknięcie na pulpicie otwiera okno dialogowe "**Edycja obciążenia**". W przypadku obiektów aktywnych można również korzystać z opcji menu kontekstowego.

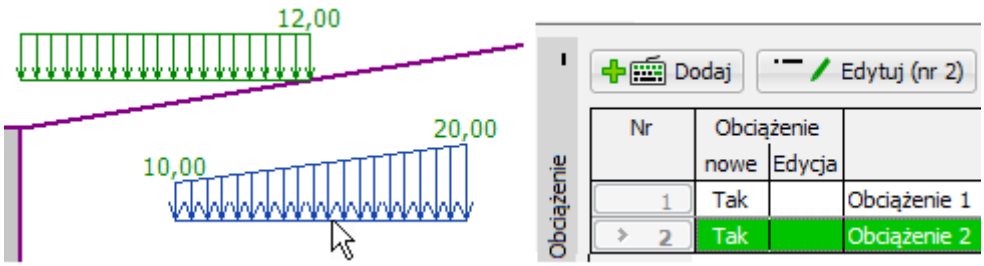


Przykład stosowania aktywnych wymiarów i aktywnych obiektów

Funkcje myszy

Podobnie jak inne aplikacje Windows, programy GEO5 także wykorzystują myszkę do kontroli.

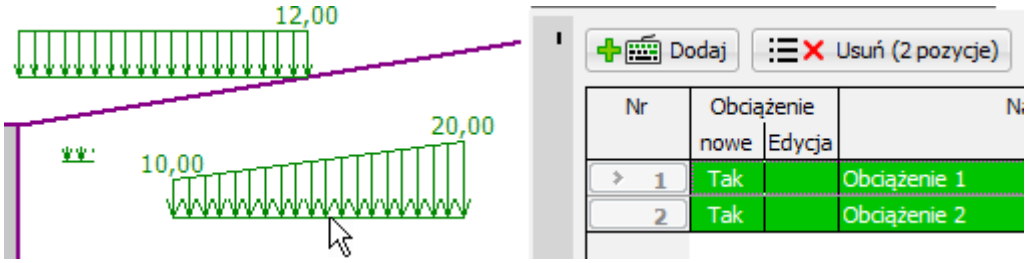
Zastosowanie	Ikona Myszy	Przycisk Myszy	Opis funkcji
Wybór		lewy	Obiekt aktywny lub rządek w tabeli może być wybrany poprzez kliknięcie lewego klawisza myszy.



Przykład zastosowania

Wybór wielokrotny		CTRL + lewy, SHIFT + lewy	Dowolna liczba obiektów aktywnych lub rzędów tabeli jest dodawana (lub usuwana) do wyboru po równoczesnym przytrzymaniu klawisza **CTRL** i kliknięciu lewego klawisza myszy. Wszystkie rzędy tabeli powyżej lub poniżej rzędu wybranego można

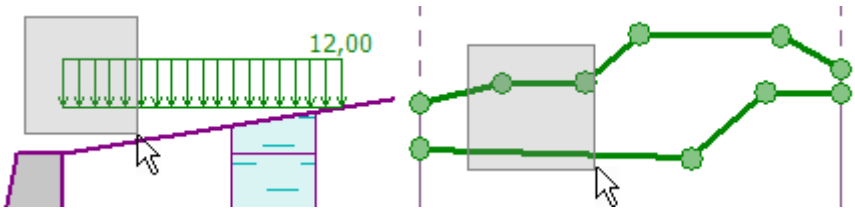
wybrać przytrzymując **SHIFT** i wciskając lewy klawisz myszy.



Przykład zastosowania

Wybór graficzny  lewy

Poprzez przytrzymanie lewego przycisku myszy i przeciągnięcie myszą, zostaje stworzony podświetlony obszar. Obiekty aktywne w tym obszarze (nawet wybrane częściowo) zostają dodane do wyboru.

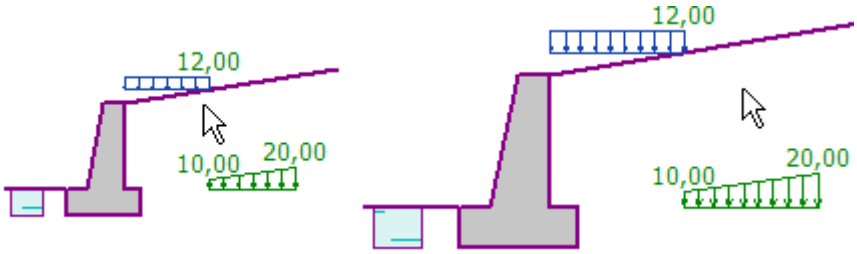


Przykład zastosowania

Zmiana skali 

Środkowy (kółko, ang. scroll)

Obracanie kółkiem myszy powoduje zmniejszanie lub zwiększane obrazu z pozostawieniem środka poza ramką.

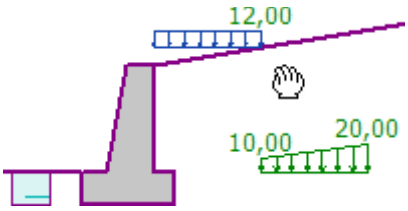


Przykład zastosowania

Zmiana skali 

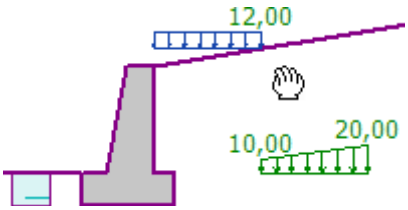
Środkowy (kółko, ang. scroll)

Podwójne kliknięcie kółkiem myszy powoduje przeskalowanie wizualizacji do powiększenia maksymalnego, takiego, że wszystkie obiekty są widoczne na pulpicie.



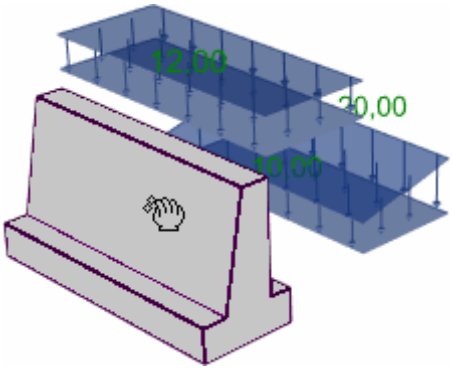
Przykład zastosowania

Przesunięcie		Środkowy (kółko, ang. scroll)	Przycisnięcie i przytrzymanie środkowego przycisku myszy (kółka), a następnie jej przesuwanie powoduje przesunięcie widoku w dowolnym kierunku.



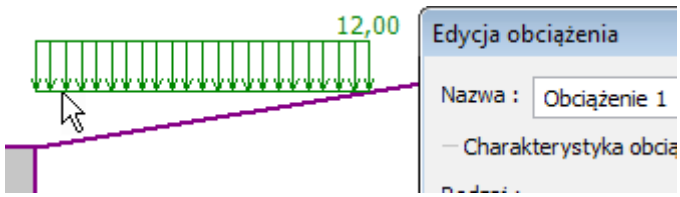
Przykład zastosowania

Obrót		Środkowy (kółko, ang. scroll)	Przytrzymanie przycisku **CTRL** i przyciśnięcie środkowego przycisku myszy (kółka) spowoduje obrót wizualizacji 3D.



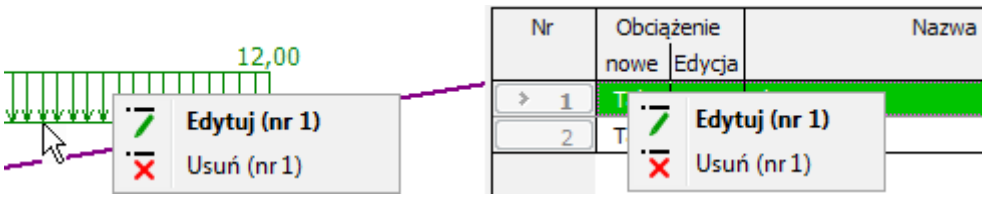
Przykład zastosowania

Otwieranie Okna Dialogowego		lewy	Podwójne kliknięcie lewym klawiszem myszy na obiekcie aktywnym lub rzędzie tabeli otwiera odpowiednie okno dialogowe.



Przykład zastosowania

Menu kontekstowe		prawy	Kliknięcie prawym klawiszem myszy na obiekcie aktywnym lub rzędzie tabeli otwiera menu kontekstowe.



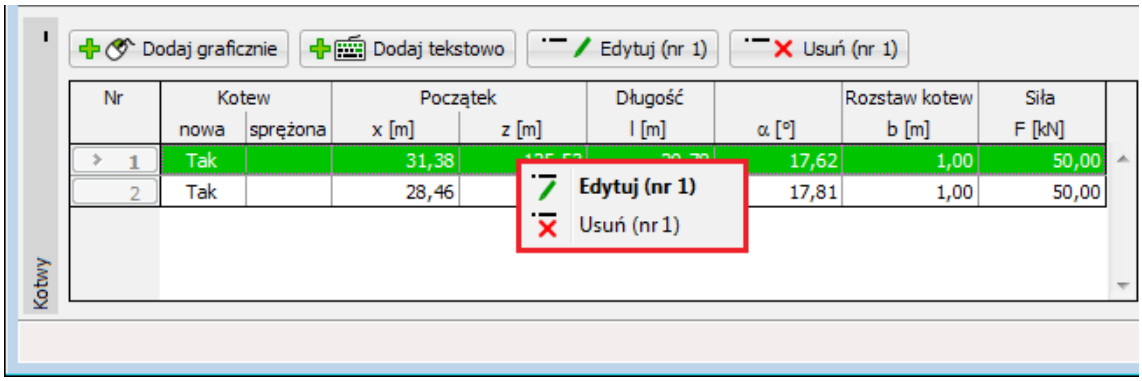
Przykład zastosowania

Menu kontekstowe myszy

Programy mają zaimplementowane menu kontekstowe prawego klawisza myszy. Menu kontekstowe otwiera się po kliknięciu prawym klawiszem myszy na obiekt lub rząd w tabeli.

Menu kontekstowe podczas edytowania tabeli

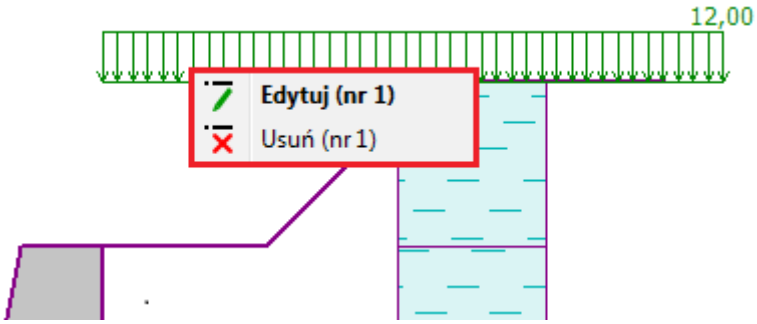
Jeśli rząd w tabeli zostanie wybrany prawym klawiszem myszy, pojawi się menu kontekstowe. Liczba w nawiasie obok poszczególnych pozycji pokazuje liczbę edytowanych obiektów. Pozycja z menu kontekstowego może być wybrana zarówno za pomocą lewego jak i prawego klawisza myszy.



Menu kontekstowe podczas edytowania tabeli

Menu kontekstowe podczas edytowania obiektów

Jeśli obiekt zostanie wybrany prawym klawiszem myszy, pojawi się menu kontekstowe. Liczba w nawiasie obok poszczególnych pozycji pokazuje liczbę edytowanych obiektów (odpowiada liczbie pozycji w tabeli). Pozycja z menu kontekstowego może być wybrana zarówno za pomocą lewego jak i prawego klawisza myszy.



Menu kontekstowe podczas edytowania obiektów

Menu kontekstowe można także wykorzystać do przyporządkowania gruntów warstwom.

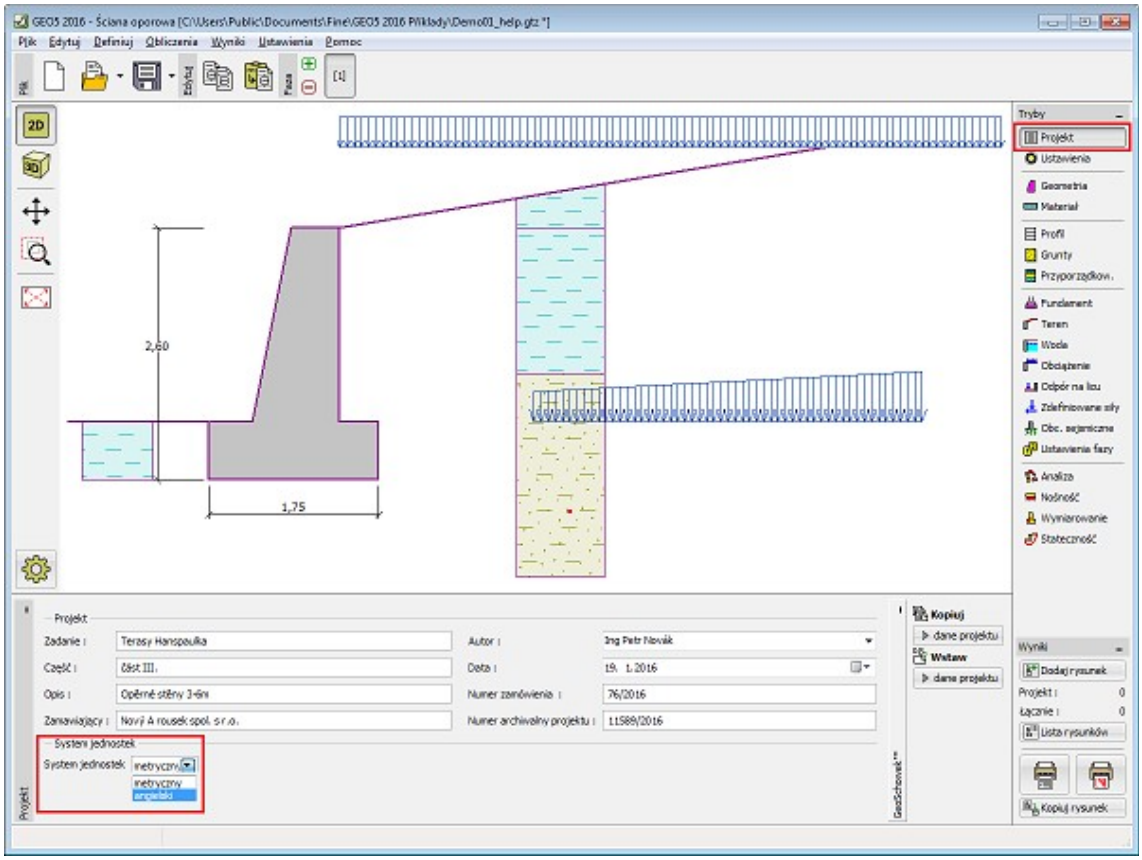


Menu kontekstowe - przyporządkowanie gruntów

Alternatywnie można skorzystać z aktywnych wymiarów i obiektów.

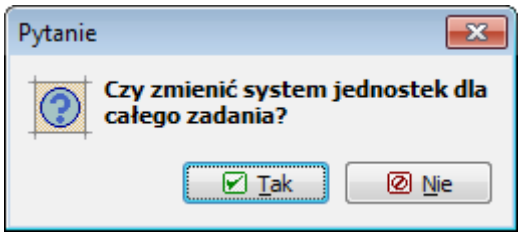
Jednostki - metryczne / angielskie

Program umożliwia dokonanie wyboru jednostek **metrycznych lub angielskich** w ramce "**Projekt**".



Zmiana jednostek

Wyboru żądanych jednostek dokonuje się z listy rozwijanej. Po dokonaniu wyboru pojawia się okno potwierdzenia wyboru.



Okno dialogowe potwierdzenia zmiany jednostek

Kopiowanie do schowka

Program umożliwia wykorzystanie schowka Windows na dwa różne sposoby:

- Istnieje możliwość skopiowania aktualnego widoku pulpitu. Następnie, obraz ten można wstawić do dowolnego edytora (MS Word, Painbrush, Adobe Photoshop, itp.). Kopiowanie rysunków do schowka można wykonać zarówno wykorzystując menu strowania (pozycje "**Wyniki**", "**Kopiuj rysunek**") lub za pomocą przycisku na pasku sterowania "Wyniki". Poszczególne parametry można definiować w oknie dialogowym "Opcje" w zakładce "Kopiuj do schowka".
- Istnieje możliwość skopiowania danych wejściowych programu (parametry gruntu, profile, obciążenia, wpływ wody, teren, itp.). Skopiowane dane można następnie wstawić do tego samego lub innego programu GEO5 w postaci nowego projektu. Kopiowanie do schowka można wykonać zarówno wykorzystując menu sterowania (pozycje "**Edytuj**", "**Kopiuj dane**", "**Wstaw dane do nowego projektu**") lub za pomocą przycisku na pasku narzędzi "Edytuj".

Można także wykorzystać specjalny GeoSchowek programów GEO5, który pozwala na przesyłanie danych pomiędzy trybami definiowania lub pomiędzy fazami budowy jednego lub różnych programów.

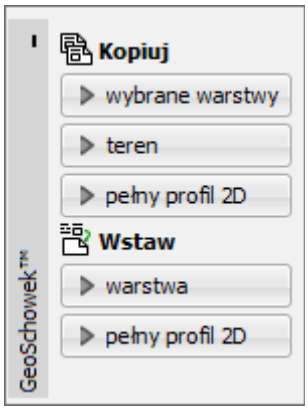
GeoSchowek

GeoSchowek jest specjalistycznym schowkiem stosowanym w programach GEO5. Umożliwia kopiowanie i wstawianie danych pomiędzy trybami i fazami w obrębie jednego programu lub pomiędzy programami.

Podstawowe cechy **GeoSchowka** to:

- GeoSchowek może jednocześnie zawierać różne dane, np. wstawianie gruntów po warstwach nie usuwa danych dotyczących warstw
- dane są zapisywane po opuszczeniu programu i restarcie komputera dopóki nie zostaną zastąpione innymi danymi z tej samej kategorii
- Każdy użytkownik komputera posiada swój GeoSchowek
- podczas wstawiania danych z GeoSchowka pojawia się podgląd zmian i użytkownik może w każdej chwili dokonać zmian parametrów wstawianych danych

Kontrolki **GeoSchowka** są zawsze umieszczone w odpowiednich ramkach. Wygląd ramki pokazano na rysunku poniżej:



GeoSchowek

GeoSchowek został zaimplementowany do następujących danych:

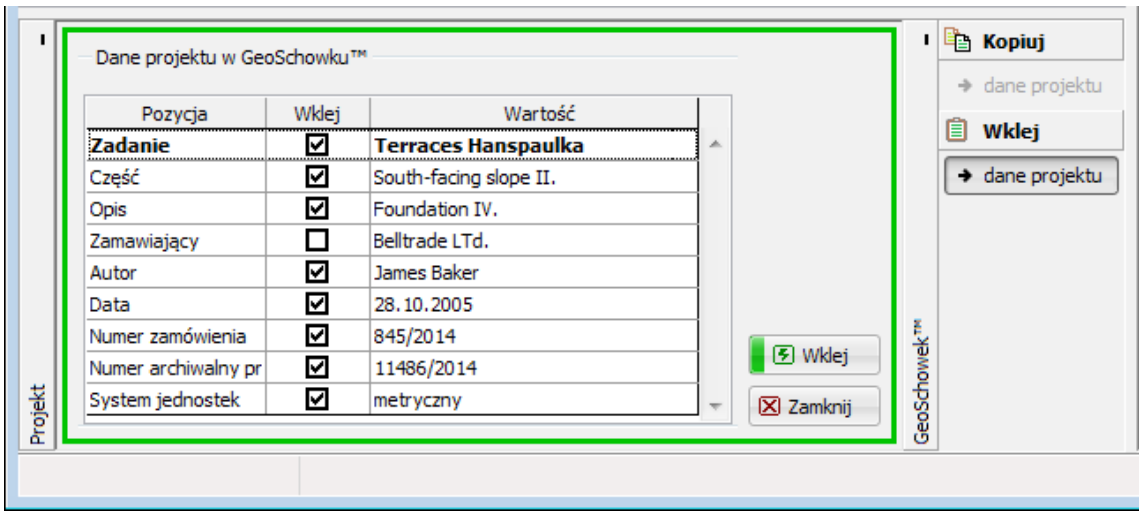
- dane projektowe
- warstwy 2D, z uwzględnieniem wyznaczonego ZWG oraz topologii faz budowy w MES
- grunty i elementy sztywne
- przyporządkowanie 2D
- badania polowe

Kopiowanie i wklejanie informacji o projekcie

GeoSchowek umożliwia kopiowanie i wklejanie danych (informacji) dotyczących projektu.

Podczas kopiowania wyłącznie niepuste pola są kopiowane.

Wklejanie skopiowanych danych odbywa się w następującym oknie dialogowym:



Wklejanie danych projektowych z GeoSchowka

W powyższym oknie dialogowym można wybrać, które informacje na temat projektu będą wklejone (kolumna "**Wklej**"). Wklejenie jest wykonywane i dane zostają zmienione po wciśnieciu przycisku "**Wklej**".

Kopiowanie i wklejanie warstw 2D

GeoSchowek pozwala kopiować i wstawiać warstwy 2D pomiędzy następującymi trybami:

- Warstwy
- Nasyp i Wykop
- Woda
- Podłoże Nieściśliwe

Pozwala on także kopiować dane z programu MES:

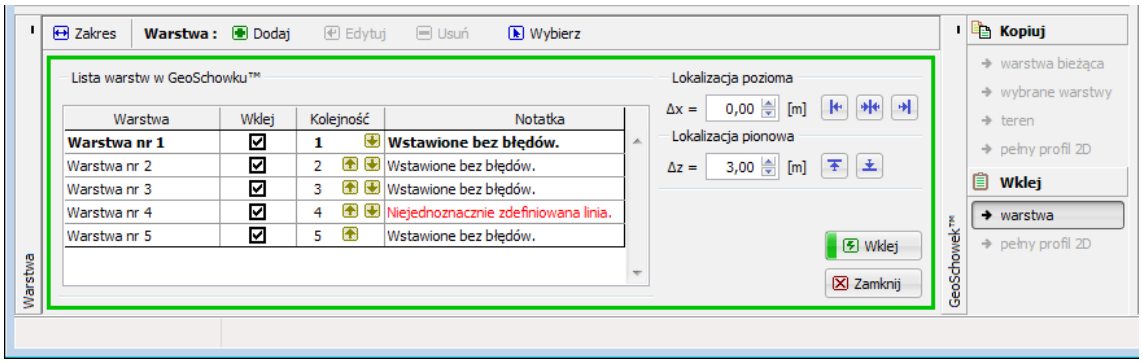
- w trybie "Analiza" umożliwia skopiowanie wyznaczonego ZWG, szczególnie po przeprowadzeniu obliczeń przepływu wody
- w trybie "Aktywacja" pozwala warstwy z uwzględnieniem obszarów aktywnych i nieaktywnych.

Możliwe jest kopiowanie następujących elementów:

- bieżącej warstwy
- wybranych warstw
- teren z bieżącej fazy budowy
- pełny przekrój 2D

Wklejanie warstw

Wstawianie warstw z GeoSchowka jest jednakowe jak ich definiowanie krok po kroku. Wstawiane parametry mogą być zdefiniowane w następującym oknie:



Wklejanie warstw 2D z GeoSchowka

W powyższym oknie można określić, które warstwy będą wstawiane (kolumna "**Wklej**"), ustalić kolejność wstawiania (zmiana poprzez kliknięcie myszką na kursory ⇧ ⇩ lub klawisze Ctrl+Shift+strzałka w górę lub w dół) oraz umieścić je w pożądanej lokalizacji. W tym samym trybie istnieje możliwość wstawienia pojedynczej warstwy, wówczas kolumna "**Wklej**" działa jak przycisk aktywujący a kolumna "**Kolejność**" jest ukryta.

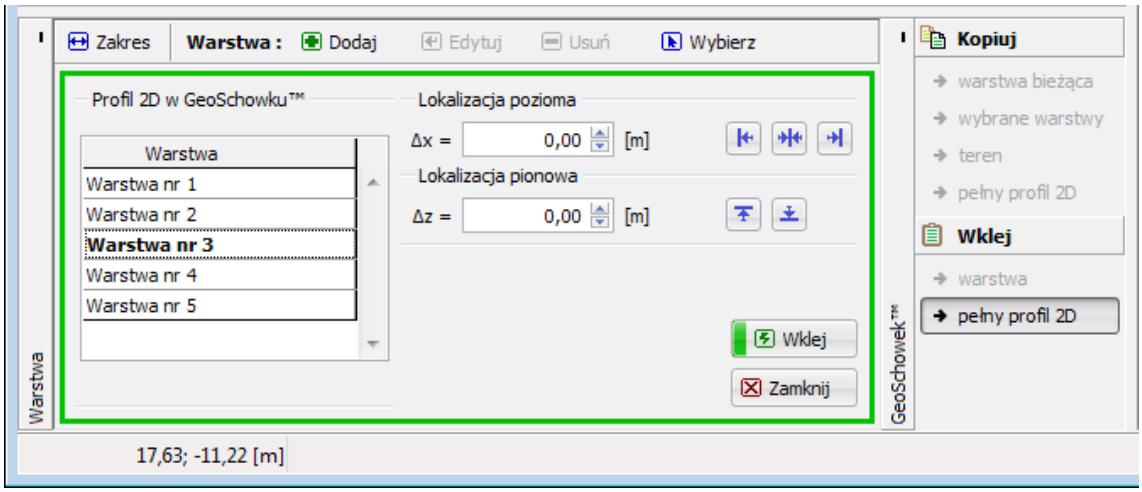
Program zawsze prezentuje podgląd zmian dokonanych przy wstawianiu warstw, a wynik wstawiania opisany jest w kolumnie "**Notatka**". Dane zostają zmienione po naciśnięciu przycisku "**Wstaw**".

Istnieje ponadto możliwość wielokrotnego wklejenia tej samej warstwy ze zmienioną lokalizacją w celu uzyskania ukośnie uwarstwionego podłoża.

Wklejanie pełnych przekrojów 2D

Ten tryb pozwala na wklejanie pełnych przekrojów 2D z GeoSchowka do bieżącego przekroju

2D. Nie istnieje możliwość selekcji wklejanych warstw, jedynie wybór dokładnej lokalizacji wklejanego przekroju. Program pokazuje podgląd przekroju 2D uzyskiwanego po wklejeniu. Wklejenie jest wykonywane i dane zostają zmienione dopiero po wciśnieciu przycisku "Wklej".



Wklejanie pełnych przekrojów 2D z GeoSchowka

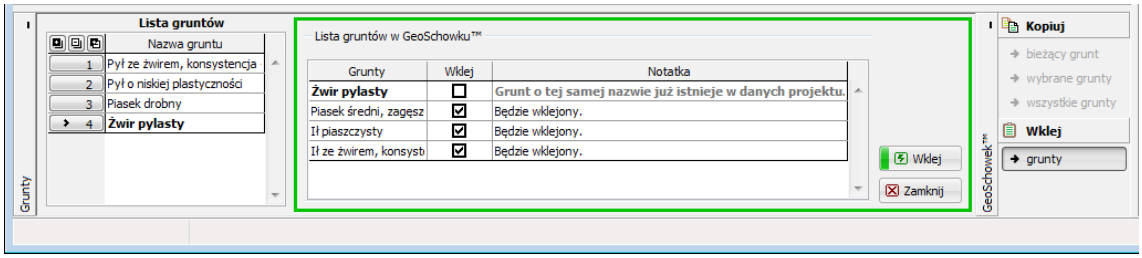
Kopiowanie i wklejanie gruntów i elementów sztywnych

GeoSchowek umożliwia kopiowanie i wklejanie gruntów oraz elementów sztywnych.

Skopiowane mogą być następujące elementy:

- bieżący grunt (element sztywny)
- wybrane grunty (elementy sztywne)
- wszystkie grunty (elementy sztywne)

Wklejanie gruntów (elementów sztywnych) wykonywane jest w następującym oknie:



Wklejanie gruntów z GeoSchowka

W oknie tym można dokonać wyboru, które grunty (elementy sztywne) zostaną wklejone (kolumna "**Wklej**"). Jeśli nazwa wklejanego gruntu (elementu sztywnego) jest taka sama jak nazwa gruntu istniejącego wcześniej w zadaniu, program zmienia nazwę gruntu wklejanego tak, aby była unikalna. Wklejenie jest wykonywane i dane zostają zmienione dopiero po wciśnieciu przycisku "**Wklej**".

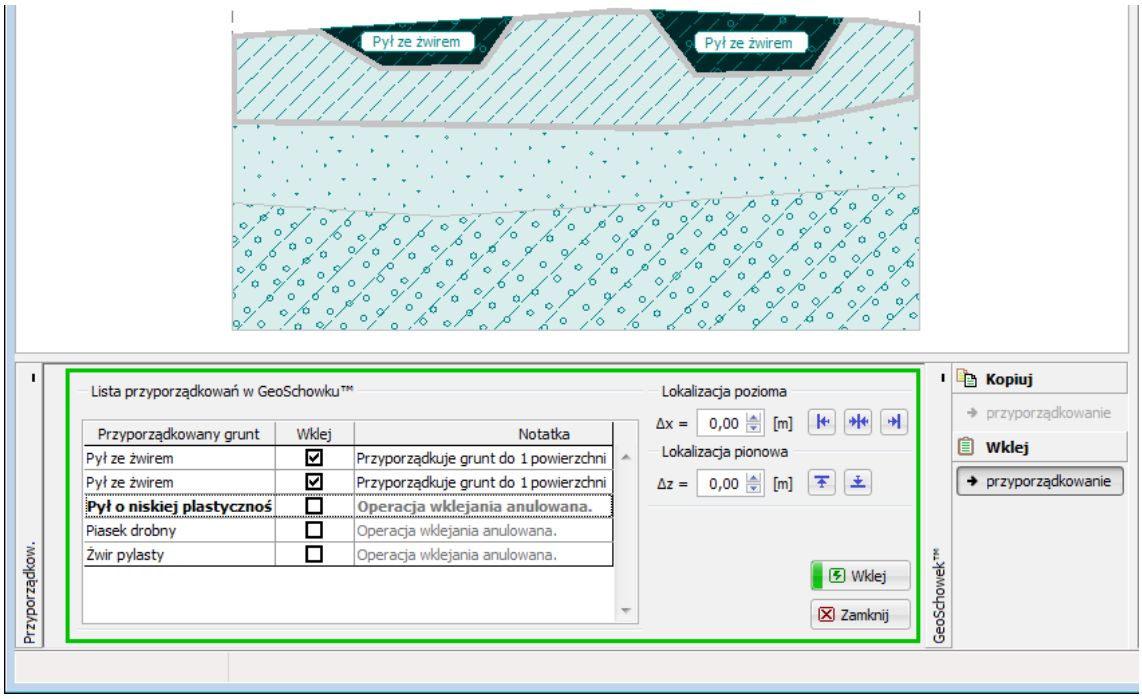
Kopiowanie i wklejanie przyporządkowania 2D

GeoSchowek umożliwia kopiowanie i wklejanie przyporządkowań (gruntów

przyporządkowanych odpowiednim warstwom).

Podczas kopiowania, warstwy są kopiowane do GeoSchowka jako wieloboki z przyporządkowanymi gruntami.

Wklejanie przyporządkowań wykonywane jest w następującym oknie:



Wklejanie przyporządkowań z GeoSchowka

W oknie tym można dokonać wyboru, które przyporządkowania gruntów do obszarów 2D zostaną wklejone (kolumna "**Wklej**"). Lokalizacja wklejanych powierzchni może być modyfikowana. Program pokazuje podgląd przekroju 2D uzyskiwanego po wklejeniu, z zaznaczonymi powierzchniami i nazwami wklejonych przyporządkowań gruntów. Wszystkie powierzchnie danych zawarte całkowicie w każdej z wklejanych powierzchni są dotknięte zmianami.

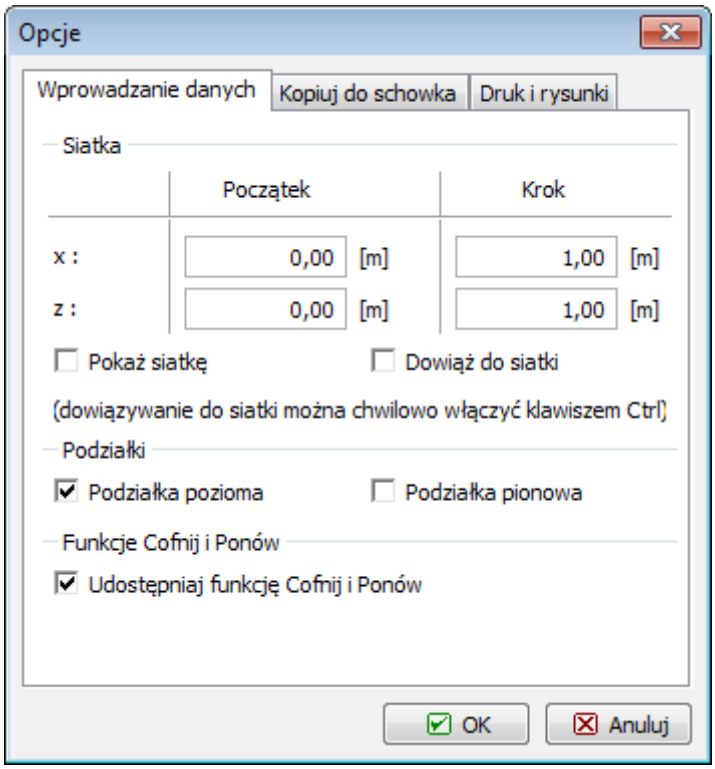
Przyporządkowane, wklejane grunty, których nie było wcześniej w danych, zostają dodane do listy gruntów. Wklejenie jest wykonywane i dane zostają zmienione dopiero po wciśnieciu przycisku "**Wklej**".

Opcje

Okno dialogowe "**Opcje**" służy do ustawiania niektórych specjalnych funkcji programu (Wprowadzanie danych, Kopiowanie do schowka, widok wydruku, etc.).

Okno dialogowe "**Opcje**" otwiera się z menu sterowania (pozycje "**Ustawienia**", "**Opcje**").

Okno zawiera indywidualne arkusze zakładek (liczba i zawartość może się różnić w poszczególnych programach), które umożliwiają konfigurację odpowiednich ustawień.



Okno dialogowe "Opcje"

Opcje - wprowadzanie danych

Zakładka "**Wprowadzanie danych**" umożliwia ustawienie parametrów "**Siatki**" oraz parametrów funkcji "**Cofnij**" i "**Ponów**".

Zakładka ta dostępna jest wyłącznie w programach 2D (MES, Stateczność zbocza, Osiadanie, Belka, itp.).

Siatka
- ustawia początek siatki oraz krok w kierunkach x i z

Pokaż siatkę
- pokazuje / ukrywa siatkę na pulpicie

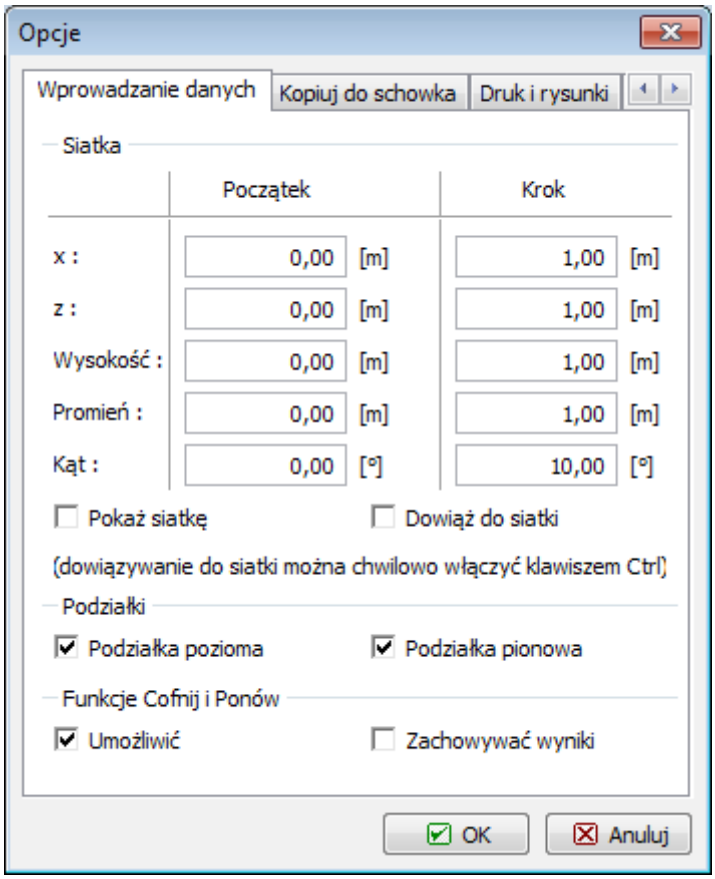
Dowiąż do siatki
- włącza / wyłącza opcję dowiązywania do siatki za pomocą myszy (podczas przesuwania myszy, kursor przeskakuje ponad zdefiniowaną siatką - punkt poza siatką można określić naciskając klawisz "CTRL")

Podziałka pozioma
- pokazuje / ukrywa poziomą podziałkę ze skalą odległości na pulpicie

Podziałka pionowa
- pokazuje / ukrywa pionową podziałkę ze skalą odległości na pulpicie

Funkcje "Cofnij i Ponów"
- włącza / wyłącza możliwość używania tych funkcji w programie (na pasku narzędzi przyciski te są "zamglone")

W niektórych programach istnieje możliwość wyboru czy wyniki są przechowywane łącznie z danymi opcji "Cofnij", poprzez zaznaczenie "Zachowywać wyniki". Zachowywanie danych z informacjami opcji "Cofnij" może być bardzo czasochłonne. Jeśli wyniki nie zostaną zachowane, po wciśnięciu "**Cofnij**" konieczne jest ponowne przeprowadzenie obliczeń.



Okno dialogowe "Opcje" - zakładka "Wprowadzanie danych"

Opcje - kopiuj do schowka

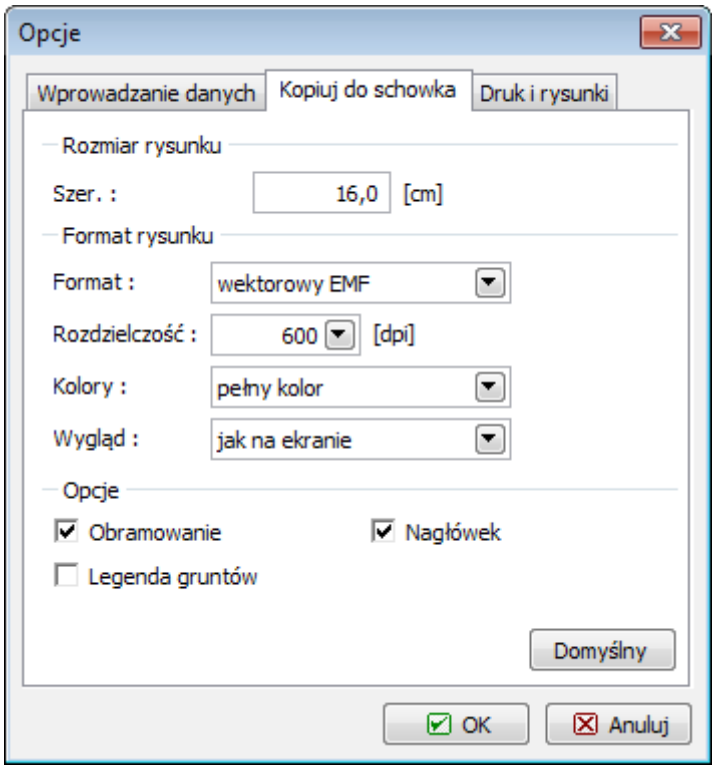
Zakładka "**Kopiuj do schowka**" umożliwia konfigurację parametrów sterujących:

Rozmiar rysunku
- Ustawienie to definiuje rozmiar rysunku. Zdefiniuj szerokość rysunku a jego wysokość zostanie wyznaczona automatycznie zgodnie z zawartością rysunku.

Format rysunku
- Ustawienie to definiuje format rysunku (*.EMF, *.WMF, *.BMP), jego rozdzielczość, kolor oraz orientację. Zalecane ustawienie zostało przedstawione na rysunku (format: *.EMF, rozdzielczość: 600 dpi, kolor)

Opcje
- Ustawienie to definiuje ramkę rysunku i nagłówek. Jeżeli obie opcje są zaznaczone, rysunek wówczas posiada obramowanie i nagłówek
- Opcja "Legenda gruntów" dodaje do rysunku legendę wykorzystanych gruntów.

Przycisk "**Domyślny**" w oknie przywraca wartości domyślne parametrów.



Okno dialogowe "Opcje" - zakładka "Kopiuj do schowka"

Opcje - druk i rysunki

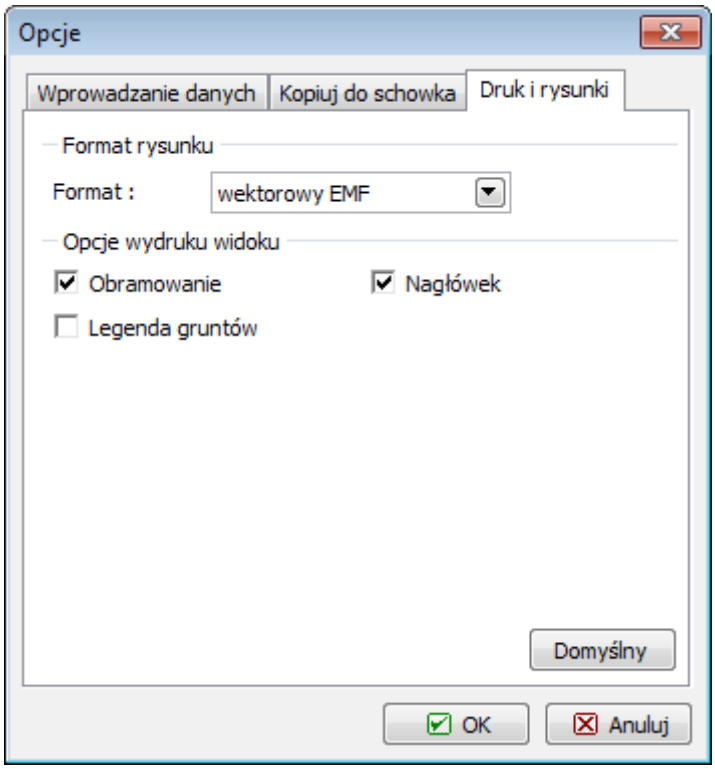
Zakładka "**Druk i rysunki**" pozwala na ustawienie parametrów rysunku dla okien dialogowych "Druk i eksport rysunku" oraz "Druk i eksport dokumentu".

Format rysunku Ustawienie to definiuje format rysunku (*.EMF, *.WMF, *.BMP).

Opcje wydruku widoku Ustawienie to definiuje obramowanie i nagłówek rysunku. Jeżeli obydwie opcje są zaznaczone, wówczas rysunek zawiera obramowanie i nagłówek.

Opcja "**Legenda gruntów**" dodaje do rysunku legendę wykorzystanych w obliczeniach gruntów. Opcja ta dotyczy jedynie funkcjonalności "**Druk i eksport rysunku**".

Przycisk "**Domyślny**" w oknie przywraca wartości domyślne parametrów.



Okno dialogowe "Opcje" - zakładka "Druk i rysunki"

Wspólne wprowadzanie danych

Rozdział ten zawiera wyjaśnienia zagadnień, które są wspólne dla wielu programów GEO5:

- Definiowanie i edycja gruntów
- Warstwy w środowisku 2D
- Definiowanie obiektów i danych
- Przyporządkowywanie gruntów
- Współczynniki obliczeniowe
- Wykonywanie wielu analiz/sprawdzeń

Jedną z istotniejszych funkcji programów GEO5 jest możliwość definiowania Faz budowy.

Niektóre programy GEO5 pozwalają na uruchomienie innych programów GEO5 z automatycznym transferem danych.

Podstawowe funkcje pracy z **wynikami graficznymi** w programach MES i Osiadanie są opisane na stronach:

- Zapisane widoki
- Ustawianie zakresu kolorów

Na następujących stronach opisany został **Import Danych**:

- Import i eksport DXF
- Import danych tabelarycznych
- Import LandXML

Funkcje Schowka opisane zostały na stronach:

- Kopiowanie do schowka
- GeoSchowek

Definiowanie i edycja gruntów

Okno dialogowe "**Dodaj nowy grunt**" służy do wprowadzania nazwy oraz parametrów gruntu, które należy uzyskać z pomiarów laboratoryjnych lub badań geologicznych.

Należy wypełnić wszystkie pola danych w tym oknie. Jedynym wyjątkiem jest wartość γ_{sat} (ciężar gruntu nawodnionego) w części okna "**Wypór**". Jeżeli pole to pozostanie puste, wówczas program automatycznie doda wartość γ (ciężar objętościowy).

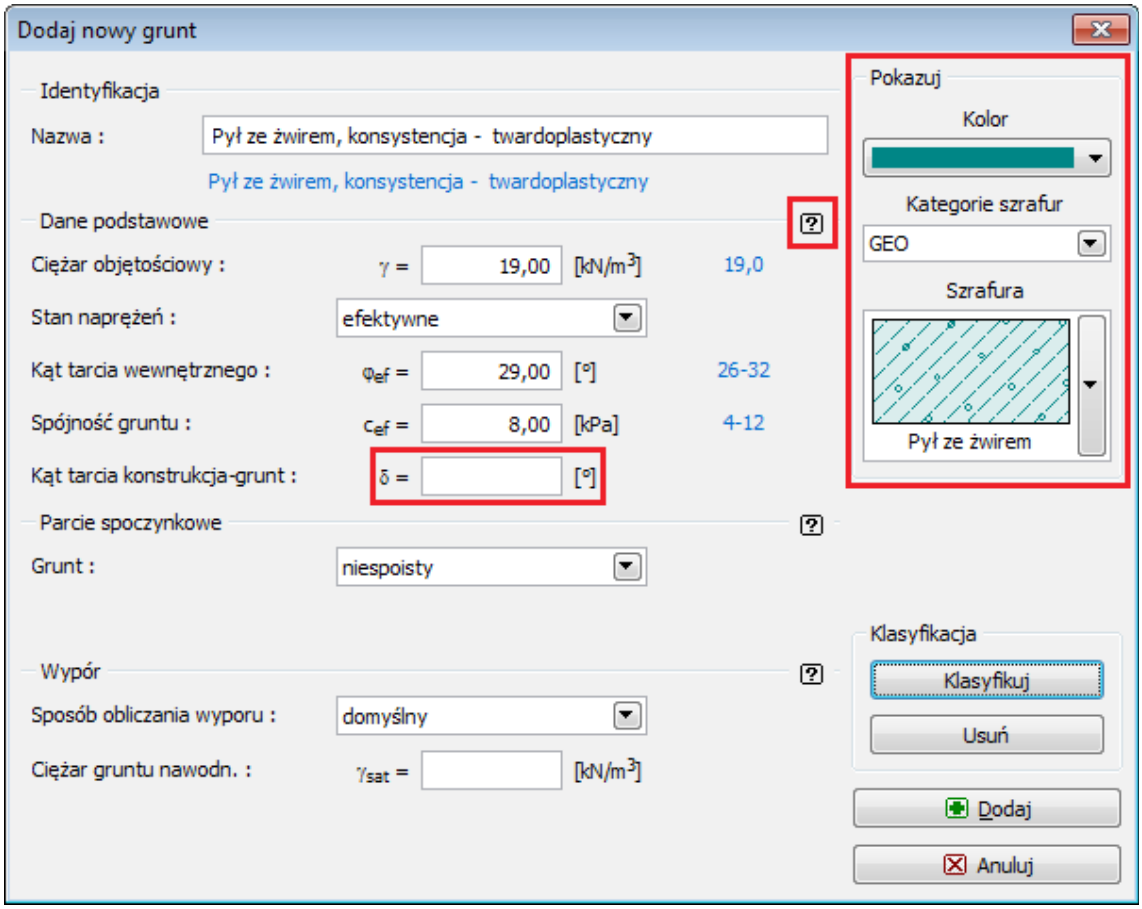
Naciśnięcie przycisku podpowiedzi "  " dostarczy informacji o teorii analiz powiązanych z poszczególnymi wprowadzanymi wartościami.

Kolor i kategorię szrafury gruntu wybiera się z list rozwijanych z prawej strony okna dialogowego.

W przypadku, gdy dane badań geologicznych lub testów laboratoryjnych są niedostępne, wówczas grunt można określić za pomocą bazy danych gruntów zawierającej przybliżone wartości podstawowych parametrów. Przycisk "**Klasyfikuj**" otwiera okno dialogowe "Klasyfikacja gruntów" z wartościami zaproponowanymi do wprowadzenia w tym oknie. Przycisk "**Usuń**" pozwala usunąć informacje o gruntach sklasyfikowanych w katalogu. Parametry gruntu, które nie występują w katalogu ("Kąt tarcia konstrukcja-grunt" zaznaczony na rysunku) należy w każdym przypadku zdefiniować ręcznie.

Parametry skał nie zostały zawarte w katalogu, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym (do analizy parć gruntu, do analizy stateczności skał lub też w celu analizy nośności fundamentów na podłożu skalnym).

Określony grunt jest wprowadzany do listy gruntów poprzez naciśnięcie przycisku "**Dodaj**".

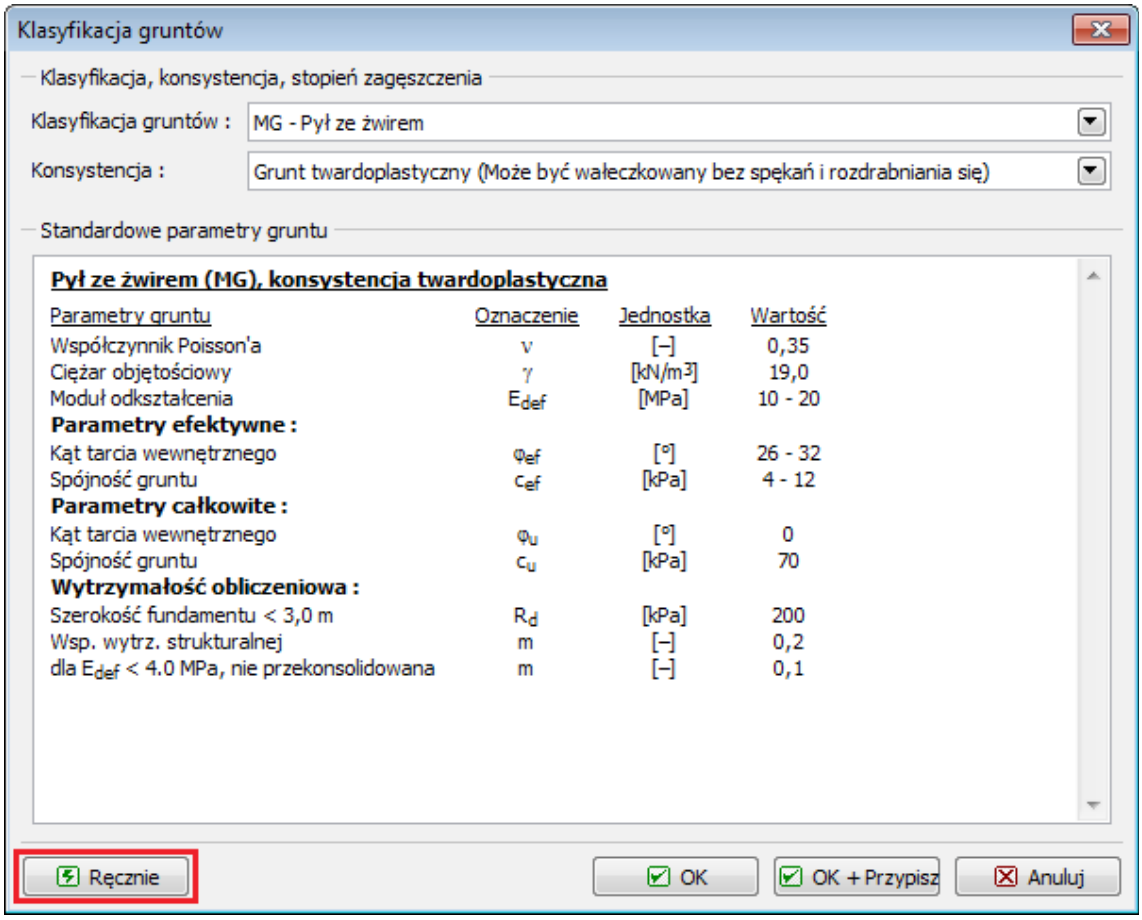


Okno dialogowe "Dodawanie nowych gruntów"

Klasyfikacja gruntów

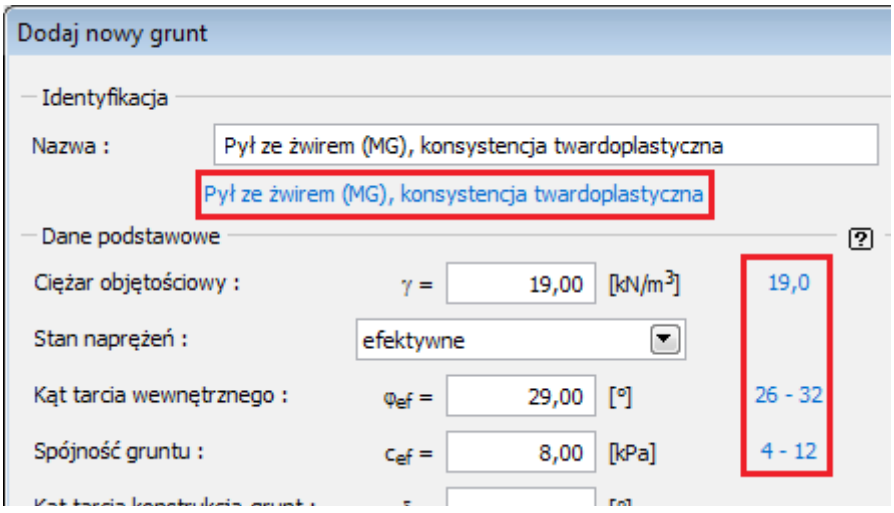
Przybliżone wartości parametrów gruntów można uzyskać z katalogu gruntów. Rozwijana lista służy do wyboru pożądanego gruntu i określenia odpowiednio jego konsystencji lub stopnia zagęszczenia. Parametry gruntu pozyskane na tej podstawie z katalogu pojawiają się w oknie.

Przycisk "**Ręcznie**" otwiera okno dialogowe "Ręczna klasyfikacja gruntów", które umożliwia klasyfikację gruntu, jeżeli jego parametry są znane, np. z badań laboratoryjnych (uziarnienie, wilgotność, stan gruntu...).



Okno dialogowe "Klasyfikacja gruntów"

Naciśnięcie przycisku "**OK**" powoduje wyświetlenie w oknie dialogowym "**Dodawanie nowego gruntu**" zalecanych wartości obok odpowiednich pól definiowania danych (patrz rysunek). Naciśnięcie przycisku "**OK+Przypisz**" przypisuje średnie wartości parametrów gruntu do poszczególnych pól definiowania. Przycisk "**Anuluj**" zamyka okno bez zapisywania danych.



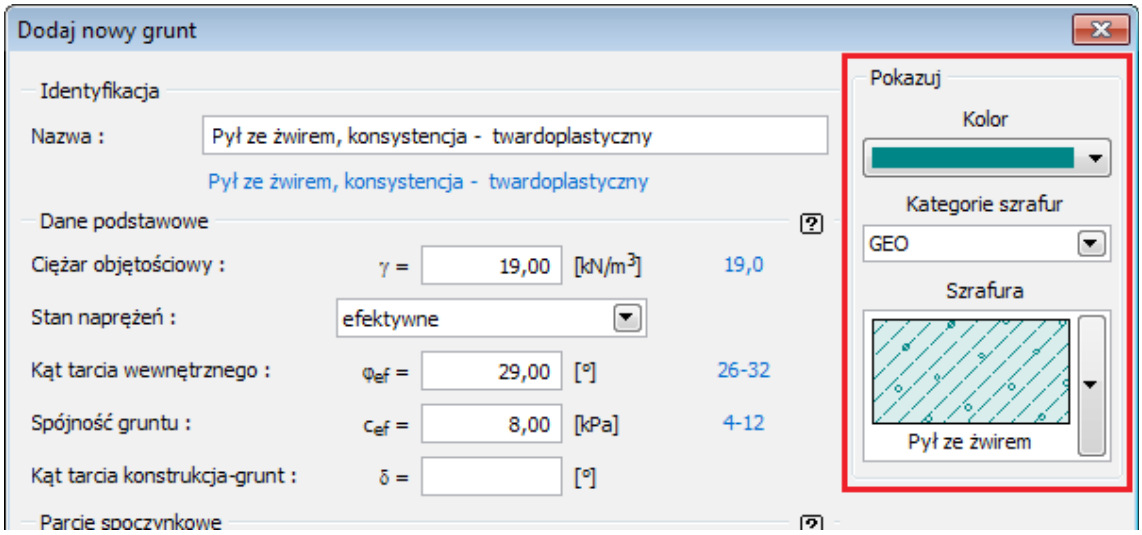
Klasyfikacja gruntów - zalecane zakresy wartości

Symbole gruntów i skał

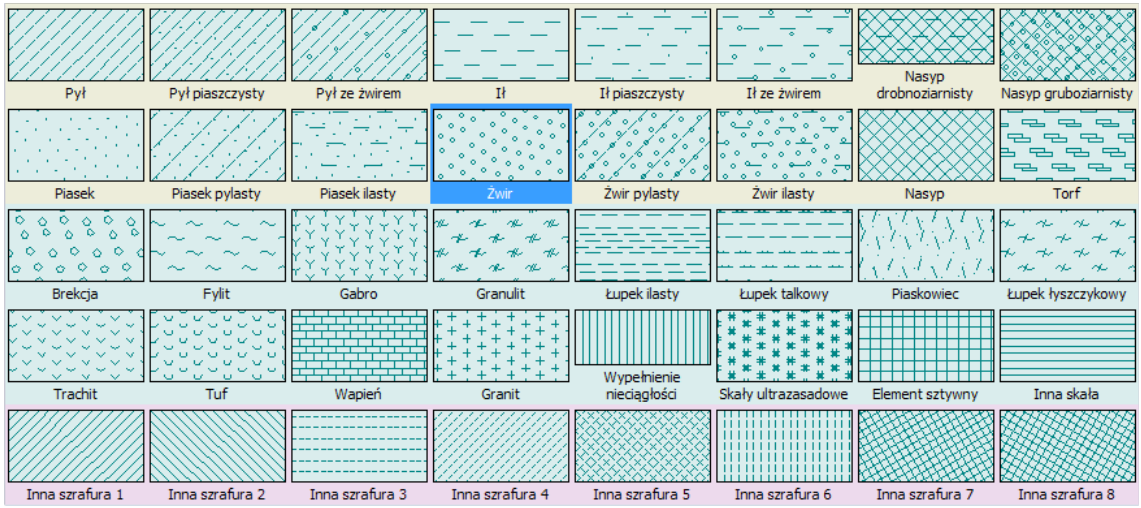
Dla wszystkich definiowanych gruntów można z listy rozwijanej wybrać kategorię szrafury (szrafury programów GEO5, pełny kolor, szrafury gINT lub szrafury według normy chińskiej YS 5204 [1]) oraz kolor szrafury. Szrafury i kolor są wyświetlane w definiowanym profilu.

Kolor wybrany z listy rozwijanej jest kolorem używanym do kreślenia gruntów lub skał na pulpicie oraz na rysunkach, które są zapisywane na "Liście rysunków" lub drukowane za pomocą funkcji "Druk i eksport rysunków" (w celu wizualizacji tych samych (pełnych) kolorów na rysunkach należy wybrać opcję "**pełny kolor**" w "Konfiguracja rysunku").

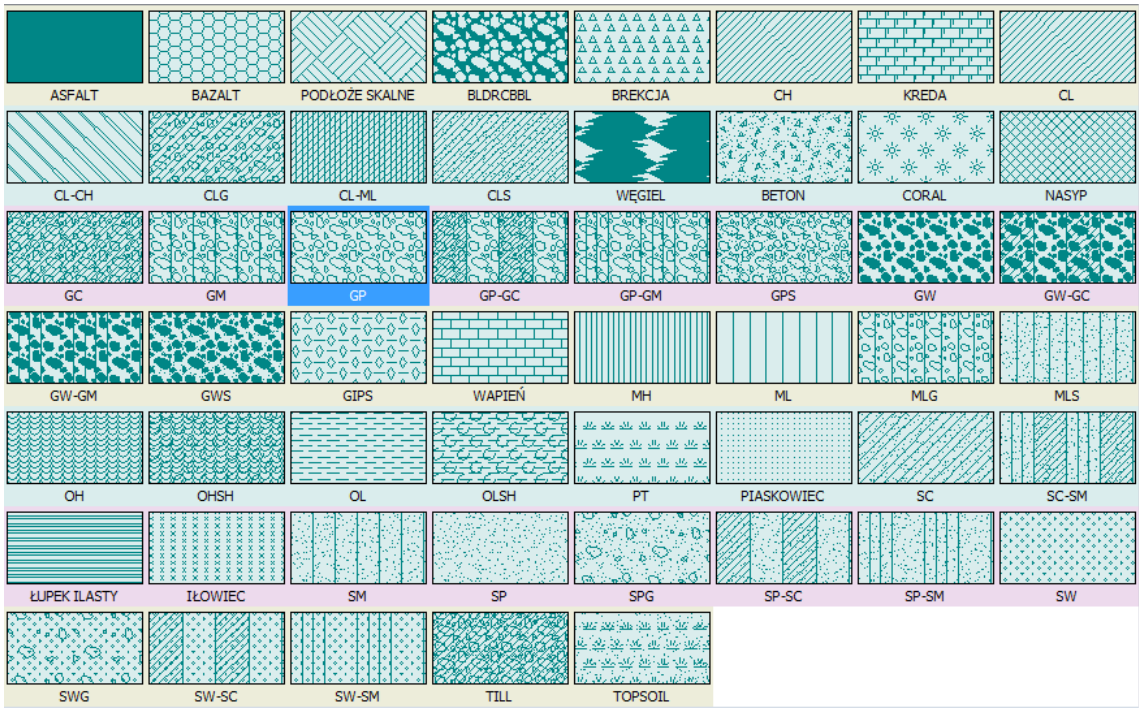
Kolor szrafury, aby był wystarczająco widoczny, powinien być wybrany z uwzględnieniem tła pulpitu lub koloru papieru.



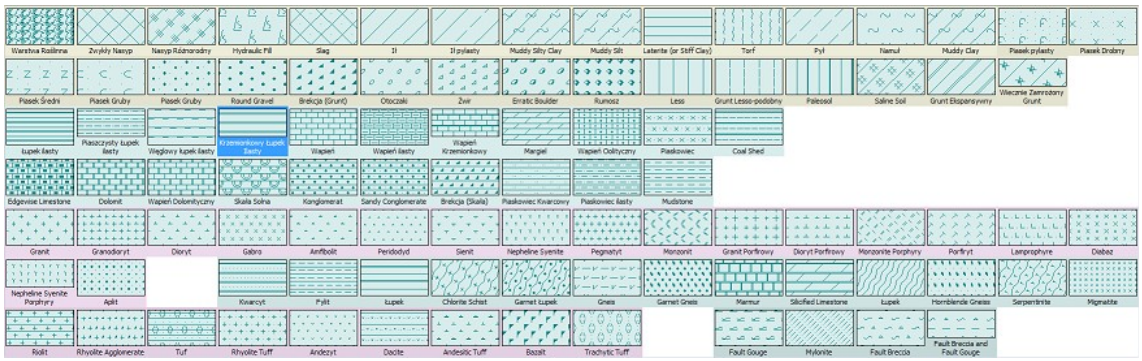
Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - wybór koloru i kategorii szrafury



Szrafury gruntów - GEO5



Szrafury gruntów - gINT



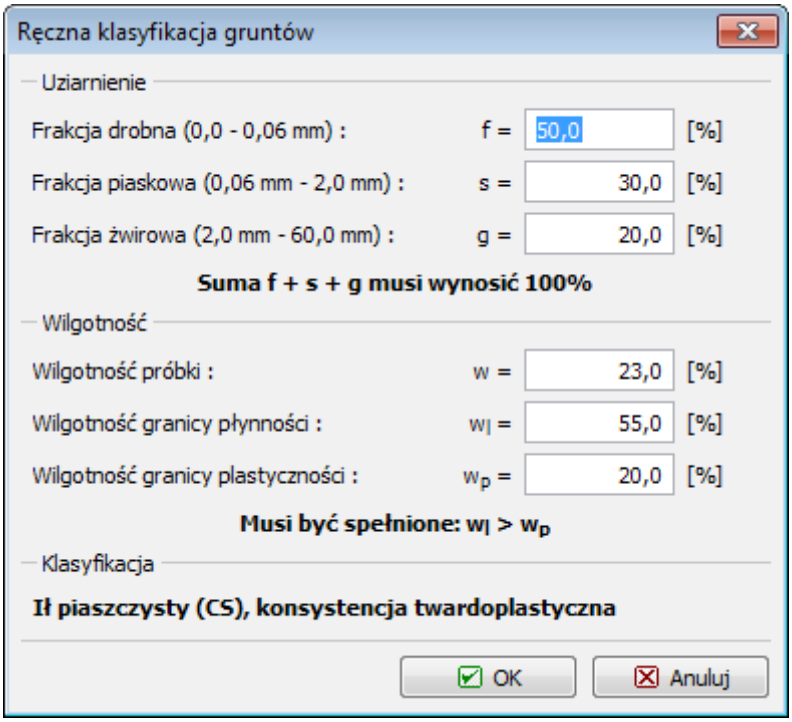
Szrafury gruntów - YS 5204 - 2000

Literatura:

[1] - YS 5204-2000 - Specification for mapping symbol of geotechnical investigation report

Ręczna klasyfikacja gruntów

To okno dialogowe umożliwia określanie parametrów gruntu, które są następnie dodawane do katalogu gruntów. Przycisk "**OK**" przełącza z powrotem do okna dialogowego "**Klasyfikacja gruntu**" z ustawieniami i sklasyfikowanymi gruntami.



Okno dialogowe "Ręczna klasyfikacja gruntów"

Warstwy w środowisku 2D

Lewa strona ramki zawiera tabelę z listą warstw. Powyżej tej tabeli znajdują się dwa podstawowe przyciski, które są niezbędne do definiowania warstw:

Ustawienie zakresu otwiera okno dialogowe "Wymiary modelu", które umożliwia zdefiniowanie wymiarów modelu (lewej i prawej krawędzi).

Dodaj warstwę włącza tryb definiowania nowej warstwy - poszczególne warstwy można dodawać w dowolnej kolejności. Każda warstwa jest automatycznie zapisywana na liście warstw po opuszczeniu trybu definiowania.

Warstwy są uporządkowane w tabeli w kierunku z góry na dół. Istnieje możliwość edytowania ich i usuwania.

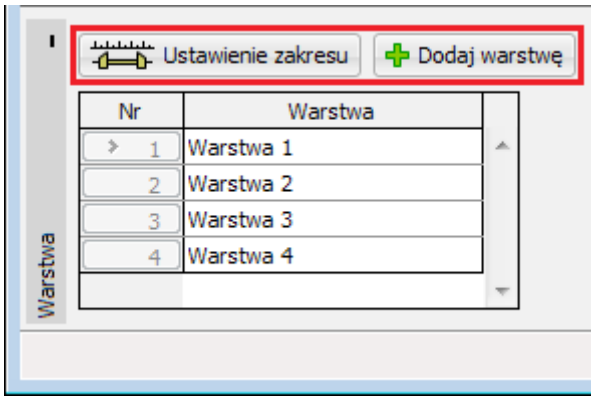
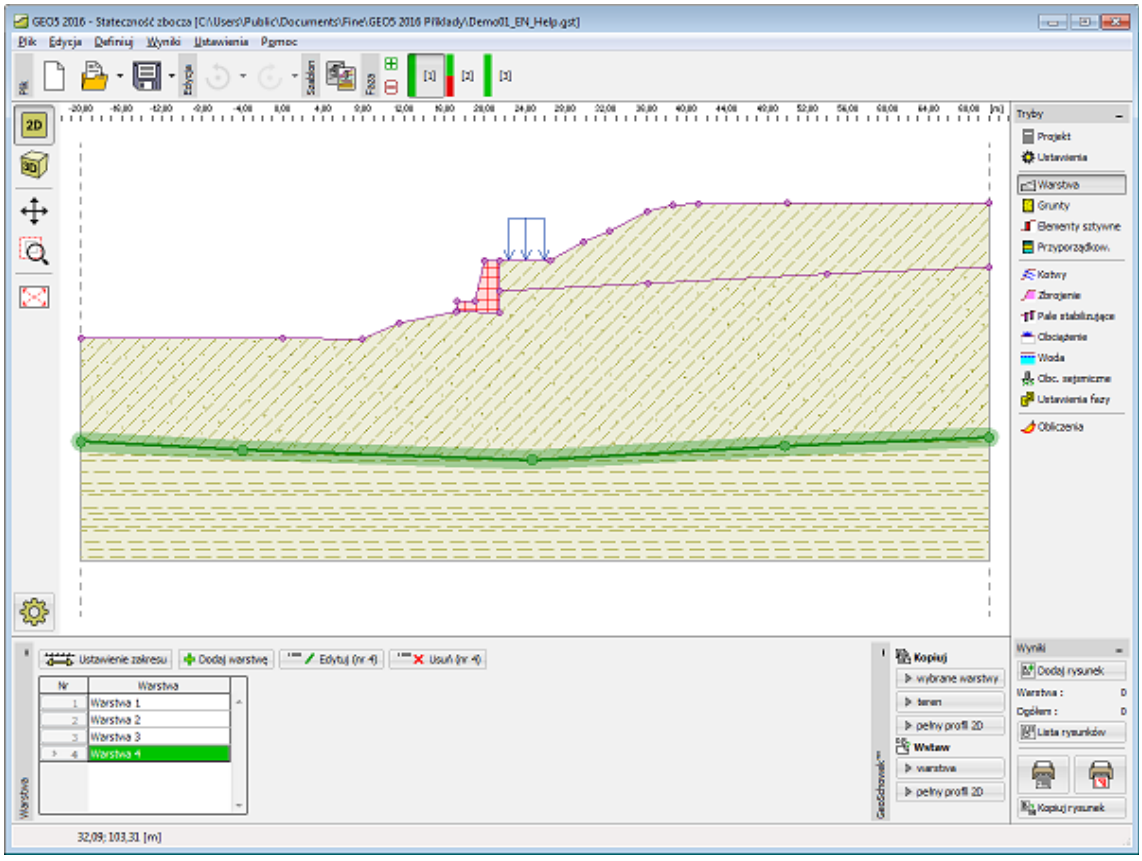


Tabela z listą zdefiniowanych warstw

Istnieje możliwość cofnięcia każdej zmiany dokonanej w danej warstwie za pomocą

przycisków "COFNIJ i PONÓW" na pasku narzędzi.

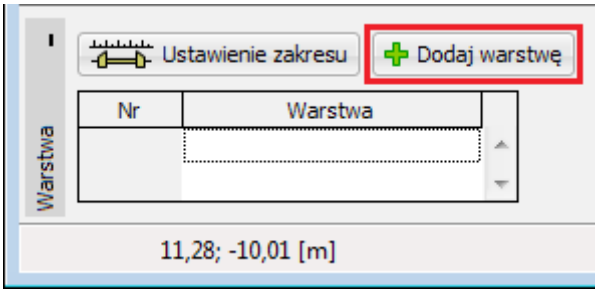
Można także skopiować i wkleić warstwy wykorzystując GeoSchowek.



Ramka "Warstwa"

Dodawanie warstwy

Przycisk "**Dodaj warstwę**" rozpoczyna tryb dodawania punktów nowej warstwy. Symbol myszy zmienia się na krzyż osiowy, zmienia się również wygląd ramki.



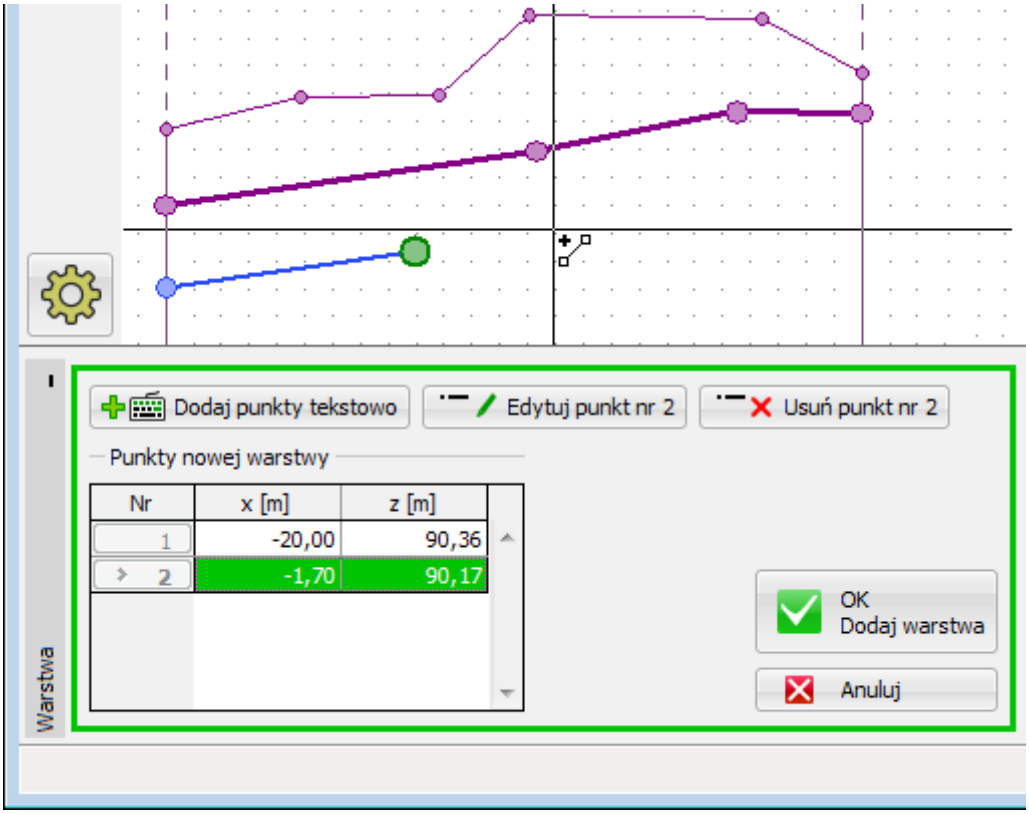
Ramka "Warstwa"

Przyciskając lewy klawisz myszy na pulpicie można zdefiniować punkty warstwy. Współrzędne (x, z) każdego zdefiniowanego punktu są dodawane do tabeli "**Punkty nowej warstwy**". Zamiennie, po przyciśnięciu przycisku "**Dodaj punkty tekstowo**", istnieje możliwość dodawania punktów w oknie dialogowym. Zdefiniowane punkty są zawsze zaokrąglane do czterech czterech cyfr znaczących (dwa miejsca po przecinku) - definiowanie za pomocą myszy i tekstowo są wówczas równoważne.

Podczas definiowania, istnieje możliwość edycji i usuwania poszczególnych punktów.

Definiowanie kończone jest po wciśnięciu przycisku "**OK Dodaj warstwa**" (który dodaje zdefiniowaną warstwę do listy warstw), lub poprzez wciśnięcie "**Anuluj**" (definiowanie jest wówczas anulowane).

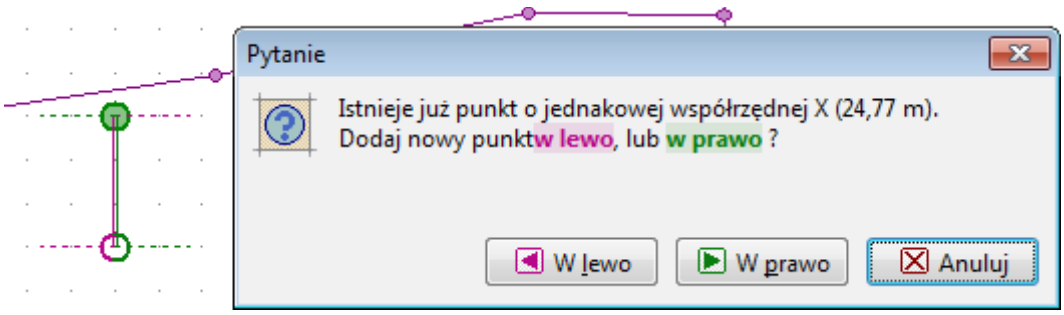
Podczas definiowania można także skorzystać z funkcji siatki.



Tryb definiowania punktów warstwy

Przy definiowaniu punktów, istnieje także możliwość wykorzystania szablonów z importu DXF.

Program umożliwia również wprowadzanie warstw pionowych - w takim przypadku program wymaga wprowadzenie punktu w **lewo** lub w **prawo**. Przyciski, które służą do potwierdzenia działania oznaczone są kolorem - ten sam kolor używany jest do wizualizacji obu opcji wprowadzania danych na pulpicie.



Warstwy pionowe

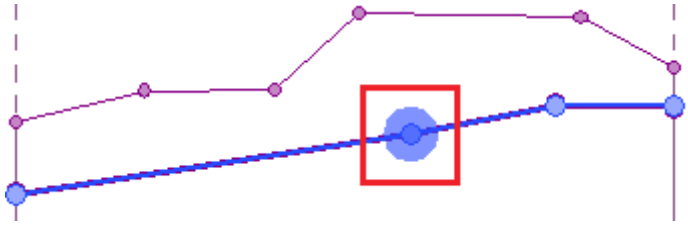
Program zawiera również automatyczny mechanizm korygujący wprowadzone warstwy, który określa końcowe punkty warstwy, a następnie dodaje tę warstwę do listy warstw.

Edycja punktów warstwy

W trakcie definiowania lub edycji warstwy istnieje możliwość edycji lub usunięcia poszczególnych punktów, graficznie lub tekstowo w oknie dialogowym.

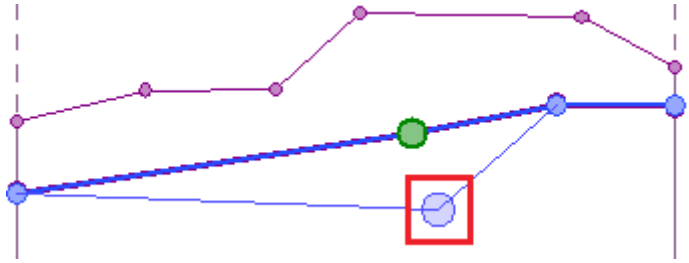
Edycja punktu warstwy

Przesuń kursor myszy na punkt, który ma być edytowany. Obszar wokół tego punktu zostaje podświetlony.



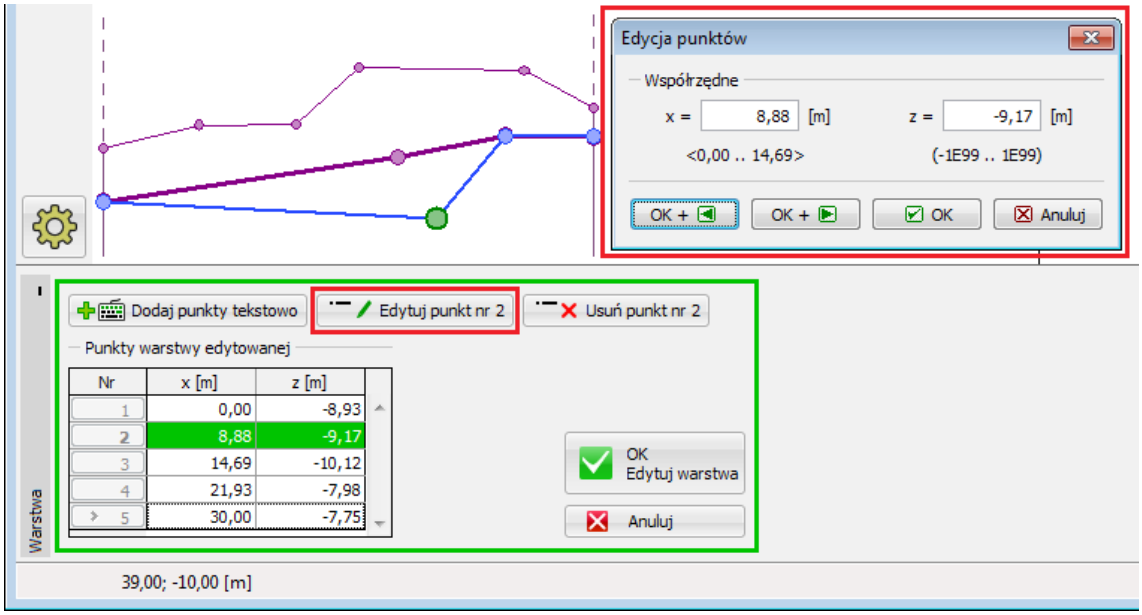
Edycja punktów warstwy

Punkt można przesunąć poprzez przytrzymanie lewego przycisku myszy i przesunięcie. Po zwolnieniu lewego przycisku myszy punkt zostaje zmieniony.



Edycja punktów warstwy

Zamiennie, istnieje możliwość wciśnięcia przycisku "**Edytuj punkt**" w tabeli, a następnie zmiany jego współrzędnych w oknie dialogowym. Edycja zostanie zakończona po wciśnięciu przycisku "**OK**".



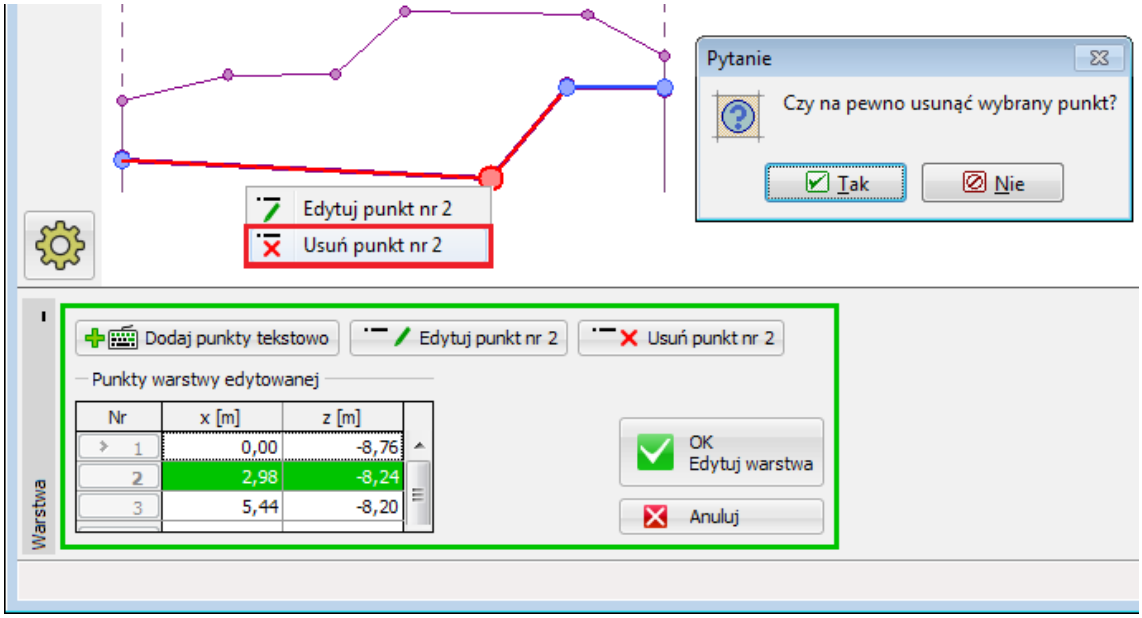
Edycja punktów warstwy



Edycja punktów warstwy - wynik zmiany współrzędnych

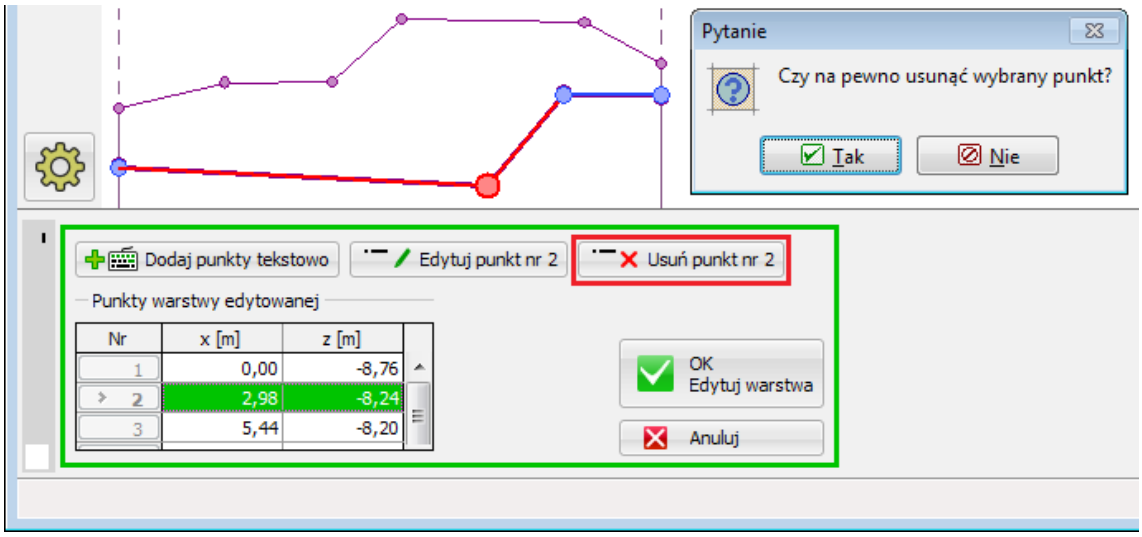
Usuwanie punktu warstwy

Przesuń kursor na punkt, który ma być usunięty. Obszar wokół tego punktu zostaje podświetlony. Po kliknięciu prawego klawisza myszy, pojawia się menu kontekstowe. Wybierz pozycję "**Usuń punkt**". Program podświetla na czerwono ten punkt oraz linie, które zostaną dotknięte tą operacją. Po potwierdzeniu przez użytkownika program usuwa punkt i dostosowuje przebieg warstwy.



Usuwanie punktu warstwy - graficznie

Zamiennie, istnieje możliwość wyboru punktu w tabeli i wciśnięcia przycisku "**Usuń punkt**". Dalsza procedura jest identycza do opisanej wcześniej.

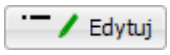


Usuwanie punktu warstwy - tekstowo

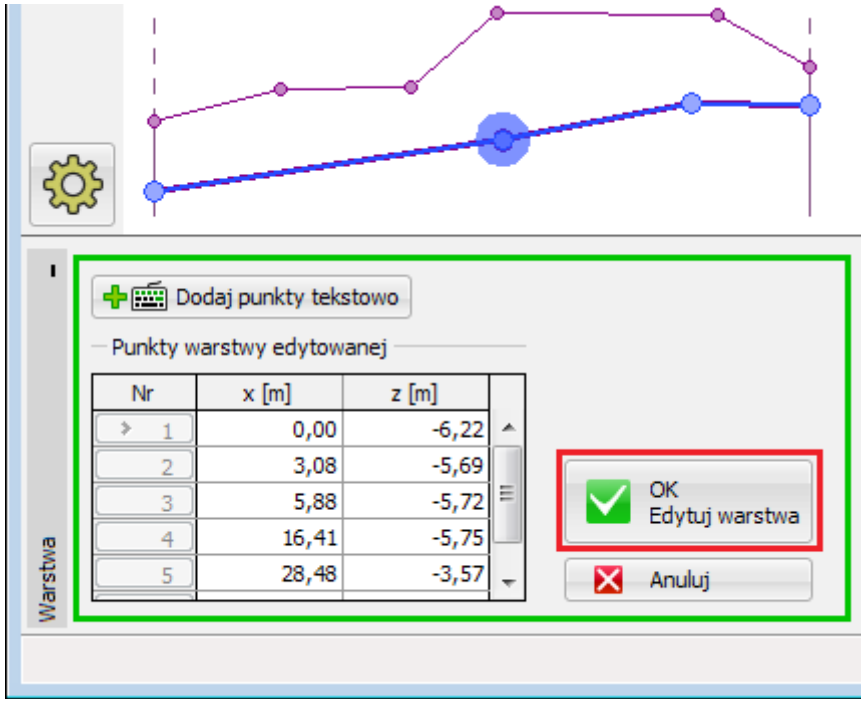
Edytowanie i usuwanie warstwy

Edycja Warstwy

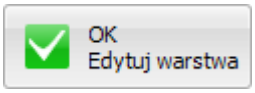
Warstwa wybierana jest w tabeli lub na pulpicie poprzez wciśnięcie lewego przycisku myszy.

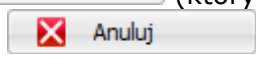
Podwójne kliknięcie przycisku myszy na warstwie lub wciśnięcie przycisku 

uruchamia tryb edycji warstwy. Warstwa, która jest edytowana podświetlona jest na niebiesko, wówczas można zmodyfikować jej kształt.



Edycja Warstwy

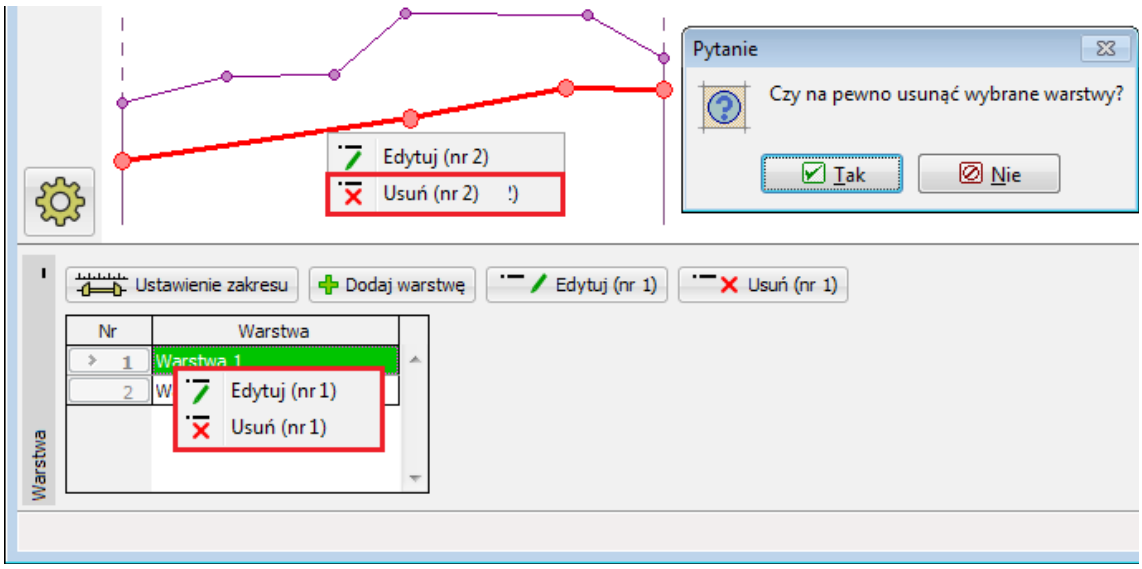
Definiowanie zakończy przyciśnięcie przycisku 

(który dodaje zdefiniowaną warstwę do listy warstw), lub przyciśnięcie przycisku 

(anuluje zmiany).

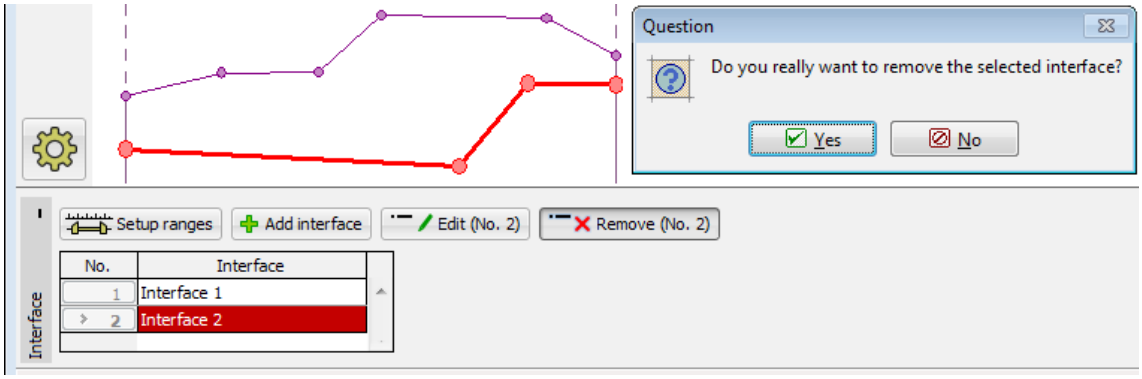
Usuwanie Warstwy

Wybierz warstwę na liście w tabeli lub na pulpicie. Kliknięcie prawym klawiszem myszy na warstwę (rząd w tabeli) otwiera menu kontekstowe. Po przyciśnięciu przycisku "**Usuń**" program podświetla warstwę i rząd w tabeli na czerwono. Warstwa usuwana jest po potwierdzeniu przez użytkowanika.



Usuwanie Warstwy

Zamiennie, istnieje możliwość wyboru warstwy w tabeli i wciśnięcia "**Usuń**". Dalsza procedura jest identyczna jak opisana wcześniej



Usuwanie Warstwy

Po edycji warstwy (tak samo jak po dodawaniu warstwy) włączany jest automatyczny korektor definiowanych warstw, który sprawdza kształt warstwy i w razie potrzeby koryguje jej punkty końcowe.

Korektor definiowanych warstw

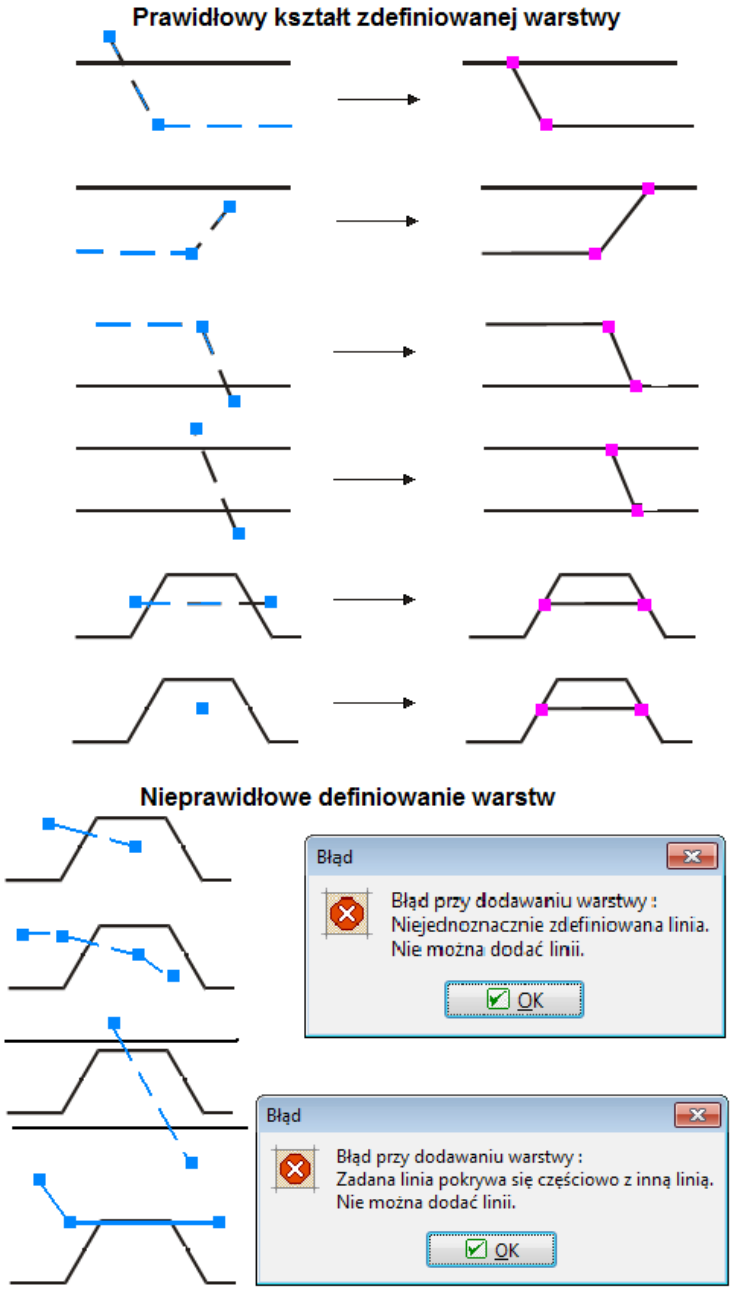
Po zakończeniu procesu definiowania lub edycji warstwy, program automatycznie modyfikuje

zdefiniowaną warstwę zgodnie z wymaganiami programu, tzn. końcowe punkty dotykają krawędzi modelu lub innych warstw. Automatyczny korektor można w dalszej kolejności wykorzystać do uproszczenia procesu definiowania - np. jeżeli do zdefiniowania warstwy używany jest jeden punkt, wówczas program automatycznie tworzy poziomą warstwę zawierającą ten punkt.

Jeżeli dwie warstwy kolidują ze sobą, wówczas mechanizm korygujący tworzy nowe punkty końcowe bieżącej warstwy. Następnie, punkty te stają się również punktami dotykanej warstwy. Zatem, wszystkie linie poszczególnych warstw zaczynają się i kończą w punkcie.

W przypadku nieprawidłowego wprowadzenia warstwy (patrz poniższy rysunek), warstwa ta nie może być zapisana. W takim przypadku, należy zmodyfikować warstwę lub zatrzymać proces definiowania warstwy za pomocą przycisku "**Anuluj**".

Poniżej podajemy przykłady funkcji mechanizmu korygującego warstw (prawidłowe i nieprawidłowe definiowanie):

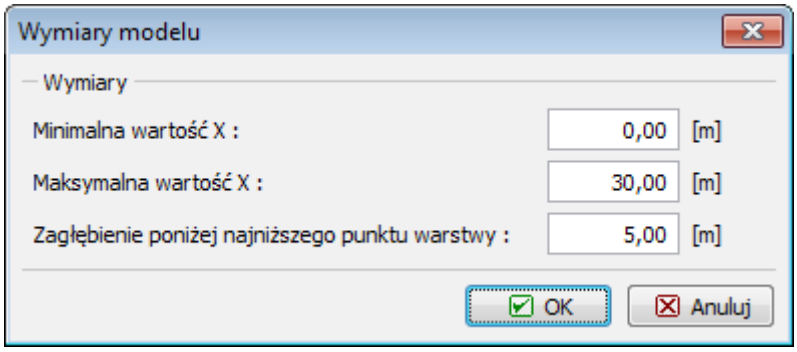


Prawidłowe i nieprawidłowe kształty warstw

Wymiary modelu

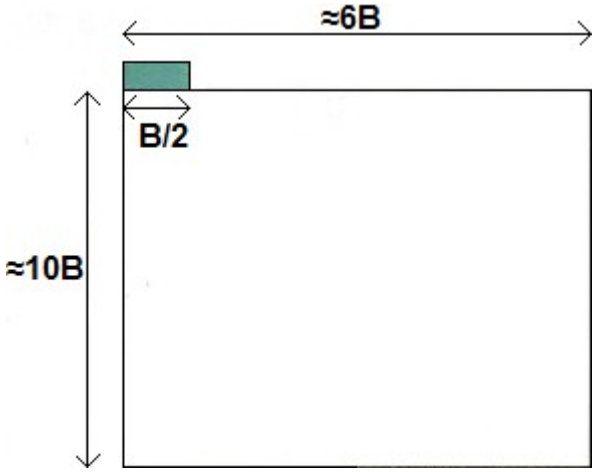
To okno dialogowe służy do określania współrzędnych modelu (wymiarów) dla danego zadania - lewej i prawej krawędzi. Zagłębienie modelu poniżej najgłębiej położonego punktu warstwy jest dla większości programów parametrem pomocniczym - nie ma wpływu na przebieg analiz. W programie MES, zdefiniowanie prawidłowych wymiarów modelu jest niezwykle istotne i może mieć znaczący wpływ na wyniki obliczeń.

Wymiary modelu można zmienić w dowolnym momencie - jeśli wymiary są powiększane, wszystkie zdefiniowane warstwy są automatycznie wydłużane, natomiast przy zmniejszaniu wymiarów, wszystkie punkty poza nowymi wymiarami modelu są automatycznie usuwane.



Okno dialogowe "Wymiary modelu"

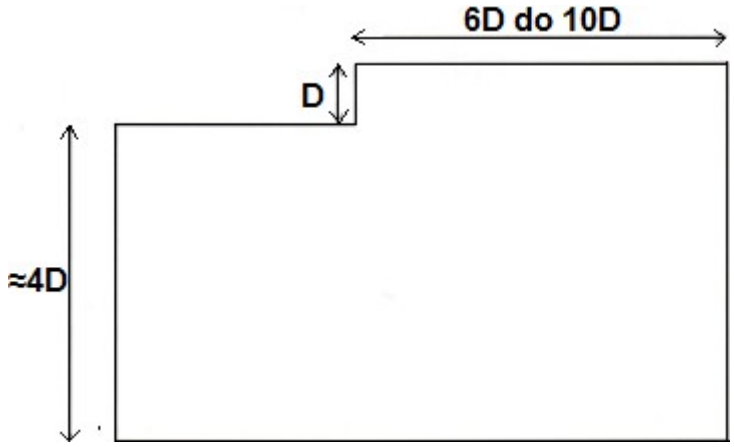
Na rysunku poniżej pokazano zalecane wymiary modelu dla programu MES.



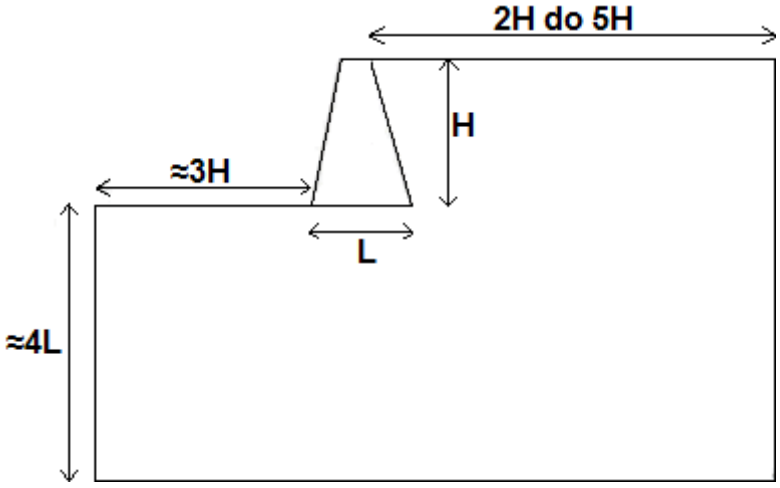
Zalecane wymiary modelu (granice) - Fundament Bezpośredni (Fundamenty płytkie)



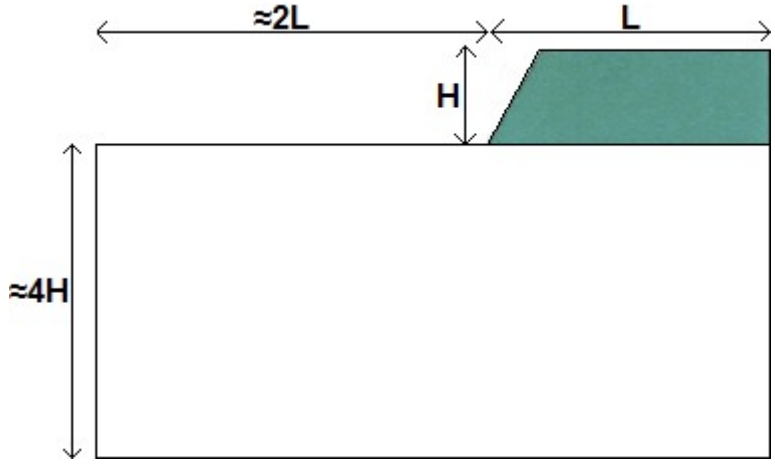
Zalecane wymiary modelu (granice) - Fundamenty głębokie i Pale



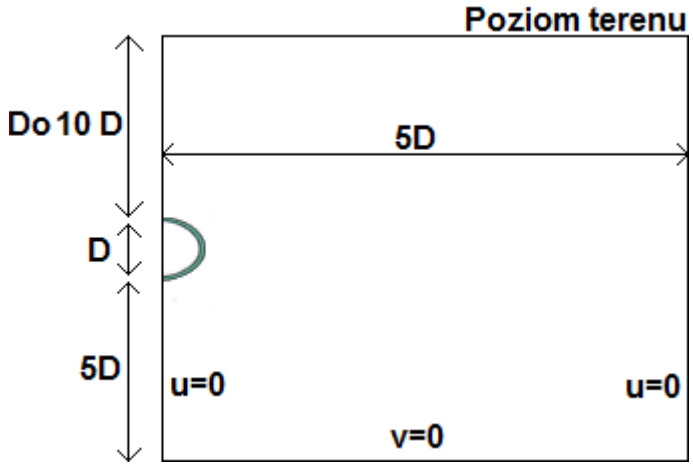
Zalecane wymiary modelu (granice) - Wykopy



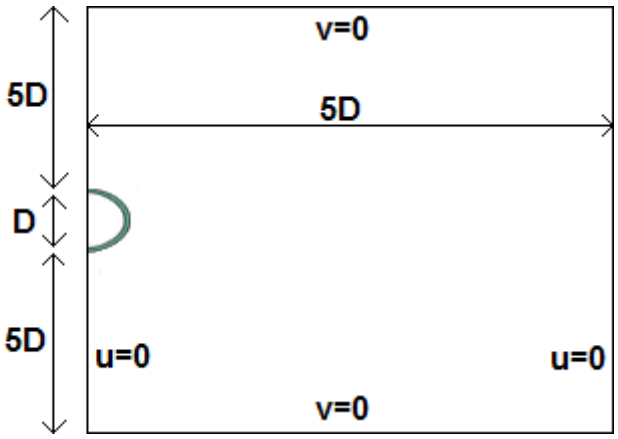
Zalecane wymiary modelu (granice) - Konstrukcje oporowe i Ściany



Zalecane wymiary modelu (granice) - Nasypy i Skarpy



Zalecane wymiary modelu (granice) - Tunele płytkie



Zalecane wymiary modelu (granice) - Tunele głębokie

Definiowanie obiektów i danych

Dane wejściowe mogą być wprowadzane do programów GEO5 na kilka sposobów. Dane można wprowadzać w ramkach i oknach dialogowych. Dostęp do poszczególnych ramek (trybów definiowania) zapewniony jest z poziomu paska narzędzi "Tryby". Poza bezpośrednim wprowadzaneim danych w ramkach istnieje także możliwość dodawania danych (współrzędnych punktów, głębokości profili...) oraz obiektów (obciążeń, kotew, zbrojenia gruntu itp) z zastosowaniem przycisków "**Dodaj**", "**Dodaj w oknie**" i "**Dodaj graficznie**".

Dodaj

Dodaj (Dodaj w oknie)

Przycisk "**Dodaj**" ("**Dodaj w oknie**") otwiera okno dialogowe, umożliwiające wprowadzanie wybranych danych (np. parametrów gruntów, obciążeń, sił itp.). Po potwierdzeniu, dane zostają zapisane i pozycja zostaje zapisana w tabeli.

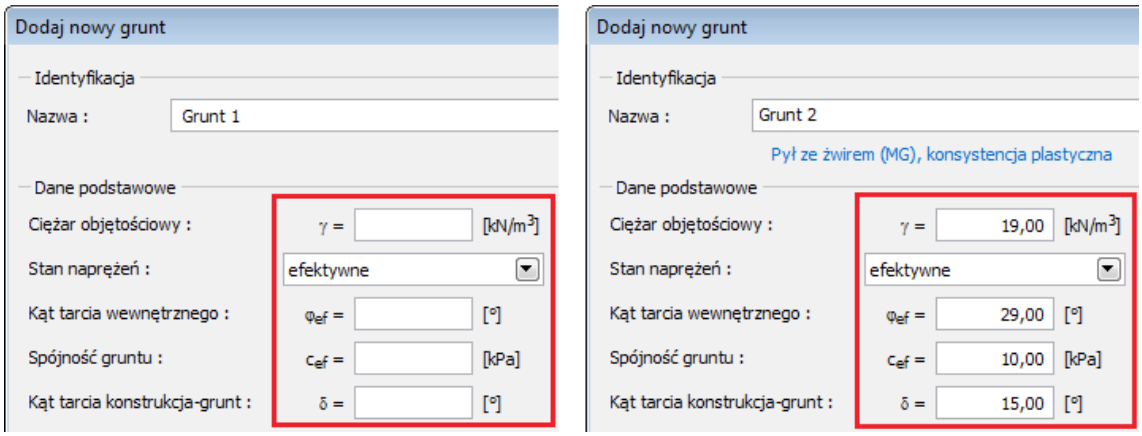


Wizualizacja przycisków

W przypadku, gdy ramka wykorzystywana jest po raz pierwszy (tabela z listą pozycji

jest pusta) lub tabela zawiera pewne pozycje, ale żadna z nich nie jest zaznaczona, wówczas program otwiera puste okno dialogowe i wszystkie dane należy zdefiniować. Jeśli, któraś z pozycji w tabeli jest zaznaczona i zostanie otwarte okno dialogowe, wtedy w tym oknie pojawiają się dane dotyczące wybranej pozycji. Mogą one być następnie modyfikowane i zapisane jako nowa pozycja listy w tabeli.

Na rysunku poniżej przedstawiono prosty przykład. Ramka wykorzystana była po raz pierwszy, wszystkie pola w oknie dialogowym są puste (rysunek z lewej). Następnie parametry zostają zdefiniowane i dodane do tabeli. Tabela zawiera wybraną pozycję "**Grunt 1**". Przycisk "**Dodaj w oknie**" zastosowany jest ponownie, dlatego okno dialogowe zawiera predefiniowane parametry "**Gruntu 1**". Po wymaganej korekcie parametrów istnieje możliwość zapisania nowych danych w postaci nowej pozycji na liście w tabeli.

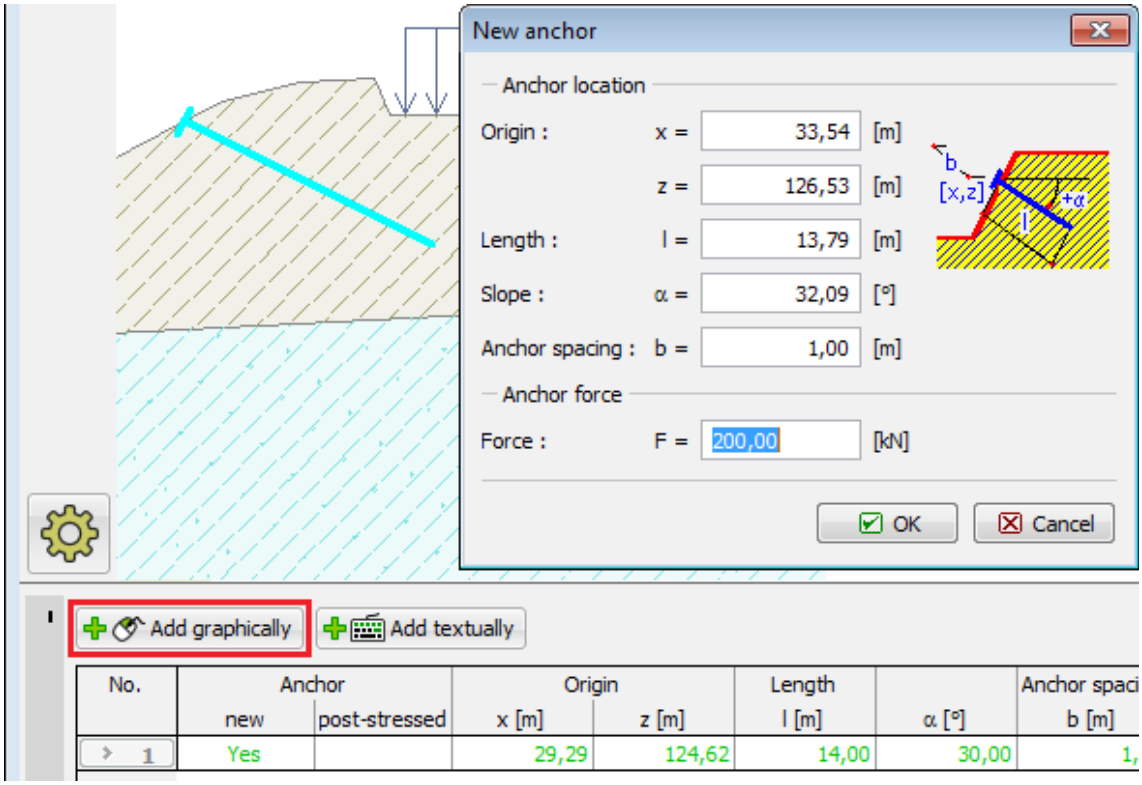


Tryby definiowania - wykorzystanie istniejących danych

Dodaj graficznie

Dodaj Graficznie

Przycisk "**Dodaj graficznie**" włącza tryb definiowania graficznego. Symbol myszy zmienia się na krzyż osiowy, wówczas przy użyciu lewego przycisku myszy, można dodać wymagany obiekt. Przykładowo, przy dodawaniu kotew, za pomocą kliknięć na pulpicie dodawane są punkt początkowy i końcowy kotwy. Po dodaniu drugiego punktu program otwiera okno dialogowe. Od tego momentu procedura jest taka sama jak opisana w rozdziale "**Dodaj**".



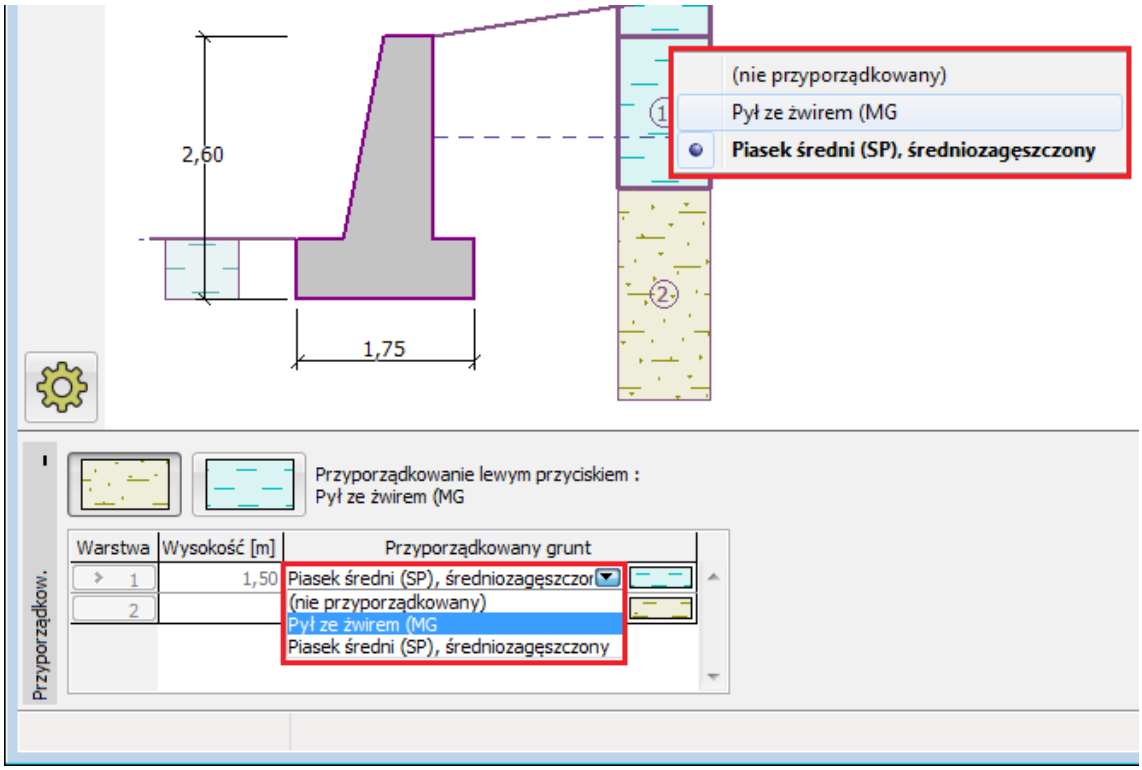
Tryb definiowania graficznego

Przyporządkowywanie gruntów

Do przyporządkowania gruntów do poszczególnych warstw profili dostępne są trzy opcje. Kliknięcie lewym przyciskiem myszy na przycisku paska narzędzi ponad tabelą wybiera pożądany grunt (ustawienie kursora myszy na pasku ponad przyciskiem gruntu wyświetla dymek podpowiedzi z nazwą gruntu). Grunt wstawiany jest poprzez przesunięcie kursora myszy (maska kursora zmienia się w "**rękę**") najpierw do określonej warstwy, a następnie przez naciśnięcie lewego przycisku myszy.

Druga opcja wymaga otwarcia rozwijanej listy określonej warstwy, a następnie wybranie pożądanego gruntu do przyporządkowania. Wszystkie zmiany w przyporządkowaniu gruntu są automatycznie wyświetlane na ekranie.

Ostatnią możliwością jest skorzystanie z menu kontekstowego myszy.



Ramka "Przyporządkowanie"

Współczynniki obliczeniowe

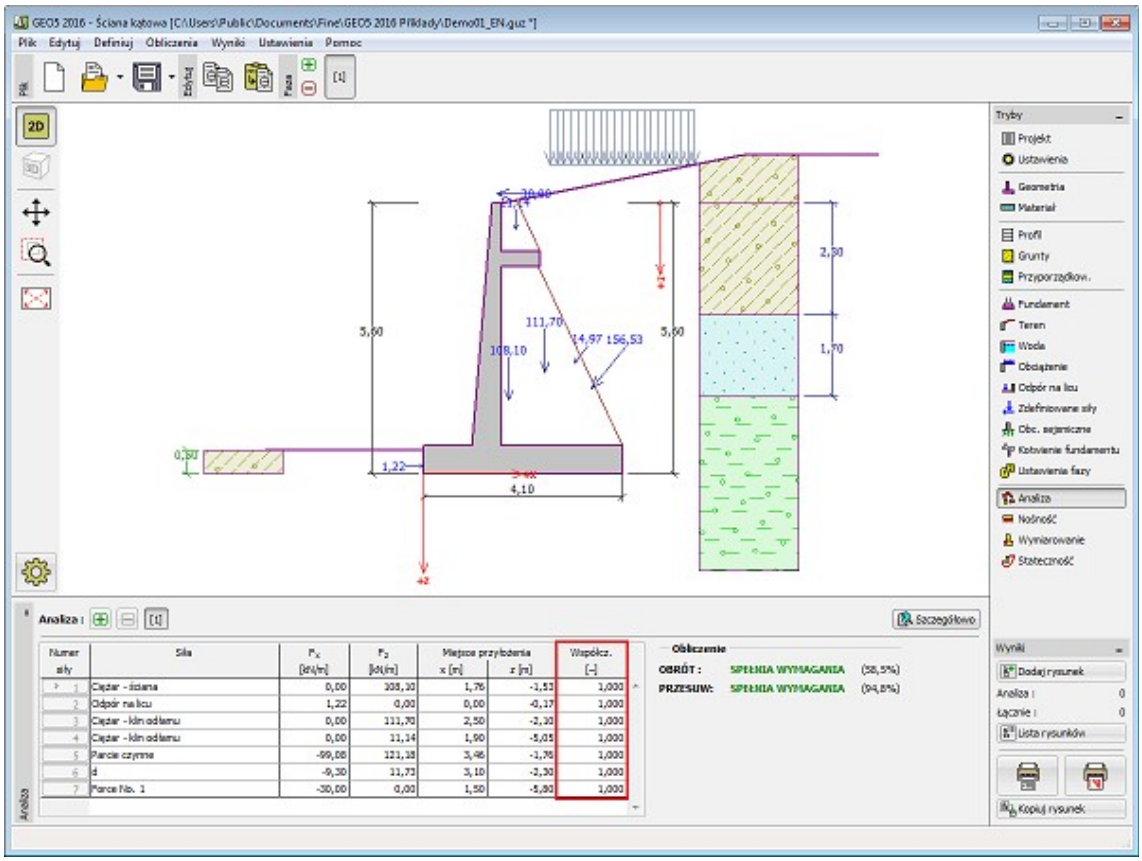
Ramki "**Analiza**" lub "**Obliczenie**" (dla metodyki obliczeń - metoda klasyczna), w których wyświetlana jest lista wyznaczonych sił, umożliwiają określenie współczynników obliczeniowych. Współczynnik obliczeniowy mnoży odpowiednią siłę. Podczas wprowadzania współczynnika do tabeli, wyniki są automatycznie przeliczane, a na pulpicie wyświetlane są siły zmodyfikowane.

Współczynniki obliczeniowe są w szczególności korzystne do:

- Testowania konstrukcji, kiedy istnieje możliwość wizualizacji odpowiedzi konstrukcji na zwiększenie siły określonej bezpośrednio w oknie analizy.
- Wykluczenia pewnych sił z obliczeń lub ich zmniejszenia.
- Określenia kombinacji obliczeniowych - np., różne współczynniki można przypisać (w nawiązaniu do wytycznych EC) do głównych obciążeń zmiennych i dodatkowych obciążeń zmiennych.

Przykładowo, istnieje możliwość określenia następujących kombinacji podczas wykonywania sprawdzenia ściany:

	Analiza 1	**Analiza 2**	**Analiza 3**
• **Ściana**	1,0	1,0	1,0
• **Parcie czynne**	1,0	1,0	1,0
• **Dod. obciążenie 1**	1,0	0,5	0,5
• **Dod. obciążenie 2**	0,5	1,0	0,5
• **Dod. obciążenie 3**	0,5	0,5	1,0



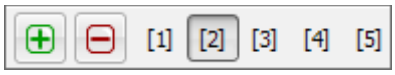
Ramka "Analiza" - zastosowanie współczynników obliczeniowych

Wykonywanie wielu analiz / sprawdzeń

Większość ramek, które wyświetlają wyniki analiz, umożliwia zdefiniowanie więcej niż jednej analizy do przeprowadzenia. Kilka analiz w jednej fazie budowy wykonuje się na przykład dla:

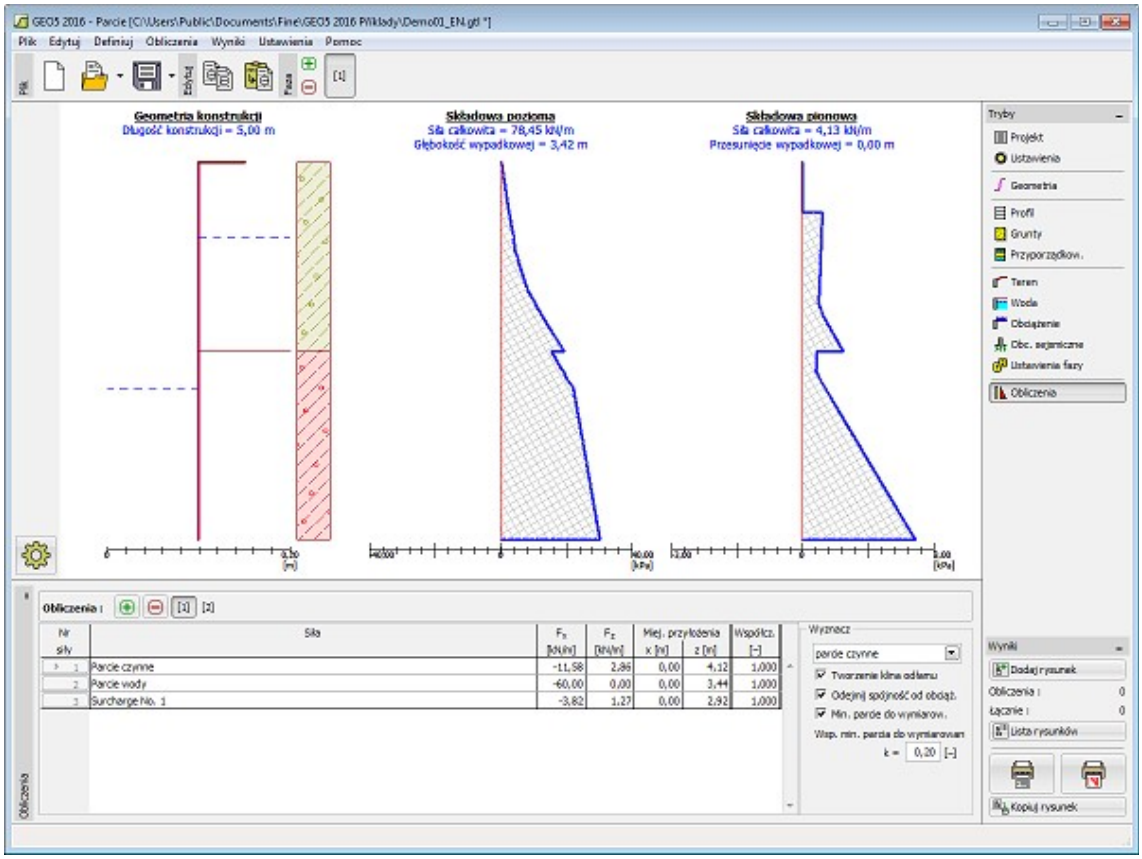
- wymiarowania konstrukcji w kilku miejscach
- analiz różnych powierzchni poślizgu
- sprawdzenia z różnymi współczynnikami projektu

Pasek w górnej części ramki służy do zarządzania poszczególnymi analizami.



Ramka "Analizy" - pasek narzędzi "Wykonywanie dodatkowych analiz / sprawdzeń"

	Dodaj	• dodaje dodatkowe analizy na pasek
	Usuń	• usuwa aktualnie **zaznaczone analizy**
[1] [2]	**Analyza 1,2,3 ...**	• przełącza pomiędzy poszczególnymi analizami



Ramka "Analiza" - "wykonywanie dodatkowych analiz / sprawdzeń "

Współpraca programów

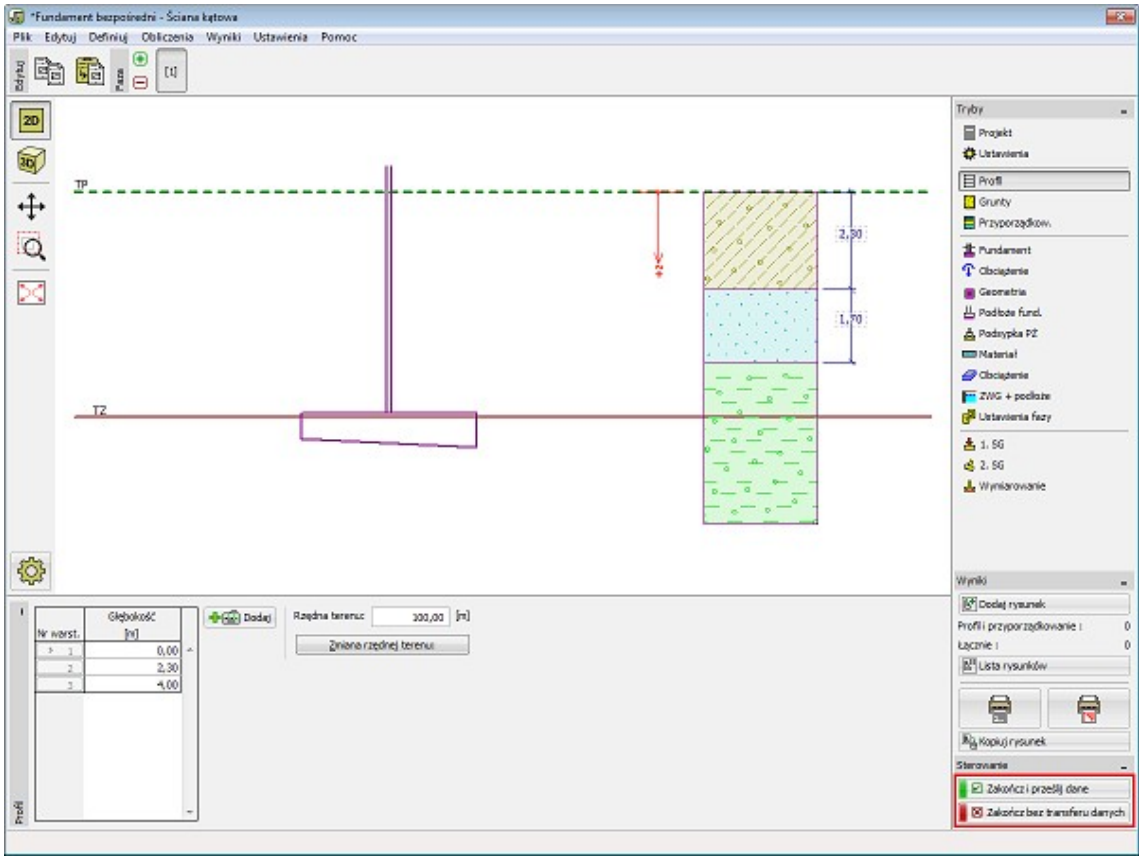
W niektórych przypadkach istnieje możliwość uruchomienia nowego programu z poziomu aktualnie uruchomionego programu. Na przykład, program "**Ściana oporowa**" umożliwia uruchomienie programu "**Stateczność zbocza**" w celu sprawdzenia stateczności zewnętrznej konstrukcji bądź programu "**Fundament bezpośredni**" do sprawdzenia nośności fundamentów konstrukcji.

Nowy program pobiera dane konstrukcyjne, a następnie funkcjonuje jako osobny program - zamykanie programu nieco się jednak różni. Naciśnięcie przycisku **"Zakończ i prześlij dane"** (po prawej pod paskami narzędzi) zamyka program, a dane analizy przekazywane są do pierwotnego programu. Nie dzieje się tak jednak w przypadku zamknięcia programu za pomocą przycisku "**Zakończ bez transferu danych**".

Program, **podczas jego pierwszego uruchomienia**, tworzy dane konstrukcyjne i przekazuje wymiary konstrukcji, dane geologiczne, obciążenia, dodatkowe obciążenia oraz pozostałe dane. Następnie, program wymaga **wprowadzenia dodatkowych danych**, np. metodę analizy, ustawienia analizy, powierzchnie poślizgu, fazy budowy, itp.

Podczas ponownego uruchomienia programu (jest to zawsze konieczne, jeżeli w oryginalnym programie zostały wprowadzone zmiany), program ponowne generuje dane do przekazania, ale **zachowuje dane już wprowadzone w tym programie**. Na przykład, podczas łączenia oryginalnego programu z programem "**Fundament bezpośredni**", nowy program zachowuje dodatkowo wprowadzoną podsypkę piaskowo-żwirową razem z wprowadzonym gruntem - wymiary fundamentów, geometria fundamentów oraz profil geologiczny są jednak ponownie generowane na podstawie danych z programu wyjściowego.

Niektóre działania nie są dozwolone w nowym programie - np. zmiana podstawowych ustawień projektu, jednostek, itp. Wygenerowane zadanie można jednak zapisać do nowego pliku danych za pomocą przycisku "**Zapisz jako**" i pracować z nim, jak z dowolnym niezależnym zadaniem.



Uruchomienie programu "Fundament bezpośredni" z programu "Ściana kątowa"

Zapisane widoki

Programy oferują kilka sposobów wyświetlania wyników. Istnieje możliwość wyboru określonej opcji z ramki "Konfiguracja rysunku : Obliczenia". Przy prezentacji wyników obliczeń, bardzo często pojawia się konieczność dokonania skomplikowanych i nużących ustawień widoku - na przykład, jeżeli chcemy pokazać rozkład sił wewnętrznych w belkach (wyznaczonych w programie MES), należy wyłączyć zakres koloru, narysować jedynie nieodkształconą konstrukcję, wybrać zmienne do wyświetlania, wybrać powiększenie, itp. W celu uproszczenia sposobu zarządzania poszczególnymi widokami, programy umożliwiają zapisanie **aktualnego widoku** z wykorzystaniem **paska** "**Wybór i zapisywanie widoków**", a także przechodzenie z **widoku do widoku** we względnie prosty sposób.

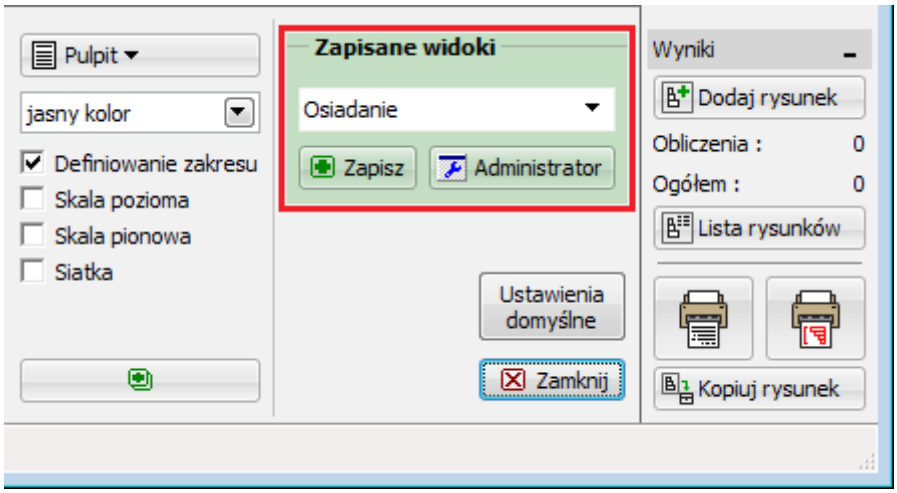
Zapisany widok zachowuje:

- Wszystkie ustawienia z "Konfiguracja rysunku : Obliczenia".
- Narysowane zmienne
- Zakres koloru
- Powiększenie rysunku

Widok zapisywany jest dla wszystkich faz budowy - jeżeli nie można wykonać takiego

ustawienia w konkretnej fazie budowy (np. w pierwszej fazie budowy osiadanie i niecka nie są zdefiniowane), wówczas programy wyświetlają najbliższe możliwe ustawienie a definiowany widok przełączany jest do **<żadne>**.

Elementy sterowania pokazane są w ramce "**Analiza**" w trybie "Konfiguracja rysunku".



"Zapisane widoki" - elementy sterowania

Następujące jednostki sterowania dostępne są do **zarządzania widokami**:

Osiadanie	**Wybierz widok**	• lista rozwijana umożliwia wybranie wcześniej zdefiniowanego i zapisanego widoku
Zapisz	**Zapisz bieżący widok**	• otwiera okno dialogowe "**Nowy widok**" w celu zapisania nowego widoku.
Administrator	**Otwórz menadżer widoków**	• otwiera okno "Menadżer rysunków" z listą widoków

Konfiguracja rysunku : Obliczenia

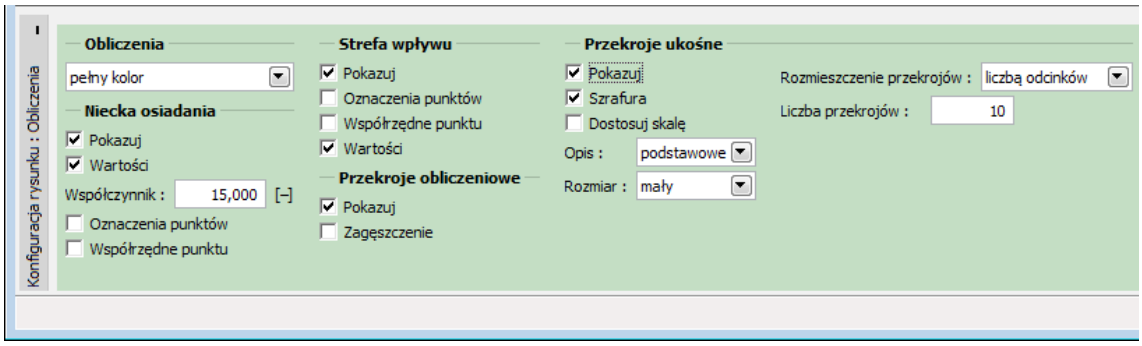
Ramka "**Konfiguracja rysunku : Obliczenia**" zapewnia narzędzia do przejrzystego wyświetlania wyników na ekranie oraz w drukowanej dokumentacji:

- Parametry do rysowania **niecki osiadania** oraz **strefy oddziaływania**
- Ustawienia widoków powierzchni i skali kolorów rysunku
- Ustawienia i rysowanie **pochyłych przekrojów**

Programy oparte na **metodzie elementów skończonych** pozwalają ponadto na ustawienie:

- Parametrów rysowania **siatki** elementów skończonych
- Parametrów rysowania konstrukcji - **odkształconej / nieodkształconej** (opcja nieodkształcona musi być wybrana podczas wyświetlania sił wewnętrznych w elementach belkowych)
- **Rozkład sił wewnętrznych** wzdłuż elementów kontaktowych i elementów belkowych

Wszystkie informacje zdefiniowane w tej ramce (łącznie z ustawieniem aktualnego powiększenia) mogą być zapisane za pomocą paska do wyboru i zapisania widoków.

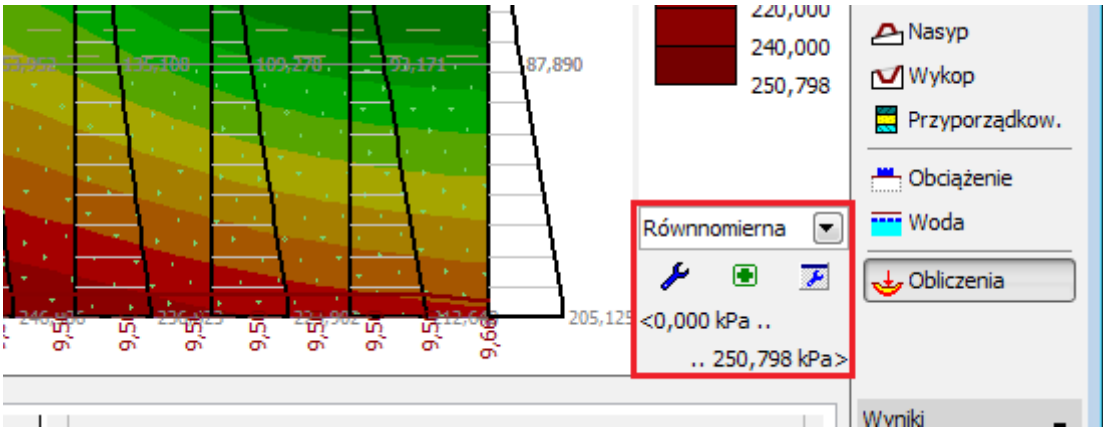


Ramka "Ustawienia wizualizacji" - ustawienia wizualizacji wyników

Ustawianie zakresu kolorów

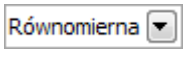
Zakres kolorów jest ważnym narzędziem zapewniającym płynną wizualizację wyników. Program oferuje dwa zdefiniowane typy zakresów koloru - "**Równomierna**" i "**Przez zero**". Oba zakresy posiadają zmienną wartość maksymalną i minimalną oraz zdefiniowane kolory. Maksymalne i minimalne wartości **automatycznie generowane** po zmianie parametru lub fazy budowy. Zakres "**Jednolity**" oznacza, że kolory są równomiernie rozłożone od minimalnej do maksymalnej wartości. Zakres "**Przez zero**" rysuje dodatnie wartości za pomocą ciepłych kolorów (żółty, czerwony), natomiast zimne kolory (zielony, niebieski) używane są do przedstawienia ujemnych wartości.

Program umożliwia wprowadzenie **zakresów definiowanych przez użytkownika** ze **stałą** oraz **zmienną** wartością minimalną i maksymalną. Zakres zdefiniowany przez użytkownika jest określany w oknie dialogowym "Definicja skali kolorów". Zakres jest zawsze definiowany dla aktualnej jednostki (np. kPa, m) - w przypadku przełączenia jednostek, program zawsze ustawia zakres dla danej jednostki.



Jednostki sterowania paska narzędzi "Zakresy"

Następujące jednostki sterowania dostępne są do **zarządzania zakresami barw**:



Wybierz zakres
- rozwijana lista pozwala wybrać już określony i zapisany zakres barw



Zdefiniuj zakres barw
- otwiera okno dialogowe "Definicja skali barw" w celu utworzenia zakresu zdefiniowanego przez użytkownika



Zapisz aktualny zakres
- otwiera okno dialogowe "**Nowy zakres**" w celu zapisania nowego zakresu barw

	**Otwórz menadżer zakresów**	• otwiera okno z listą automatycznych i zdefiniowanych przez użytkownika zakresów barw

Definicja skali barw

Okno dialogowe "**Definicja skali karw**" służy do tworzenia **skali barw użytkownika**.

Pole wyboru "**Zmienne minimum i maksimum**" określa podstawowy rodzaj skali. Po zaznaczeniu, wartości minimum oraz maksimum skali są automatycznie ustawianie w przypadku zmiany parametru lub fazy budowy. Zatem, istnieje możliwość ustawienia:

- **Dostosowanie skali** (minimalna liczba poziomów wynosi 4, a maksymalna 100)
- **Skala kolorów**
- **Skala jednolita / przez zero**

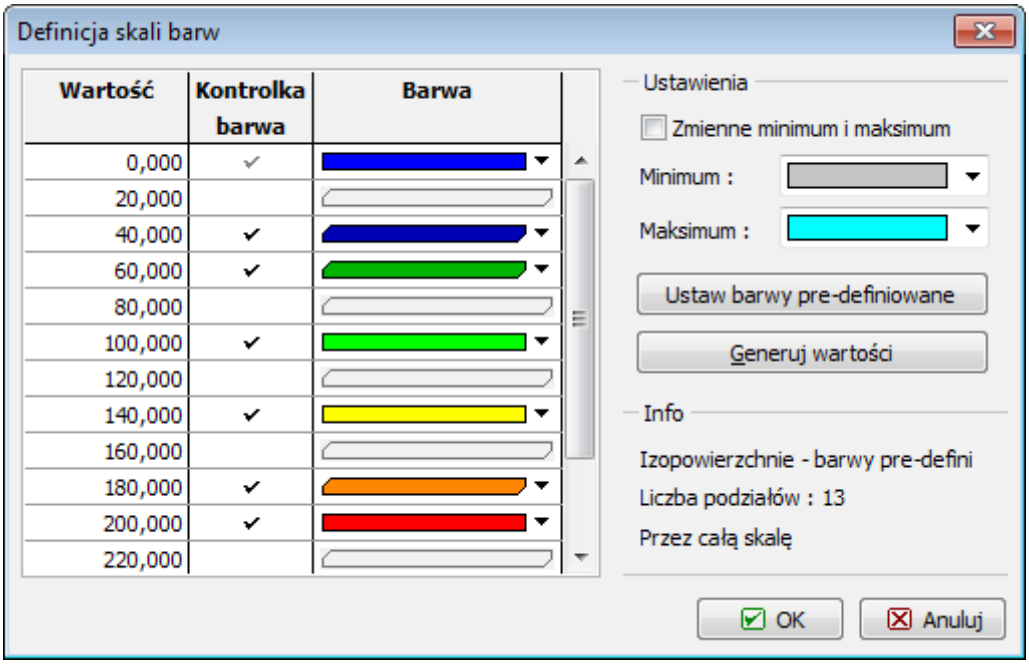
Liczba poziomów skali i rodzaj skali są określane w oknie dialogowym "**Generowanie skali**", które otwierane jest po naciśnięciu przycisku "**Generuj wartości**". Istnieje możliwość ustawienia **wartości** i **barw** w tabeli w lewej części tego okna dialogowego. Wartości zakresu można łatwo zmienić w tabeli. Jeżeli pole kolumny "**Kontrolka barwa**" jest zaznaczone, można wówczas wybrać dowolny kolor z rozwijanego pola. Barwa w pośrednich niezaznaczonych wierszach jest automatycznie mieszana z wprowadzonych barw w zaznaczonych wierszach. Domyślne wartości można zawsze przywrócić poprzez naciśnięcie przycisku "**Ustaw barwy predefiniowane**".

Istotną właściwością programu jest definicja zakresu ze **stałym minimum i maksimum**. Jeżeli pole "**Zmienne minimum i maksimum**" nie jest zaznaczone, wówczas zakres barw jest stały, a wprowadzane są jego wartości minimum i maksimum. W przeciwieństwie do zakresu zmiennego, można dalej określić:

- **Punkty końcowe zakresu** (w oknie dialogowym "**Generowanie skali**")
- **Kolorów** do wyświetlania **wartości poza zakresem**

Podczas zmiany parametru lub fazy budowy **zakres barw pozostaje taki sam**, zachowując te same zakresy końcowe. Wartości znajdujące poza zakresem (poniżej wartości minimum bądź powyżej wartości maksimum) rysowane są za pomocą kolorów określonych w prawej części okna. **Wartości minimalnego i maksymalnego zakresu** wprowadza się w oknie dialogowym "**Generowanie skali**". Wprowadzone wartości minimum i maksimum **połączone są z tą samą jednostką -** np. w przypadku określenia zakresu 0 - 200 kPa, zakres ten jest zachowywany dla wszystkich parametrów określanych w kPa - podczas zmiany aktualnie wyświetlanego parametru do parametru osiadania, aktualny zakres jest przełączany do jednostek osiadania.

Dla skali zmiennej jak i stałej, istnieje możliwość wyboru, czy barwy w zakresach są rozkładane **jednolicie** czy **przez zero**. Skala "**Jednolita**" oznacza, że barwy są gładko rozłożone od minimalnej do maksymalnej wartości skali. Skala "**Przez zero**" rysuje barwy powyżej wybranej wartości za pomoocą ciepłych kolorów (żółty, czerwony), natomiast zimne kolory (zielony, niebieski) używane są do przedstawienia zakresu poniżej wybranej wartości.



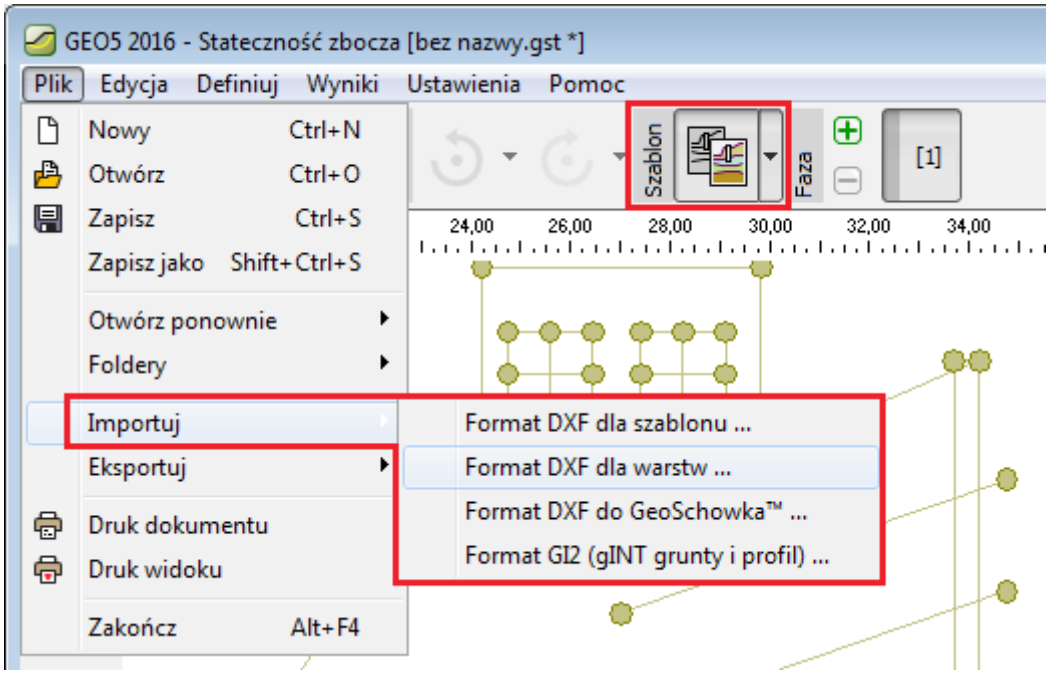
Okno dialogowe "Definicja skali barw"

Import i eksport DXF

Programy 2D ("**Stateczność zbocza**", "**Osiadanie**", "**MES**", "**Belka**"), pozwalają na importowanie i eksportowanie danych w formacie DXF.

Programy 1D ("**Ściana kątowa**", "**Gabion**", "**Fundament bezpośredni**", "**Pal**"...) pozwalają jedynie na eksportowanie danych w formacie *.DXF.

Główne menu programu (pozycja "**Plik**") zawiera funkcje "**Importuj**" - "**Format DXF dla szablonu**", "**Format DXF dla warstw**", "**Format DXF do GeoSchowka**" oraz "**Eksportuj**" - "**Format DXF**".



Menu i pasek narzędzi dla modułu "Eksport-import DXF"

Importowanie danych odbywa się w następujących krokach:

- Wczytywanie danych do szablonu
- Wczytywanie danych do warstw
- Wprowadzenie danych za pomocą szablonu
- Modyfikowanie szablonu podczas wprowadzania danych

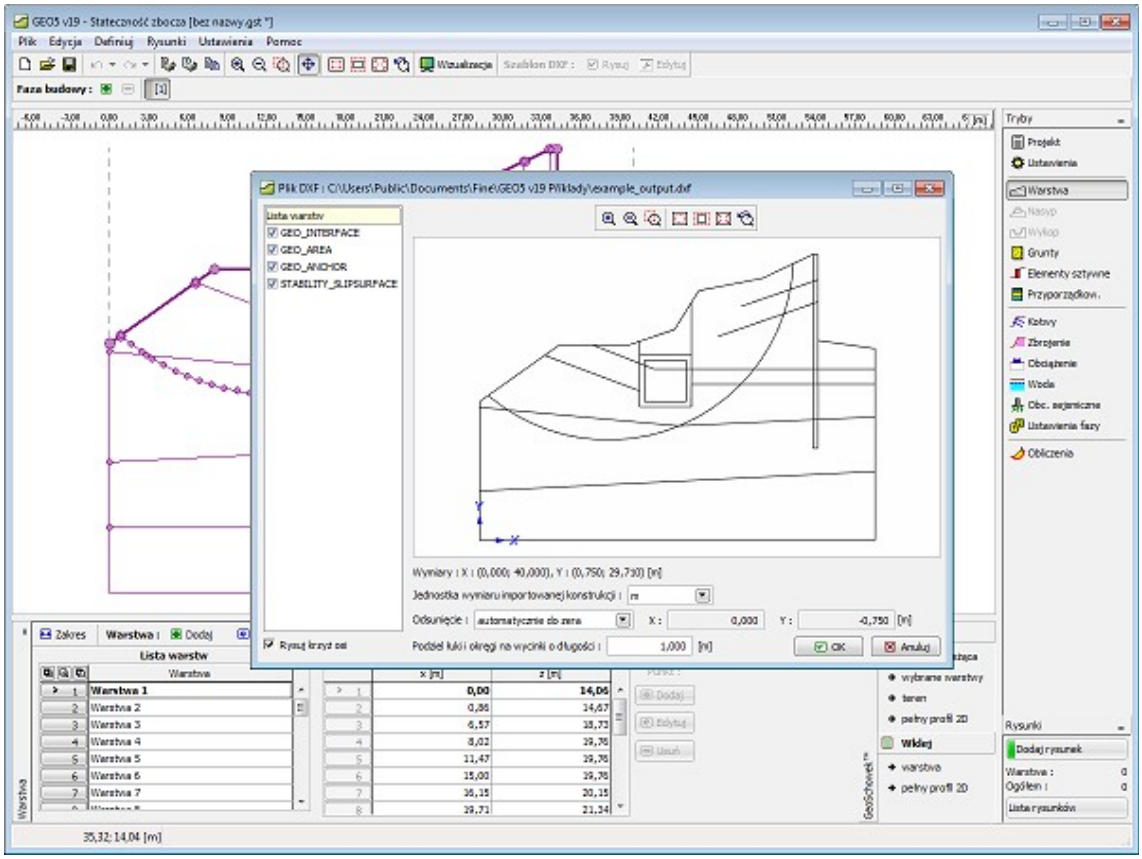
Dane wprowadzane do programu mogą być w dowolnym momencie eksportowane w formacie DXF.

Wczytywanie danych do szablonu

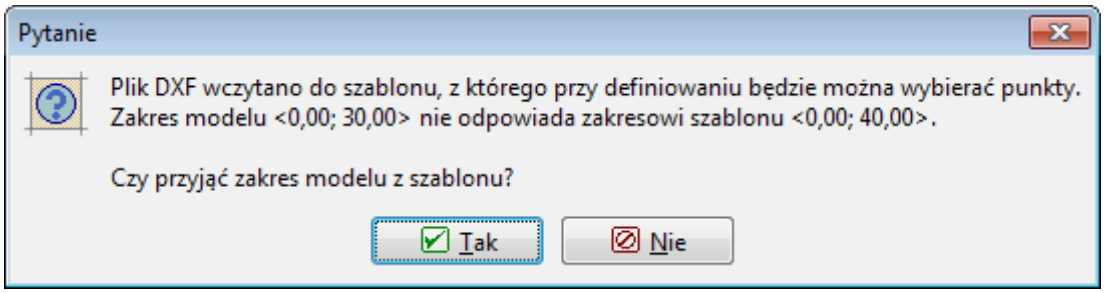
W menu programu ("**Plik**") wybierz opcję "**Importuj**", "**Format DXF do szablonu**", a następnie zwyczajnie wybierz plik do importowania. Wgrywane dane wyświetlane są w oknie dialogowym Import DXF a następnie wczytywane są do szablonu. Wybór warstw może być w dowolnym momencie zmodyfikowany.

Przy importowaniu danych możliwe jest dopasowanie zakresu modelu z wykorzystaniem importowanych danych - jest to szczególnie użyteczne, gdy definiowane jest nowe zadanie.

Importowane dane nie są bezpośrednio przenoszone do programu. Zamiast tego, są one wczytywane do szablonu, który pozwala na późniejszy transfer tych danych do programu. Gdy dane są przenoszone, na ekranie komputera wyświetlany jest szablon i dostępne są przyciski funkcyjne na poziomym pasku narzędzi, stosowane do obsługi szablonu.



Wczytywanie danych do szablonu



Modyfikacja zakresu modelu (dopasowanie obszaru)

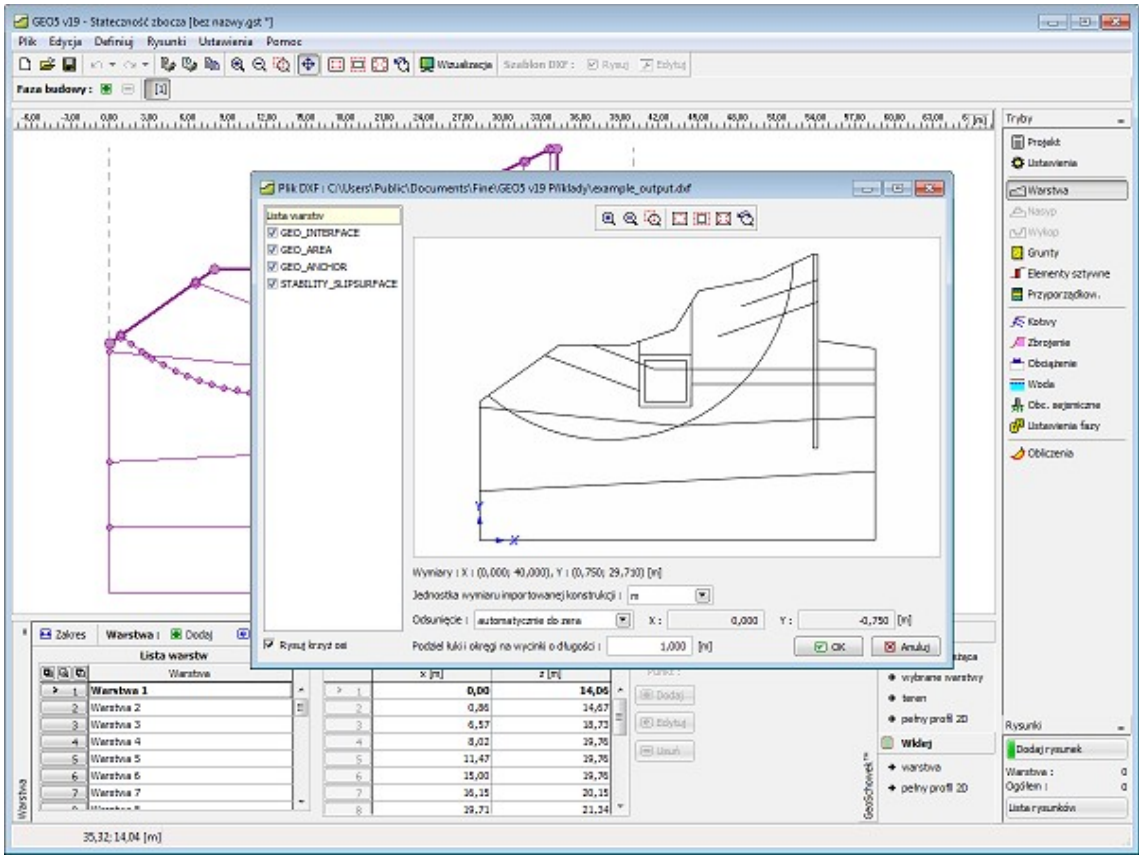
Wczytywanie danych do warstw

W menu programu ("**Plik**") wybierz opcję "**Import**", "**Format DXF dla warstw**", a następnie zwyczajnie wybierz plik do importowania.

Wczytywane dane wyświetlane są w oknie dialogowym Import DXF, które pozwala na dokonanie wyboru poszczególnych warstw i określenie innych parametrów. Program automatycznie dostosowuje rozmiar modelu do wczytywanych danych.

Po wciśnięciu przycisku "**OK**" tworzony jest nowy plik a dane DXF są wczytywane do warstw.

Jeśli nie wszystkie wybrane warstwy konstrukcji zostaną prawidłowo wczytane, program umożliwia zastosowanie wgranego pliku DXF jako szablonu.



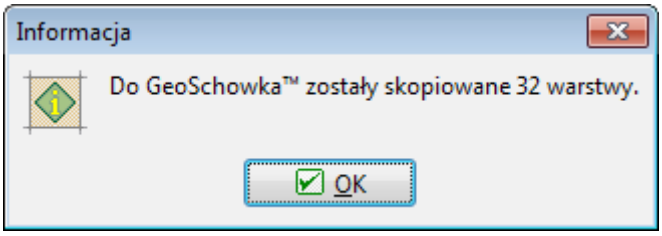
Wczytywanie danych do warstw

Wczytywanie danych do GeoSchowka

Wybierz pozycję **"Importuj"**, "**Format DXF do GeoSchowka**" w menu programu ("**Plik**") a następnie wybierz plik do zaimportowania.

Wczytywane dane wyświetlane są w oknie dialogowym Import DXF, które pozwala na dokonanie wyboru poszczególnych warstw i określenie innych parametrów.

Po wciśnięciu przycisku OK wybrane warstwy pliku DXF konwertowane są do warstw i kopiowane do GeoSchowka. Dane z GeoSchowka mogą być następnie wstawiane w wielu miejscach w programie.

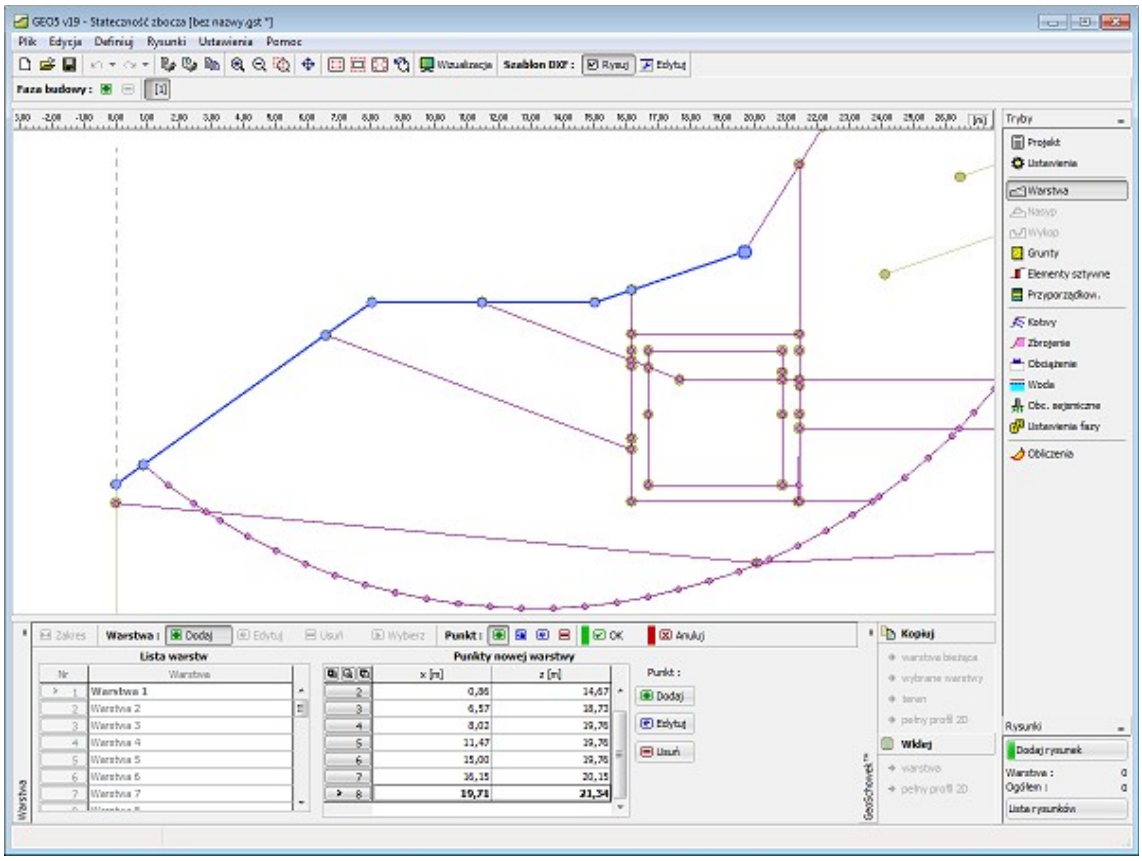


Informacja o prawidłowym skopiowaniu warstw do GeoSchowka

Wprowadzanie danych za pomocą szablonu

Wprowadzanie danych za pomocą szablonu zasadniczo nie różni się od standardowego definiowania danych w programie. Główną różnicą jest możliwość dodawania punktów z

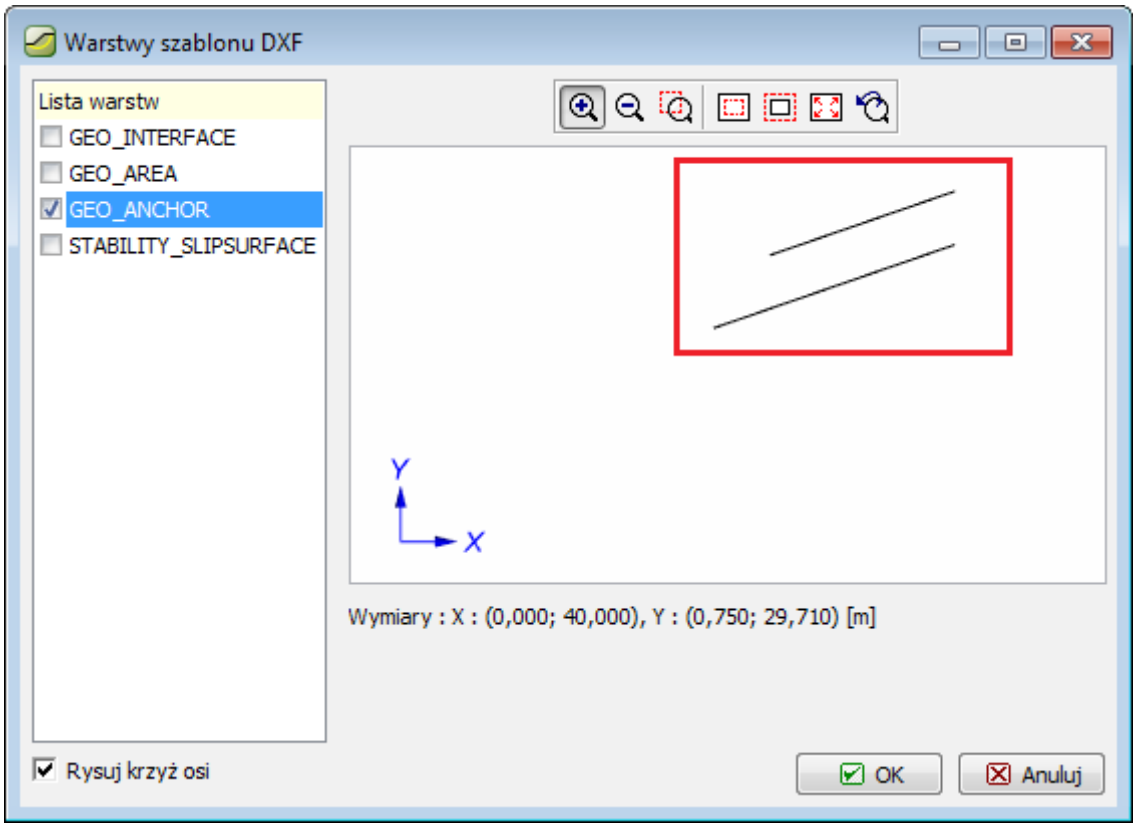
szablonu do wprowadzanych danych. Podczas wprowadzania (danych), kursor myszki wyświetlany jest jako krzyż osiowy, który przy dojściu do szablonu zamienia się w mały krzyżyk, a długie linie osiowe znikają. Jeśli w tym momencie wprowadzać będziemy punkt (za pomocą lewego przycisku myszki), to wstawiony zostanie punkt z szablonu (wprowadzany punkt będzie miał te same współrzędne, jak punkt z szablonu). Aby przyspieszyć wprowadzanie poszczególnych elementów, użyteczne może być zastosowanie narzędzi zmieniających wielkość obrazu (zoom). Po zdefiniowaniu warstw, procedurę można zastosować do wprowadzenia innych obiektów. Podczas operacji definiowania, w każdym momencie możliwe jest modyfikowanie szablonu.



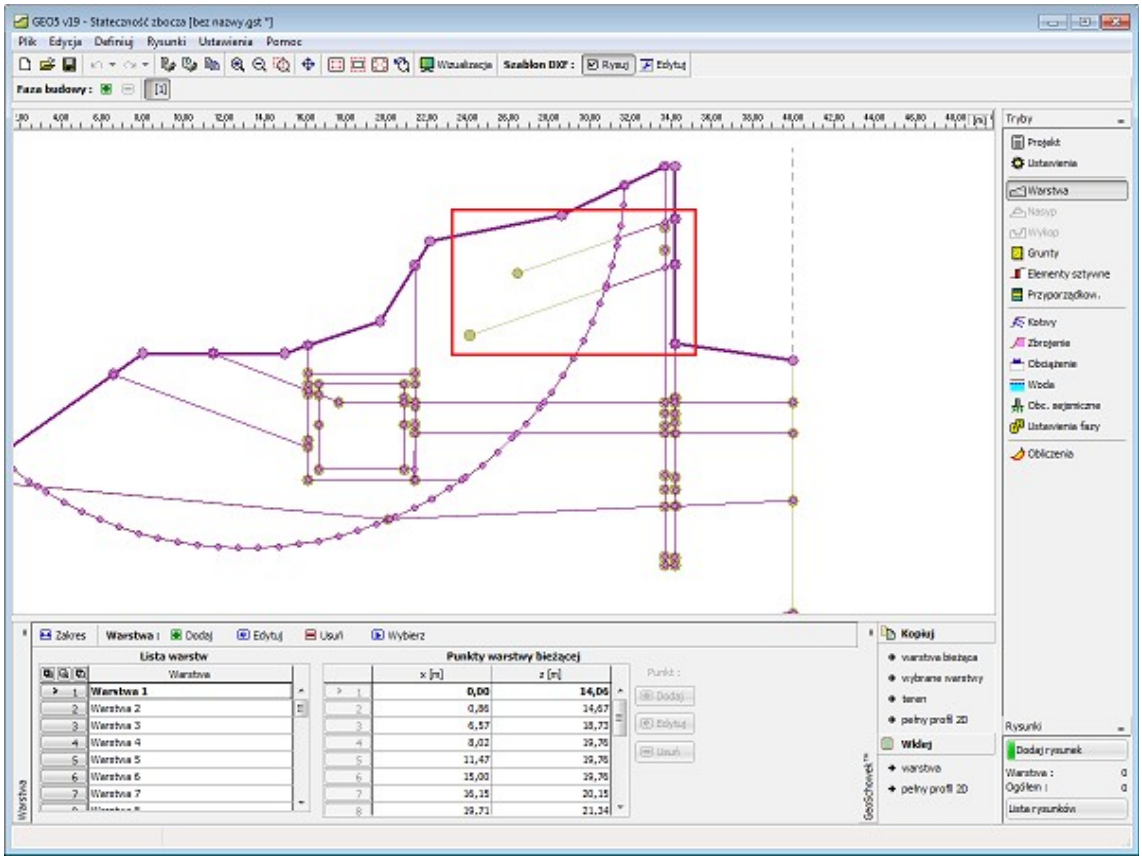
Wprowadzanie danych za pomocą szablonu

Modyfikowanie szablonu podczas wprowadzania danych

Podczas operacji wprowadzania danych, w każdym momencie możliwe jest modyfikowanie szablonu. W szczególności, naciśnięcie przycisku **"Edytuj"** na pasku narzędzi "**Szablon DXF**" spowoduje otworzenie okna dialogowego z poszczególnymi warstwami szablonu. Na przykład, gdy definiowane są kotwy, możliwe jest wyłączenie wszystkich warstw, z wyjątkiem warstwy kotew - w ten sposób wprowadzanie kotew stanie się proste i przejrzyste.



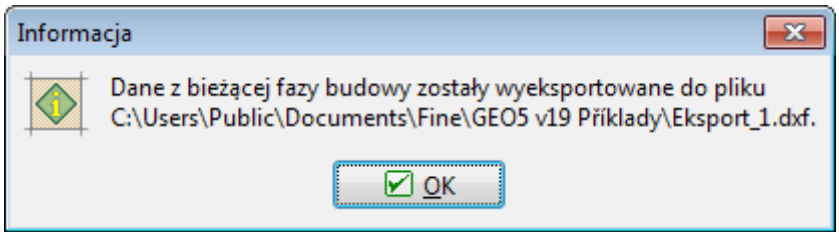
Włączanie / wyłączanie warstw w szablonie



Obraz wyświetlany po modyfikacji warstw w szablonie

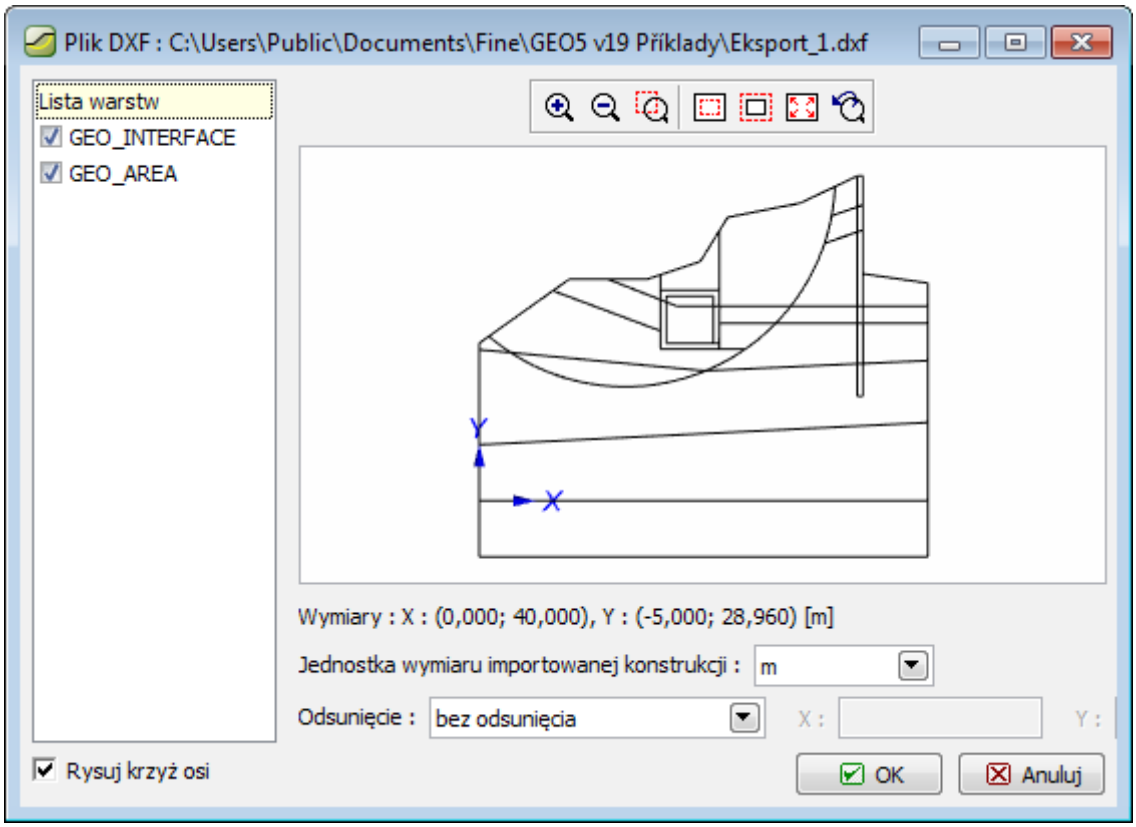
Eksport DXF

W celu wykonania eksportu DXF, korzystamy z menu programu (zakładka **"Plik"**) i wybieramy funkcje "**Eksportuj**", "**Format DXF**". Następnie, wybieramy nazwę pliku, który ma być eksportowany. Informacje dotyczące wykonywania eksportu danych są wyświetlane przez program w oknie dialogowym.



Informacje dotyczące wykonywania eksportu danych

Eksport danych można zweryfikować, poprzez wykonanie ich zwrotnego importu, z powrotem do programu.



Sprawdzenie eksportowanych danych

Import DXF

W oknie dialogowym Import DXF można określić parametry importu DXF.

W górnej części okna pokazany jest podgląd importowanych danych.

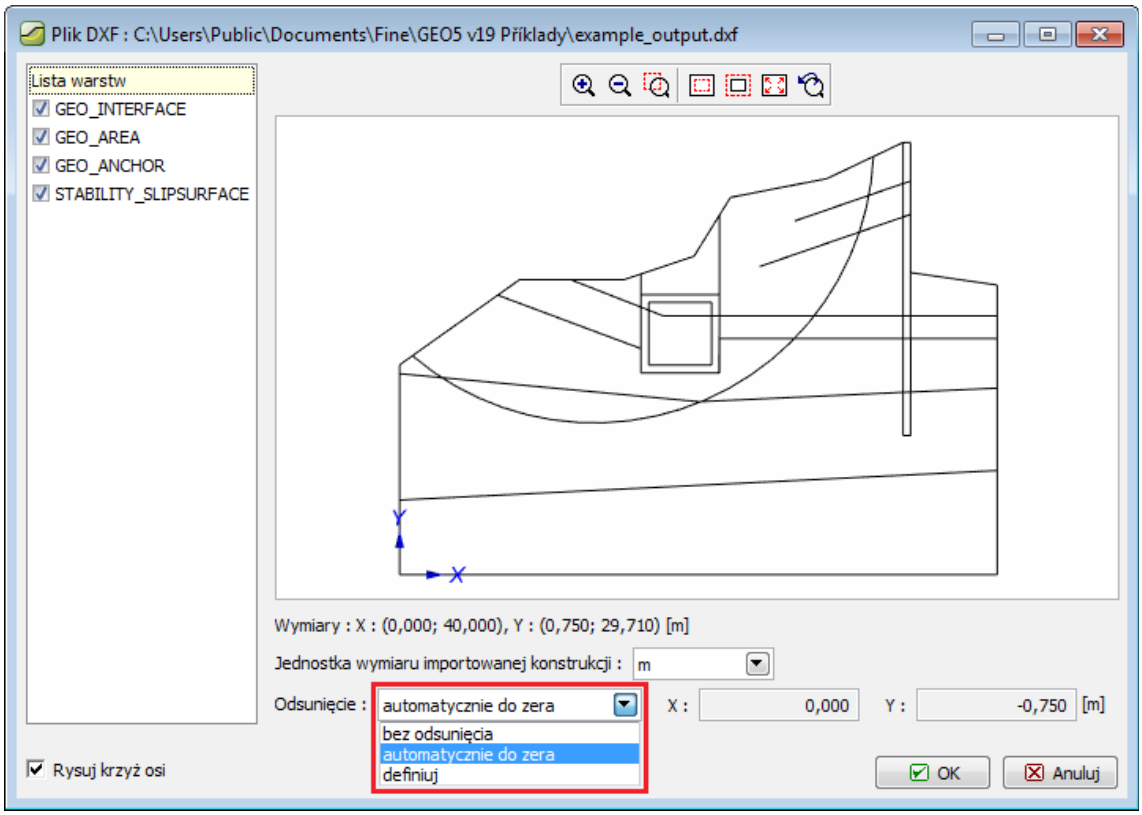
W lewej części okna natomiast mozna dokonać wyboru warstw do wczytania.

To samo okno dialogowe pozwala także na określenie jednostek przy tworzeniu pliku DXF. Program podejmuje próbę oszacowania jednostek, jednak **zawsze konieczne jest** sprawdzenie czy jednostki zostały zdefiniowane prawidłowo.

Istnieje również możliwość przesunięcia konstrukcji. Program oferuje następujące możliwości:

- **nie przesuwaj** - dane wczytywane są dokładnie w ten sam sposób jak były utworzone
- **automatycznie od zera** - lewy dolny róg konstrukcji zostanie przesunięty do początku układu współrzędnych
- **definiuj** - ta opcja pozwala użytkownikowi na ręczne zdefiniowanie przesunięcia konstrukcji.

Jeśli program nie zezwala na definiowanie łuków i okręgów, istnieje możliwość określenia podziału tych elementów na elementy liniowe.



Okno dialogowe Import DXF, parametry

Import danych tabelarycznych

Narzędzie to zostało stworzone w celu umożliwienia importu danych tabelarycznych (tzn. danych usystematyzowanych kolumnowo) do tabel w programach, np. obciążenia, współrzędne itp. Pozwala na wczytanie następujących formatów:

- plik tekstowy podzielony **separatorami**, np. przecinkami, średnikami, tabulatorami - rozszerzenie plików - CSV
- podstawowy plik tekstowy o **stałej szerokości kolumn**, dane usystematyzowane są kolumnowo z zastosowaniem tabulatorów lub spacji - najczęstsze rozszerzenie plików -

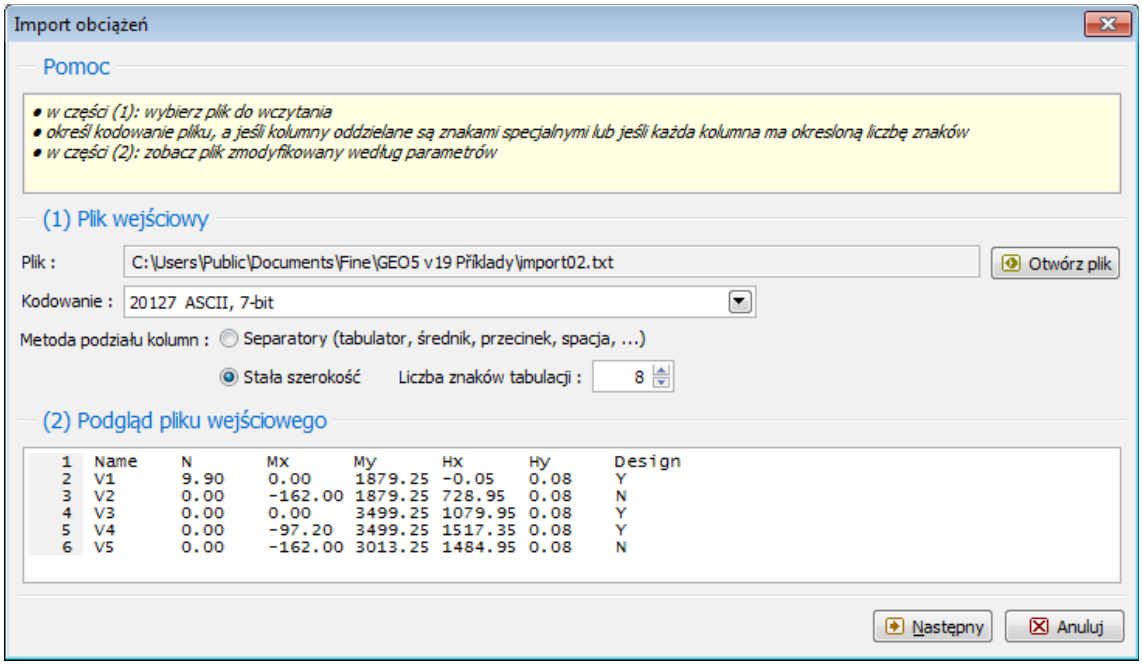
TXT

- **Tabele** Microsoft Office Excel (Office Open XML) - rozszerzenie plików - XLSX
- **Tabele** systemu OpenOffice (OpenDocument) - rozszerzenie plików - ODS

Import organizowany jest stopniowo, w trzech krokach i różni się nieznacznie w zależności od wczytywanego formatu. W górnej części okna wyświetlona jest krótka pomoc dotycząca procesu importu. Program podejmuje próbę analizy zawartości pliku i sugeruje najodpowiedniejsze parametry transferu danych. Jeśli użytkownik dokona zmian wybranych parametrów, program zapamiętuje te zmiany i stosuje je odpowiednio przy kolejnych operacjach dla innych plików.

1. krok: wybór pliku, określenie jego typu i zawartości

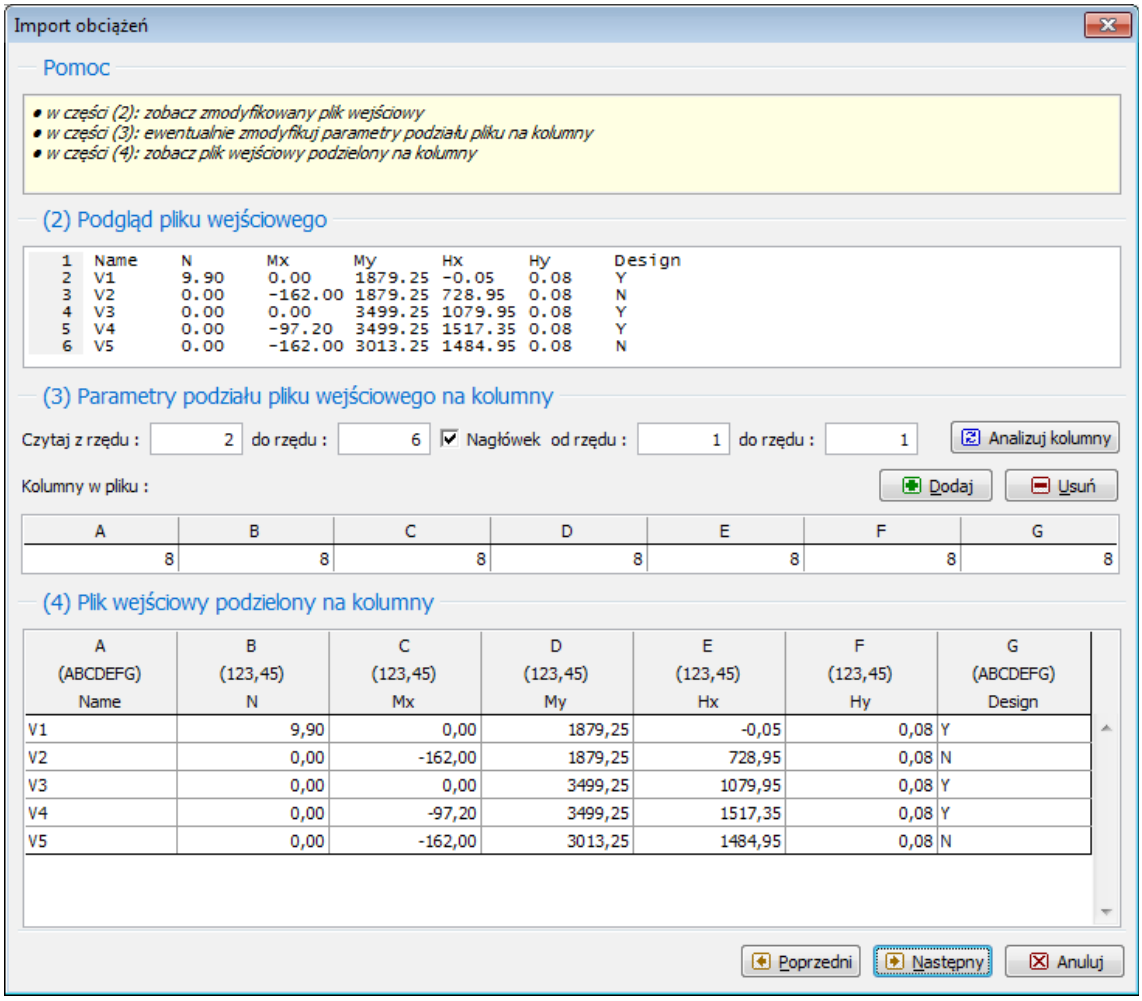
W tym kroku widoczne są (1) Plik wejściowy oraz (2) Podgląd pliku wejściowego.



1. krok

2. krok: podział pliku wejściowego na kolumny

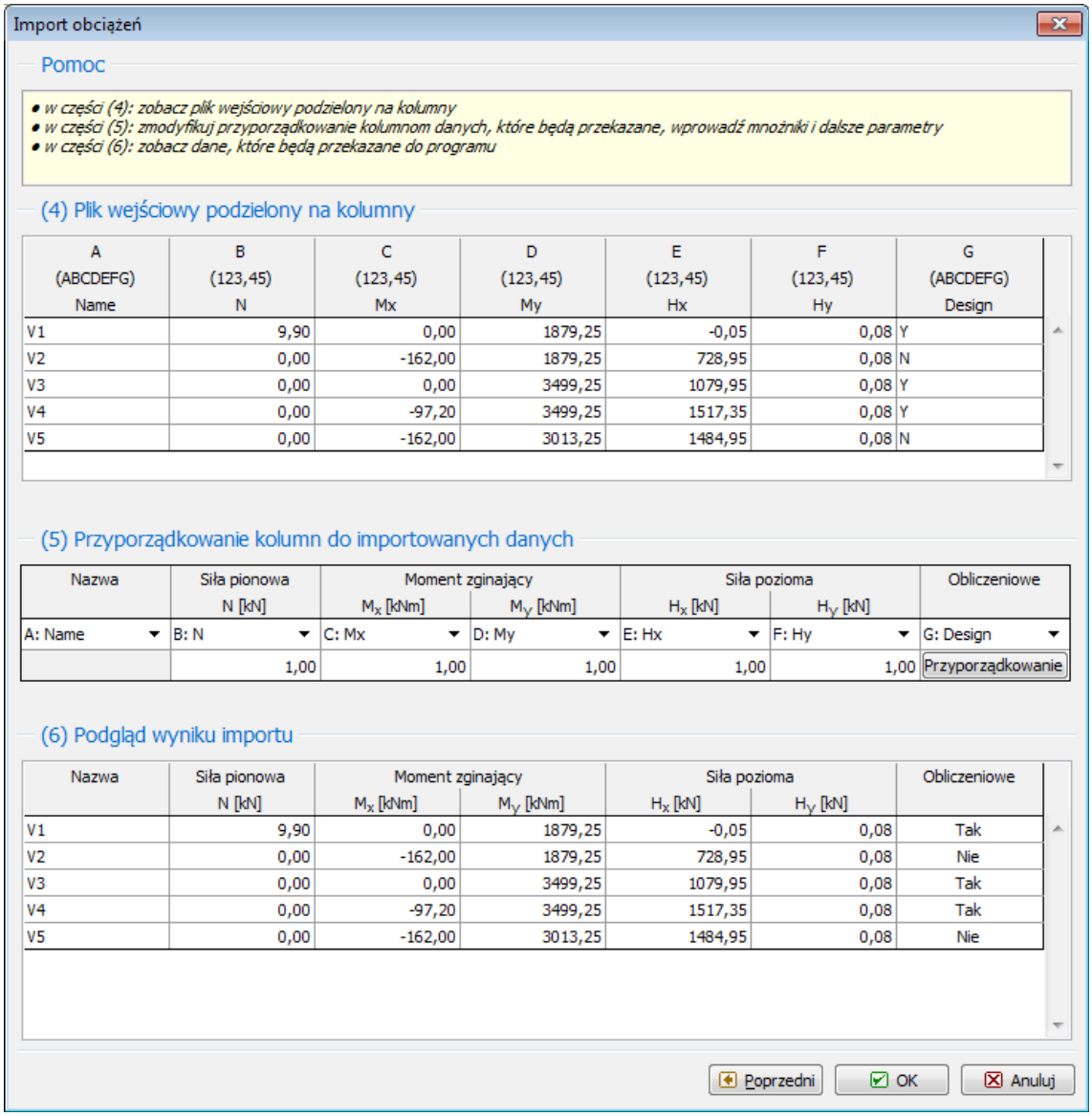
W tym kroku widoczne są (2) Podgląd pliku wejściowego, (3) Parametry podziału pliku wejściowego na kolumny oraz (4) Plik wejściowy podzielony na kolumny.



2. krok

3. krok: Przyporządkowanie kolumn do danych

W tym kroku widoczne są (4) Plik wejściowy podzielony na kolumny, (5) Przyporządkowanie kolumn do importowanych danych oraz (6) Podgląd wyniku importu.



3. krok

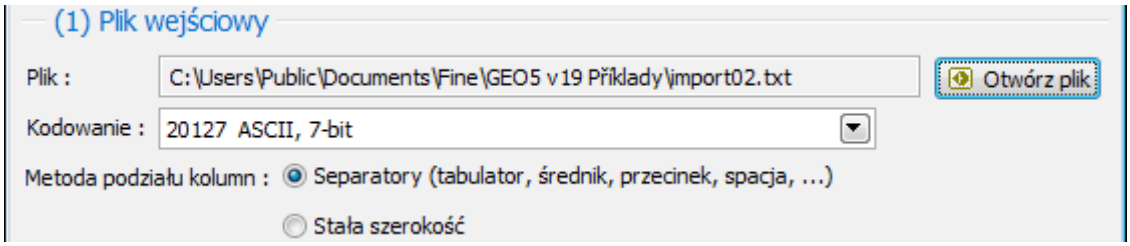
Następnie, po wciśnięciu przycisku "**OK**" dane są przesyłane do programu.

(1) Plik wejściowy

W tej części określany jest plik wejściowy oraz jego podstawowe parametry. Plik otwiera się w sposób standardowy poprzez wciśnięcie przycisku "**Otwórz plik**". Program analizuje plik wejściowy, a następnie wypełnia dane w tym oknie.

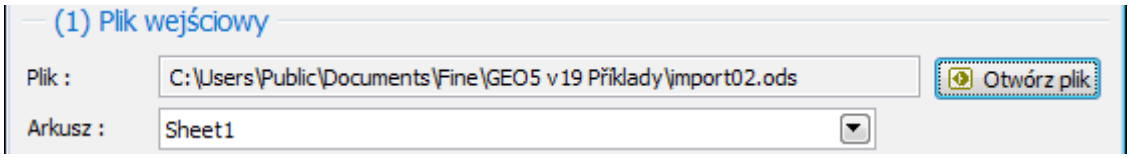
Jeśli importowany jest **plik tekstowy**, określane są następujące parametry:

- Kodowanie - można dokonać zmiany kodowania (języka), w którym plik został napisany
- Styl podziału na kolumny - informacja w jaki sposób dokonany jest podział pliku na kolumny, czy z zastosowaniem znaków specjalnych (które są następnie wprowadzane w tym miejscu) czy za pomocą stałej szerokości kolumn
- Liczba znaków w karcie - program zamienia tabulatory na spacje, do dalszej obróbki pliku



Plik teksotwy

Jeśli importowany jest **arkusz kalkulacyjny** (np. Excel), w tej części istnieje możliwość wyboru, który arkusz ma być importowany.

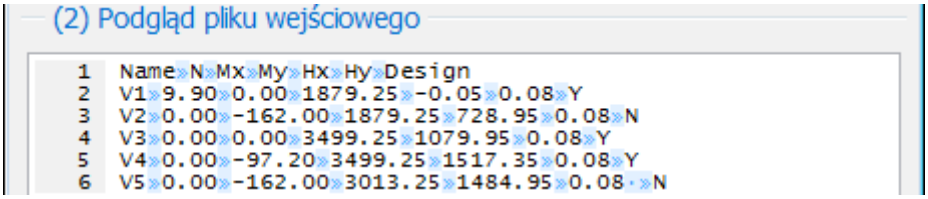


Arkusz kalkulacyjny

W obydwu przypadkach istnieje możliwość sprawdzenia wyniku w części (2) Podgląd pliku wejściowego. Jeśli dane są prawidłowe do dalszego kroku przechodzi się po naciśnięciu "**Następny**".

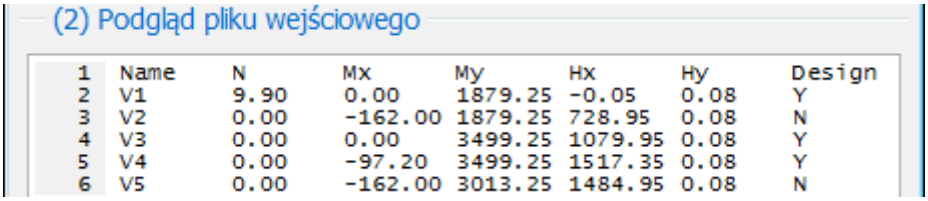
(2) Podgląd pliku wejściowego

W przypadku importu **pliku tekstowego** z **separatorami**, najczęściej wykorzystywane separatory są podświetlane w podglądzie pliku.



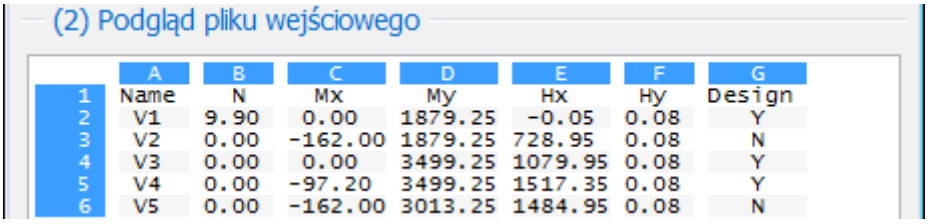
Plik tekstowy z separatorami

W przypadku importu **pliku tekstowego** z określoną, **stałą szerokością kolumn**, podgląd pliku wygląda następująco.



Plik tekstowy ze stałą szerokością kolumn

Jeśli importowany jest **arkusz kalkulacyjny**, podgląd zawiera adresy komórek.



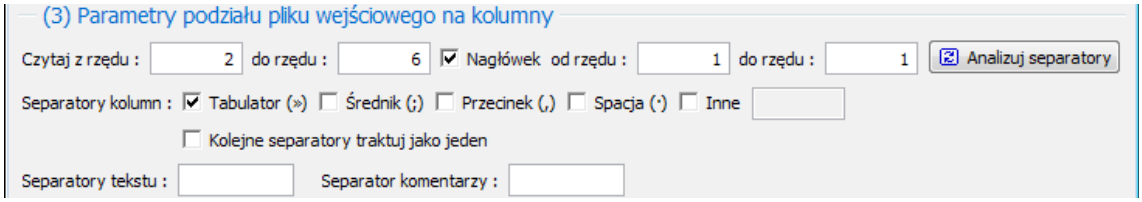
	A	B	C	D	E	F	G
1	Name	N	Mx	My	Hx	Hy	Design
2	V1	9.90	0.00	1879.25	-0.05	0.08	Y
3	V2	0.00	-162.00	1879.25	728.95	0.08	N
4	V3	0.00	0.00	3499.25	1079.95	0.08	Y
5	V4	0.00	-97.20	3499.25	1517.35	0.08	Y
6	V5	0.00	-162.00	3013.25	1484.95	0.08	N

Arkusz kalkulacyjny

(3) Parametry podziału pliku wejściowego na kolumny

Program analizuje plik wejściowy i wypełnia tę część okna uzyskanymi danymi.

Jeśli importowany jest **plik tekstowy** z **separatorami**, definiowane są następujące parametry:

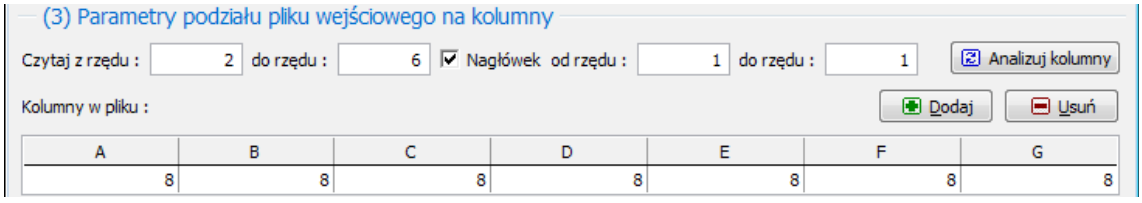


Plik tekstowy z separatorami

- określane są pierwszy oraz ostatni wiersz do wczytania, jeśli którykolwiek rząd posiada nagłówek - również pierwszy i ostatni rząd nagłówka
- należy dokonać wyboru rodzaju separatorów poprzez zaznaczenie odpowiedniego pola przy separatorze lub zaznaczenie pola "**Inne**" i wpisanie własnego separatora w linii definiowania
- pole wyboru "**Kolejne separatory traktuj jako jeden**" określa w jaki sposób program będzie uwzględniał separatory następujące natychmiast po sobie (również różne rodzaje separatorów)
- kwalifikatory tekstu określają czy kolumny tekstowe są zaznaczane jako lewe czy prawe
- kwalifikator komentarzy określa znak, od którego zawartość pliku będzie ignorowana do końca rzędu

Przycisk "**Analizuj separatory**" przeanalizuje ponownie separatory po zmianie zakresu rzędów.

Jeśli importowany jest **plik tekstowy** o **stałej szerokości kolumn**, definiowana jest liczba kolumn oraz szerokość każdej z kolumn.



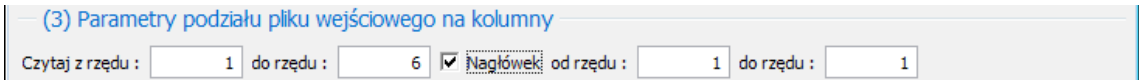
Plik tekstowy o stałej szerokości kolumn

- określane są pierwszy oraz ostatni wiersz do wczytania, jeśli którykolwiek rząd posiada nagłówek - również pierwszy i ostatni rząd nagłówka

- przycisk "**Dodaj**" wstawia kolumnę na końcu listy, przycisk "**Usuń**" usuwa ostatnią kolumnę
- w tabeli "**Kolumny w pliku**" definiuje się szerokość każdej z kolumn

Przycisk "**Analizuj kolumny**" przeanalizuje ponownie parametry po zmianie zakresu rzędów.

Jeśli importowany jest **plik arkusza kalkulacyjnego**, definiowane są jedynie pierwszy i ostatni rząd do wczytania, jeśli którykolwiek rząd posiada nagłówek - również pierwszy i ostatni rząd nagłówka.



Plik arkusza kalkulacyjnego

W każdym przypadku istnieje mozliwość sprawdzenia wyniku importu w części (4) Plik wejściowy podzielony na kolumny. Jeśli wszystko jest prawidłowo zaimportowane, należy kontynuować klikając przycisk "**Dalej**".

(4) Plik wejściowy podzielony na kolumny

W tej części prezentowany jest plik wejściowy podzielony według zdefiniowanych parametrów. Pierwszy rząd nagłówka zawiera litery A, B, C i kolejne, drugi rząd nagłówka określa typ danych w kolumnie, natomiast trzeci rząd nagłówka zawiera nagłówek uzyskany z pliku importowanego. Typy danych mogą być następujące:

- (ABCDEFG) dane tekstowe
- (123,45) liczba z przecinkiem dziesiętnym
- (123) liczba bez przecinka dziesiętnego

(4) Plik wejściowy podzielony na kolumny

A (ABCDEFG) Name	B (123,45) N	C (123,45) Mx	D (123,45) My	E (123,45) Hx	F (123,45) Hy	G (ABCDEFG) Design
V1	9,90	0,00	1879,25	-0,05	0,08	Y
V2	0,00	-162,00	1879,25	728,95	0,08	N
V3	0,00	0,00	3499,25	1079,95	0,08	Y
V4	0,00	-97,20	3499,25	1517,35	0,08	Y
V5	0,00	-162,00	3013,25	1484,95	0,08	N

Przetworzony plik wejściowy

(5) Przyporządkowanie kolumn do importowanych danych

Program przygotowuje wstępne przyporządkowanie kolumn. W kolejnym korku istnieje możliwość ręcznej zmiany przyporządkowania. System zapamiętuje zmiany wprowadzone przez użytkownika i stosuje je jako preferowane w kolejnych, podobnych przypadkach.

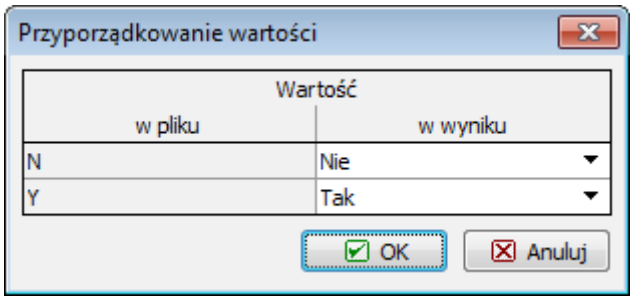
Przyporządkowanie kolumn wykonywane jest w następującej tabeli:

(5) Przyporządkowanie kolumn do importowanych danych

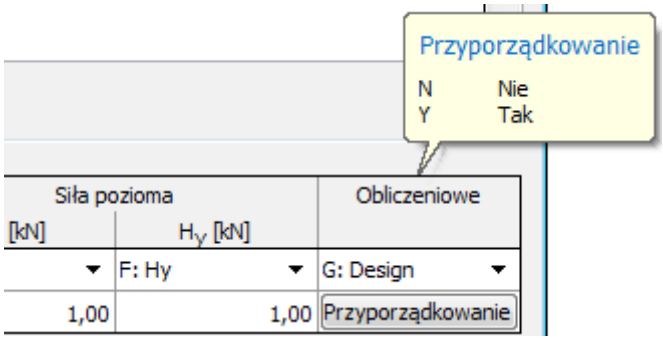
Nazwa	Siła pionowa N [kN]	Moment zginający M_x [kNm]	Moment zginający M_y [kNm]	Siła pozioma H_x [kN]	Siła pozioma H_y [kN]	Obliczeniowe
A: Name	B: N	C: Mx	D: My	E: Hx	F: Hy	G: Design
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	Przyporządkowanie

Przyporządkowanie kolumn

- Nagłówek tabeli zawiera kolumny wymagane przez tryb programu, do którego przeprowadzany jest import danych.
- W pierwszym wierszu tabeli przyporządkowywana jest kolumna pliku importowanego, w celu przesłania do właściwej kolumny danych. Kolumny mogą być stosowane wielokrotnie, ale należy pamiętać, że można przyporządkować jedynie dane kompatybilne ze sobą, np. nie można użyć kolumny tekstowej jako liczbowej, itp.
- W drugim wierszu tabeli istnieje możliwość przypisania mnożnika do wartości liczbowych. Wybranie przycisku "**Przyporządkowanie**" otwiera okno, w którym określa się, za pomocą wyboru **Tak/Nie**, jak wartości są traktowane. Bieżące przyporządkowanie wyświetlane jest w chmurce podpowiedzi po najechaniu kursorem na odpowiednią kolumnę.



Przyporządkowanie wartości



Chmurka z podpowiedzią

W każdym przypadku istnieje możliwość sprawdzenia wyniku w części (6) Podgląd wyniku importu. W przypadku zaistnienia jakichkolwiek błędów czy nieścisłości w oknie wyświetlany jest komunikat o błędzie.

Jeśli import danych wykonany został prawidłowo, może zostać zakończony/zatwierdzony poprzez kliknięcie przycisku "**OK**".

(6) Podgląd wyniku importu

W tej części pokazane są dane, które zostaną przesłane do programu.

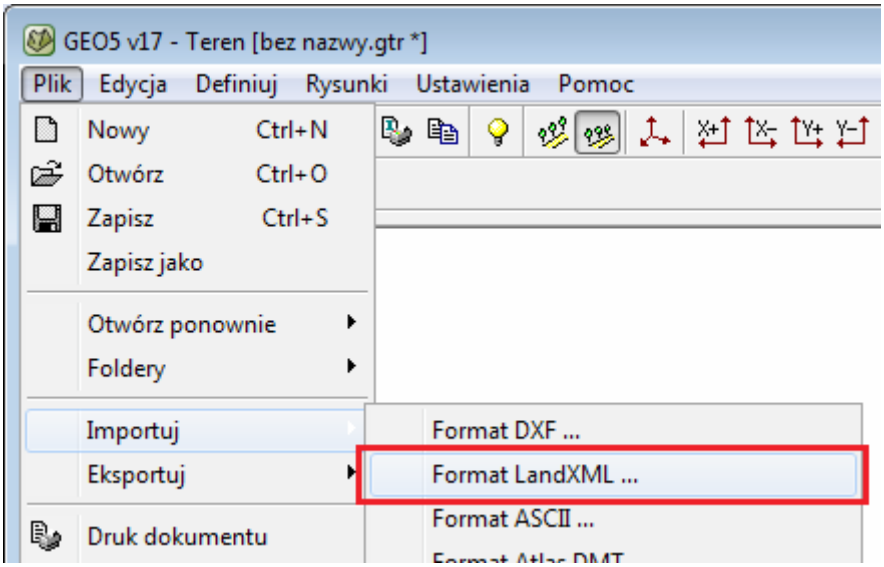
(6) Podgląd wyniku importu

Nazwa	Siła pionowa N [kN]	Moment zginający M_x [kNm]	Moment zginający M_y [kNm]	Siła pozioma H_x [kN]	Siła pozioma H_y [kN]	Obliczeniowe
V1	9,90	0,00	1879,25	-0,05	0,08	Tak
V2	0,00	-162,00	1879,25	728,95	0,08	Nie
V3	0,00	0,00	3499,25	1079,95	0,08	Tak
V4	0,00	-97,20	3499,25	1517,35	0,08	Tak
V5	0,00	-162,00	3013,25	1484,95	0,08	Nie

Wynik importu

Import_LandXML

Program "**Teren**" i "**Stratygrafia 3D**" umożliwia import danych w formacie LandXML. Wybierz pozycję "**Import**", "**Format LandXML**" item w menu programu ("**Plik**") następnie w standardowy sposób wybierz plik do importowania.



Import LandXML

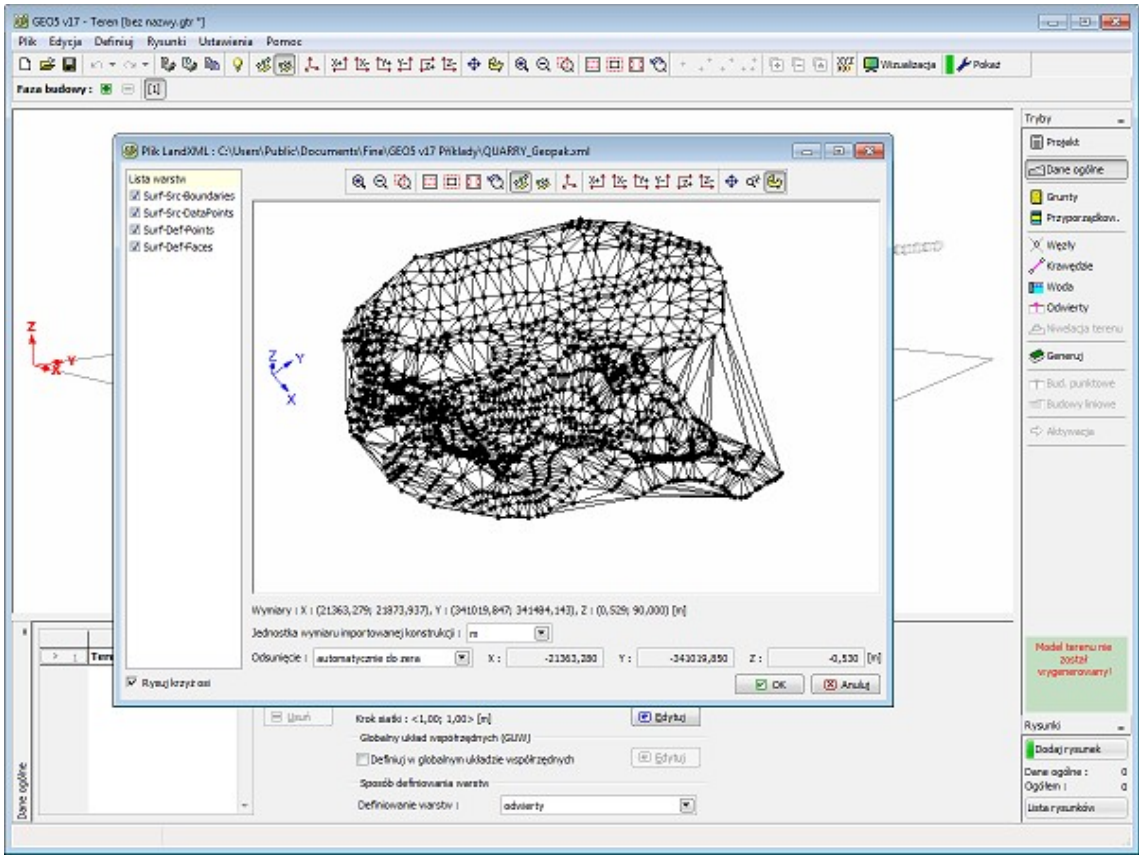
Wczytywane dane pokazywane są w oknie dialogowym, które umożliwia dokonanie wyboru poszczególnych warstw do wczytania w postaci punktów i warstw. To samo okno dialogowe pozwala także na modyfikację jednostek wykorzystywanych przy tworzeniu pliku LandXML. Konstrukcja może być również przesuwana. Program oferuje następujące opcje:

- **nie przesuwaj** - ta opcja wczytuje dane w taki sam sposób jak były definiowane
- **automatycznie do zera** - ta opcja przesuwa lewy dolny róg konstrukcji do początku układu współrzędnych
- **definiuj** - ta opcja umożliwia definiowanie ręczne przesunięcia konstrukcji

Podczas importu program automatycznie dostosowuje wymiary obszaru na podstawie wczytywanych danych.

Elementy LandXML, które mogą być importowane: Jednostki, Wyrównania, PunktyCg, Pakiety, FunkcjePrzestrzenne, Drogi, Powierzchnie, Badania.

Elementy LandXML, które nie moga być importowane: GradeModel, krzywe spiralne z wyłączeniem klotoid.



Wczytywanie danych

Dziedziczność - fazy budowy

Fazy budowy (Pasek narzędzi Fazy budowy) pozwala na modelowanie faz budowy krok po kroku oraz analizę każdej z nich (jest to niezbędne w programach **Ściana analiza, Osiadanie, MES).**

Dla poszczególnych elementów definiowania (przyporządkowanie gruntu, kotwy, podpory, itp...) zawsze istnieje zależność pomiędzy nimi na przestrzeni faz budowy.

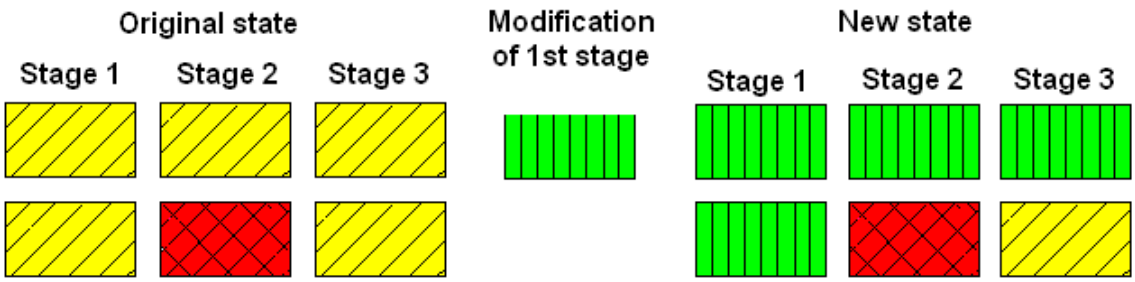
Istnieją dwa rodzaje:

Dziedziczność definiowana - (kotwy, podpory, obciążenie...) - obiekty te zawsze zapamiętują fazę, w której zostały utworzone. Jest to również faza, w której obiekty mogą być edytowane. We wszystkich następnych fazach obiekty te mogą być usunięte lub istnieje możliwość modyfikacji niektórych ich parametrów (dodatkowe sprężenie kotew, zmiana wartości obciążenia, przesunięcie podpór, itp…). Podczas definiowania nowej fazy budowy, obiekty te są automatycznie przenoszone do tej fazy.

Dziedziczność automatyczna - (przyporządkowanie gruntu, profil terenu, wpływ wody, ustawienia obliczeń…) - dla takich elementów, parametry z poprzednich faz są przenoszone do nowo utworzonej fazy. Podczas zmiany parametrów w bieżącej fazie budowy, program postępuje w następujący sposób:

- Jeżeli parametr w następnej fazie pozostaje taki sam, jak w poprzedniej fazie, wówczas otrzymuje etykietę nowy - zmiana ta ma również zastosowanie do wszystkich następnych faz.

- Jeżeli parametr w następnej fazie różni się od tego w poprzedniej fazie (oznacza to, że parametr ten został zmodyfikowany w następnej fazie), wówczas zmiana ta nie jest przenoszona do następnych faz.

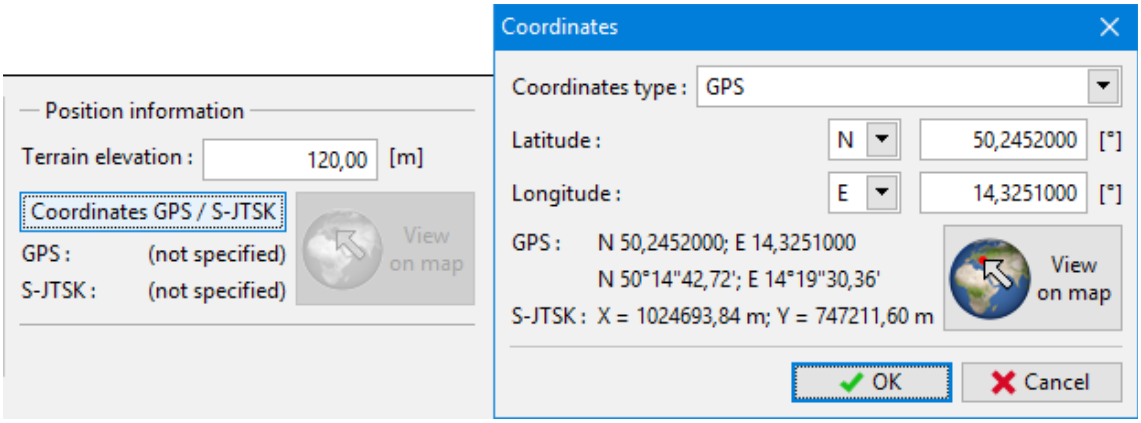


Zmiany na przestrzeni faz budowy - dziedziczność automatyczna

Site view on Google Maps

GEO5 programs allow to show the location of the construction on Google Maps. In the most GEO5 programs it is possible to define GPS coordinates in the frame "**Profile**".

In the Czech version of programs local S-JTSK coordinates can be introduced too.



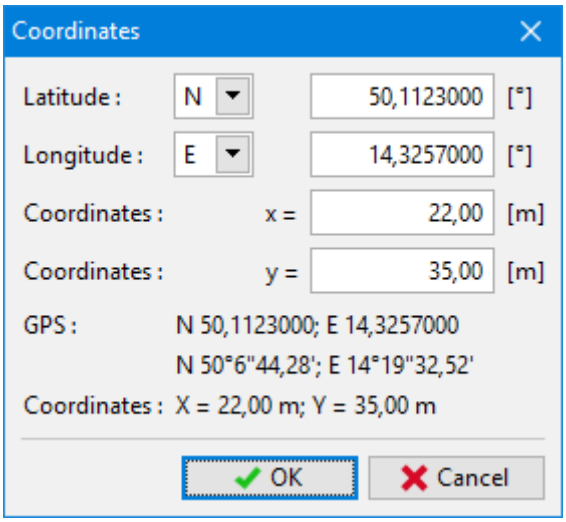
Input of GPS coordinates

By pressing the button "**View on map**" you can show the location on the Google Maps.



The site on Google Maps

In the program Stratigraphy it is possible to show the shape of construction site and input boreholes and field tests. If the coordinate system is **S-JTSK**, GPS coordinates are **calculated automatically**. For **another coordinate systems** it is neccesary (in the frame Construction Site) to input one point in both - **local coordination system** and **GPS coordinates**.



Input of the point in both coordinate systems



The construction site with provided tests on Google Maps

Normy i metody obliczeniowe

Programy GEO5 umożliwiają wspólne zarządzanie i definiowanie parametrów dotyczących norm i metod obliczeniowych.

We wszystkich programach GEO5, parametry te mogą być definiowane w **ramce "Ustawienia"**, która umożliwia użytkownikowi:

- dokonać wyboru parametów obliczeń z Listy ustawień
- przechowywać i zarządzać ustawieniami w Administratorze ustawień
- zarządzać i tworzyć własne, nowe ustawienia użytkownika

Program umożliwia przeprowadzenie analizy konstrukcji z zastosowaniem pięciu następujących metod:

- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa
- Analiza według stanów granicznych
- Analiza według EN 1997
- Analiza według LRFD
- Analiza według norm Chińskich

Program pozwala także na zdefiniowanie sytuacji obliczeniowych (dla różnych faz budowy), które mogą się różnić współczynnikami częściowymi.

Administrator ustawień

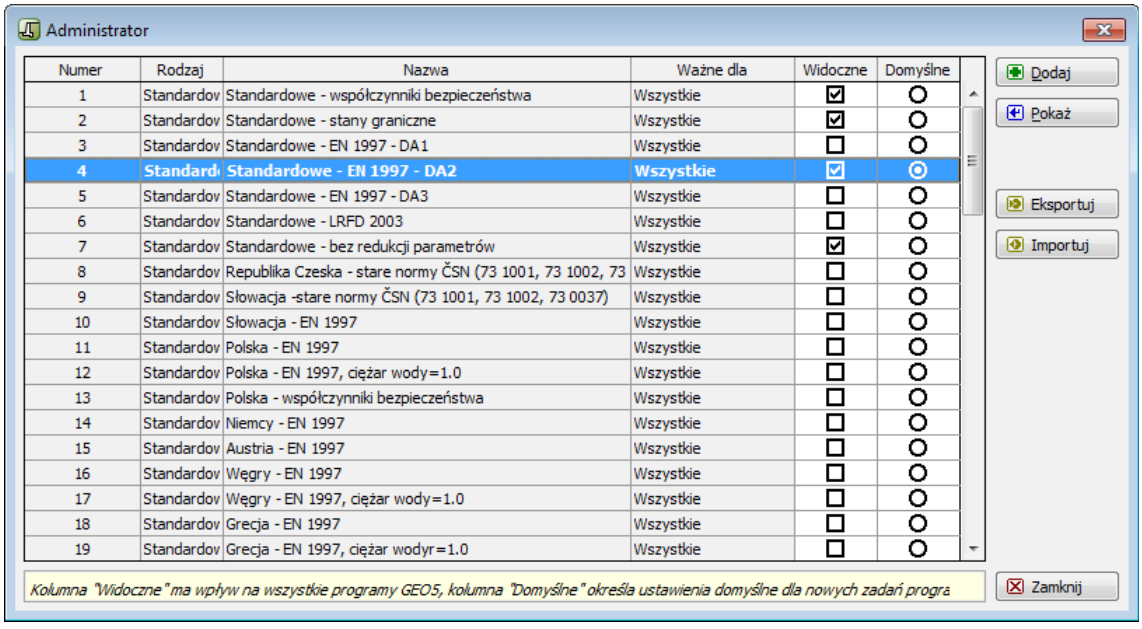
Administrator Ustawień jest głównym narzędziem do zarządzania poszczególnymi

"Ustawieniami". W szczególności umożliwia użytkownikowi:

- określić **widoczność Ustawień** na "Liście ustawień" (poprzez zaznaczenie pola wyboru w kolumnie "**Widoczne**")
- określić **Ustawienia domyślne** dla nowych plików bieżącego programu (kolumna "**Domyślne**")
- **zobaczyć Ustawienia podstawowe** wybrane w danym momencie (dostępne poprzez przyciśnięcie przycisku "**Edytuj**")
- **dodać Ustawienia własne** (przyciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**" otwiera okno dialogowe "**Nowe ustawienia**" z kopią aktualnie wybranego Ustawienia)
- **edytować zdefiniowane Ustawienia własne użytkownika** (przyciskając przycisk "**Edytuj**")
- **usuwać Ustawienia własne użytkownika** (przyciskając przycisk "**Usuń**").

Dodatkowo, Administrator Ustawień umożliwia eksport i import Ustawień przechowywanych na dysku.

Widoczność lub ustawienia domyślne mogą być wybierane za pomocą myszki lub poprzez przyciśnięcie klawisza Spacji (dotyczy wyboru Widoczności) lub klawisza Shift+Spacji (dotyczy wyboru ustawień Domyślnych).



Okno dialogowe "Administrator"

Eksport i import ustawień

Ustawienia uzytkownika wybrane w "Administratorze ustawień" mogą być zapisywane do pliku ("**Eksport**") w formatach ***.g5c** oraz ***.xlm,** a następnie mogą być wczytywane ("**Import**") na innym komputerze, na którym zainstalowano programy GEO5. Umożliwia to wspólne użytkowanie ustawień obliczeń przez wielu użytkowników, np. w firmach, w których w wielu biurach wykupione zostały licencje na oprogramowanie GEO5.

Formaty te mogą być również przydatne przy przesyłaniu różnorodnych problemów do obsługi technicznej Fine.



Eksport (Import) wybranych "Ustawień" parametrów obliczeniowych

Lista ustawień

Okno dialogowe "**Lista ustawień**" pozwala użytkownikowi na wybranie "Ustawienia" dla bieżącego projektu, które będzie sterowało analizą obliczeniową danego zadania.

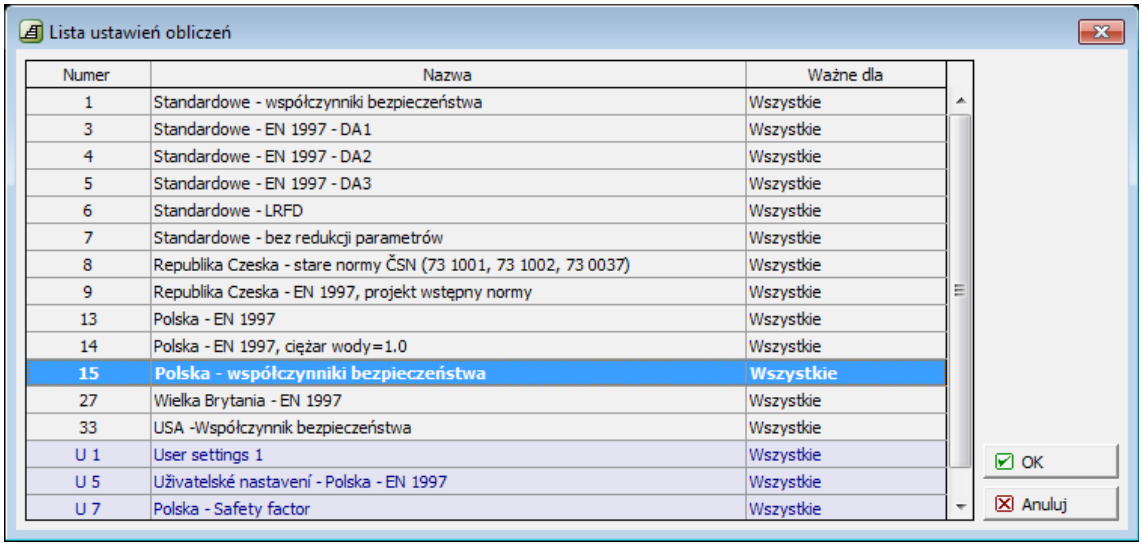
Lista ta zawiera dwa rodzaje ustawień:

- **podstawowe**, dostarczane z oprogramowaniem; nie może być ani edytowane ani usuwane,
- **użytkownika**, własne - definiowane przez użytkownika.

Lista dotyczy wszystkich programów GEO5, jedynie niektóre Ustawienia mogą być dedykowane konkretnym programom.

Upraszczając, tylko Ustawienia, które są zaznaczone jako widoczne w "Administratorze ustawień" są wyświetlane. Przy pierwszym użytkowaniu programu widoczność ustawień określona jest na podstawie kraju docelowego użytkowania. W dalszej kolejności program zapamiętuje własne ustawienia wprowadzone i zachowane przez użytkownika.

W celu zwiększenia efektywności pracy z programami GEO5, wystarczy zdefiniować jedno lub więcej specyficznych "Ustawień". Nastenie, w celu **rozwiązania poszczególnych zadań** użytkownik jedynie wybiera **stosowne Ustawienie**. Wówczas nie ma już konieczności definiowania metod obliczeniowych, wartości współczynników obliczeniowych oraz metodologii obliczeń. W rezultacie praca z programem jest klarowna i prosta.



Okno dialogowe "Lista ustawień"

Ustawienia obliczeń

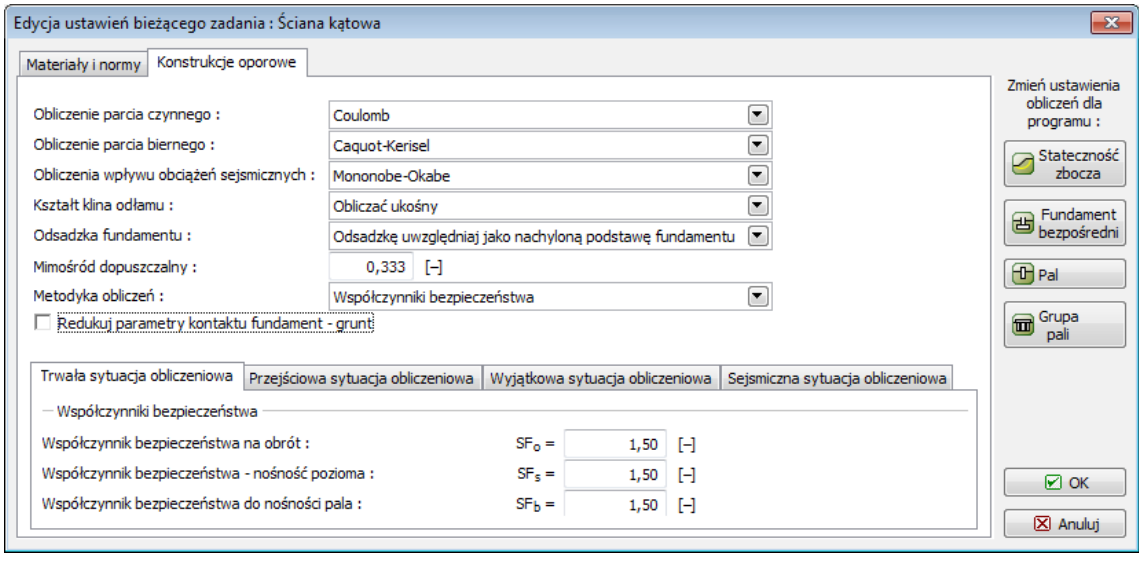
Ustawienia obliczeń to zestaw danych, decydujących o przebiegu różnorodnych obliczeń w danym programie. Są to na przykład:

- metody oraz teorie obliczeniowe
- metodologia obliczeń; sposób zapewnienia bezpieczeństwa projektowanej konstrukcji (współczynnik bezpieczeństwa, stany graniczne, EN 1997, LRFD, normy chińskie)
- wartości współczynników częściowych oraz współczynników bezpieczeństwa dla poszczególnych sytuacji obliczeniowych.

Ustawienia obliczeń są zwykle jednakowe dla wielu zagadnień - dlatego, program umożliwia stworzenie "Listy ustawień". Poszczególne ustawienia mogą być edytowane, eksportowane i importowane w "Administratorze ustawień".

Ustawienia moga być **obowiązujące** dla **wszystkich programów GEO5** lub też tylko dla **jednego wybranego programu**.

- Materiały i normy
- Konstrukcje oporowe
- Analiza parć
- Analiza stateczności
- Osiadania
- Fundamenty bezpośrednie
- Kotwy
- Pale
- Pale CPT
- Mikropale
- Grupa pali

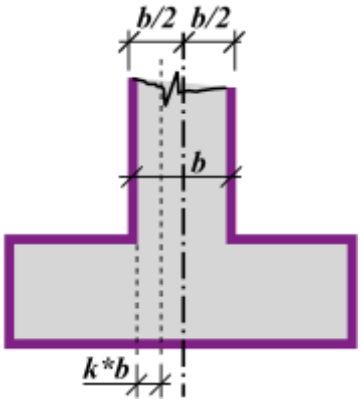


Okno dialogowe "Edycja ustawień bieżącego zadania"

Materiały i normy

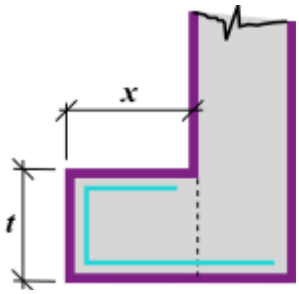
Zakładka ta służy do definiowania materiałów i norm obliczeniowych dla:

- Konstrukcji betonowych
- Konstrukcji betonowych przyczółków mostowych
- Współczynniki EC 2 do analizy konstrukcji betonowych są określane na podstawie EN 1992-1-1. Można zastosować zarówno wartości domyślne jak i własne, definiowane przez użytkownika.
- **Parametr determinacji przekroju** - współczynnik ten determinuje lokalizację przekroju krytycznego do wyznaczania momentu zginającego w obrębie fundamentu ściany. Wartość domyślna tego parametru dla słupów betonowych i żelbetowych wynosi $k = 0$, co oznacza, że przekrój krytyczny znajduje się na eksponowanym licu kolumny (słupa). Dla konstrukcji murowanych zaleca się wybór wartości tego współczynnika równej 0,25.



Przekrój krytyczny do wyznaczania momentu zginającego w obrębie fundamentu ściany

- **Parametr odsadzki** k - parametr ten determinuje czy zbrojenie przedniej odsadzki ściany powinno być wymiarowane czy też nie. Dla odsadzki o długości $x \leq k*t$ wymiarowanie zbrojenia nie jest wykonywane. Przy wyborze opcji "**według normy**" parametr krótkiej odsadzki jest automatycznie wstecznie obliczany według wybranej normy do wymiarowania konstrukcji betonowych. Natomiast kiedy wybrana zostanie opcja "**definiuj parameter**" wartość parametru k definiuje użytkownik. Parametr krótkiej odsadzki ściany uwzględniany jest w obliczeniach ścian oraz fundamentów bezpośrednich.



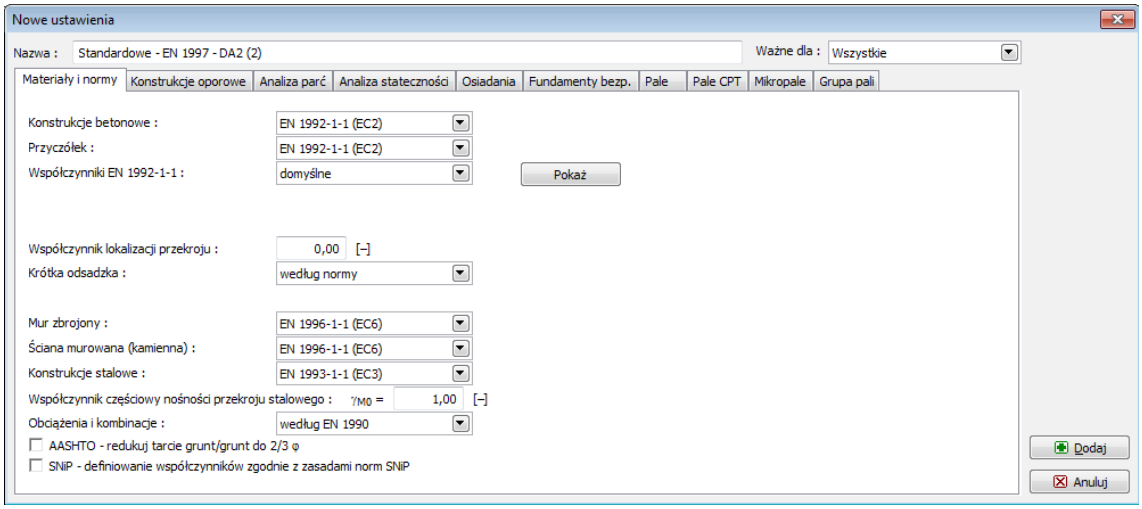
Schemat definiowania parametru krótkiej odsadzki

- Konstrukcje murowe (definiowane jedynie w programie "**Mur oporowy**")
- Konstrukcje stalowe (definiowane jedynie w programach: "**Płyta**", "**Ściana analiza**" oraz "**Pal stabilizujący**")
- Obciążenia i kombinacje obciążeń (definiowane jedynie w programach: "**Płyta**" i "**Belka**")

- AASHTO - umożliwia redukcję tarcia pomiędzy gruntem a konstrukcją (element kontaktowy) w **obliczeniach ścian wykopów,** w postaci:

$$\delta = \frac{2}{3}\varphi$$

- SNiP - umożliwia wprowadzenie współczynników obliczeniowych zgodnych z normą rosyjską SNiP



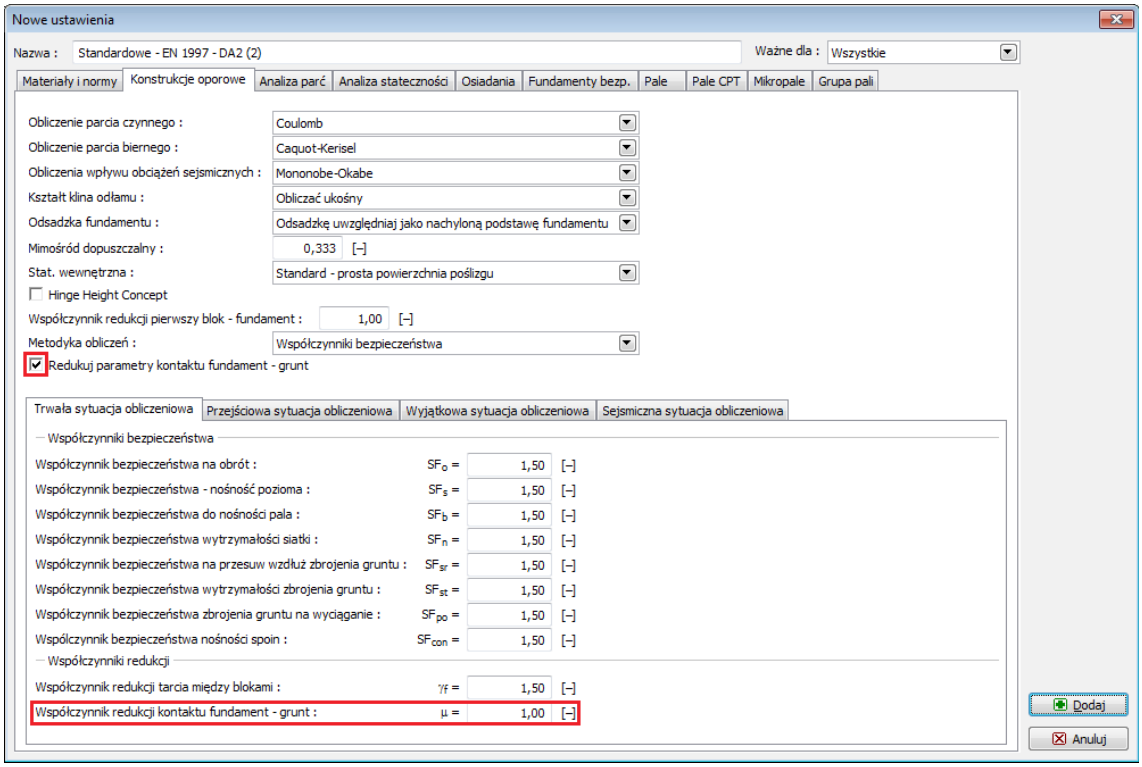
Okno dialogowe "Nowe ustawienia" - zakładka "Materiały i normy"

Konstrukcje oporowe

Zakładka "**Konstrukcje oporowe**" służy do definiowania parametrów dotyczących obliczeń analizy konstrukcji oporowych:

- Wyznaczanie Parcia czynnego (Caquot, Coulomb (ČSN 730037), Müller-Breslau (DIN 4085), Mazindrani (Rankine), Absi).
- Wyznaczanie Parcia biernego (Caquot-Kerisel (ČSN 730037), Coulomb, Müller-Breslau, Sokolovski (DIN 4085), Mazindrani (Rankin), Absi).
- Analiza wpływu obciążeń sejsmicznych (Mononobe-Okabe, Arango, JTJ 004-89, JTS 146-2012, SL 203-97).
- Kształt Klina odłamu (Wyznaczaj jako ukośny, Uwzględniaj zawsze pionowy).
- Odsadzka ściany (Odsadzka uwzględniana jest jako odpór na licu konstrukcji, Odsadzka uwzględniana jako nachylona podstawa fundamentu).
- **Mimośród dopuszczalny** - do wyznaczania naprężenia kontaktowego pod podstawą fundamentu maksymalna dopuszczalna wartość mimośrodu przyjmowana jest w granicach od $0{,}1$ do $0{,}4$.
- Stateczność wewnętrzna - ta metoda obliczeniowa została wprowadzona w programie "**Nasypy zbrojone**". Powierzchnia poślizgu ma w tym przypadku inny kształt (prosta, łamana) zgodnie z wybraną normą obliczeniową.
- Hinge Height Concept - reprezentuje metodę obliczania ścian prefabrykowanych według AASHTO, w której oddziaływanie korzystne ciężaru części konstrukcji jest redukowane. Podejście takie jest wprowadzone w programie"**Redi Rock Wall**". Program ten umożliwia także wprowadzenie **"Współczynnika redukcji podstawy pierwszego bloku**".

- W przypadku metodologii obliczeń według współczynnika bezpieczeństwa lub według teorii stanów granicznych istniej e możliwość redukcji parametrów kontaktu na styku fundamentu z gruntem. Współczynnik redukcji parametrów kontaktu konstrukcja-grunt μ reprezentuje zakres wytrzymałości ściany w odniesieniu do poślizgu lub odpowiednio przesuwu w przypadku kontaktu z gruntem.
- W przypadku metodologii obliczeń według teorii stanów granicznych, program umożliwia redukcję tangensa kąta tarcia wewnętrznego φ z zastosowaniem współczynnika $\gamma_{m\varphi}$.
- Metodologia obliczeń (współczynnik bezpieczeństwa, stany graniczne, analiza według EN 1997, analiza według LRFD, analiza według norm chińskich).
- Sytuacje obliczeniowe określane są dla wszystkich metodologii obliczeń.



Okno dialogowe "Nowe ustawienia" - zakładka "Konstrukcje oporowe"

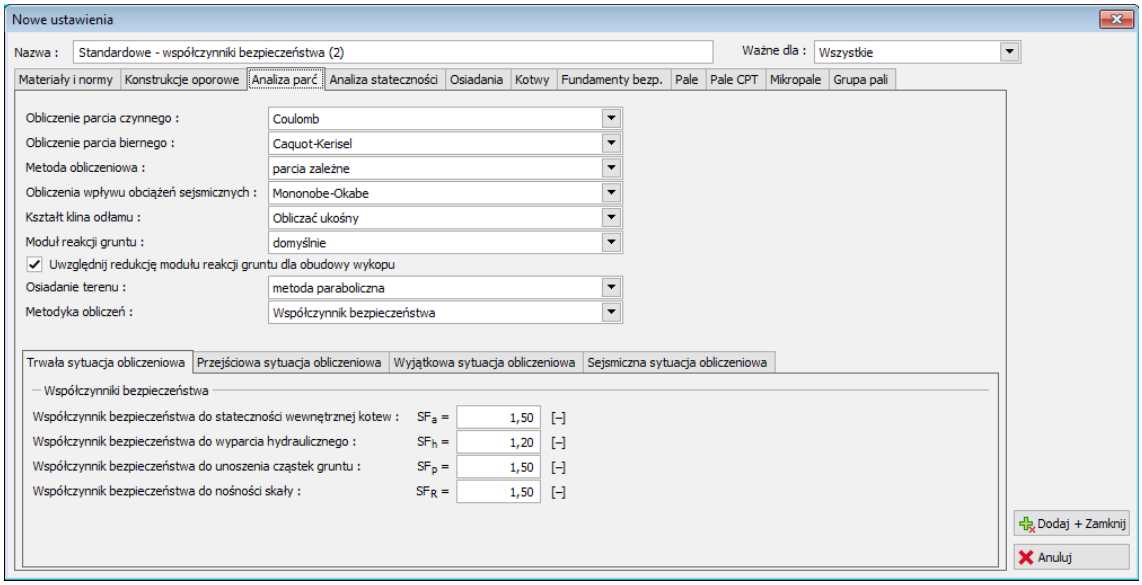
Analiza parć

Zakładka ta służy do definiowania parametrów dotyczących obliczeń głębokich wykopów oraz wyznaczania parć gruntu:

- Wyznaczanie Parcia czynnego (Caquot, Coulomb (ČSN 730037), Müller-Breslau (DIN 4085), Mazindrani (Rankine), Absi).
- Wyznaczanie Parcia biernego (Caquot-Kerisel (ČSN 730037), Coulomb, Müller-Breslau, Sokolovski (DIN 4085), Mazindrani (Rankin), Absi).
- Metoda obliczeniowa (parć zależnych, JGJ 120-2012)
- Obliczenia wpływu obciążeń sejsmicznych (Mononobe-Okabe, Arango, JTJ 004-89, JTS 146-2012, SL 203-97).
- Moduł reakcji gruntu (domyślnie, definiuj, presiometer PMT, dylatometer DMT, CUR 166, normy chińskie). Ustawienie domyślne zawiera rekomendowane międzynarodowe metody

wyznaczania modułu reakcji gruntu (dla programu Ściana analiza w zakładce "Moduł K_h" - pozostałe metody opisane dalej stosowane są w niektórych krajach.

- Kształt klina odłamu (Wyznaczaj jako ukośny, Uwzględniaj zawsze pionowy).
- Uwzględnij redukcję modułu reakcji gruntu dla obudowy wykopu - funkcja ta jest dostępna jedynie w programach "**Ściana analiza**" i "**Pal stabilizujący**", w których podczas analizy program automatycznie redukuje wartości modułu reakcji.
- Osiadanie terenu (nie zdefiniowano, metoda trójkątów, metoda wskaźnikowa, metoda paraboliczna, DG/TJ08-61-2010) - opcja ta jest dostępna wyłącznie w programie "**SŚciana analiza**".
- Metodyka obliczeń (współczynnik bezpieczeństwa, stany graniczne, obliczenia według EN 1997, obliczenia według LRFD, analiza według norm chińskich).
- Sytuacje obliczeniowe definowane są dla wszystkich metodologii obliczeń.

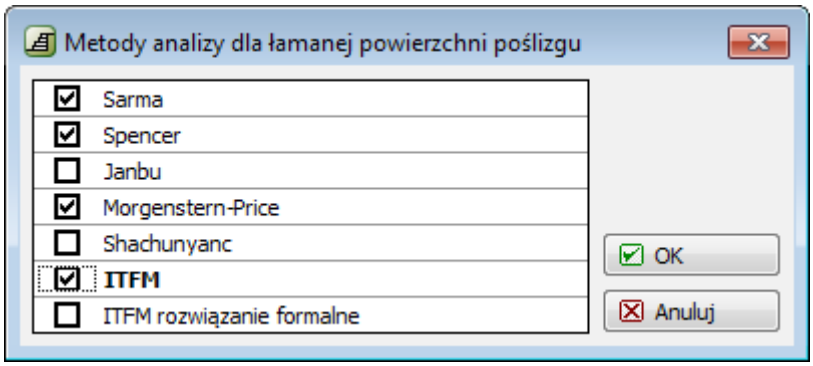


Okno dialogowe "Nowe ustawienia" - zakładka "Analiza Parć"

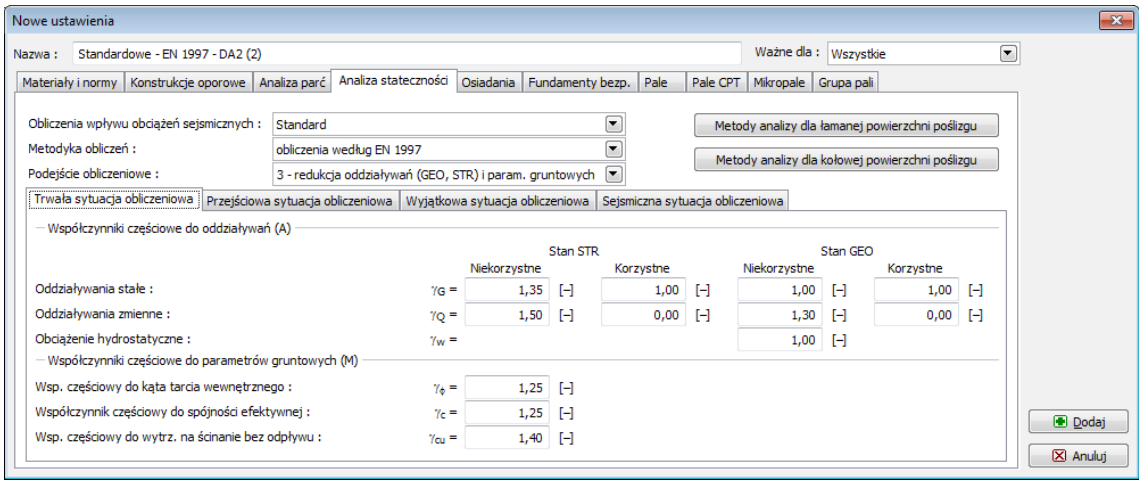
Analiza stateczności

Zakładka "**Analiza stateczności**" służy do definiowania ustawień dotyczących analizy stateczności:

- Analiza wpływu obciążeń sejsmicznych (metoda klasyczna, GB 50111-2006, NB 35047-2015, GB 50330-2013, JTG B02-2013)
- Metodyka obliczeń (współczynnik bezpieczeństwa, stany graniczne, analiza według EN 1997, analiza według LRFD, analiza według norm chińskich)
- Sytuacje obliczeniowe określane są dla wszystkich metodologii obliczeń.
- Przyciski "**Metody analizy łamanej powierzchni poślizgu**" and "**Metody analizy kołowej powierzchni poślizgu**" otwierają okna dialogowe wyboru metod obliczeniowych. Program umożliwia, dla wybranej powierzchni poślizgu (łamanej, kołowej), sprawdzenie stateczności wszystkimi metodami obliczeniowymi. Należy jednak zauważyć, że niektóre z dostępnych w programie metod mogą się wydać bardzo egzotyczne, gdyż znane są jedynie w kraju pochodzenia. Z tego względu, istnieje możliwość wyłączenia tych metod, które nie są znane użytkownikowi.



Okno dialogowe - "Metody analizy łamanej powierzchni poślizgu" - wybór metody analizy



Okno dialogowe "Nowe ustawienia" - zakładka "Analiza stateczności"

Osiadania

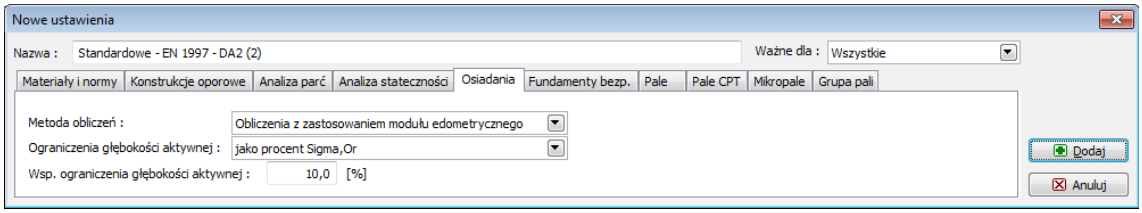
Zakładka "**Osiadania**" służy do definiowania ustawień dotyczących analizy osiadań:

Metody analizy:

- CSN 73 1001 (obliczenia z wykorzystaniem modułu edometrycznego)
- Analiza z zastosowaniem współczynnika ściskania
- Analiza z wykorzystaniem wskaźnika ściskania
- NEN (Buismann, Ladd)
- Model soft soil
- Teoria Janbu
- Analiza z wykorzystaniem DMT (modułu ograniczonego)

Ograniczenia głębokości aktywnej:

- na podstawie wytrzymałości strukturalnej
- jako procent σ_{or} (Współczynnik ograniczający głębokość aktywną definiowany jest w [%])



Okno dialogowe "Nowe ustawienia" - zakładka "Osiadania"

Fundamenty bezpośrednie

Zakładka "**Fundamenty bezpośrednie**" służy do definiowania ustawień dotyczących nośności fundamentów bezpośrednich:

Analiza w warunkach z odpływem:

- podejście standardowe
- CSN 73 1001
- PN-81B-03020
- IS:6403-1981
- EC 7-1 (EN 1997-1:2003)
- NCMA
- GB 50007-2002
- SNiP 2.02.01-83
- DS/EN 1997-1 DK NA:2013

Analiza w warunkach bez odpływu:

- podejście standardowe
- CSN 73 1001
- IS:6403-1981
- EC 7-1 (EN 1997-1:2003)
- DS/EN 1997-1 DK NA:2013

Analiza fundamentu bezpośredniego posadowionego na podłożu skalnym:

- podejście standardowe
- CSN 73 1001
- EC 7-1 (EN 1997-1:2003)

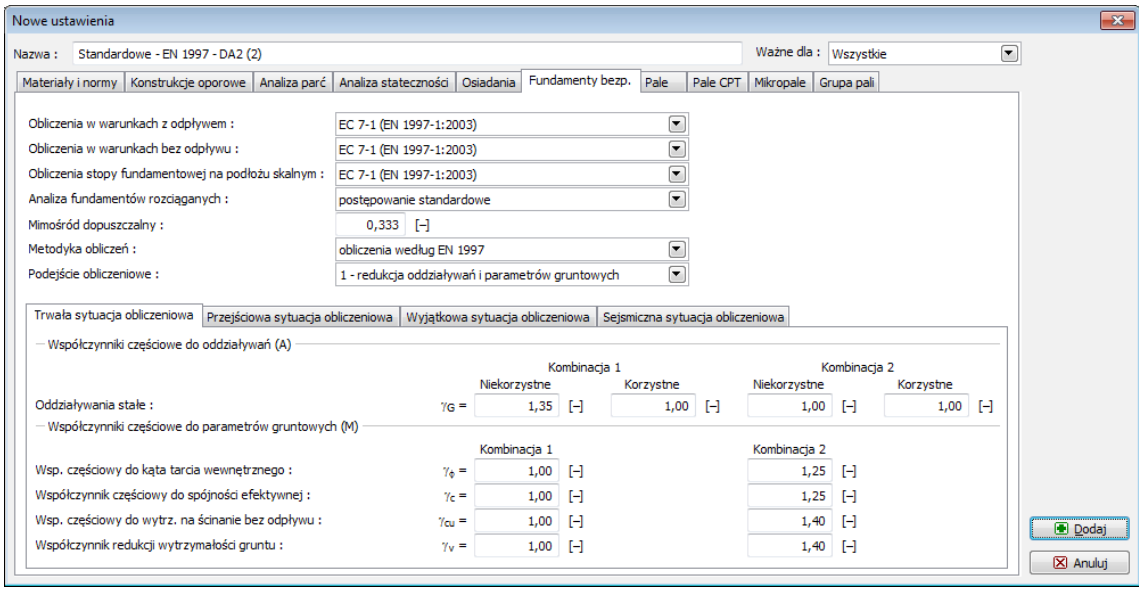
Analiza fundamentu rozciąganego

- podejście klasyczne
- metoda stożka
- DL/T 5219-2005

Mimośród dopuszczalny - do określenia mimośrodowości fundamentu maksymalna dopuszczalna wartość mimośrodu przyjmowana jest w granicach od 0.1 do 0.4.

Metodologia obliczeń (współczynnik bezpieczeństwa, stany graniczne, analiza według EN 1997, analiza według LRFD, analiza według norm chińskich).

Sytuacje obliczeniowe określane są dla wszystkich metodologii obliczeń.



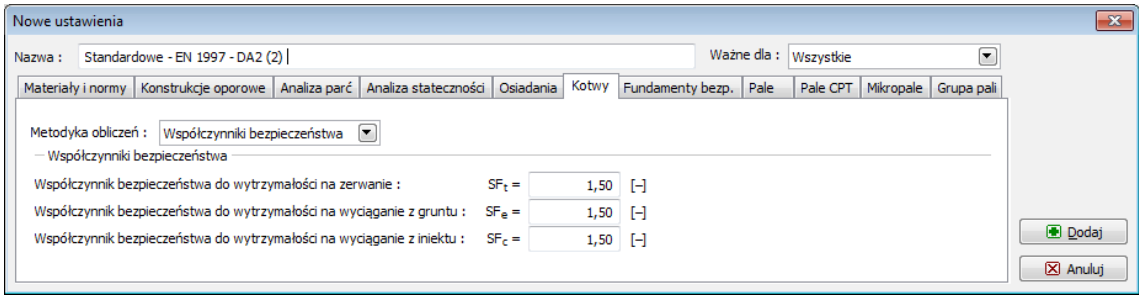
Okno dialogowe "Nowe ustawienia" - zakładka "Fundamenty bezpośrednie"

Kotwy

Zakładka "Kotwy" pozwala na zdefiniowanie parametrów wymiarowania **nośności kotew**:

Wybór **metodyki obliczeń** (współczynniki bezpieczeństwa, stany graniczne).

Definiowanie współczynników bezpieczeństwa lub współczynników redukcji zmniejszających wyznaczoną nośność kotew.



Okno dialogowe "Nowe ustawienia" - zakładka "Kotwy"

Pale

Zakładka "**Pale**" służy do definiowania ustawień dotyczących analizy pali:

Analiza w warunkach z odpływem:

- CSN 73 1002
- Effective stress
- NAVFAC DM 7.2

Analiza w warunkach bez odpływu:

- Tomlinson

- NAVFAC DM 7.2

Krzywa obciążeniowa:

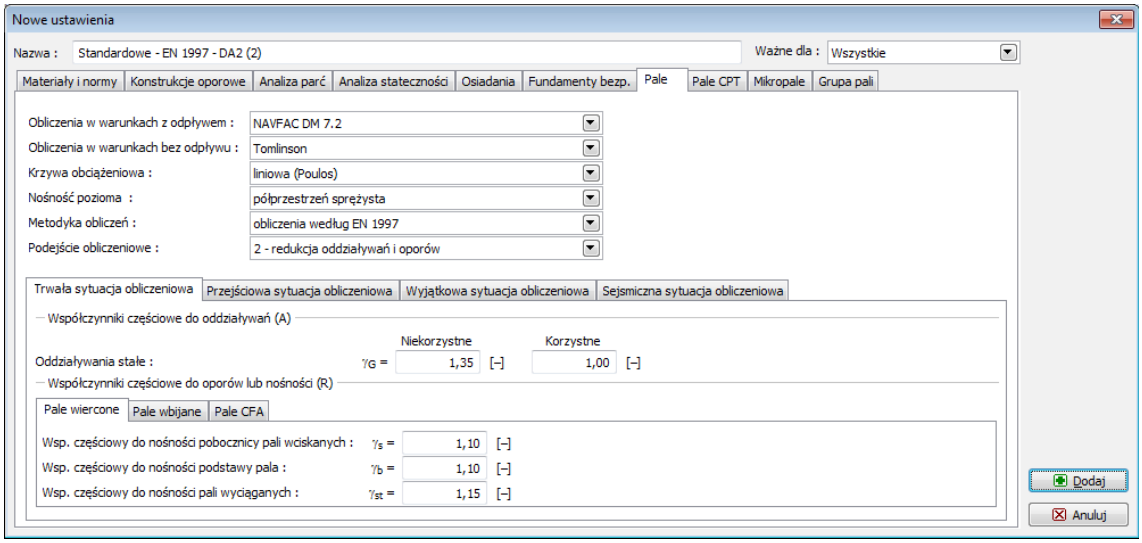
- nieliniowa (Masopust)
- liniowa (Poulos)

Nośność pozioma:

- Podłoże sprężyste (metoda p-y)
- Metoda Bromsa

Metodologia obliczeń (współczynnik bezpieczeństwa, stany graniczne, analiza według EN 1997).

Sytuacje obliczeniowe określane są dla wszystkich metodologii obliczeń.



Okno dialogowe "Nowe ustawienia" - zakładka "Pale"

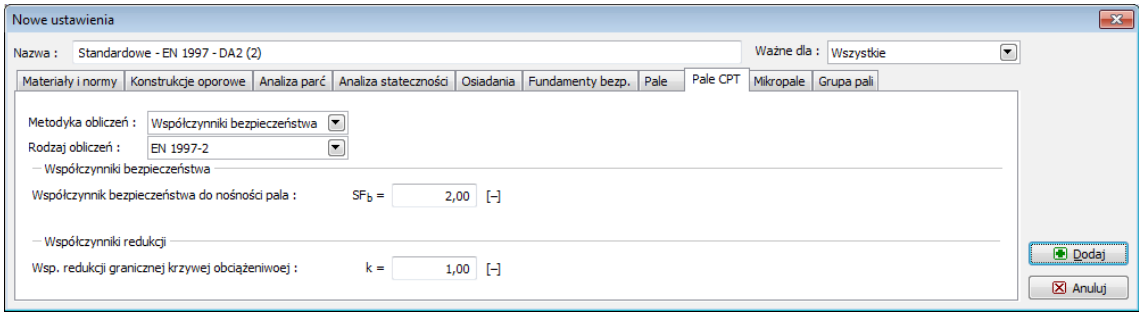
Pale CPT

Zakładka "**Pale CPT**" służy do definiowania ustawień dotyczących analizy pali CPT:

Metodologia obliczeń (współczynnik bezpieczeństwa, stany graniczne, NEN 6743, EN 1997-2).

Rodzaj analizy:

- EN 1997-2
- NEN 6743
- LCPC (Bustamante)
- Schmertmann



Okno dialogowe "Nowe ustawienia" - zakładka "Pale CPT"

Mikropale

Zakładka "**Mikropale**" służy do definiowania ustawień dotyczących analizy mikropali:

Analiza nośności rdzenia:

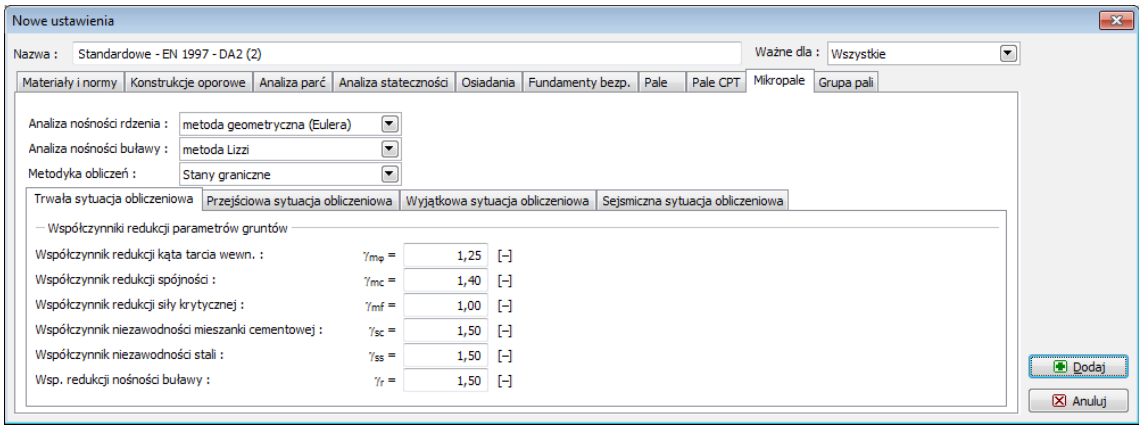
- metoda geometryczna (Eulera)
- metoda Salas'a
- metoda Véas'a-Souche'go

Analiza nośności buławy:

- metoda Lizzi
- metoda Littlejohna
- metoda Bowles
- metoda Zwecka
- metdoa Véas'a
- buława w skale
- metoda Bustamante (SPT, Presjometr PMT)

Metodologia obliczeń (współczynnik bezpieczeństwa, stany graniczne).

Sytuacje obliczeniowe określane są dla wszystkich metodologii obliczeń.

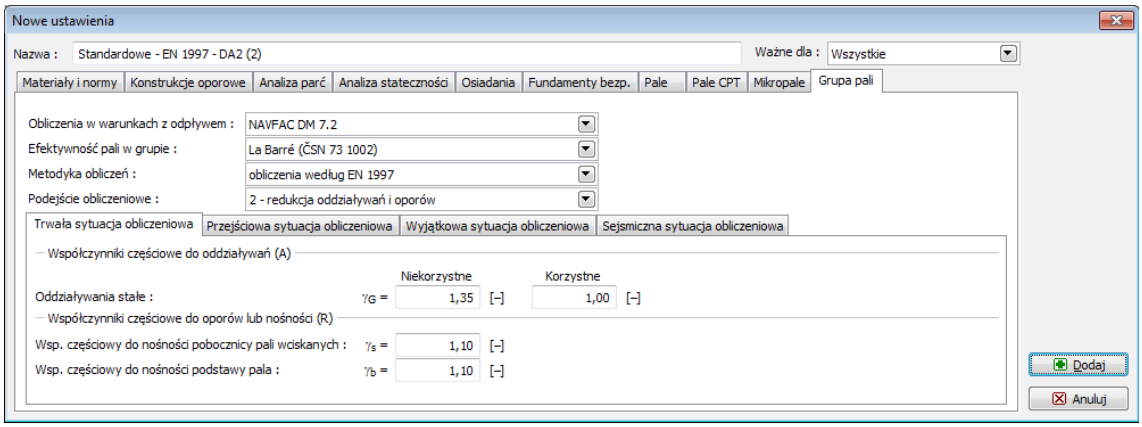


Okno dialogowe "Nowe ustawienia" - zakładka "Mikropale"

Grupa pali

Zakładka "**Grupa pali**" służy do definiowania ustawień dotyczących analizy grupy pali:

- Analiza w warunkach z odpływem: CSN 73 1002, Naprężeń efektywnych, NAVFAC DM 7.2
- Efektywność pali w grupie: UFC 3-220-01A, La Barré (CSN 73 1002), Seiler-Keeney, definiowanie efektywności
- Metodologia obliczeń (współczynnik bezpieczeństwa, stany graniczne, analiza według EN 1997).
- Sytuacje obliczeniowe określane są dla wszystkich metodologii obliczeń.



Okno dialogowe "Nowe ustawienia" - zakładka "Grupa pali"

Dodawanie nowego ustawienia

Program zawiera stosunkowo znaczną liczbę **Ustawień podstawowych** dostosowanych do potrzeb krajowych oraz do teorii obliczeniowych. Pomimo to, wiekszość użytkowników zechce te ustawienia zmodyfikować i na tej podstawie stworzyć własne **Ustawienia użytkownika**.

Dane Ustawienie może być dostępne dla wszystkich programów GEO5 lub tylko dla bieżącego programu (tę opcję można wybrać w prawym górnym rogu okna).

Naciśnięcie przycisku "**Dodaj do Administratora**" otwiera okno dialogowe, które wyświetla aktualne Ustawienia programu:

- jeśli ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest ustawieniem aktualnym, otwierane jest okno w trybie odpowiednim dla bieżącego programu.
- jeśli ustawienie bieżące wybierane jest z **Listy ustawień**, otwierana jest kopia tego ustawienia z taką samą ważnością.

Po zakończeniu edycji i określeniu nazwy **nowego Ustawienia**, przy pomocy przycisku "**Dodaj**" Ustawienie to jest zapisywane do "Administratora ustawień", aby następnie mogło być wybierane z "Listy ustawień".

Wskazane jest definiowanie własnych Ustawień użytkownika przykładowo w następujących przypadkach:

1) w odniesieniu do krajów i norm

- ustawienia dla Boguto
- ustawienia dla Borito

- ustawienia dla Borito, konstrukcje mostowe

2) w dostosowaniu do inwestora

- ustawienia dla autostrad
- ustawienia dla kolei
- ustawienia dla budynków

3) w odniesieniu do metod obliczeniowych

- obliczenia z wykorzystaniem teorii Mazindrani
- obliczenia z wykorzystaniem teorii Coulomba.....

4) indywidualnie

- moje własne
- ustawienia Piotra

Celem jest utworzenie "Listy ustawień", takiej że w przyszłości użytkownik nie będzie musiał zajmować się definiowaniem różnych rodzajów obliczeń i odpowiadających im współczynników. Utworzone ustawienia mogą być w każdej chwili "Eksportowane" i udostępniane innym użytkownikom. W przypadku, gdy Ustawienia własne użytkownika będą miały szerszy zasięg zastosowania - FINE zaimplementuje je w oprogramowaniu, aby były dostępne dla wszystkich użytkowników GEO5.

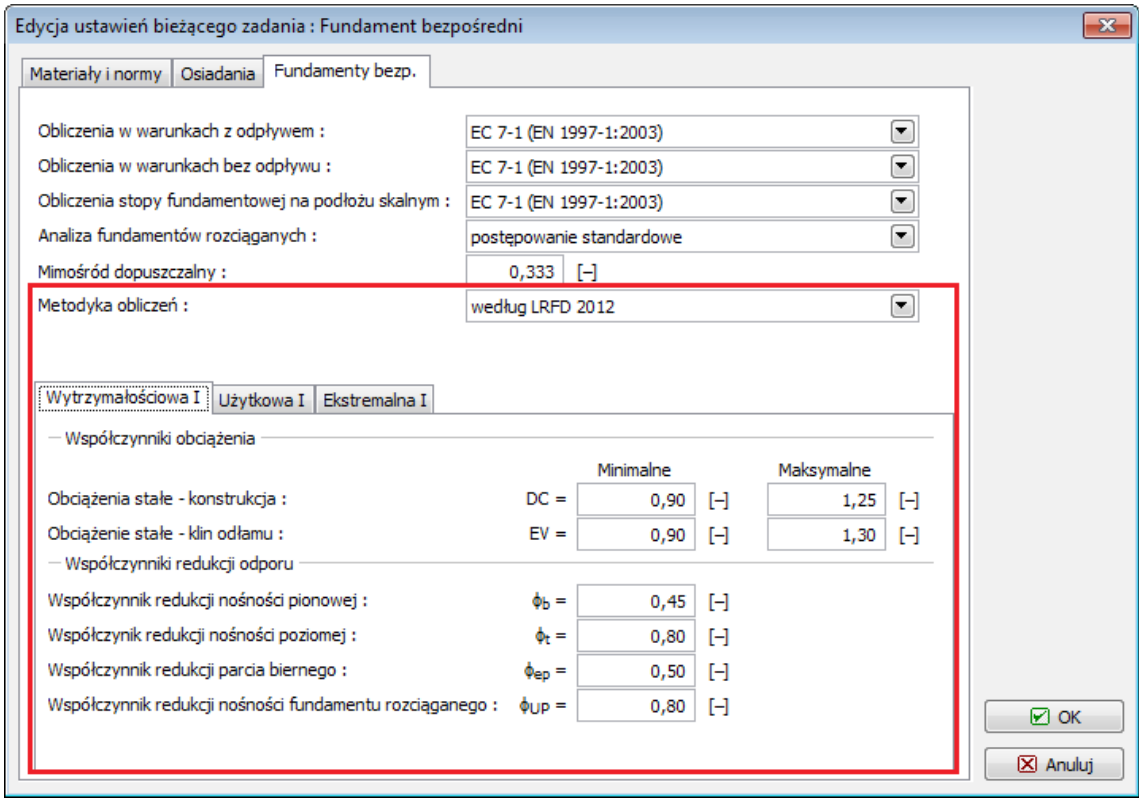
Metodyka obliczeń

Program umożliwia przeprowadzenie analizy konstrukcji z zastosowaniem następujących metod:

- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa
- Analiza według stanów granicznych
- Analiza według EN 1997
- Analiza według LRFD
- Analiza według norm Chińskich

Specyficzne obliczenia (tj. obliczenia parcia, wyznaczanie nośności podłoża gruntowego) są jednakowe dla wszystkich powyższych metod - różnią się jedynie sposobem wprowadzania współczynników obliczeniowych, wartości kombinacyjnych i procedurą weryfikacji bezpieczeństwa konstrukcji.

Metodykę obliczeń można wybrać w oknie dialogowym "Ustawienia".



Wybór metodyki obliczeń

Analiza według współczynnika bezpieczeństwa

Metodologia obliczeń z wykorzystaniem "**Współczynnika bezpieczeństwa**" jest historycznie najstarszą metodą i jednocześnie najczęściej stosowaną do sprawdzania bezpieczeństwa konstrukcji. Głównymi zaletami tej metody są prostota i klarowność.

Ogólnie ujmując, bezpieczeństwo konstrukcji zapewnione jest poprzez zastosowanie współczynnika bezpieczeństwa:

$$FS = \frac{X_{pas}}{X_{act}} > FS_{req}$$

gdzie:

FS - Wyznaczony współczynnik bezpieczeństwa

X_{pas} - Zmienna zapobiegająca zniszczeniu (siła utrzymująca, wytrzymałość, nośność)

X_{act} - Zmienna powodująca zniszczenie (siła przesuwająca, naprężenie)

FS_{req} Wymagany współczynnik bezpieczeństwa

Przy wykonywaniu obliczeń z wykorzystaniem "**Współczynnika bezpieczeństwa**", ani obciążenia ani parametry gruntu nie są redukowane współczynnikami obliczeniowymi.

Szczegółowy opis metody dla poszczególnych programów i typów konstrukcji można znaleźć w następujących rozdziałach: Analiza Ścian i konstrukcje oporowe, Stateczność zbocza,

Fundament bezpośredni, Pal, Stateczność zbocza skalnego, Mikropal, Pal CPT, Grupa pali.

Analiza według stanów granicznych

W metodologii obliczeń z wykorzystaniem teorii "**Stanów granicznych**" bezpieczeństwo konstrukcji weryfikowane jest poprzez porównanie zmiennej utrzymującej (siła utrzymująca, wytrzymałość, nośność) do zmiennej powodującej zniszczenie (siła przesuwająca, naprężenie).

$$X_{pas} > X_{act}$$

gdzie: X_{pas} - Zmienna zapobiegająca zniszczeniu (siła utrzymująca, wytrzymałość, nośność)

X_{pas} - Zmienna powodująca zniszczenie (siła przesuwająca, naprężenie)

X_{act} określane jest na podstawie parametrów obliczeniowych gruntów i obciążenia:

- parametry gruntów redukowane są poprzez odpowiednie współczynniki
- obciążenia (ich oddziaływania) są zwiększane przez odpowednie współczynniki

X_{pas} określa się przyjmując następujące założenia:

- parametry gruntów redukowane są poprzez odpowiednie współczynniki
- wyznaczony odpór konstrukcji redukowany jest poprzez odpowiednie współczynniki

Można stwierdzić, że metoda "**Stanów granicznych**" jest metodą bardziej nowoczesną i adekwatną w porównaniu do metody "Współczynnika bezpieczeństwa". Jednakże nie jest tak prosta i klarowna.

Nowoczesne normy wykorzystywane do weryfikacji bezpieczeństwa konstrukcji (EN 1997, LRFD) bazują na metodzie stanów granicznych. Dodatkowo, wprowadzają one zróżnicowane wartości współczynników częściowych dla oddziaływań korzystnych lub niekorzystnych.

Szczegółowy opis metody dla poszczególnych programów i typów konstrukcji można znaleźć w następujących rozdziałach: Analiza Ścian i konstrukcje oporowe, Stateczność zbocza, Fundament bezpośredni, Pal, Stateczność zbocza skalnego, Mikropale, Pal CPT, Grupa pali).

Analiza według normy EN 1997

Projektowanie konstrukcji według normy EN 1997-1 co do zasady wykorzystuje metodę stanów granicznych.

Współczynniki częściowe, dostosowujące charakterystyczne wartości oddziaływań, materiałów i oporu, wprowadzane są do analizy w zależności od wybranego "Podejścia obliczeniowego".

Współczynniki częściowe są identyczne dla wszystkich analiz w obrębie jednego programu. Natomiast, istnieje możliwość wyboru "Sytuacji obliczeniowej" dla poszczególnych faz budowy.

Programy można pogrupować do kilku kategorii na podstawie wybranego podejścia:

- Analiza konstrukcji oporowych (Ściany oporowe, Przyczółek, Zbocze Gwoździowane)
- Analiza ścian wykopów (Ściana projekt, Ściana analiza, Parcie)
- Analiza fundamentów (Fundament bezpośredni, Pal)
- Analiza stateczności zboczy

W programach GEO5 wbudowane są **Załączniki Krajowe** następujących państw:

Finlandia, Francja, Polska, Niemcy, Słowacja, Austria, Singapur, Dania, Belgia, Holandia, Wielka

Brytania, Grecja, Węgry, Bułgaria, Słowenia, Włochy, Portugalia, Norwegia.

Wyboru pożądanego Załącznika Krajowego można dokonać z "Listy ustawień".

Współczynniki częściowe

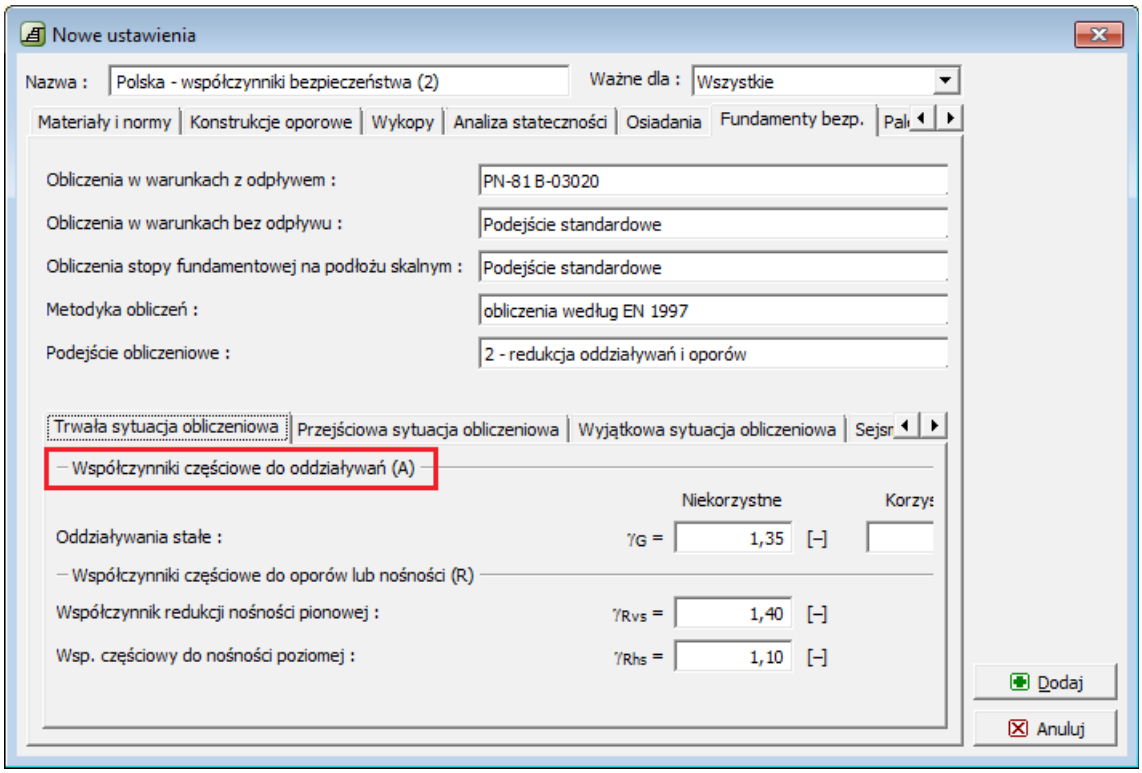
Okno dialogowe "**Ustawienia**" służy do definiowania współczynników częściowych dla analizy według EN1997.

Lista rozwijana "**Podejście obliczeniowe**" umozliwia dokonanie wyboru "Podejścia obliczeniowego". W zależności wybranego podejścia okno dialogowe wyświetla **współczynniki częściowe do oddzialywań, parametrów gruntowych i oporów**, a także współczynniki kombinacyjne do oddziaływań zmiennych.

W części dotyczącej definiowania współczynników do oddziaływań istnieje również możliwość redukcji oddziaływana wody.

"Administrator ustawień" oraz "Lista ustawień" zawierają znaczną liczbę predefiniowanych ustawień dla poszczególnych **krajów EU - ustawienia EN 1997** według wybranych załączników krajowych (ZK). W większości krajów, jest zatem zdefiniowane tylko jedno Podejście obliczeniowe zgodnie z załącznikiem krajowym i w odniesieniu do stosowanego programu (rodzaju zagadnienia geotechnicznego). Wiele predefiniowanych ustawień dostępnych jest tylko dla niektórych krajów.

Program umożliwia zdefiniowanie każdego zestawu parametrów cztery razy - dla poszczególnych sytuacji obliczeniowych. Następnie, w obliczeniach, program przyjmuje współczynniki na podstawie sytuacji obliczeniowej wybranej w ramce "**Ustawienia fazy**".



"Nowe ustawienia" - okno służące do definiowania współczynników cześciowych dla analizy według EN 1997

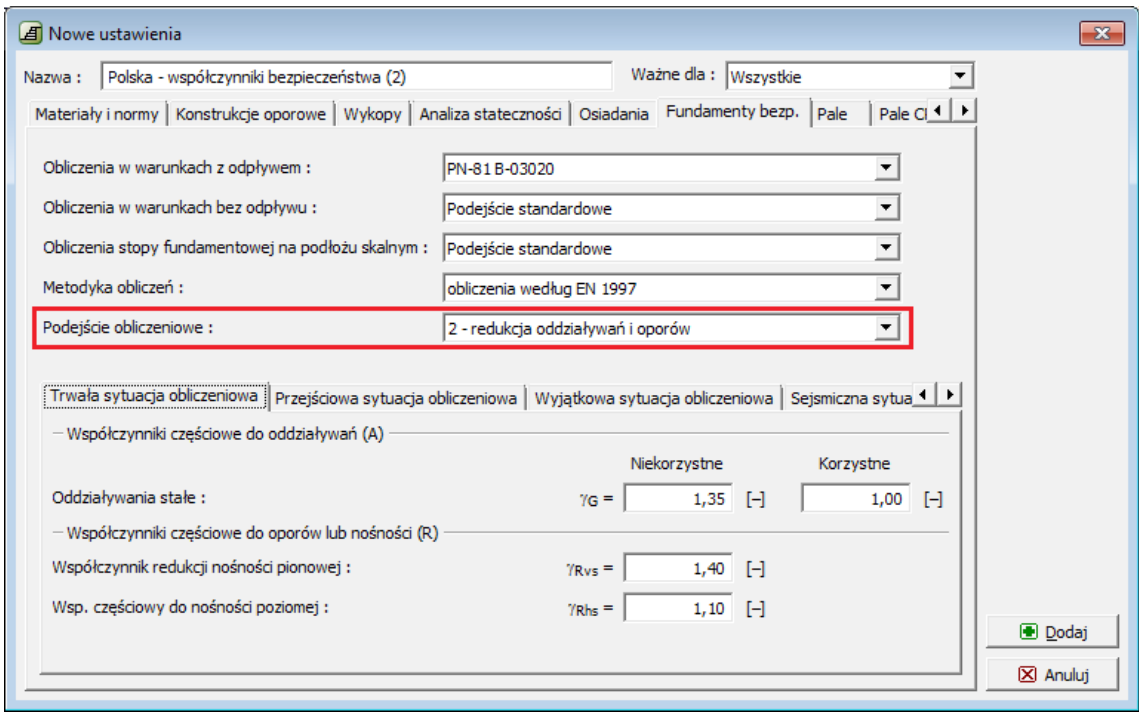
Podejścia obliczeniowe

Eurokod EN 1997-1 wprowadza do analizy, tzw. **podejścia obliczeniowe**, które różnią się między sobą zastosowanymi współczynnikami częściowymi.

Według Eurokodu EN 1997-1, współczynniki częściowe są stosowane do oddziaływań lub wyników oddziaływań, do parametrów masywu gruntowego M, lub do odporów R lub obydwu tych wartości. Wartości współczynników częściowych różnią się nie tylko ze względu na przyjęte **podejście obliczeniowe**, ale również ze względu na rodzaj zadania geotechnicznego (konstrukcje oporowe, pale, itp.) Wartości współczynników częściowych są zdefiniowane w **Załącznikach A** do Eurokodu; **załączniki krajowe** zawierają natomiast wartości zalecane w danym państwie. Program automatycznie wyświetla odpowiednie współczynniki, zgodnie z wybranym podejściem obliczeniowym lub na podstawie wyboru innych parametrów w "Ustawieniach".

Należy pamiętać, iż każde **Podejście obliczeniowe** wprowadza współczynniki częściowe do analizy w inny sposób (np. współczynniki częściowe do oddziaływań i oporów lub oddziaływań i parametrów masywu gruntowego), w konsekwencji wyniki uzyskane przy pomocy każdego z podejść obliczeniowych mogą znacząco różnić się między sobą. Jeżeli dla konkretnego zadania geotechnicznego, **Załącznik Krajowy** nie precyzuje zalecanego **Podejścia obliczeniowego**, to jego wybór zależy od projektanta (jego obowiązkiem będzie również ocena, czy wyniki odpowiadają analizowanej sytuacji).

- Podejście obliczeniowe 1 - Analiza wykonywana jest z zastosowaniem dwóch zestawów współczynników **(Kombinacja 1 i Kombinacja 2**), w dwóch niezależnych obliczeniach. Współczynniki dotyczą **oddziaływań oraz parametrów materiałowych**.
- Podejście obliczeniowe 2 - Stosowane są współczynniki częściowe **do oddziaływań i oporów** (nośności).
- Podejście obliczeniowe 3 - Stosowane są współczynniki częściowe **do oddziaływań** i jednocześnie do **materiałów** (parametrów materiałowych gruntu).



Okno dialogowe "Nowe ustawienia", obliczenia według EN1997 - Wybór podejścia

obliczeniowego

Podejście obliczeniowe 1

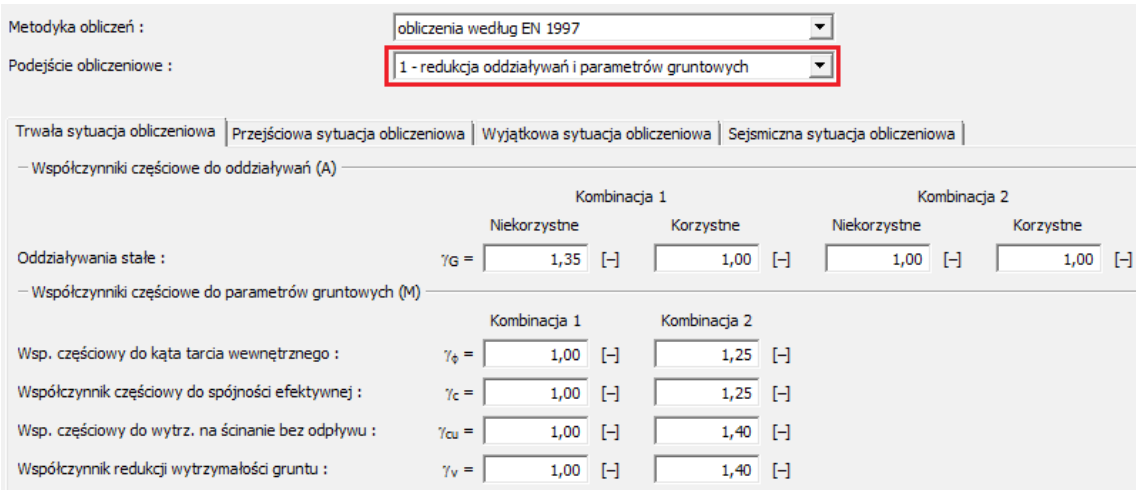
Analiza wykonywana jest z zastosowaniem dwóch zestawów współczynników (**Kombinacja 1 i Kombinacja 2**), w dwóch niezależnych obliczeniach. Współczynniki dotyczą oddziaływań oraz parametrów materiałowych. W **kombinacji 1**, stosowane są jedynie współczynniki do **oddziaływań**, natomiast pozostałe współczynniki przyjmują wartość 1,0. W **kombinacji 2**, stosowane są współczynniki do **parametrów materiałowych (parametry materiałowe gruntu) oraz do oddziaływań zmiennych**, natomiast pozostałe współczynniki przyjmują wartość 1,0.

W programach do analizy konstrukcji oporowych oraz przeprowadzających analizę stateczności obliczenia wykonywane są automatycznie z zastosowaniem **obydwu kombinacji**, a przedstawiane są wyniki najbardziej **niekorzystne**. Szczegółowe zestawienie wyników dla obydwu kombinacji dostępne jest w raporcie końcowym.

W programach do analizy ścian,

Ten rodzaj podejścia nie dotyczy programu "Ściana analiza". W programie tym, kombinację, dla której chcemy przeprowadzić analizę, musimy wybrać w zakładce "Analiza parć".

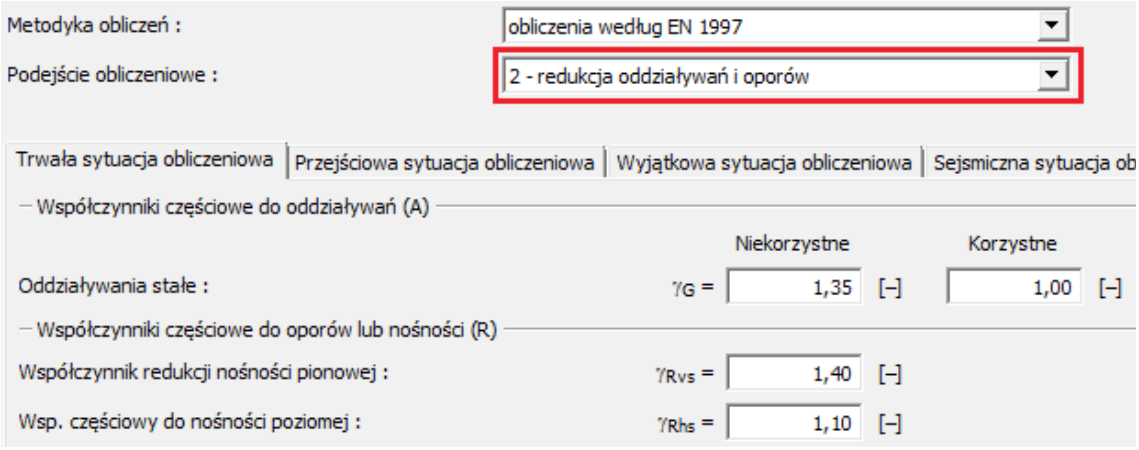
Programy "Fundament bezpośredni" oraz "Pal" wymagaja zdefiniowania obciążenia charakterystycznego nawet dla obliczeń nośności. **Obciążenie obliczeniowe** przyjmowane jest w obliczeniach z zastosowaniem kombinacji 1, **obciążenie charakterystyczne** - w kombinacji 2.



Definiowanie współczynników częściowych dla podejścia obliczeniowego 1

Podejście obliczeniowe 2

Podejście obliczeniowe 2 stosuje współczynniki częściowe do **oddziaływań** i **oporów** (nośności).

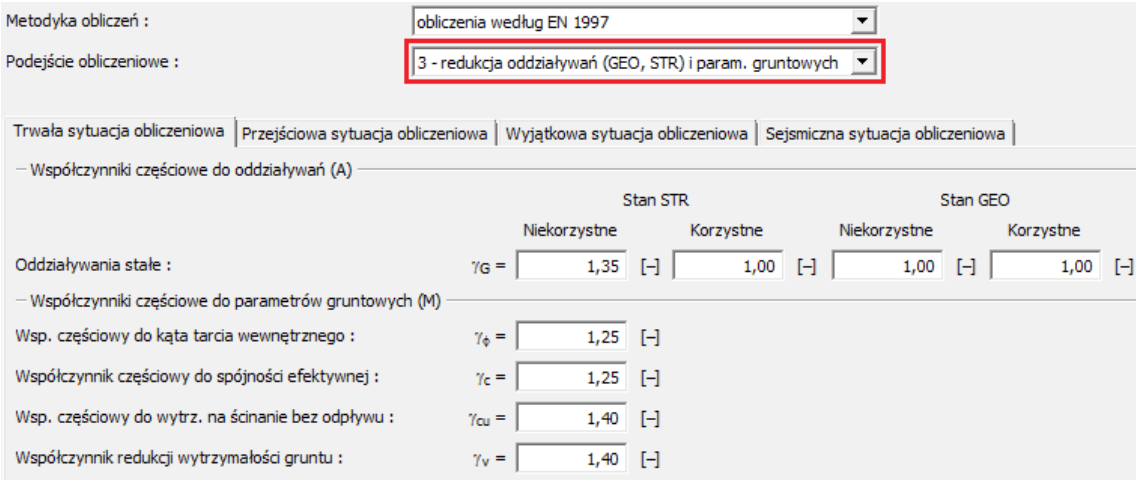


Definiowanie współczynników częściowych dla podejścia obliczeniowego 2

Podejście obliczeniowe 3

Podejście obliczeniowe 3 wykorzystuje współczynniki częściowe do **oddziaływań** i jednocześnie do **materiału** (parametry materiałowe gruntu).

W odróżnieniu od pozostałych podejść obliczeniowych, wprowadza **obciążenia geotechniczne - Stan GEO** (obciążenia związane z gruntem, np. parcie gruntu, parcia związane z dodatkowym obciążeniem, oddziaływanie wody) oraz **obciążenia związane z konstrukcją - Stan STR** (program uwzględnia ciężar własny konstrukcji, zdefiniowane siły oddziałujące na konstrukcję, kotwy, zbrojenie gruntu, przedłużenia siatki). Dla każdego rodzaju obciążenia, stosowany jest inny zestaw współczynników, wyszczególniony w oknie dialogowym "Współczynniki częściowe". Wartości współczynników częściowych stosowanych do obciążeń geotechnicznych są zazwyczaj niższe niż wartości dotyczące obciążeń konstrukcyjnych.



Definiowanie współczynników częściowych dla podejścia obliczeniowego 3

Załącznik krajowy (ZK)

Załącznik Krajowy (ZK) określa w szczegółowy sposób stosowanie Eurokodu na poziomie krajowym (w danym państwie UE) i jest zwykle publikowany razem z wersją Eurokodu (ENV) dla danego kraju.

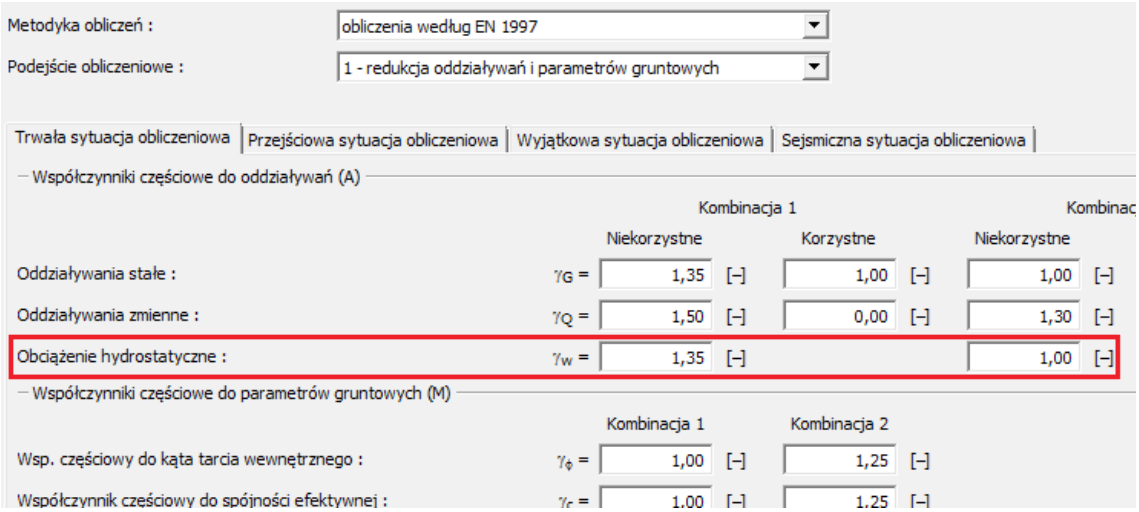
Załącznik Krajowy określa więc wybór współczynników częściowych na poziomie kraju oraz stosowanie podejść obliczeniowych dla konkretnych zadań geotechnicznych. Ze względu na fakt, iż treść Załączników Krajowych pozostaje nieustalona dla niektórych państw, obecnie nie wszystkie Załączniki Krajowe są uwzględnione w poszczególnych programach.

Poszczególne załączniki krajowe można wybierać z ustawień predefiniowanych dostępnych w administratorze ustawień i na liście ustawień.

Nowe ustawienia można dodawać bazując na istniejących ustawieniach predefiniowanych, w ten sposób tworząc **własne Załączniki krajowe.**

Współczynniki częściowe do oddziaływania wody

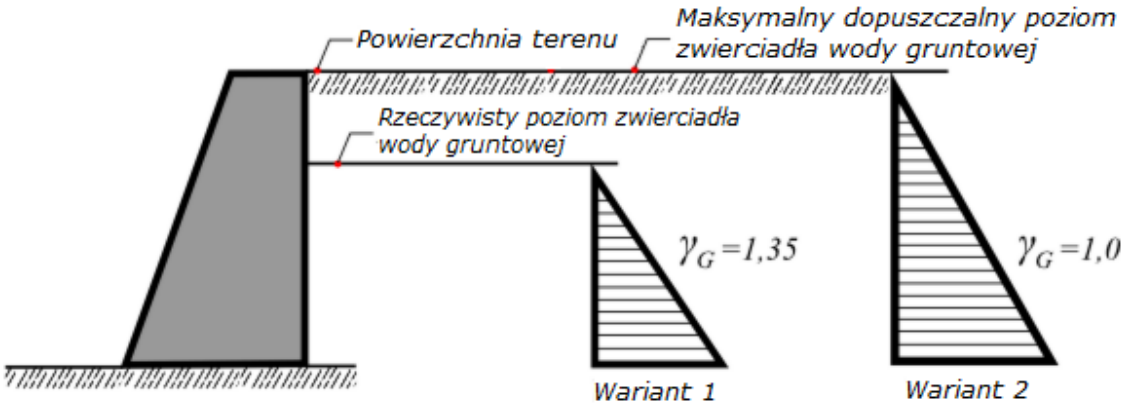
Współczynnik częściowy do oddziaływania wody zmienia wartość siły wynikającej z oddziaływania wody lub wartość ciśnienia porowego.



Współczynniki częściowe do oddziaływania wody

Ze względu na fakt, że norma EN 1997 proponuje kilka sposobów uwzględniania wpływu obciążenia hydrostatycznego, w programach GEO5 umożliwono także definiowanie współczynnika częściowego do oddziaływania wody. Norma proponuje dwa podstawowe podejścia do tego tematu:

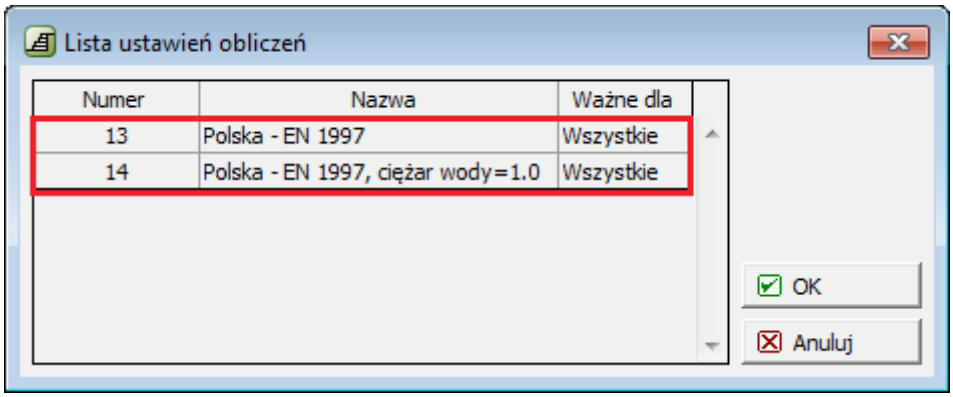
- **Wariant 1** - współczynnik częściowy do oddziaływania wody przyjmuje się równy $1,3$ lub $1,35$ (w niektórych załącznikach krajowych). W tym przypadku w obliczeniach przyjmuje się rzeczywisty poziom wody gruntowej, a jej oddziaływanie przemnażane jest przez zadany współczynnik częściowy.
- **Wariant 2** - współczynnik częściowy do oddziaływania wody przyjmuje się równy $1,0$ co oznacza, że wartość oddziaływania wody nie jest korygowana w analizie. W tym przypadku, uwzględnić należy maksymalny dopuszczalny poziom zwierciadła wody gruntowej.



Współczynniki częściowe do oddziaływania wody

Wyboru konkretnego wariantu analizy dokonuje użytkownik.

Jeśli użytkownik wykorzystuje obydwa warianty, zaleca się wprowadzenie dwóch ustawień do "Administratora ustawień", różniących się wartością współczynnika częściowego γ_w.



Lista ustawień - predefiniowane ustawienia obydwu wariantów wsp. częściowych do oddziaływania wody

Analiza konstrukcji oporowych

Obliczenia według EN 1997 wprowadzają różne współczynniki częściowe zgodnie z wybranym Podejściem obliczeniowym (DA).

Projektowanie konstrukcji według EN 1997-1 generalnie bazuje na teorii stanów granicznych.

Redukcja obciążeń (DA1, DA2, DA3):

Wszystkie podejścia obliczeniowe uwzględniają współczynniki częściowe do oddziaływań. Służą one do mnożenia wartości wszystkich sił wprowadzanych do analizy. W celu przeprowadzenia obliczeń poszczególnych sposobów zniszczenia, program określa, czy **siła lub parcie oddziałuje w sposób korzystny czy niekorzystny**. Zależnie od tego, oddziaływania te są następnie mnożone przez odpowiedni współczynnik częściowy. Informacje dotyczące zastosowanych współczynników częściowych są prezentowane w raporcie z obliczeń.

Wyznaczone siły oddziałujące na konstrukcję

Nazwa	F_{poz} [kN/m]	Miej.Przyłoż. Z [m]	F_{pion} [kN/m]	Miej.Przyłoż. X [m]	Wsp. obrót	Wsp. przesuw	Wsp. naprężenie
Ciężar - ściana	0.00	-1.34	104.88	1.80	1.000	1.000	1.350
Odpór na licu	-1.22	-0.17	0.00	0.00	1.000	1.000	1.000
Ciężar - klin odłamu	0.00	-2.00	99.17	2.44	1.000	1.000	1.350
Parcie czynne	75.63	-1.40	104.09	3.41	1.000	1.350	1.350
Force No. 1	30.00	-5.80	0.00	1.50	1.350	1.350	1.350

Raport z analizy

W ramce analiza można także określić "**Drugorzędne oddziaływania zmienne**" - odpowiednie współczynniki częściowe są mnożone przez kombinacyjne współczynniki obciążenia.

Podczas analizy konstrukcji oporowych oddziaływanie wody gruntowej, a więc i określenie odpowiedniego współczynnika częściowego do oddziaływania wody jest niezwykle istotne.

Redukcja parametrów materiałowych (DA1, DA3):

Parametry gruntu podlegają automatycznej redukcji z użyciem odpowiednich współczynników częściowych.

Redukcja oporów (DA2):

Redukcji podlegają wartości sił odporu, momentów i nośności.

Przy wykonywaniu analizy według Podejścia obliczeniowego 1, cała analiza przeprowadzana jest dwukrotnie dla obydwu kombinacji obciążenia. Dla danego stanu granicznego, na ekranie wyświetlają się bardziej niekorzystne wartości wyników.

Analiza ścian wykopów

Obliczenia według EN 1997 wprowadzają różne współczynniki częściowe zgodnie z wybranym Podejściem obliczeniowym (DA).

Projektowanie konstrukcji według EN 1997-1 generalnie bazuje na teorii stanów granicznych.

Redukcja obciążeń (DA1, DA2, DA3):

W programach uwzględniających całościowe parcie gruntu (**Parcie gruntu, Ściana projekt, Ściana analiza**) przez współczynniki częściowe mnoży się poszczególne składowe parcia oddziałującego na konstrukcję.

Podstawowym założeniem analizy jest, przyjęcie że **czynne parcie gruntu oddziałuje niekorzystnie**, podczas gdy **bierne parcie gruntu** uważane jest za oddziaływanie **korzystne**. Poszczególne wykresy parcia mnożone są przez odpowiedni współczynnik częściowy.

Redukcja materiałów (DA1, DA3):

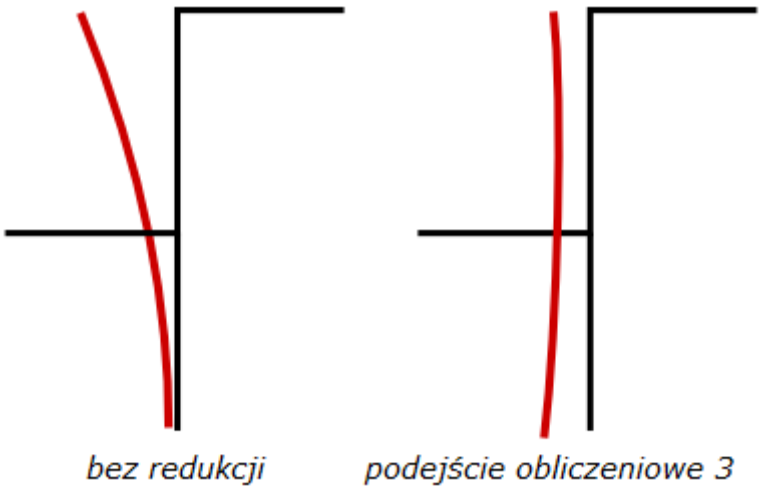
Parametry masywu gruntowego są automatycznie redukowane z użyciem odpowiednich współczynników częściowych.

Redukcja odporu (DA2): jest uwzględniana. Współczynnik częściowy do odporu redukuje odpór gruntu (parcie bierne) na licu konstrukcji.

W uproszczeniu można podać: DA1 - Kombinacja 2, DA2 i DA3 **zwiększają wartość parcia czynnego** i **zmniejszają wartość parcia biernego**, podczas gdy DA1 - Kombinacja 1 jedynie **zwiększa wartość parcia czynnego**.

Podejście to może więc, w niektórych przypadkach, **zmieniać zachowanie się konstrukcji** i podawać **błędne wyniki**. W związku z tym, należy zachować ostrożność przy redukcji

wprowadzanych parametrów.



Reakcja ściany po odciążeniu

Obliczanie fundamentów (Fundament bezpośredni, Pale)

Obliczenia według EN 1997 wprowadzają różne współczynniki częściowe zgodnie z wybranym Podejściem obliczeniowym (DA).

Projektowanie konstrukcji według EN 1997-1 generalnie bazuje na teorii stanów granicznych.

Redukcja obciążeń (DA1, DA2, DA3):

Obciążenie oddziałujące na fundament przyjmowane jest jako wynik obliczeń konstrukcji powyżej fundamentu.

- przypadki obciążeń są określane zgodnie z zasadami podanymi w EN 1990:2002
- kombinacje przypadków obciążeń są określane zgodnie z zasadami podanymi w EN 1991

Wyniki obliczeń dla kombinacji stanowią dane wejściowe dla programów "**Fundament bezpośredni**" i "**Pal**".

W **obliczeniach** uwzględniane są zarówno **obciążenia** obliczeniowe (analiza nośności, wymiarowanie zbrojenia) jak i **charakterystyczne** (analiza osiadania). W Podejściu obliczeniowym 1, obliczenia przeprowadzane są dla obydwu - zdefiniowanych obciążeń obliczeniowych (kombinacja 1) oraz zdefiniowanych obciążeń charakterystycznych (kombinacja 2).

Only the **structure self-weigh** or the **weight of soil above footing** is multiplied by the partial factors in the program. The specified design load must be determined in accord with the **EN 1990** and **EN 1991** standards - individual components of load must be **multiplied** by the corresponding partial factors - **the program does not change the inputted load any further**.

Przez współczynniki częściowe program mnoży tylko **ciężar własny konstrukcji** lub **ciężar gruntu nad fundamentem**. Obciążenie obliczeniowe, wprowadzane do obliczeń winno być określone zgodnie z normami **EN 1990** i **EN 1991** - poszczególne składowe obciążenia należy przemnożyć przez odpowiednie współczynniki częściowe - **program nie wykonuje żadnych zmian na zdefiniowanej wartości obciążenia**.

Redukcja materiałów (DA1, DA3):

Parametry gruntu są automatycznie redukowane z użyciem odpowiednich współczynników częściowych.

Redukcja obciążenia (DA2) dla pali (DA1, DA2, DA3):

Program "**Pal**" przyjmuje współczynniki częściowe w zależności od rodzaju pala (**wiercony, wbijany, CFA**). Okno służy do definiowania wszystkich współczynników częściowych. Do obliczeń są następnie przyjmowane współczynniki częściowe w zależności od rodzaju pala wybranego w ramce "**Geometria**". Analiza **pala wyciąganego** zawsze uwzględnia ciężar własny pala. W przypadku **pala wciskanego**, można pominąć ciężar własny pala, zależnie od ustawienia w ramce "**Obciążenie**". Właściwa analiza odbywa się według teorii stanów granicznych.

W programie "**Fundament bezpośredni**" nośność pionowa i pozioma fundamentu są redukowane.

Analiza stateczności zbocza

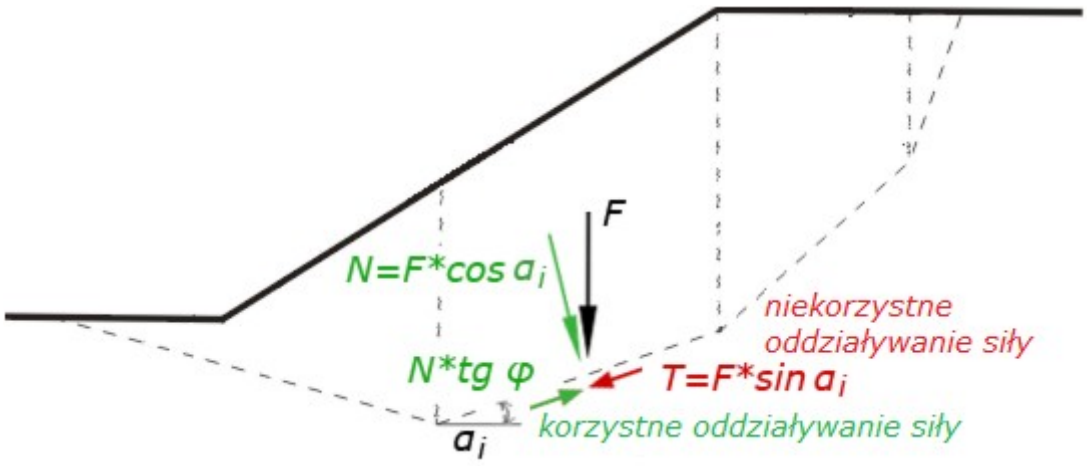
Obliczenia według EN 1997 wprowadzają różne współczynniki częściowe zgodnie z wybranym Podejściem obliczeniowym (DA).

Projektowanie konstrukcji według EN 1997-1 generalnie bazuje na teorii stanów granicznych.

Redukcja obciążeń (DA1, DA2, DA3):

Obciążenia oddziałujące na pasmo redukowane są w obliczeniach poprzez zastosowanie współczynników częściowych. W zależności od nachylenia powierzchni poślizgu, program ocenia, czy oddziaływanie **siły grawitacji** na dany blok jest korzystne czy niekorzystne. Jeżeli wartość korzystnego oddziaływania siły jest większa od wartości oddziaływania niekorzystnego, to program przyjmuje współczynnik korzystny. Na tej podstawie ciężar bloku W jest mnożony przez współczynnik częściowy dla obciążenia trwałego.

Oddziaływanie wody ijest również redukowane przez współczynnik częściowy, który zwiększa wynikowe ciśnienie porowe oraz siły wynikające z oddziaływania wody nieograniczonej powyżej powierzchni terenu.



Określenie, czy oddziaływanie siły jest korzystne, czy niekorzystne.

Dla wprowadzonych obciążeń program najpierw ocenia, czy ich oddziaływanie jest korzystne, czy niekorzystne, a następnie mnoży **obciążeniea całkowite** przez odpowiedni współczynnik częściowy.

Redukcja materiałów (DA1, DA3):

Parametry gruntu są automatycznie redukowane z użyciem odpowiednich współczynników częściowych.

Redukcja oporów (DA2):

Redukcji podlega opór na płaszczyźnie poślizgu.

OSTRZEŻENIE !!! **Analiza stateczności zbocza według DA2 lub DA1 (kombinacja 1) z zastosowaniem parametrów całkowitych (uogólnionych) daje bardzo nierealistyczne wyniki**. Jest to spowodowane zróżnicowaniem redukcji ciężaru masywu gruntowego (oddziaływanie korzystne lub niekorzystne). W przypadku zastosowania wyżej wymienionych podejść obliczeniowych **zalecamy ręczną modyfikację współczynników częściowych** (np. zwiększenie współczynnika częściowego do stateczności globalnej i zmniejszenie współczynników częściowych do oddziaływań).

Kombinacje obciążeń

Oddziaływania obciążeń działających jednocześnie wprowadzane są do obliczeń za pomocą kombinacji obciążeń zdefiniowanych w normie **EN 1900 Podstawy projektowania konstrukcji**. Większość obciążeń traktowana jest jako obciążenia stałe. Obciążenia dodatkowe i siły przyłożone można wprowadzić w postaci obciążeń zmiennych. Program automatycznie ustala wartości poszczególnych współczynników częściowych, w zależności od tego, czy dane obciążenie oddziałuje w sposób korzystny, czy niekorzystny.

Domyślnie, obciążenia zmienne uważane są za obciążenia **główne**. Niemniej jednak, okna **Analiza** i **Wymiarowanie** umożliwiają określenie obciążeń zmiennych jako obciążenia drugorzędne - takie obciążenie jest następnie mnożone przez odpowiedni współczynnik redukujący jego wartość. Jeżeli wszystkie obciążenia zostaną w kombinacji podstawowej potraktowane jako drugorzędne, to program wyświetli ostrzeżenie i analiza nie zostanie przeprowadzona.

Istnieje możliwość zdefiniowania czterech typów kombinacji w ramce "**Ustawienia fazy**".

$$\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{G,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

gdzie:

- $G_{k,,j}$ -wartość charakterystyczna j-tego obciążenia stałego
- $\gamma_{G,j}$ -współczynnik częściowy j-tego obciążenia stałego
- $Q_{k,i}$ -wartość charakterystyczna i-tego obciążenia drugorzędnego
- $Q_{k,1}$ -wartość charakterystyczna głównego obciążenia zmiennego
- $\gamma_{Q,i}$ -współczynnik częściowy i-tego obciążenia zmiennego
- ψ_0 -współczynnik wartości quasi-stałej obciążenia zmiennego

Przypadkowa sytuacja obliczeniowa:

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + A_d + \psi_{1,i} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

gdzie:

- $G_{k,,j}$ - wartość charakterystyczna j-tego obciążenia stałego
- $Q_{k,1}$ - wartość charakterystyczna głównego obciążenia zmiennego
- ψ_1 - współczynnik wartości częstej obciążenia zmiennego

$\psi 2$ - współczynnik wartości kombinacyjnej obciążenia zmiennego

A_d - wartość obliczeniowa obciążenia krytycznego

Sejsmiczna sytuacja obliczeniowa:

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + A_{Ed} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

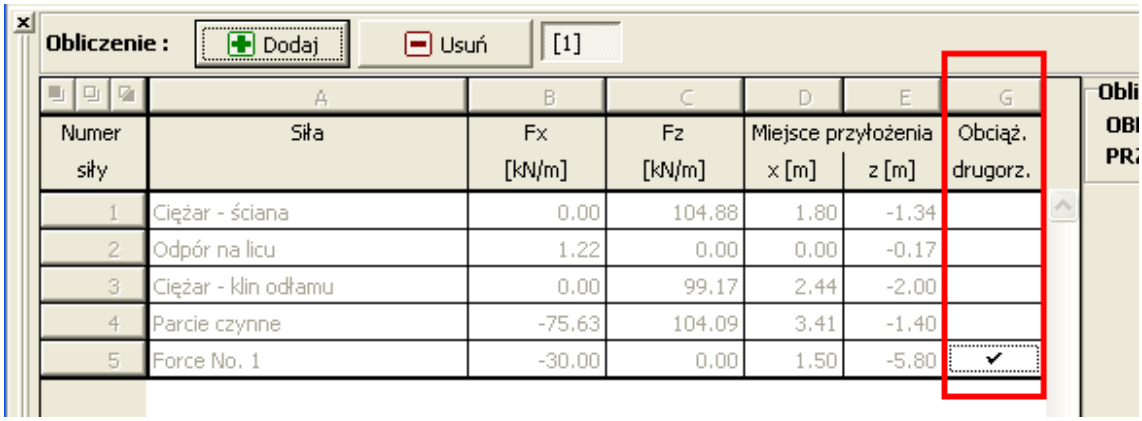
gdzie: $G_{k,,j}$ -wartość charakterystyczna j-tego obciążenia stałego

$Q_{k,i}$ -wartość charakterystyczna drugorzędnego j-tego obciążenia zmiennego

$\psi_{2,i}$ -współczynnik wartości quasi-stałej obciążenia zmiennego

A_{Ed} -wartość obliczeniowa obciążenia sejsmicznego

Współczynniki częściowe obciążenia i **współczynniki kombinacyjne** są wprowadzane w oknie dialogowym "Współczynniki częściowe".



Wprowadzanie obciążeń drugorzędnych

Analiza według LRFD

W obliczeniach według LRFD (**Load Resistance Design Factor**) wykorzystywana jest teoria stanów granicznych.

Analiza według LRFD wprowadza dwa rodzaje współczynników obliczeniowych:

- współczynniki modyfikujące wielkość obciążenia (**Współczynniki obciążenia**) i
- współczynniki redukujące odpór gruntu (**Współczynniki do odporu**)

LRFD zaimplementowano w programie w celu:

- Analizy ścian (konstrukcji wsporczych)
- Analizy fundamentów
- Analizy stateczności zboczy

LRFD wprowadza nowe rodzaje sytuacji obliczeniowych (Wytrzymałościowa I, Użytkowa I, Ekstremalna I).

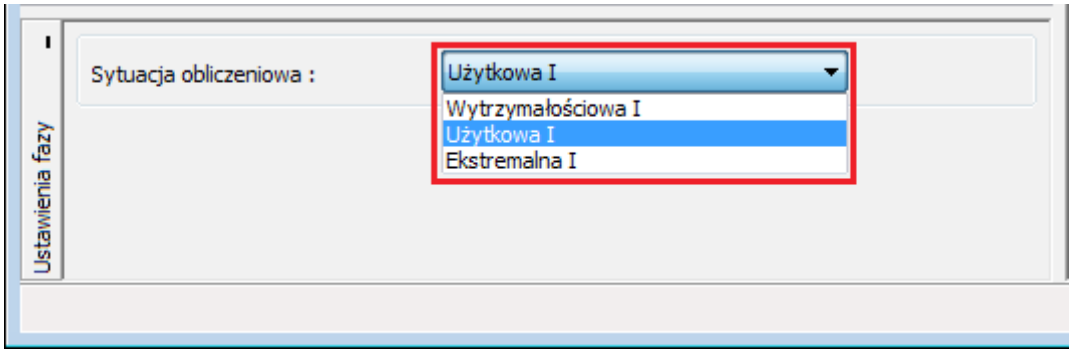
LRFD - Sytuacje obliczeniowe

Do analizy: ścian (konstrukcji wsporczych), fundamentów oraz stateczności zboczy LRFD

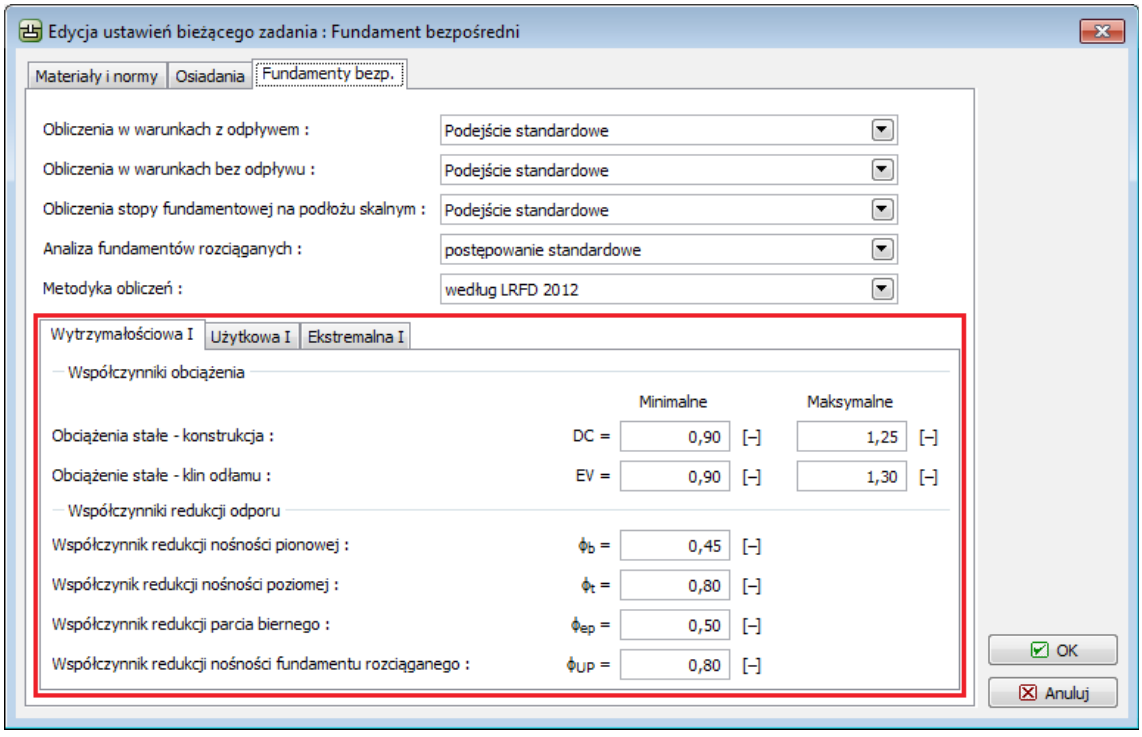
wprowadza następujące sytuacje obliczeniowe:

- **Wytrzymałościowa I**: podstawowa sytuacja obliczeniowa, w której redukowana jest wytrzymałość konstrukcji oraz wartość obciążeń.
- **Użytkowa I**: w tej sytuacji obliczeniowej, dla większości przypadków, zakłada się współczynniki częściowe (**redukcja obciążenia, wytrzymałości**) równe $1,0$.
- **Ekstremalna I**: w tej sytuacji obliczeniowej, dla większości przypadków, zakłada się współczynniki częściowe do **redukcji wytrzymałości** równe $1,0$.

Rodzaj sytuacji obliczeniowej wybiera się w ramce "**Ustawienia fazy**". Wartości współczynników częściowych (**redukcja obciążenia, wytrzymałości**) mozna modyfikować w ramce "**Ustawienia**".



LRFD - Wybór sytuacji obliczeniowej



Analiza z wykorzystaniem LRFD - definiowanie współczynników częściowych

LRFD - Analiza ścian (Konstrukcji wsporczych)

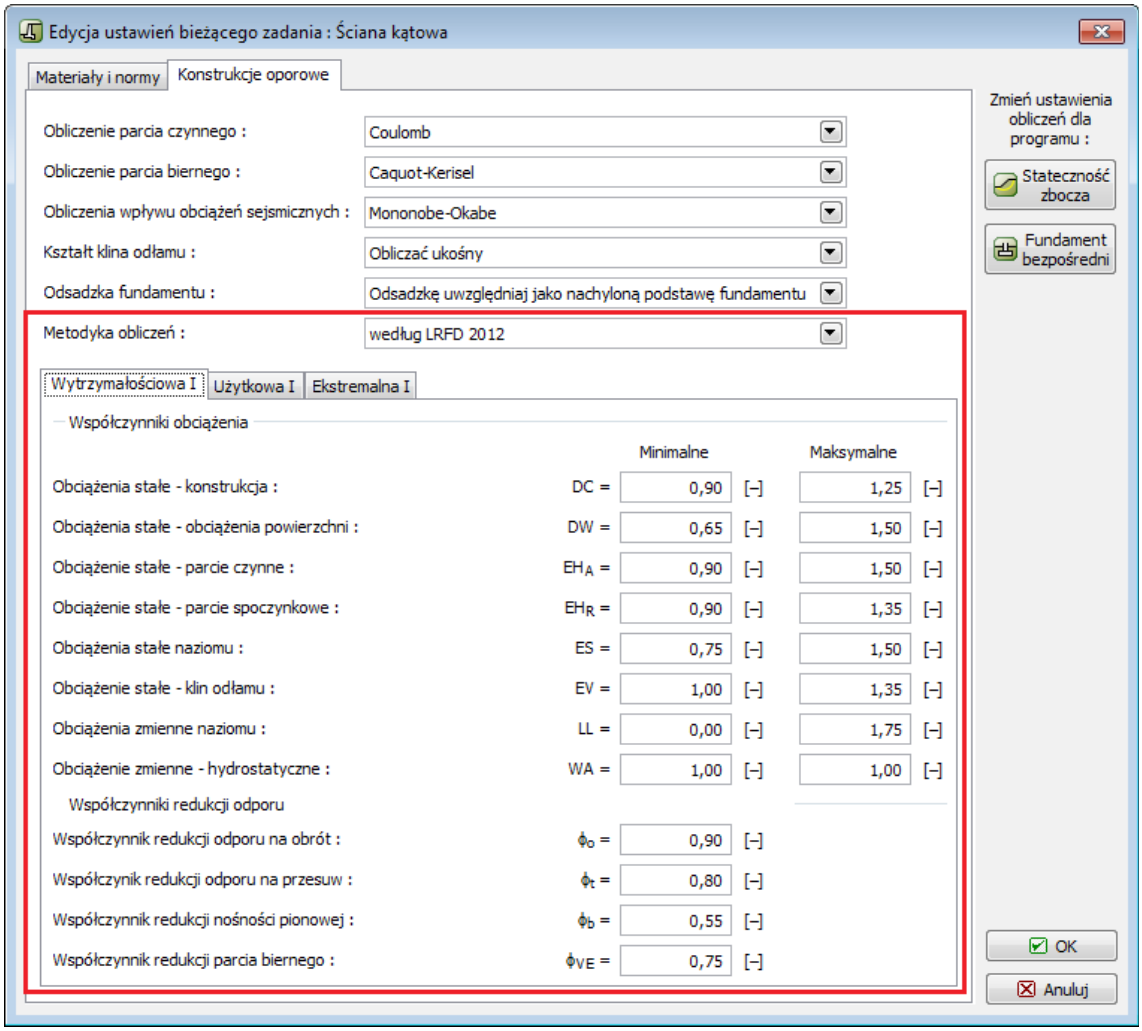
Analiza według LRFD wprowadza dwa rodzaje współczynników obliczeniowych - współczynniki

modyfikujące wielkość obciążenia (**Współczynniki obciążenia**) i współczynniki redukujące odpór gruntu **(Współczynniki do odporu**).

Współczynniki te wchodzą do obliczeń zgodnie z wybraną sytuacją obliczeniową.

W przypadku analizy poszczególnych przypadków zniszczenia, program określa czy **siła bądź parcie oddziałują w sposób korzystny czy niekorzystny**, a następnie przemnaża siłę przez właściwy współczynnik częściowy.

Podczas przeprowadzania ostatecznego sprawdzenia całkowita wytrzymałość konstrukcji na zniszczenie jest przemnażana przez odpowiedni współczynnik wytrzymałości.



Analiza według LRFD - definiowanie współczynników częściowych dla analizy ścian

W przypadku konstrukcji wsporczych (ścian), informacja o zastosowanych współczynnikach obliczeniowych umieszczona jest w raporcie z obliczeń.

Wyznaczone siły oddziałujące na konstrukcję

Nazwa	F_{poz} [kN/m]	Miej.Przyłoż. z [m]	F_{pion} [kN/m]	Miej.Przyłoż. x [m]	Wsp. obrót	Wsp. przesuw	Wsp. naprężenie
Ciężar - ściana	0,00	-1,34	104,88	1,80	0,900	0,900	1,250
Odpór na licu	-1,22	-0,17	0,00	0,00	0,900	0,900	0,900
Ciężar - klin odłamu	0,00	-2,00	99,17	2,44	1,000	1,000	1,350
Parcie czynne	84,30	-1,65	118,67	3,26	0,900	1,500	1,500
Síla číslo: 1	30,00	-5,80	0,00	1,50	1,500	1,500	1,500

Raport z obliczeń

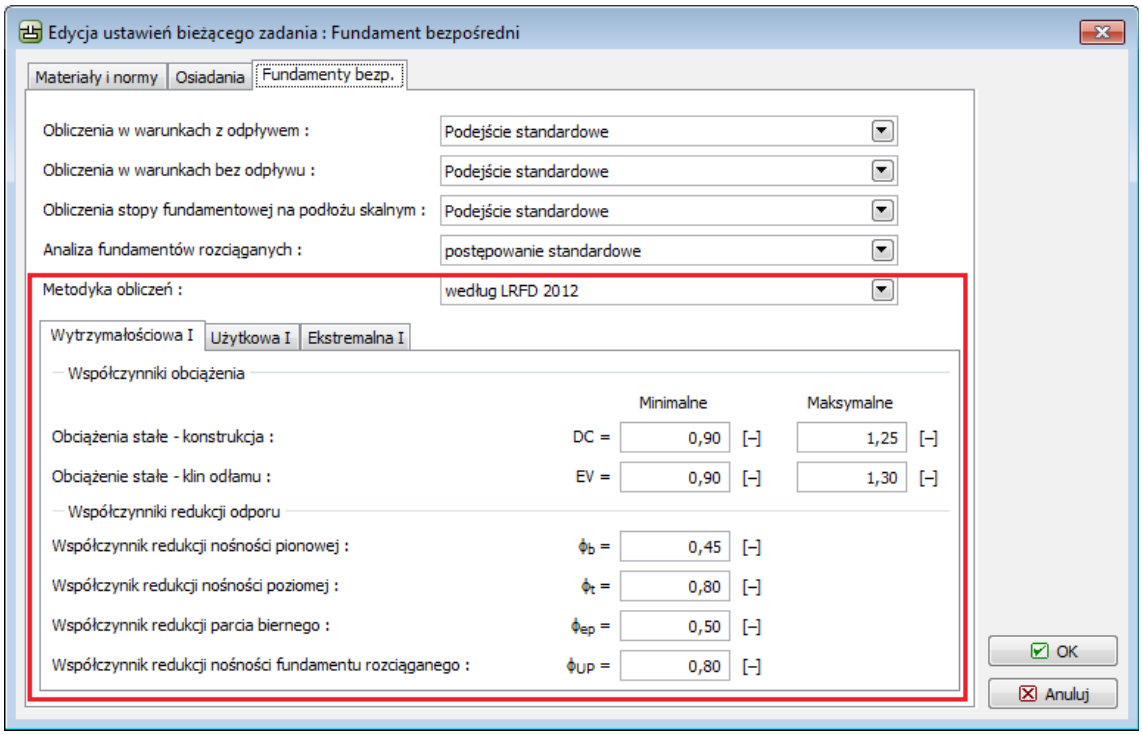
LRFD - Analiza fundamentów

Analiza według LRFD wprowadza dwa rodzaje współczynników obliczeniowych - współczynniki modyfikujące wielkość obciążenia (**Współczynniki obciążenia**) i współczynniki redukujące odpór gruntu **(Współczynniki do odporu**).

Współczynniki te wchodzą do obliczeń zgodnie z wybraną sytuacją obliczeniową.

Współczynniki częściowe do obciążeń wykorzystywane są wyłącznie do przemnożenia **ciężaru własnego fundamentu** oraz ciężaru **nadkładu gruntu nad fundamentem.** Poszczególne składowe obciążenia powinny być **przemnożone** przez odpowiednie współczynniki częściowe **przed wprowadzeniem** ich do programu - program w żaden sposób nie modyfikuje zdefiniowanych obciążeń.

Podczas przeprowadzania ostatecznego sprawdzenia całkowita wytrzymałość konstrukcji na zniszczenie jest przemnażana przez odpowiedni współczynnik wytrzymałości.



Analiza według LRFD - definiowanie współczynników częściowych dla fundamentów

LRFD 2012 - Analiza stateczności zboczy

Analiza według LRFD wprowadza dwa rodzaje współczynników obliczeniowych - współczynniki modyfikujące wielkość obciążenia (**Współczynniki obciążenia**) i współczynniki redukujące odpór gruntu **(Współczynniki do odporu**).

Współczynniki te wchodzą do obliczeń zgodnie z wybraną sytuacją obliczeniową.

Zdefiniowane obciążenia są sprawdzane czy oddziałują korzystnie czy niekorzystnie. **Wartość obciążenia** jest następnie przemnażana przez odpowiedni współczynnik częściowy do obciążeń (**ES** lub **LL**, odpowiednio).

Redukcja wytrzymałości (współczynniki wytrzymałości):

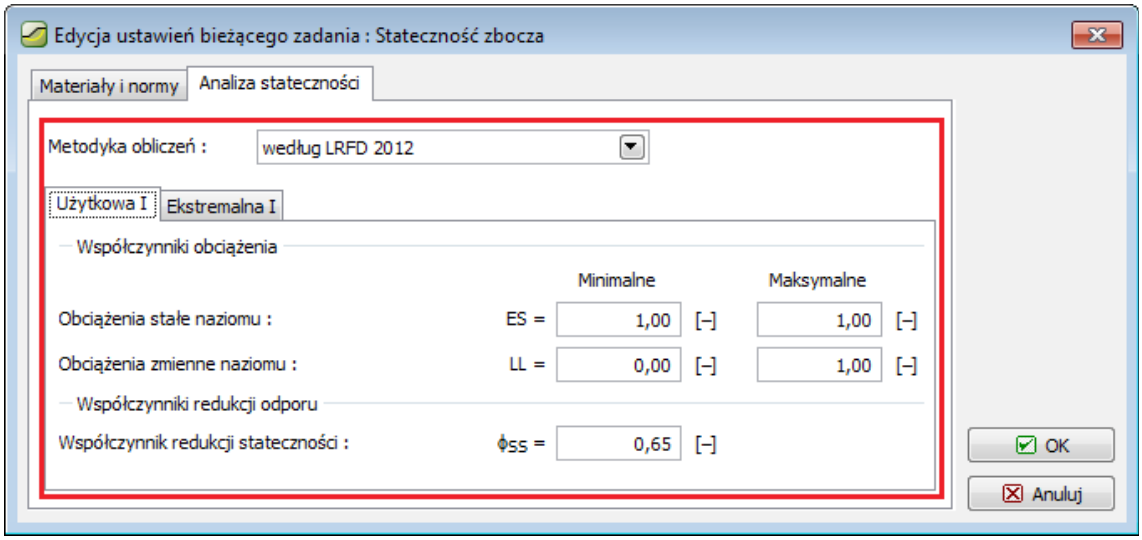
Całkowita wytrzymałość na powierzchni poślizg jest redukowana przez współczynnik częściowy ϕ_{SS}. Przy analizie bezpieczeństwa modelu następujący warunek musi być spełniony na powierzchni poślizgu:

$$\phi_{SS} F_{pas} \geq F_{act}$$

gdzie: ϕ_{SS} - współczynnik wytrzymałości do stateczności

F_{pas} - siły utrzymujące (bierne) oddziałujące na powierzchnię poślizgu

F_{act} - siły czynne oddziałujące na powierzchnię poślizgu



iza według LRFD - definiowanie współczynników częściowych do analizy stateczności

Analiza według norm chińskich

GEO5 programs allow to perform various analyses based on the methodologies provided by Chinese standards.

Geotechnical analyses are verified using the safety factor. Neither calculated forces or soil parameters are reduced by any coefficient.

Dimensioning of steel-reinforced concrete and masonry structures follows the GB 50153-2008 or JTS D30-2004 standards. In this case, each force entering a combinations is pre-multiplied by the corresponding coefficient.

Another coefficient influencing the dimensioning is the **Coefficient of structure importance**

(GB 50153-2008, 8.2.2-1) to be specified in the "Settings" frame when performing the structure verification according to GB 50010-2010.

Earthquake analysis and seismic combination analysis according to GB 50010-2010 further exploit **Seismic coefficients of strength** (GB 50011-2010), which increase the calculated bearing capacity of a cross-section. These coefficients are specified in the "**Settings**" frame in the "Materials and standards" tab.

Analysis of sheeting structures follows to JGJ 120-2012 standard (Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations). This is eg. a determination of modulus of subsoil reaction.

Sytuacje obliczeniowe

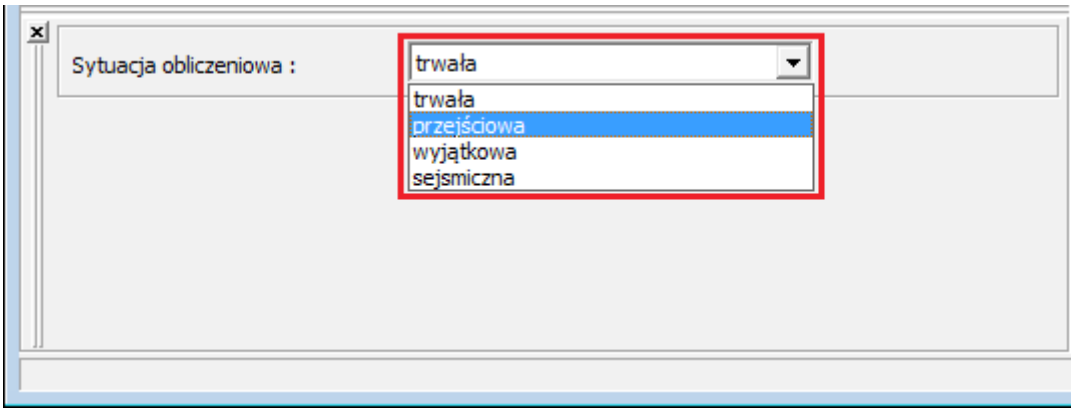
Programy umożliwiają zdefiniowanie czterech sytuacji obliczeniowych, które mogą się różnić współczynnikami obliczeniowymi. Są to:

- **Trwała sytuacja obliczeniowa** - najbardziej popularna sytuacja obliczeniowa i rodzaj analizy, stosowana gdy w przypadkach należy zapewnić bezpieczeństwo pracy konstrukcji w określonym czasie.
- **Przejściowa sytuacja obliczeniowa** - może być wykorzystywana dla konstrukcji tymczasowych (fazy budowy). Zwykle w tym przypadku, wymagane są niższe parametry bezpieczeństwa niż w sytuacji trwałej.
- **Wyjątkowa sytuacja obliczeniowa** - do zastosowania w przypadku wyjątkowych rodzajów oddziaływań na konstrukcję (np. wybuch, uderzenie samochodu, powódź, pożar, itp.).
- **Sejsmiczna sytuacja obliczeniowa** - ma zastosowanie przy obliczeniach uwzględniających odziaływania sejsmiczne. Może się wydawać zbliżona do sytuacji wyjątkowej, jednakże dla obciążeń sejsmicznych zwykle stawiane są wyższe wymagania odnośnie bezpieczeństwa konstrukcji. W niektórych krajach wymagany poziom bezpieczeństwa dla sytuacji sejsmicznej równy jest temu wymaganemu dla trwałej sytuacji obliczeniowej.

LRFD wprowadza nowe rodzaje sytuacji obliczeniowych (**Wytrzymałościowa I**, **Użytkowa I**, **Ekstremalna I**).

Współczynniki obliczeniowe i częściowe definiuje się w Ustawieniach obliczeń.

Właściwą sytuację obliczeniową dla danej fazy budowy wybiera się w ramce "**Ustawienia fazy**".



Wybór sytuacji obliczeniowej

Programy

W rozdziale tym zawarto podstawowy opis specyficznych metod wprowadzania danych do programów:

- Parcie
- Ściana kątowa
- Ściana oporowa
- Ściana prefabrykowana
- Mur oporowy
- Gabion
- Przyczółek
- Zbocze gwoździowane
- Redi-Rock Wall
- Ściana projekt
- Ściana analiza
- Pal stabilizujący
- Szyb
- Stateczność zbocza
- Stateczność zbocza skalnego
- Nasypy zbrojone
- Fundamenty bezpośrednie
- Fundamenty bezpośrednie CPT
- Pal
- Pal CPT
- Grupa pali
- Mikropal
- Płyta
- Belka
- Osiadanie
- Wyrobisko
- Teren
- Stratygrafia 3D
- MES (oraz moduły Konsolidacja, Przepływ wody, Tunel)

Program Parcie

Program ten wyznacza podstawowe parcia gruntu (parcie czynne, parcie bierne i parcie spoczynkowe) oddziałujące na konstrukcję dowolnego kształtu.

Pomoc w programie "Parcie" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

Projekt	Ustawienia	Geometria	Profil	Grunty	Przyporządkowanie
Teren	Woda	Obciążenie	Obciążenia sejsmiczne	Ustawienia fazy	Obliczenia

- Normy i metody obliczeniowe
- Teoria obliczeniowa w programie "**Parcie**":

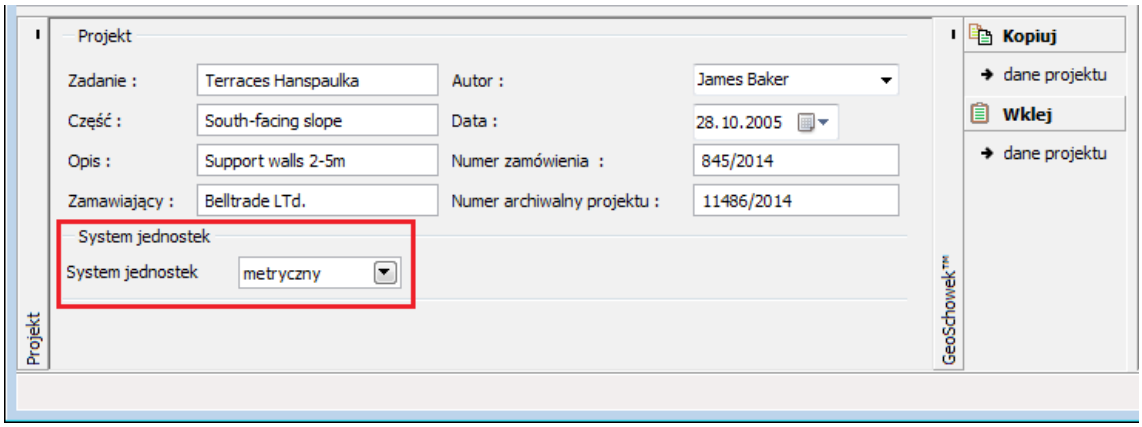
  Naprężenia w gruncie Parcia gruntu

- Dane wyjściowe
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

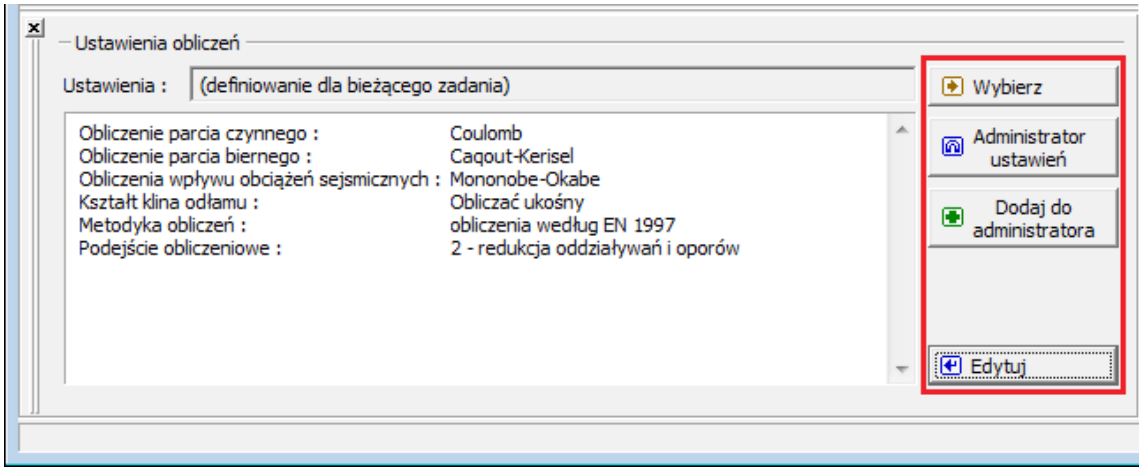
Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładkach "Materiały i normy" oraz "Analiza parć".



Ramka "Ustawienia"

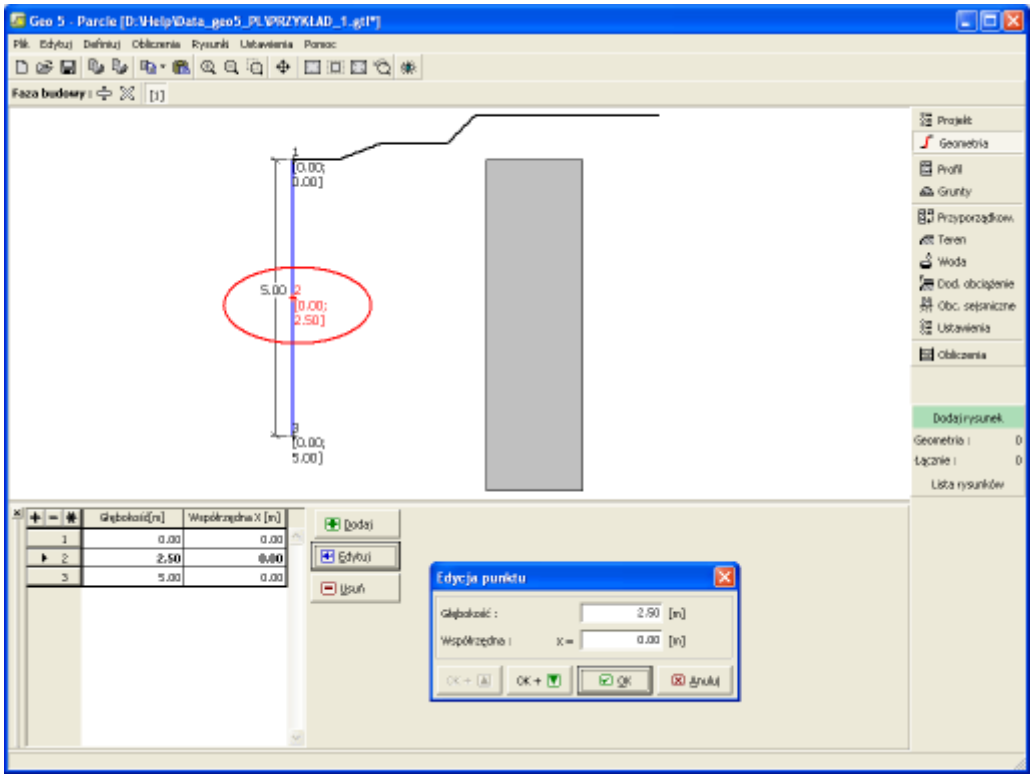
Geometria

Ramka "**Geometria**" zwiera tabelę z lista punktów konstrukcji. Dodawanie (edycja) punktów odbywa się w oknie dialogowym "**Nowy punkt**".

Istnieje możliwość dalszej edycji istniejących punktów geometrii na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów - dwukrotne kliknięcie wybranego punktu otwiera okna dialogowe

do edycji tego punktu.

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.



Ramka "Geometria"

Profil

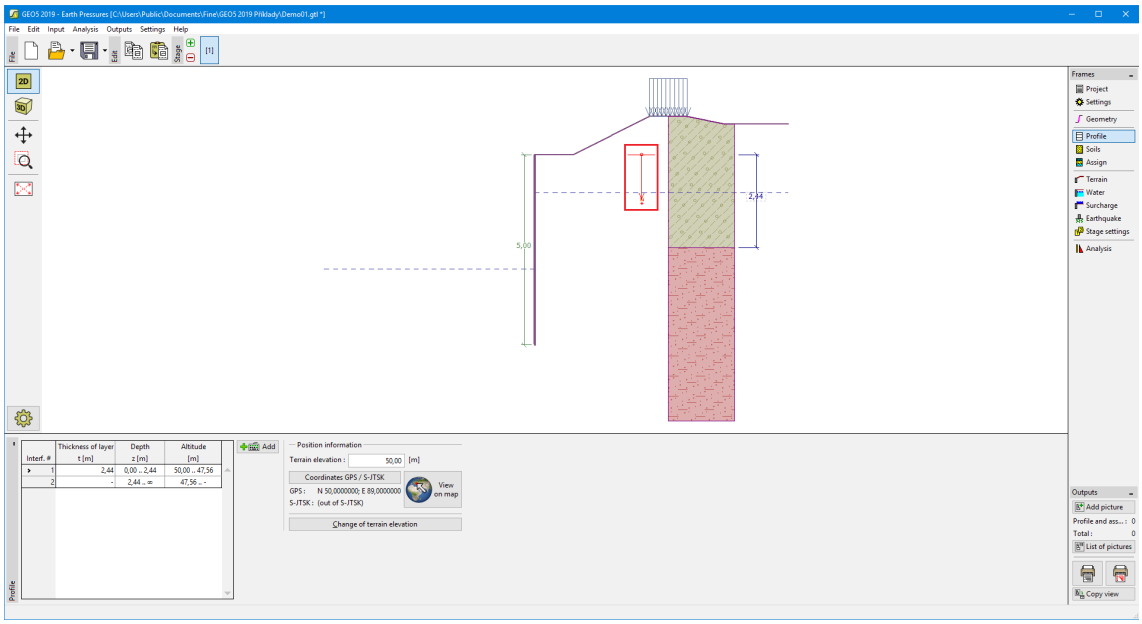
Ramka "**Profil**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych warstw. Po zdefinowaniu poszczególnych warstw można edytować ich miąższość za pomocą aktywnych wymiarów.

Dodawanie lub edycję warstw wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowa warstwa**". Definiowana jest rzędna z mierzona od górnego punktu konstrukcji (oś-z).

In this frame it is also possible to enter optional information about the structure location:

- **terrain elevation** - an altitude column for the layers is displayed in the table after input of terrain elevation
- **GPS coordinates** - it is possible to show a structure on the Google Maps using "**View on map**" button after input of coordinates.

Program umożliwia obniżenie lub podniesienie górnego punktu konstrukcji w oknie dialogowym "**Zmiana rzędnej terenu**", a zdefiniowane warstwy będą wówczas przesunięte, jednocześnie zachowując swoją miąższość. Funkcja ta jest istotna podczas kopiowania profilu z programu "**Teren**".



Ramka "Profil"

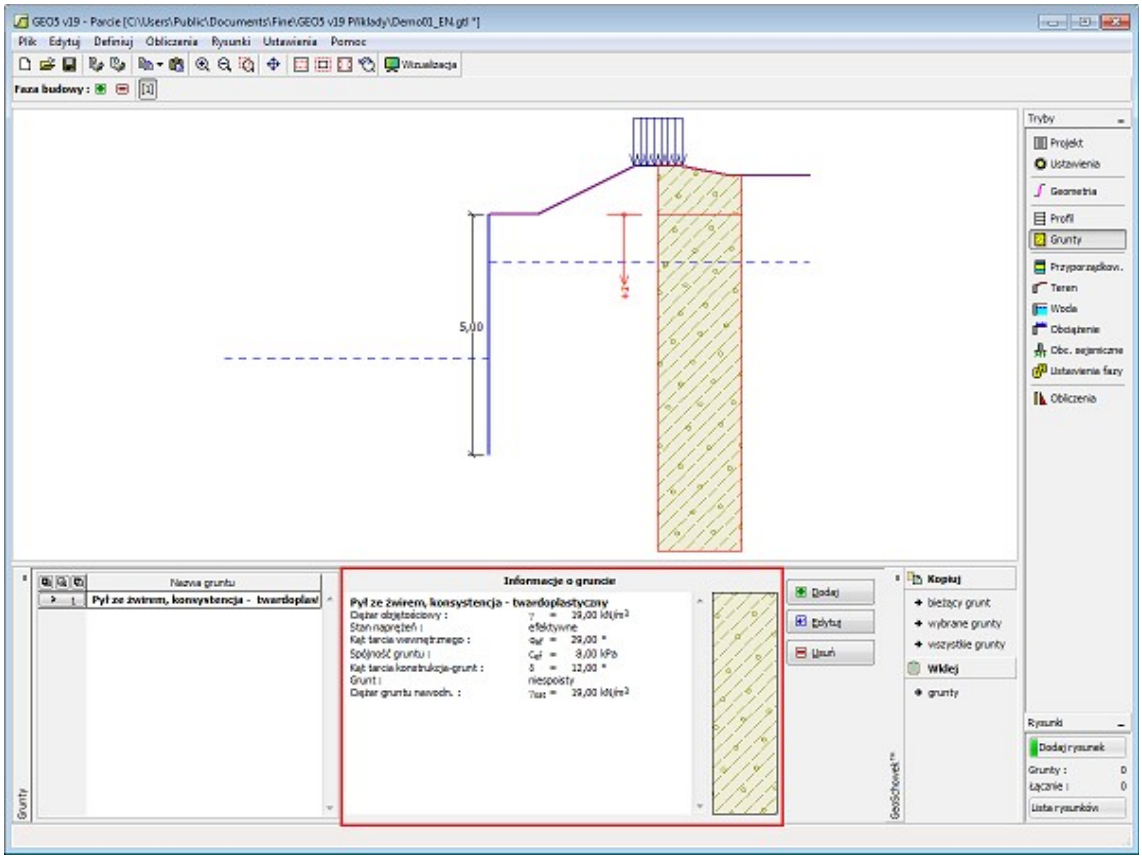
Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie (edycja) gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Dane podstawowe", "Spoczynkowe parcie gruntu" oraz "Naprężenie geostatyczne, wypór".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

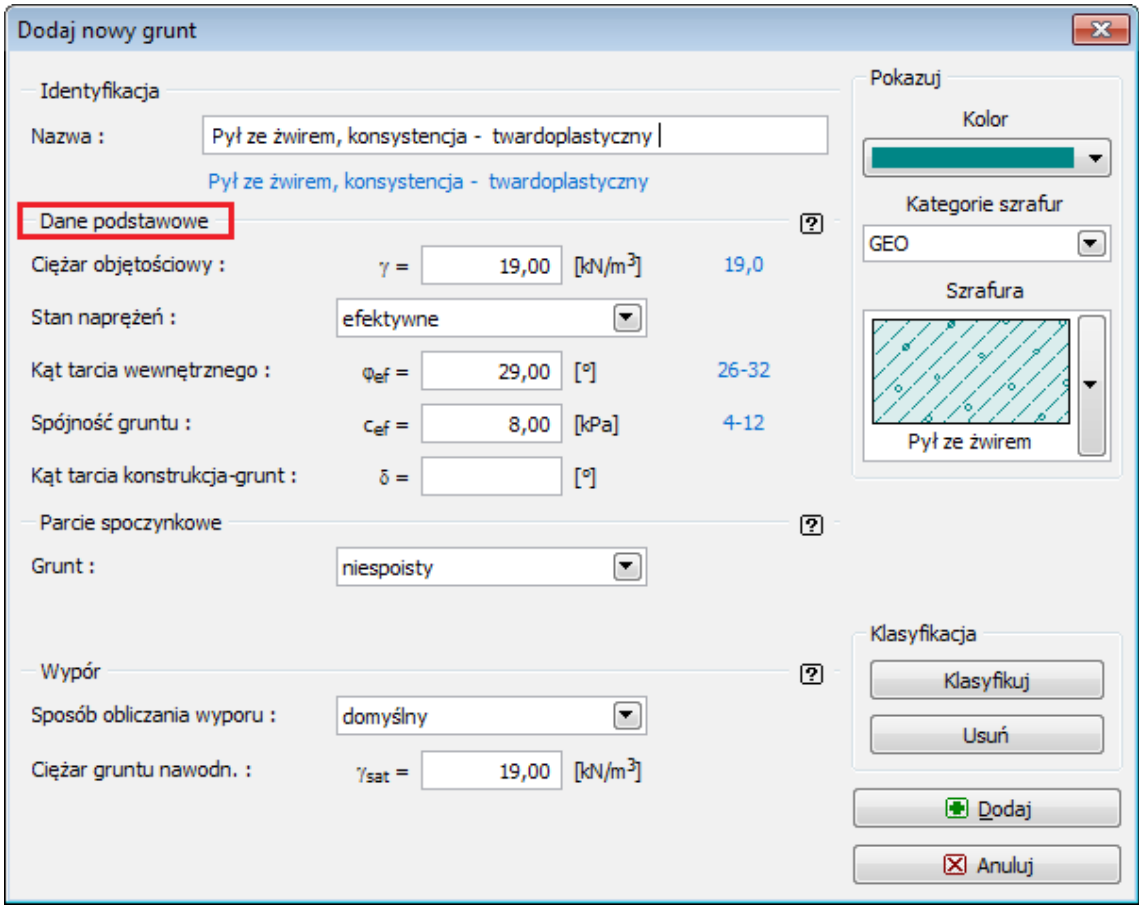
Ta część okna dialogowego służy do definiowania podstawowych parametrów gruntów - **ciężaru objętościowego, kąta tarcia wewnętrznego** oraz **spójności**. Wartości te określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub in-situ dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wartości parametrów gruntów określone na podstawie doświadczenia oraz literatury światowej. Parametry skał nie zostały zawarte w tej bazie, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym.

Istnieje możliwość definiowania wymiennie - parametrów **efektywnych** lub **uogólnionych** kąta tarcia wewnętrznego i spójności w zależności od wybranego ustawienia w liście rozwijanej "**Stan naprężeń**". Decyzja o zastosowaniu parametrów efektywnych czy uogólnionych zależy w szczególności od rodzaju gruntu, rodzaju obciążenia, czasu wykorzystania konstrukcji i warunków wodnych.

W dalszej kolejności, w przypadku naprężeń efektywnych definiuje się kąt tarcia pomiędzy konstrukcją i gruntem, który zależy zarówno od rodzaju gruntu jak i rodzaju konstrukcji. Szacunkowe wartości tego parametru podano w tabeli wartości zalecanych.

W przypadku naprężeń całkowitych natomiast należy zdefiniować adhezję gruntu do lica konstrukcji a.

Podstawy teoretyczne dotyczące omawianego zaganienia opisano w rozdziale "Parcie gruntu".

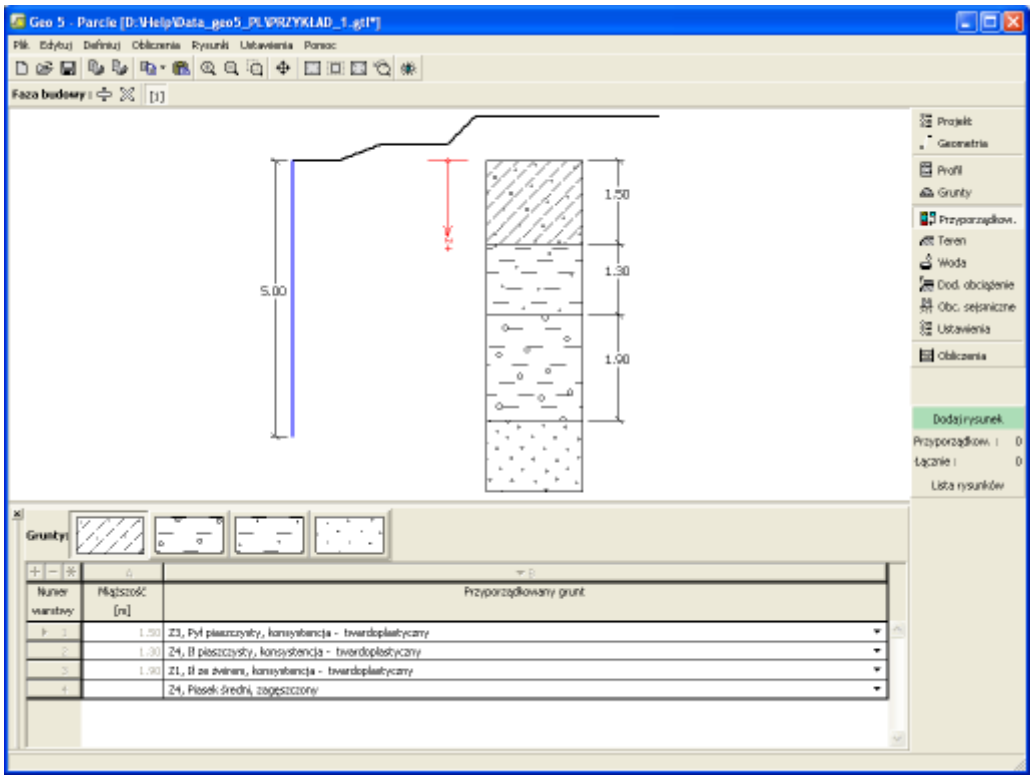


Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu zdefiniowanych w ramce "**Profil**" i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów"**.**



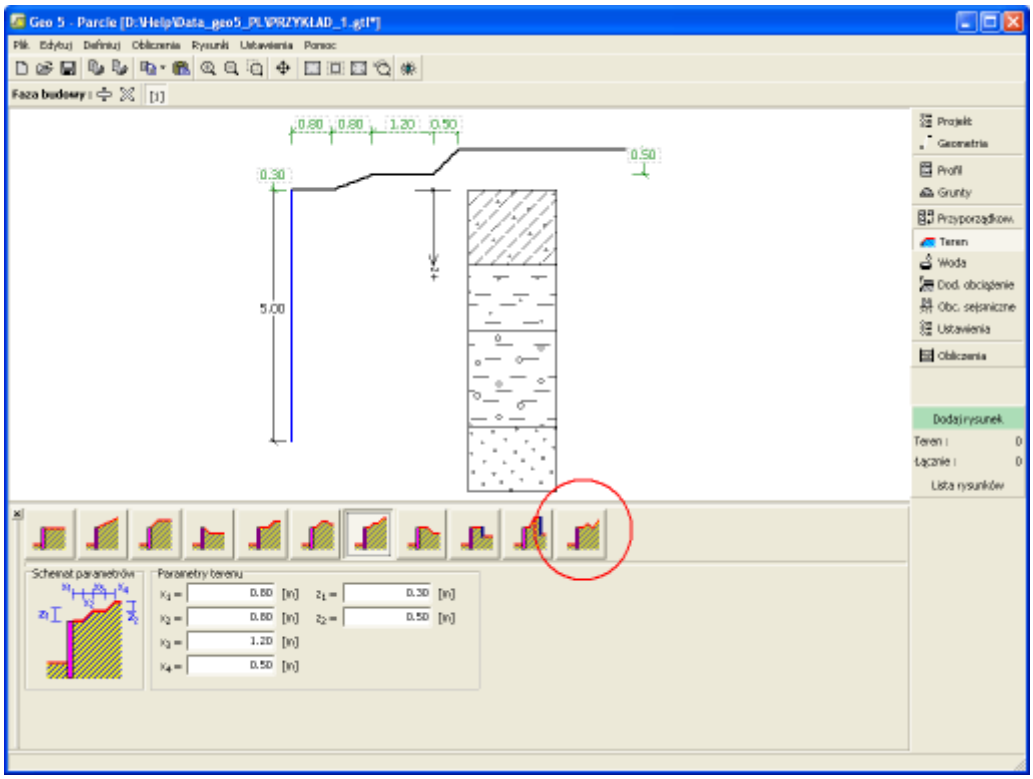
Ramka "Przyporządkowanie"

Teren

Ramka "**Teren**" umożliwia określenie ukształtowania terenu za konstrukcją. Wyboru kształtu terenu dokonuje się spośród kształtów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany kształt terenu z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Wymiary wybranego schematu terenu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego kształtu terenu. W takim przypadku, pojawiająca się ramka zawiera tabelę z listą punktów terenu. Pierwszy punkt współrzędnych $[0,0]$ zbiega się z górnym punktem konstrukcji.

Metody analizy parcia gruntu w przypadku terenu pochyłego zostały opisane w teoretycznej części pomocy "Rozkład parć gruntu dla terenu pochyłego"**.**



Ramka "Teren"

Woda

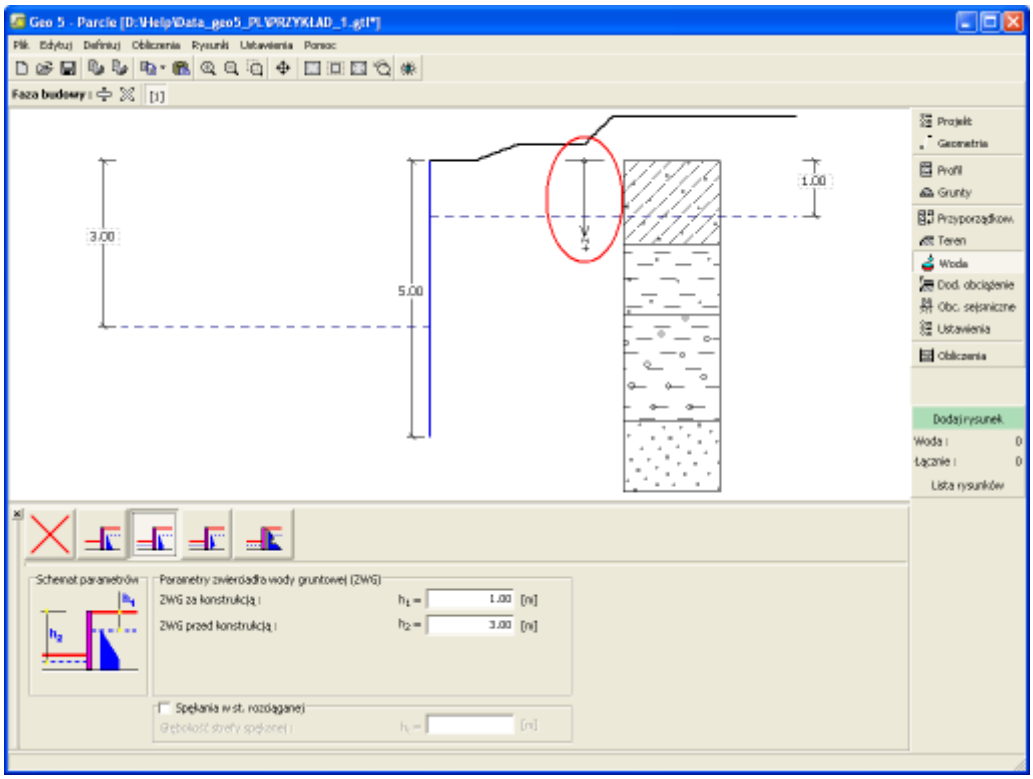
Ramka "**Woda**" umożliwia określenie rodzaju wody gruntowej. Wyboru schematu obciążenia wodą dokonuje się spośród schematów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany schemat z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Parametry (h_1, h_2...) wybranego schematu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego ciśnienia porowego wody w gruncie zarówno przed jak i za konstrukcją. W takim przypadku, pojawiają się dwie zakładki z tabelami "**Przed konstrukcją**" i "**Za konstrukcją**". Tabele te wypełnia się wartościami ciśnienia porowego odpowiednio przed lub za konstrukcją na głębokości "z" (oś-z).

W programie istnieje również możliwość zdefiniowania zwierciadła wody gruntowej **ponad konstrukcją** lub ponad profilem gruntu - w takim przypadku, poziom wody wprowadza się za pomocą wartości ujemnej.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem wpływu wody zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ wody".

Ponadto, program umożliwia określenie głębokości rys rozciąganych wypełnionych wodą w gruncie za konstrukcją.



Ramka "Woda"

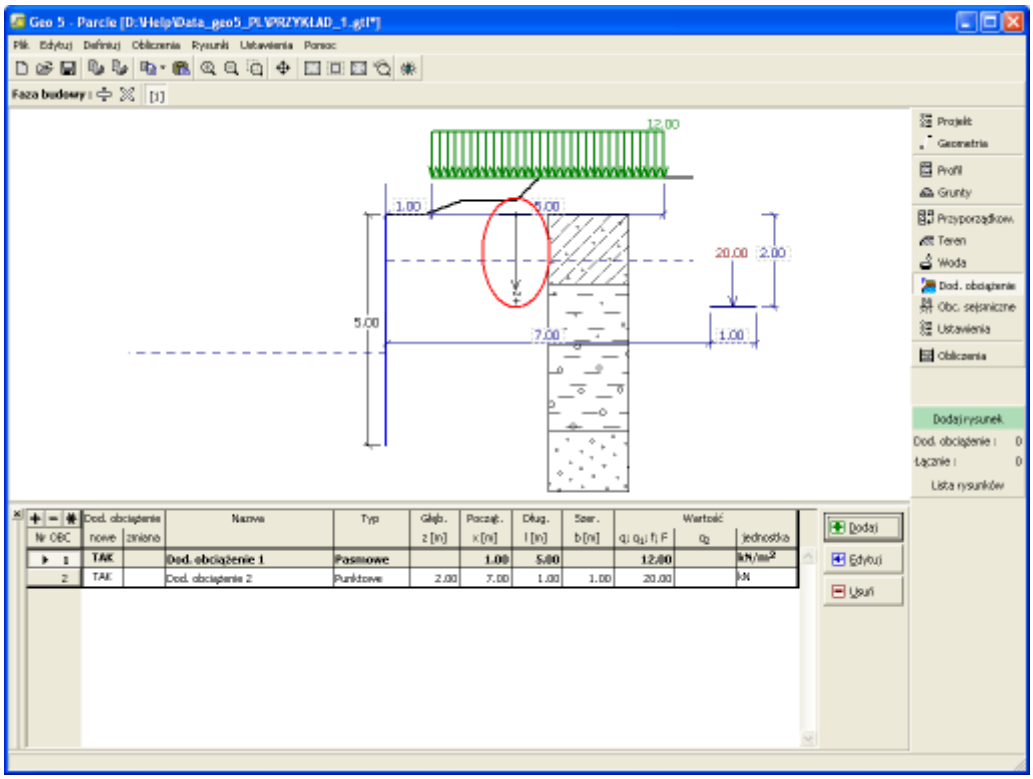
Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych obciążeń. Dodawanie obciążenia wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Zdefiniowane obciążenia można edytować na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów lub aktywnych obiektów.

Przy definiowaniu obciążenia na pewnej głębokości wprowadzana jest rzędna z, mierzona od górnego punktu konstrukcji (kierunek dodatni w dół). W przypadku, gdy obciążenie znajduje się poza terenem, program wyświetla komunikat błędu przed rozpoczęciem obliczeń.

W programie istnieje możliwość zdefiniowania obciążeń **stałych, zmiennych** lub **wyjątkowych**. Wybór rodzaju obciążenia wpływa na dobór stosownego współczynnika obliczeniowego do przemnożenia wynikowych oddziaływań. Obciążenia wyjątkowe oddziałujące w sposób korzystny nie są uwzględniane w obliczeniach.

Obliczenia parć gruntu wywołanych obciążeniami zewnętrznymi zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążenia".



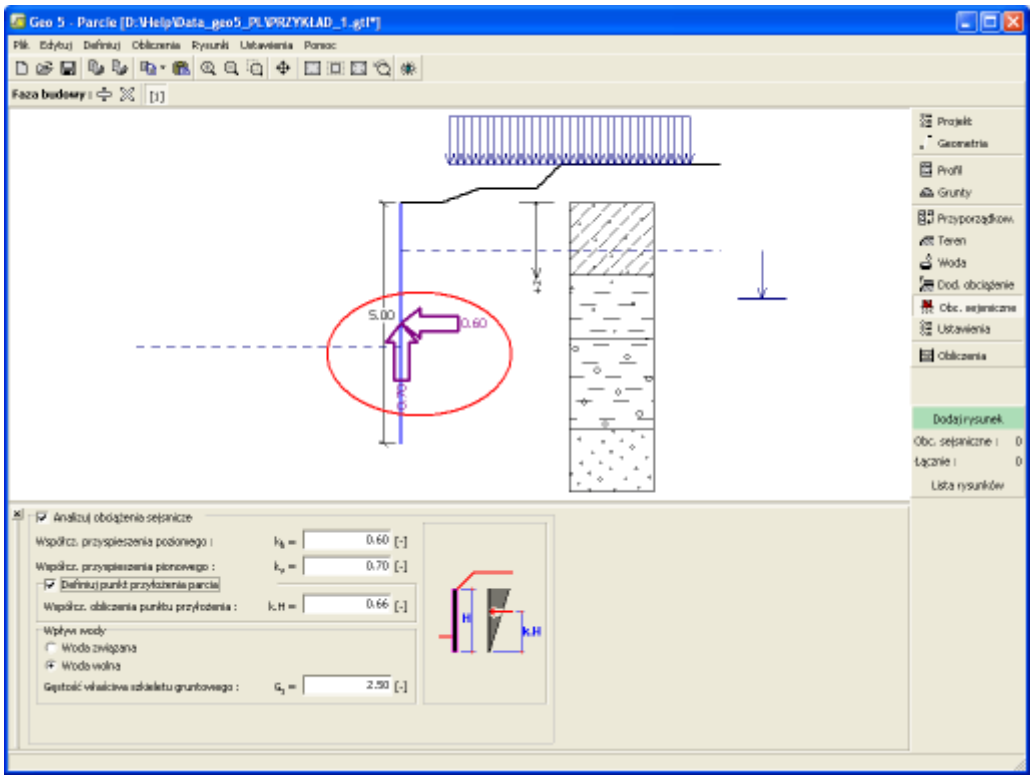
Ramka "Obciążenie"

Obciążenia sejsmiczne

Ramka "**Obciążenia sejsmiczne**" służy do wprowadzania parametrów obciążeń sejsmicznych. Kierunki skutków obciążeń sejsmicznych są wyświetlane na pulpicie.

Jeśli nie są dostępne wyniki pomiarów współczynniki k_h oraz k_v można wyznaczyć stosując opisane w pomocy podejście z normy EN 1998-5.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem obciążeń sejsmicznych zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążeń sejsmicznych".



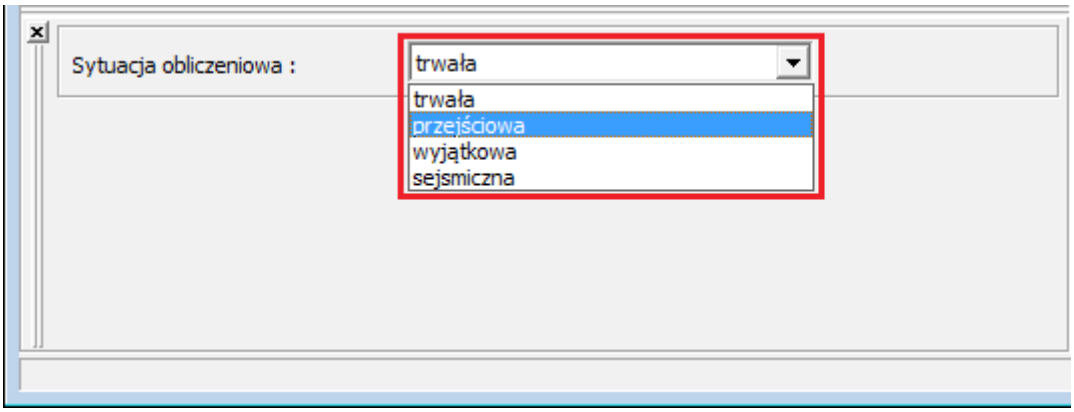
Ramka "Obciążenia sejsmiczne"

Ustawienia fazy

Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących tylko wybranej fazy obliczeniowej.

Wybrana sytuacja obliczeniowa określa współczynniki bezpieczeństwa, które będą zastosowane w obliczeniach danej fazy budowy.

Wygląd ramki zależy od wybranej metody analizy.



Ramka "Ustawienia fazy"

Obliczenia

Ramka "**Obliczenia**" wyświetla wyniki analizy. Istnieje możliwość przeprowadzenia dowolnej

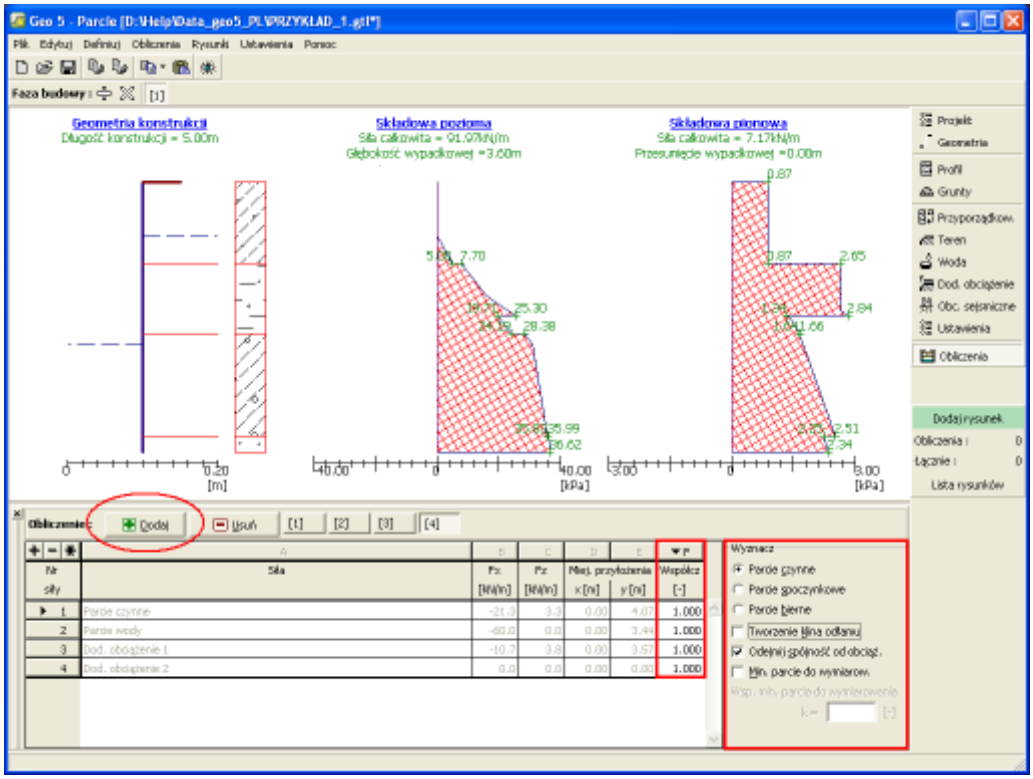
liczby analiz w obrębie jednego zadania.

Wygląd ramki jest dostosowany do wybranej metodyki obliczeń.

- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa lub na podstawie teorii stanów granicznych - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia modyfikację współczynników obliczeniowych, ktore przemnażają wyznaczone siły. Wartości tych sił są wyświetlane na ekranie i są automatycznie odświeżane przy każdej zmianie danych projektu lub ustawień w tablicy.
- Analiza według EN 1997 - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia zdefiniowanie czy obciążenie oddziałujące na konstrukcje jest uwzględniane jako drugorzędne. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w rozdziale "Kombinacje obciążeń". Jeśli obliczenia wykonuje się z zastosowaniem "Podejścia obliczeniowego 1", należy także wybrać numer kombinacji w prawej części okna.
- Analiza według LRFD - w tym przypadku ostatnia kolumna nie jest wyświetlana.

Ramka "**Obliczenia**" służy do wyboru rodzaju obliczanego parcia gruntu (parcie czynne, parcie spoczynkowe, bierne parcie). Dwie dodatkowe opcje "Tworzenie klina odłamu" oraz "Minimalne parcie do wymiarowania" są dostępne przy wyznaczaniu parcia czynnego.

Wyniki analizy wyświetlane są na pulpicie i natychmiast aktualizowane dla dowolnej zmiany wprowadzonych danych bądź ustawień. Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Obliczenia"

Program Ściana kątowa

Program ten służy do analizy kątowych ścian oporowych. Udostępnia znaczną liczbę predefiniowanych kształtów ścian i wymiaruje przekroje żelbetowe.

Pomoc w programie "Ściana kątowa" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek

Projekt	Ustawienia	Geometria	Materiał	Profil	Grunty	Przyporządkowanie
Fundament	Nasyp za konstrukcją	Teren	Woda	Obciążenia	Odpór na licu	Zdefiniowane siły
Obciążenia sejsmiczne	Kotwienie fundamentu	Ustawienia fazy	Analiza	Nośność	Wymiarowanie	Stateczność

- Normy i metody obliczeniowe

- Teoria obliczeniowa do programu "**Ściana kątowa**":

Naprężenia w gruncie	Parcia gruntu	Analiza ścian	Analiza nośności fundamentu	Wymiarowanie konstrukcji betonowych

- Dane wyjściowe

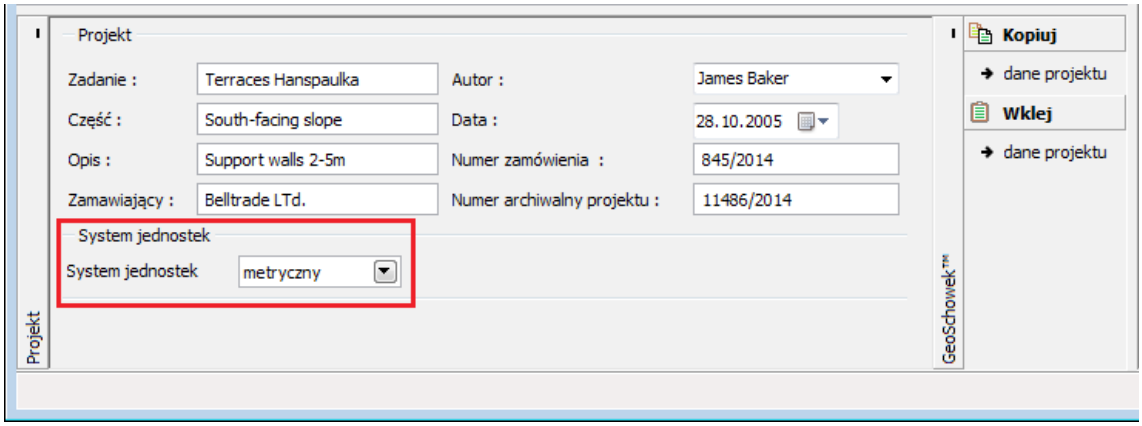
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5

- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

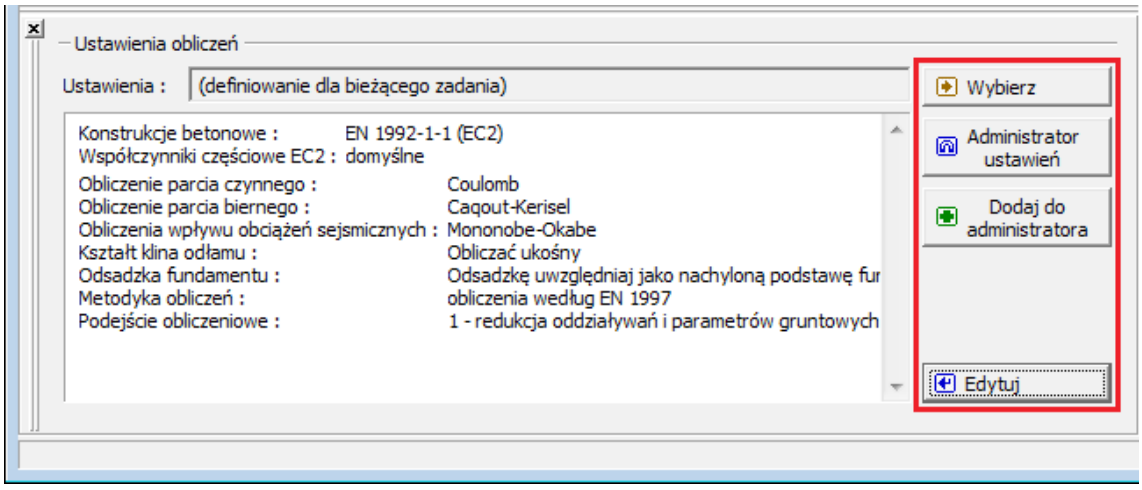
Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładkach "Materiały i normy" oraz "Konstrukcje oporowe".



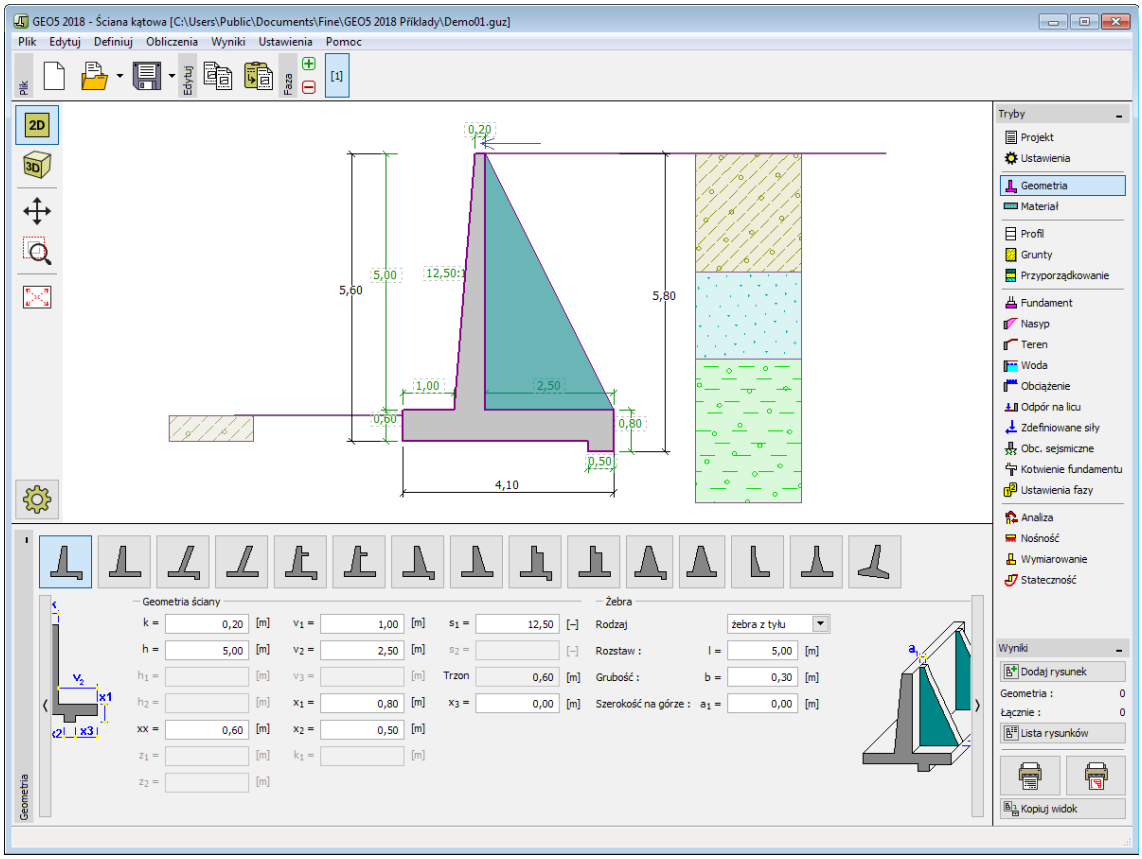
Ramka "Ustawienia"

Geometria

Ramka "**Geometria**" umożliwia wybranie kształtu ściany poprzez wybór ikony. Dla niektórych typów geometrii konstrukcji istnieje możliwość zdefiniowania użebrowania z tyłu lub z przodu konstrukcji. Wybrany kształt z podpowiedzią graficzną "**Schemat geometrii ściany**" wyświetlany jest w lewej części ramki. Kształt ściany można modyfikować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól danych lub na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Jeżeli konstrukcja składa się z pochyłych odcinków, wymagane jest wprowadzenie stosunku boków pochyłego odcinka $1{:}x$. **Prostą konstrukcję** określa się poprzez wprowadzenie wartości zero.

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.



Ramka "Geometria

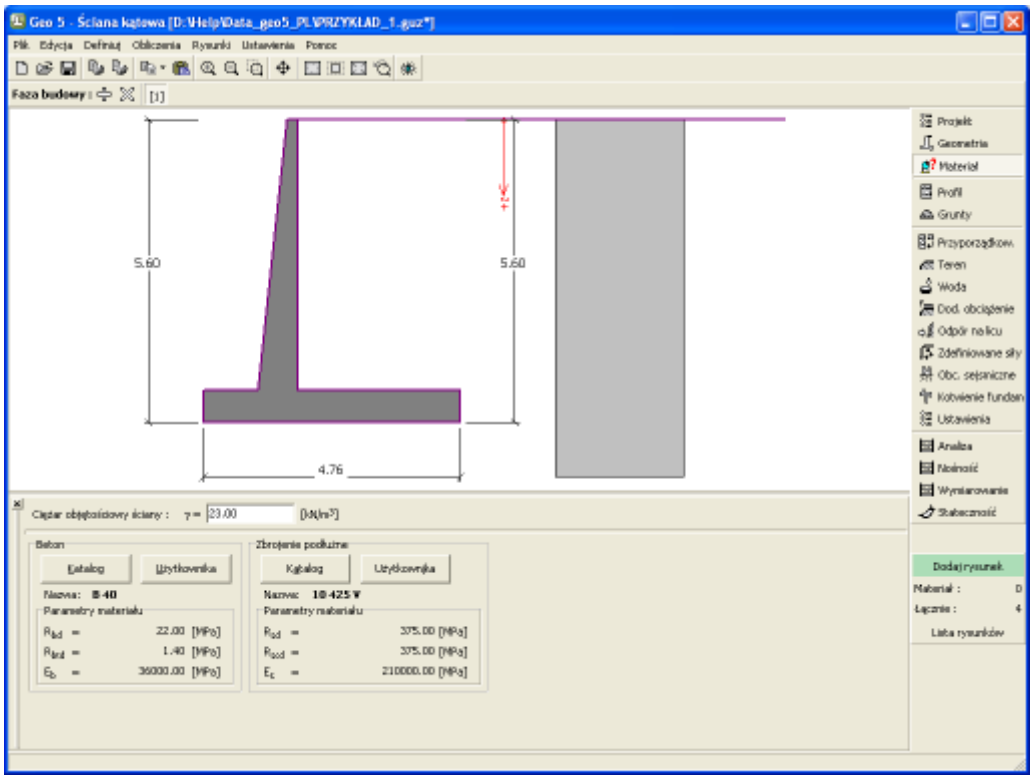
Materiał

Ramka "**Materiał**" umożliwia zdefiniowanie parametrów materiałów. Okno dialogowe w górnej części ramki służy do definiowania **ciężaru objętościowego ściany**.

W ramce "**Materiał**" dostępne są dwie opcje definiowania parametrów materiału:

- Przycisk "**Katalog**" otwiera okno dialogowe "**Katalog materiałów**"; w którym można dokonać wyboru materiału.
- Przycisk "**Użytkownika**" otwiera okno dialogowe "**Edytor materiału**", które umożliwia ręczne zdefiniowanie parametrów materiału.

Zawartość katalogów zależna jest od wyboru odpowiedniej normy do wymiarowania konstrukcji betonowych. Wyboru normy dokonuje się w zakładce "Materiały i normy".



Ramka "Materiał"

Profil

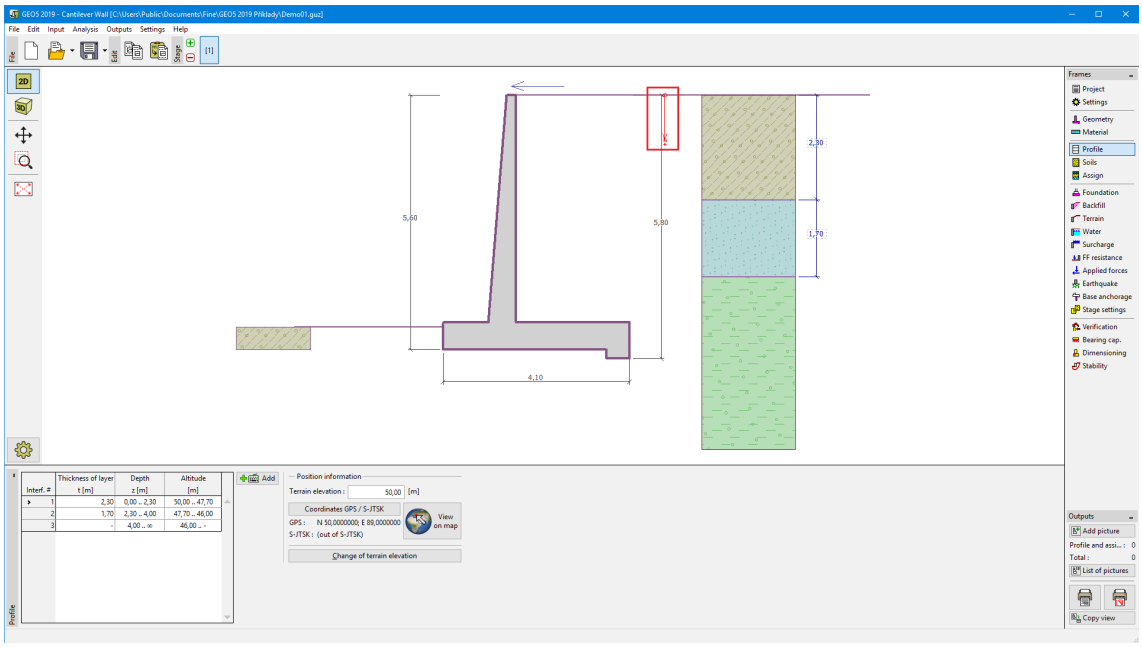
Ramka "**Profil**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych warstw. Po zdefinowaniu poszczególnych warstw można edytować ich miąższość za pomocą aktywnych wymiarów.

Dodawanie warstw wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowa warstwa**". Definiowana jest rzędna z mierzona od górnego punktu konstrukcji (oś-z).

In this frame it is also possible to enter optional information about the structure location:

- **terrain elevation** - an altitude column for the layers is displayed in the table after input of terrain elevation
- **GPS coordinates** - it is possible to show a structure on the Google Maps using "**View on map**" button after input of coordinates.

Program umożliwia obniżenie lub podniesienie górnego punktu konstrukcji w oknie dialogowym "**Zmiana rzędnej terenu**", a zdefiniowane warstwy będą wówczas przesunięte, jednocześnie zachowując swoją miąższość. Funkcja ta jest istotna podczas kopiowania profilu z programu "**Teren**".



Ramka "Profil"

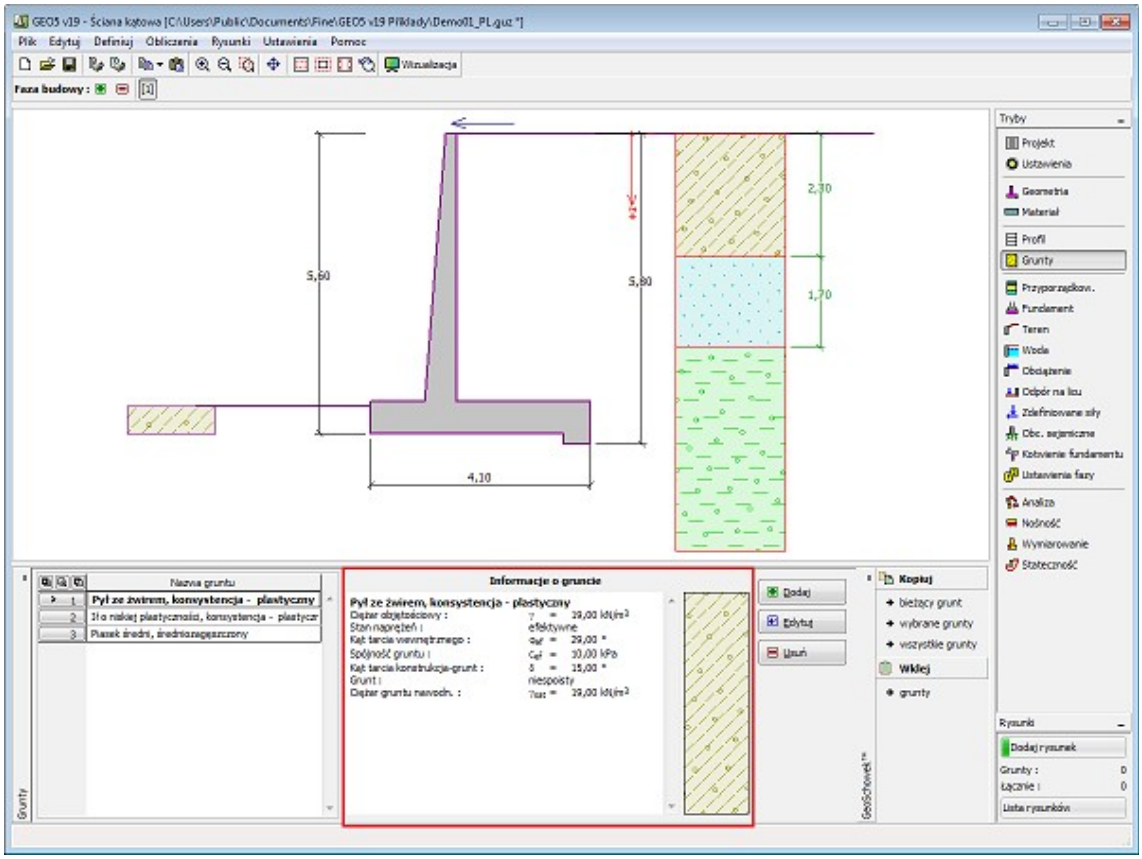
Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Dane podstawowe", "Spoczynkowe parcie gruntu" oraz "Naprężenie geostatyczne, wypór".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

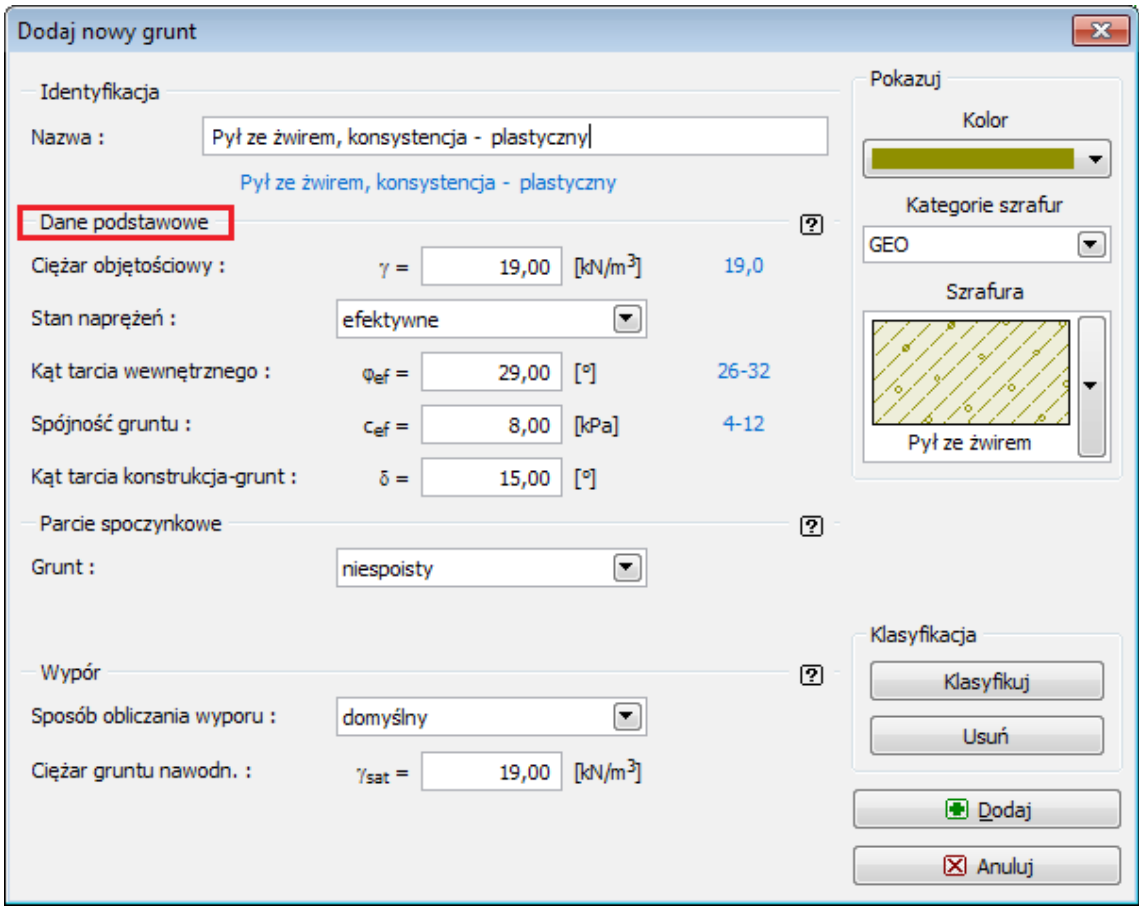
Ta część okna dialogowego służy do definiowania podstawowych parametrów gruntów - **ciężaru objętościowego, kąta tarcia wewnętrznego** oraz **spójności**. Wartości te określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub in-situ dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wartości parametrów gruntów określone na podstawie doświadczenia oraz literatury światowej. Parametry skał nie zostały zawarte w tej bazie, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym.

Istnieje możliwość definiowania wymiennie - parametrów **efektywnych** lub **uogólnionych** kąta tarcia wewnętrznego i spójności w zależności od wybranego ustawienia w liście rozwijanej "**Stan naprężeń**". Decyzja o zastosowaniu parametrów efektywnych czy uogólnionych zależy w szczególności od rodzaju gruntu, rodzaju obciążenia, czasu wykorzystania konstrukcji i warunków wodnych.

W dalszej kolejności, w przypadku naprężeń efektywnych definiuje się kąt tarcia pomiędzy konstrukcją i gruntem, który zależy zarówno od rodzaju gruntu jak i rodzaju konstrukcji. Szacunkowe wartości tego parametru podano w tabeli wartości zalecanych.

W przypadku naprężeń całkowitych natomiast należy zdefiniować adhezję gruntu do lica konstrukcji a.

Podstawy teoretyczne dotyczące omawianego zaganienia opisano w rozdziale "Parcie gruntu".

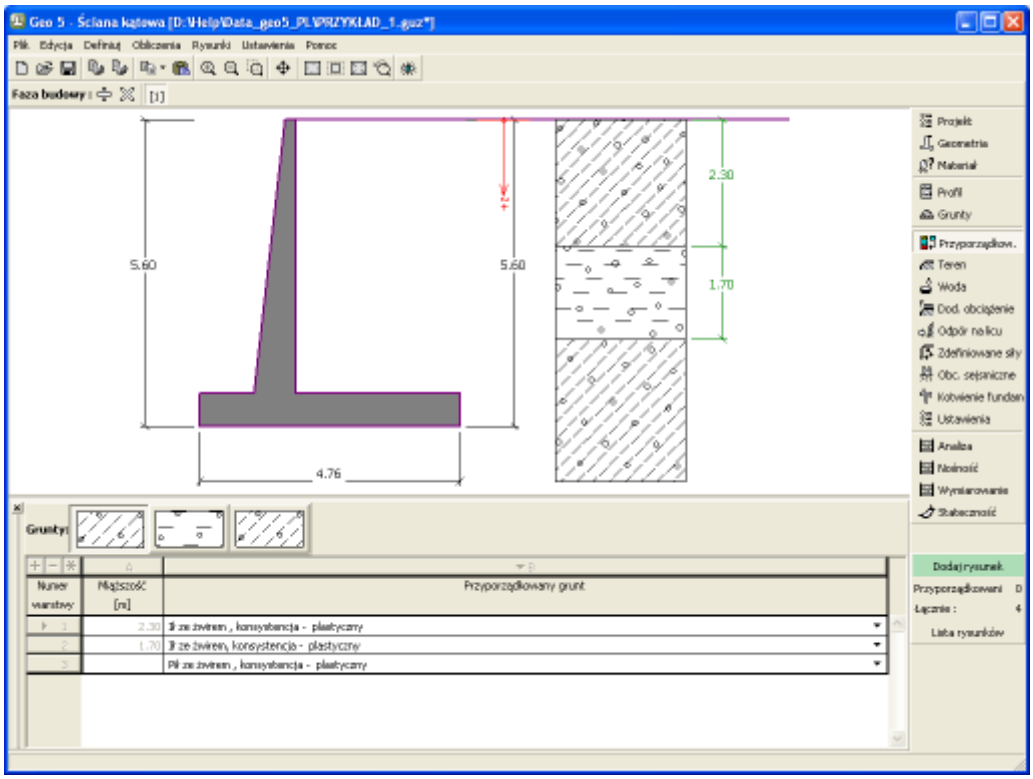


Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów"**.**



Ramka "Przyporządkowanie"

Fundament

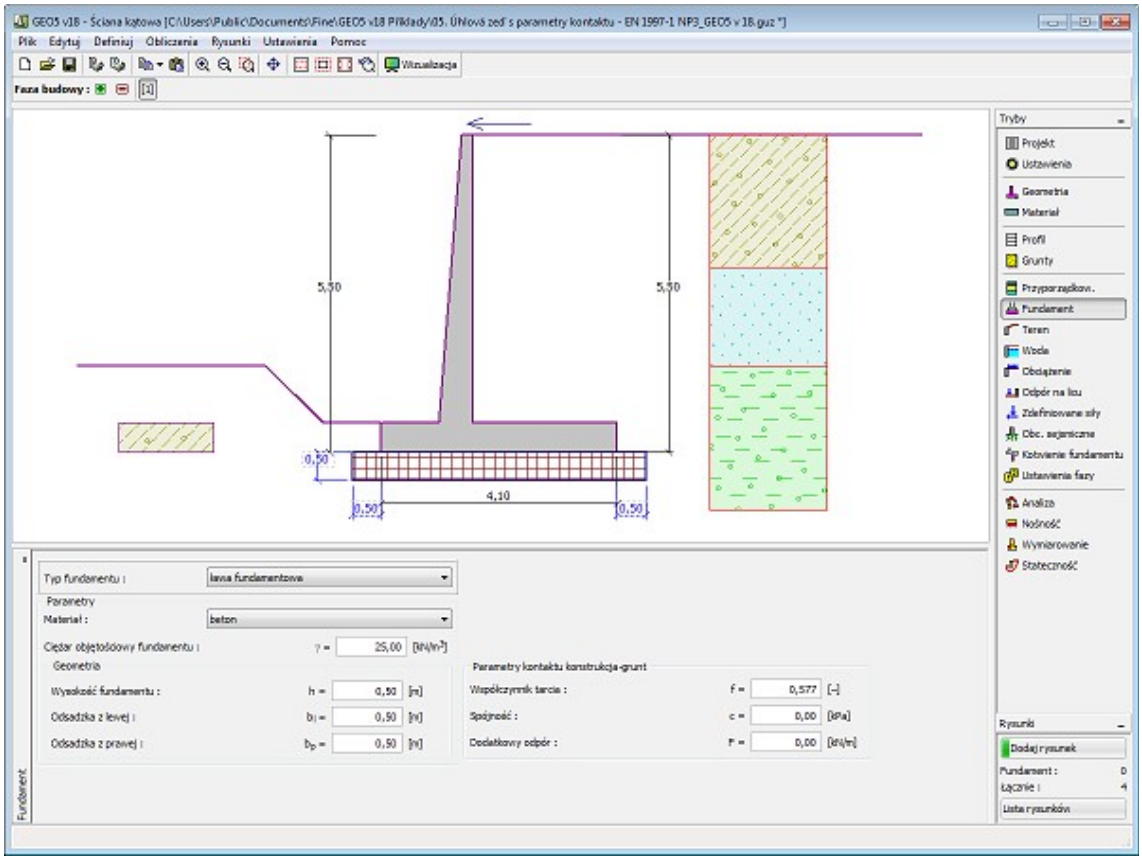
Ramka "**Fundament**" służy do definiowania rodzaju fundamentu ściany (konstrukcji oporowej). Następujące rodzaje fundamentów są dostępne w programie:

- **grunt - z profilu geologicznego -** w tym przypadku ściana posadowiona jest na gruncie przyporządkowanym z profilu geologicznego zdefiniowanego w ramce "Profil".
- **grunt - definiuj parametry kontaktu** - przy wybraniu tej opcji definiowane są parametry kontaktu pomiędzy podłożem fundamentowym a fundamentem. Opcja "**definiuj kąt tarcia fundament-grunt**" wymaga zdefiniowania kąta tarcia ψ [°] pomiędzy fundamentem a gruntem. Opcja "**definiuj współczynnik tarcia**" wymaga natomiast zdefiniowania współczynnika tarcia μ [-]. W obydwu przypadkach natomiast niezbędne jest określenie spójności a [kPa] pomiędzy podstawą fundamentu a gruntem.
- **ława fundamentowa** - materiał ławy fundamentowej może być zdefiniowany w postaci **gruntu** (zdefiniowanego w ramce "Grunty") lub **betonu** - wybór tego typu fundamentu wymaga zdefiniowania **ciężaru objętościowego materiału fundamentu** γ oraz **parametrów kontaktu konstrukcji z gruntem** (współczynnik tarcia f, spójność c, dodatkowy odpór F).
- **fundament palowy** - ściana może być posadowiona odpowiednio na pojedynczym rzędzie pali lub dwóch rzędach pali.

Ławę fundamentową lub **fundament palowy** można zastosować w obliczeniach jedynie w przypadku gdy w zakładce "Geometria" wybrany jest kształt konstrukcji ściany oporowej z **płaską podstawą fundamentu bez odsadzki**. Geometria fundamentu ściany (ława fundamentowa, fundament palowy) może być modyfikowana w ramce poprzez wprowadzanie właściwych wartości w odpowiednich polach definiowania lub na ekranie z wykorzystaniem

aktywnych wymiarów.

Dane wprowadzone w tej ramce wpływają na przebieg analizy ściany (sprawdzenie na przesuw) a także w dalszej kolejności obliczenie nośności podłoża fundamentowego.

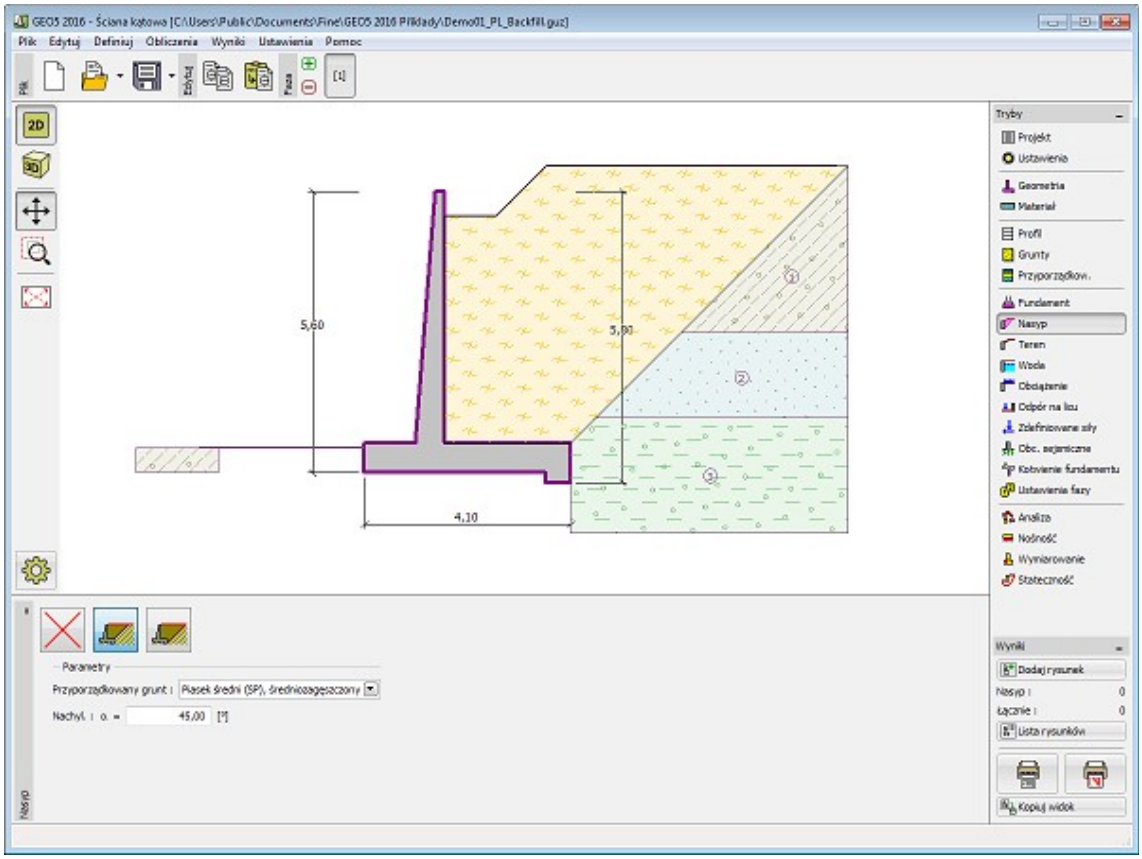


Ramka "Fundament"

Nasyp za konstrukcją

Ramka "**Nasyp**" pozwala na wprowadzenie nasypu gruntowego za konstrukcją.

Grunt przypisany do nasypu należy wybrać z listy rozwijanej w ramce (parametry gruntu definiuje się w ramce "Grunty"). Ponadto, należy zdefiniować kąt nachylenia nasypu za konstrukcją.



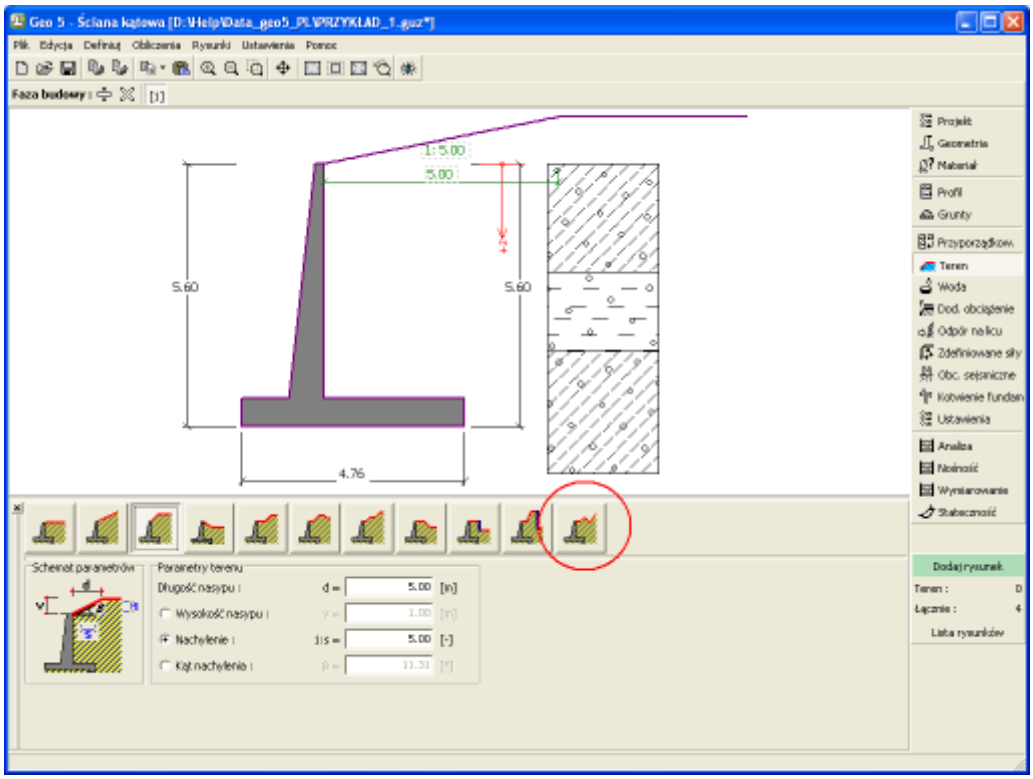
Ramka "Nasyp"

Teren

Ramka "**Teren**" umożliwia określenie ukształtowania terenu za konstrukcją. Wyboru kształtu terenu dokonuje się spośród kształtów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany kształt terenu z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Wymiary wybranego schematu terenu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego kształtu terenu. W takim przypadku, pojawiająca się ramka zawiera tabelę z listą punktów terenu. Pierwszy punkt współrzędnych $[0,0]$ zbiega się z górnym punktem konstrukcji.

Metody analizy parcia gruntu w przypadku terenu pochyłego zostały opisane w teoretycznej części pomocy "Rozkład parć gruntu dla terenu pochyłego"**.**



Ramka "Teren"

Woda

Ramka "**Woda**" umożliwia określenie rodzaju wody gruntowej. Wyboru schematu obciążenia wodą dokonuje się spośród schematów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany schemat z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Parametry (h_1, h_2...) wybranego schematu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

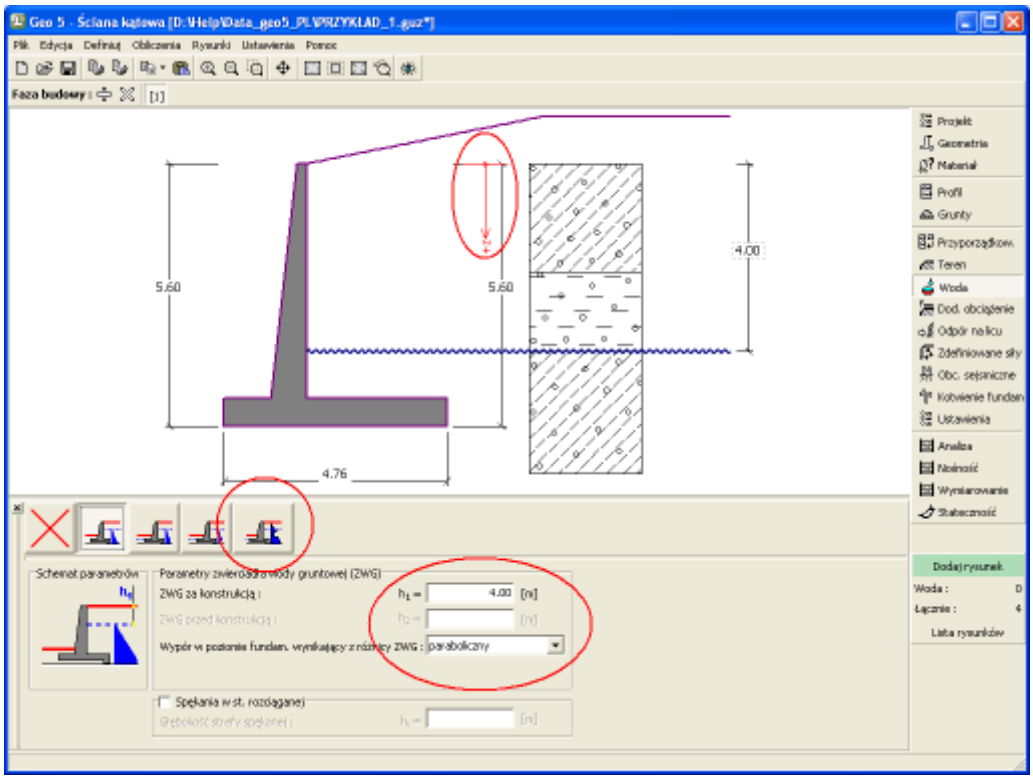
Lista rozwijana w ramce służy do określenia, czy i w jaki sposób uwzględniany jest wypór wody pod fundamentem wynikający z różnicy poziomów ZWG. Wypór może być uwzględniany jako liniowy lub paraboliczny. Przy sprawdzeniu ściany, wypór wody pod fundamentem wynikający z różnicy poziomów ZWG uwzględniany jest w postaci dodatkowej siły.

Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego ciśnienia porowego wody w gruncie zarówno przed jak i za konstrukcją. W takim przypadku, pojawiają się dwie zakładki z tabelami "**Przed konstrukcją**" i "**Za konstrukcją**". Tabele te wypełnia się wartościami ciśnienia porowego odpowiednio przed lub za konstrukcją na głębokości "z" (oś-z).

W programie istnieje również możliwość zdefiniowania zwierciadła wody gruntowej **ponad konstrukcją** lub ponad profilem gruntu - w takim przypadku, poziom wody wprowadza się za pomocą wartości ujemnej.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem wpływu wody zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ wody".

Ponadto, program umożliwia określenie głębokości rys rozciąganych wypełnionych wodą w gruncie za konstrukcją.



Ramka "Woda"

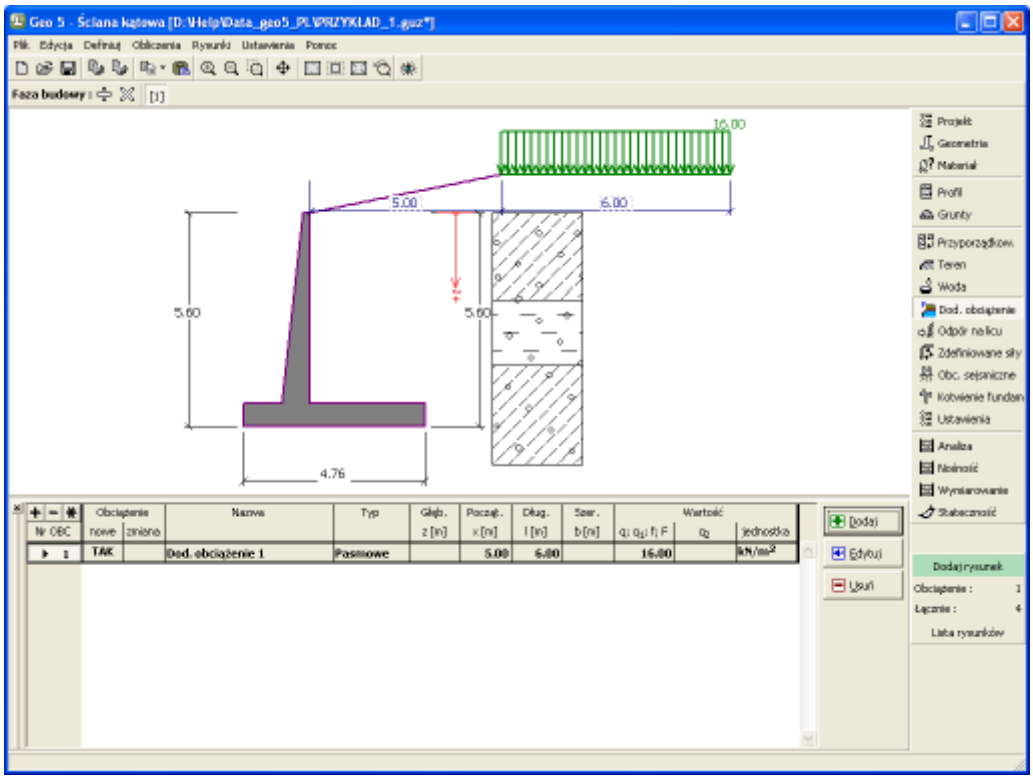
Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych obciążeń. Dodawanie (edytowanie) obciążenia wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Zdefiniowane obciążenia można edytować na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów lub aktywnych obiektów.

Przy definiowaniu obciążenia na pewnej głębokości wprowadzana jest rzędna z, mierzona od górnego punktu konstrukcji (kierunek dodatni w dół). W przypadku, gdy obciążenie znajduje się poza terenem, program wyświetla komunikat błędu przed rozpoczęciem obliczeń.

W programie istnieje możliwość zdefiniowania obciążeń **stałych, zmiennych** lub **wyjątkowych**. Wybór rodzaju obciążenia wpływa na dobór stosownego współczynnika obliczeniowego do przemnożenia wynikowych oddziaływań. Obciążenia wyjątkowe oddziałujące w sposób korzystny nie są uwzględniane w obliczeniach.

Obliczenia parć gruntu wywołanych obciążeniami zewnętrznymi zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążenia".



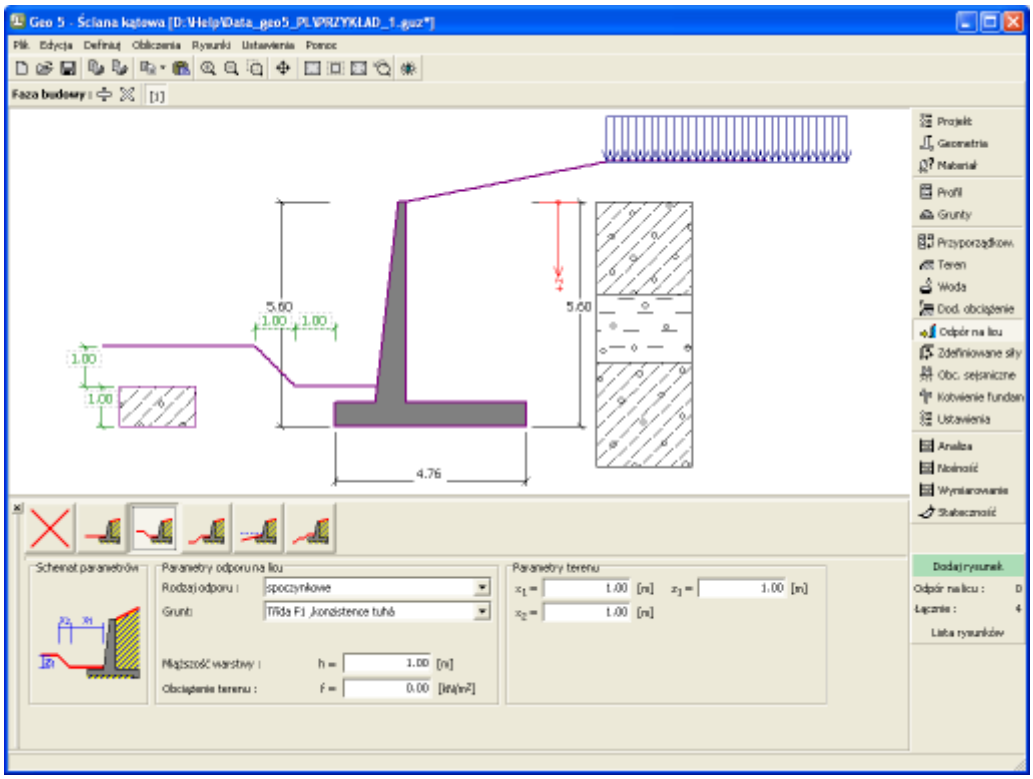
Ramka "Obciążenie"

Odpór na licu

Ramka "**Odpór na licu**" umożliwia określenie ukształtowania terenu oraz parametrów odporu na licu konstrukcji poprzez wybór ikony. Wybrany kształt z podpowiedziami graficznymi ("**Schemat parametrów**") wprowadzonych wartości wyświetlany jest w lewej części ramki. Kształt terenu można edytować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól lub na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Lista rozwijana w ramce "**Odpór na licu**" pozwala wybrać rodzaj odporu oraz grunt (lista rozwijana zawiera grunty wprowadzone w trybie "Grunty"). W ramce tej można również zdefiniować wartość obciążenia terenu przed licem konstrukcji oraz miąższość warstwy ponad najniższym punktem ściany.

Odpór na licu konstrukcji można zdefiniować jako parcie spoczynkowe, parcie bierne bądź zredukowane parcie bierne. Powstała na skutek zredukowanego parcia biernego siła jest określana jako siła wypadkowa parcia biernego pomnożona przez odpowiedni współczynnik, który wynika z rodzaju wybranego zredukowanego parcia biernego.



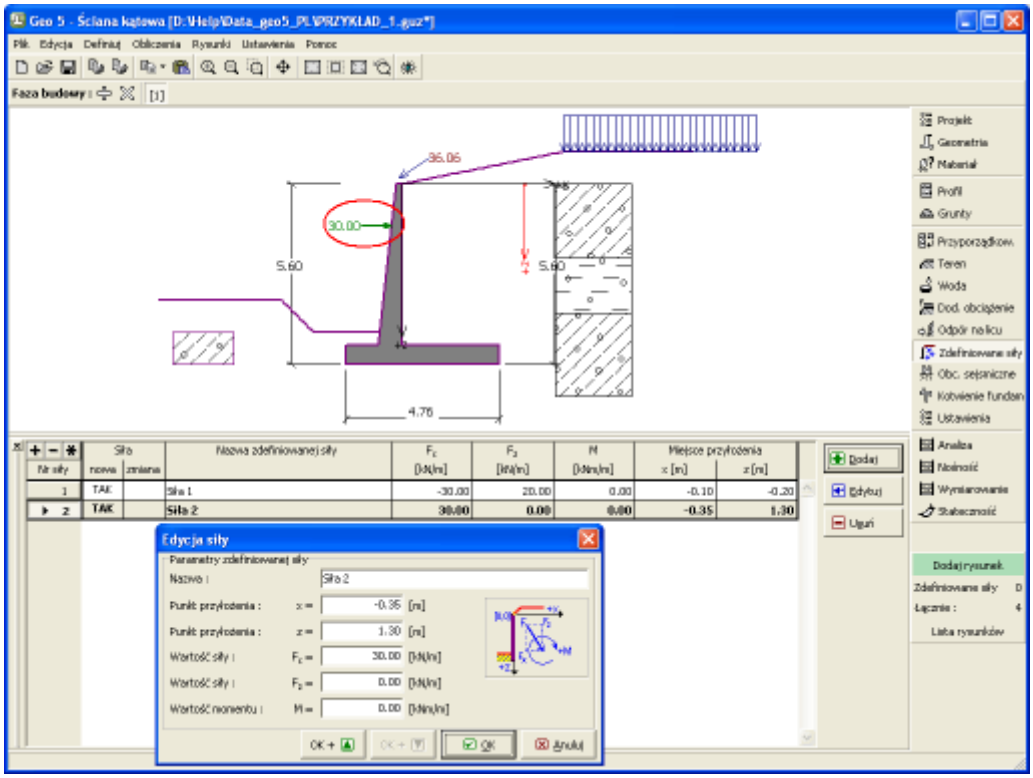
Ramka "Odpór na licu"

Zdefiniowane siły

Ramka "**Zdefiniowane siły**" zawiera tabelę z listą sił działających na konstrukcję. Dodawanie sił odbywa się oknie dialogowym "**Nowa siła**". Zdefiniowane siły można również edytować na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

Zdefiniowane siły reprezentują dodatkowe obciążenia oddziałujące na konstrukcje oporową, ścianę wykopu czy nasyp zbrojony. W ten sposób istniej możliwość modelowania takich elementów jak: obciążenia od bilboardów, ekranów czy barier drogowych. Program nie dostosowuje (nie zmienia) w żaden sposób zdefiniowanych sił w toku obliczeń, za wyjątkiem przemnażania ich przez odpowiednie współczynniki zgodnie z wybranym rodzajem oddziaływania (EN1997, LRFD).

Obciążenia zewnętrzne oddziałujące na naziomie (na powierzchni terenu) należy definiować jako obciążenie.



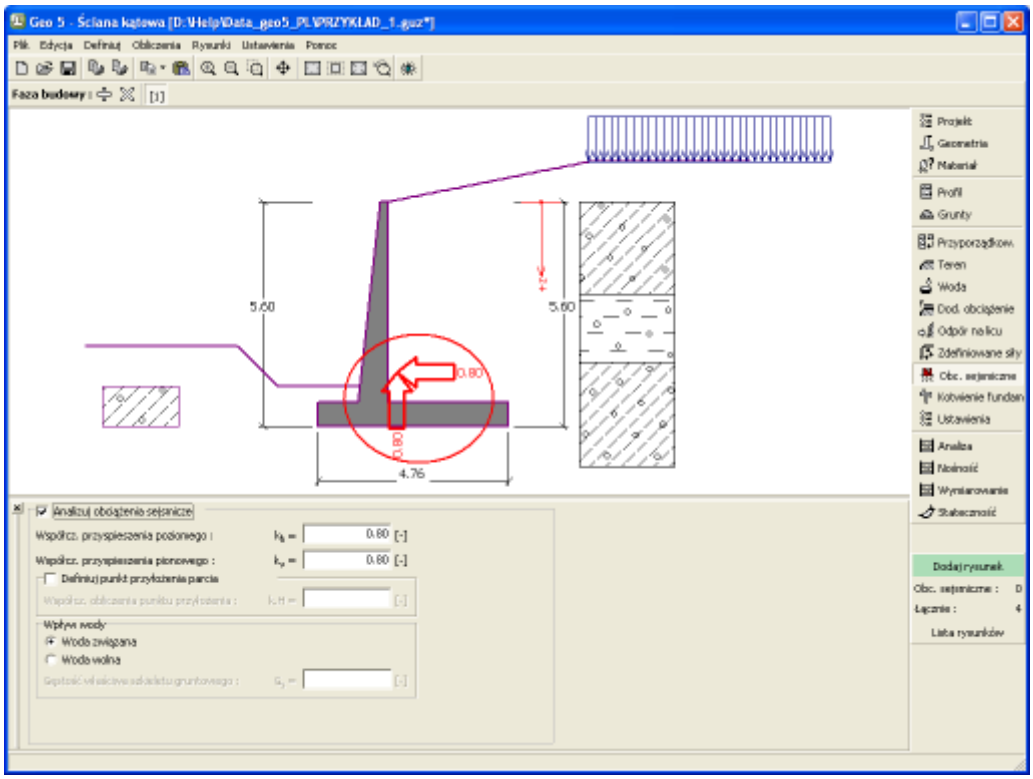
Ramka "Zdefiniowane siły"

Obciążenia sejsmiczne

Ramka "**Obciążenia sejsmiczne**" służy do wprowadzania parametrów obciążeń sejsmicznych. Kierunki skutków obciążeń sejsmicznych są wyświetlane na pulpicie.

Jeśli nie są dostępne wyniki pomiarów współczynniki k_h oraz k_v można wyznaczyć stosując opisane w pomocy podejście z normy EN 1998-5.

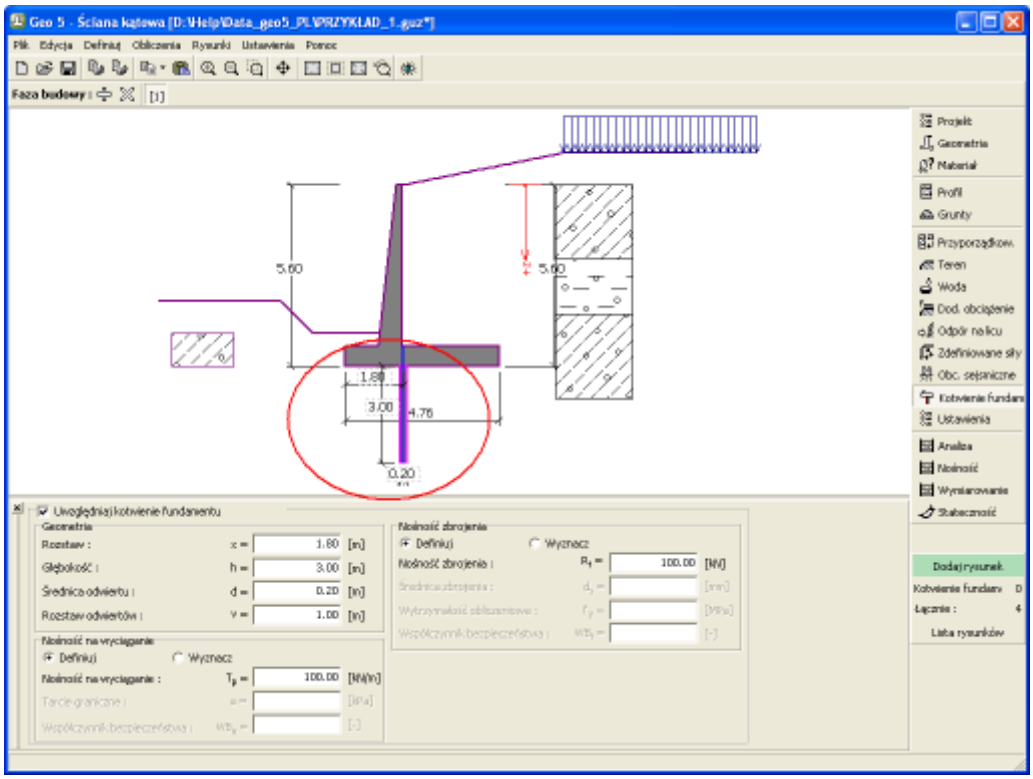
Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem obciążeń sejsmicznych zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążeń sejsmicznych".



Ramka "Obciążenia sejsmiczne"

Kotwienie fundamentu

Ramka "**Kotwienie fundamentu**" służy do definiowania parametrów (geometria kotwienia, nośność na wyciąganie i rozrywanie) określających kotwienie fundamentu ściany. Geometrię kotwienia fundamentu można określić w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól lub na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów. Wartość nośności można zdefiniować lub obliczyć w programie na podstawie podanych parametrów.



Ramka "Kotwienie fundamentu"

Ustawienia fazy

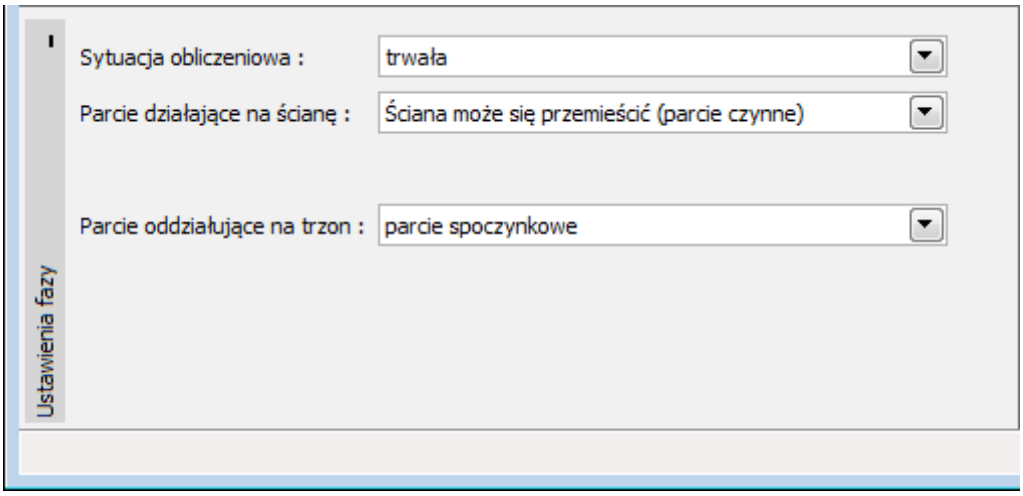
Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących tylko wybranej fazy obliczeniowej.

Wybrana sytuacja obliczeniowa określa współczynniki bezpieczeństwa, które będą zastosowane w obliczeniach danej fazy budowy.

Wygląd ramki zależy od wybranej metody analizy.

W ramce "**Ustawienia fazy**" można także dokonać wyboru parcia oddziałującego na ścianę z uwzględnieniem dopuszczalnych przemieszczeń konstrukcji. Przy założeniu dopuszczenia do przemieszczeń ściany przyjmuje się parcie czynne, w przeciwnym wypadku zastosowane będzie parcie spoczynkowe. Trzecia opcja umożliwia obciążenie ściany zwiększonym parciem czynnym.

Trzon ściany obciążany jest parciem spoczynkowym lub takim samym parciem jak działające na całą ścianę.



Ramka "Ustawienia fazy"

Analiza

Ramka "**Analiza**" wyświetla wyniki analizy stateczności zbocza. Istnieje możliwość przeprowadzenia dowolnej liczby analiz w obrębie jednego zadania.

Wygląd ramki jest dostosowany do wybranej metodyki obliczeń.

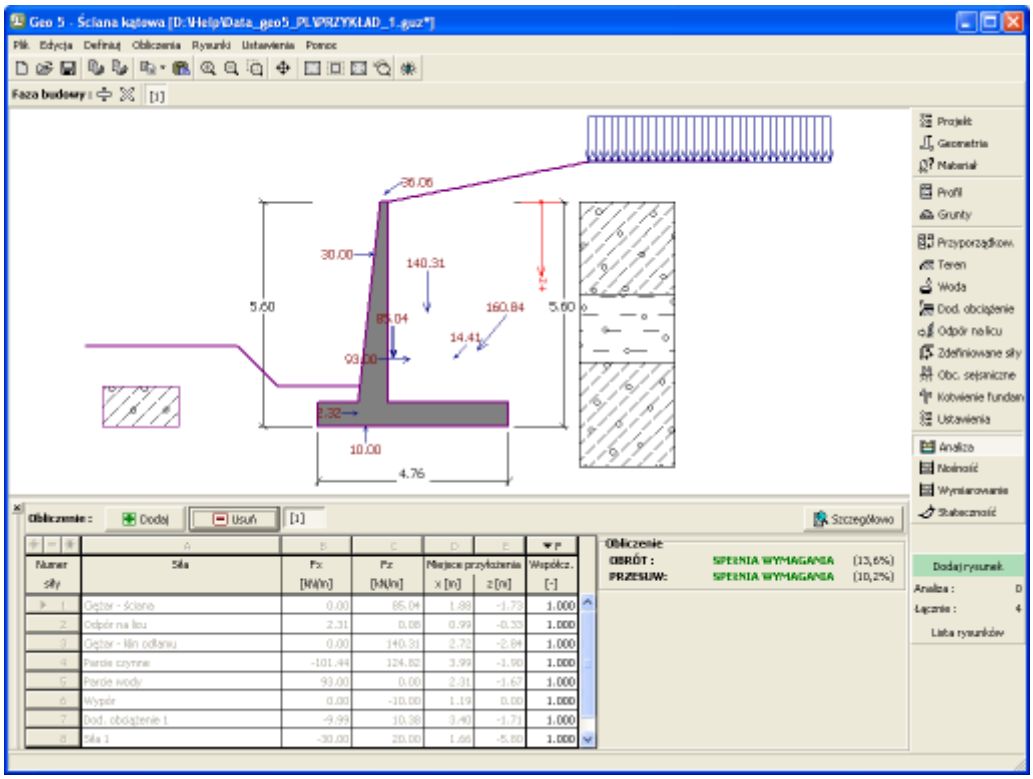
- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa, lub zgodnie z teorią stanów granicznych - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia modyfikację współczynników obliczeniowych, przykładanych do wyznaczonych sił. Wartości tych sił są wyświetlane na ekranie i są automatycznie odświeżane przy każdej zmianie danych projektu lub ustawień w tablicy.
- Obliczenia według EN 1997 - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia zdefiniowanie czy obciążenie oddziałujące na konstrukcje jest uwzględniane jako drugorzędne. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w rozdziale "Kombinacje obciążeń".
- Obliczenia według LRFD - w tym przypadku ostatnia kolumna nie jest wyświetlana.

Ściana jest obciążana parciem cznnym lub parciem spoczynkowym w zależności od danych wprowadzonych w ramce "Ustawienia fazy".

Procedura analizy ściany została opisana w teoretycznej części pomocy.

Wyniki analizy wyświetlane są na pulpicie i natychmiast aktualizowane dla dowolnej zmiany wprowadzonych danych bądź ustawień. Prawa część ramki przedstawia wyniki analizy ściany ze względu na **obrót i przesuw**. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które zawiera szczegółowe zestawienie wyników analizy.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Analiza"

Nośność

Ramka "**Nośność**" wyświetla wyniki analizy nośności podłoża gruntowego. Naprężenie w podstawie fundamentu (założono stałe) uzyskuje się na podstawie wszystkich obliczeń przeprowadzonych w ramce "Analiza". Program "**Fundament bezpośredni**"", "**Spread footing CPT**", "**Pile**" and "**Pile group**" traktuje wszystkie obliczenia jako przypadki obciążeń. In the program "**Pile CPT**", just normal load is used.

Ramka "**Nośność**" zawiera następujące opcje analizy:

- **Definiuj nośność podłoża gruntowego**

  W tym przypadku, nośność podłoża gruntowego definiowana jest przez użytkownika. Wyniki analizy fundamentu ze względu na **mimośród** oraz nośność **podłoża** wyświetlane są w prawej części ramki. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które wyświetla szczegółowe wyniki analizy nośności podłoża gruntowego.

- **Wyznacz nośność podłoża gruntowego programem "Fundament bezpośredni"**

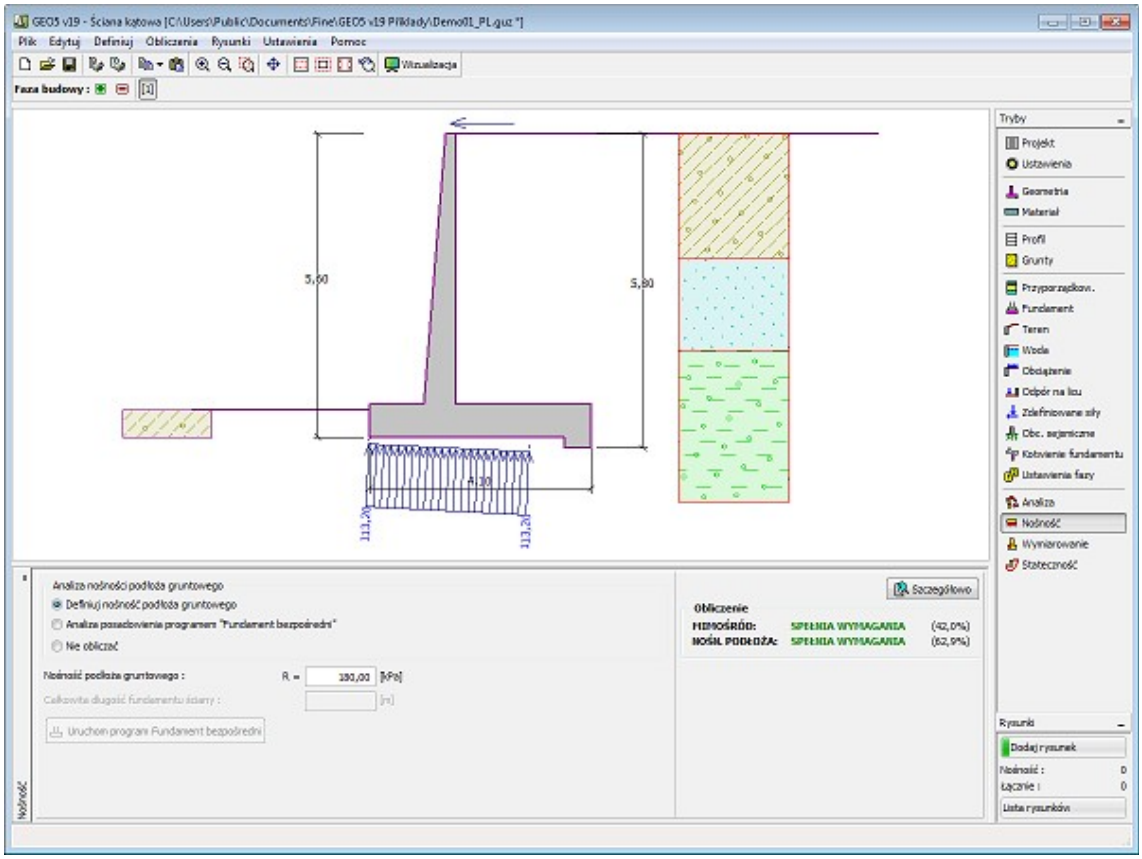
  Naciśnięcie przycisku "**Uruchom program Fundament bezpośredni**" uruchamia program **"Fundament bezpośredni**", który umożliwia obliczenie nośności gruntu lub osiadanie i obrót fundamentu. Naciśnięcie przycisku "**Zakończ i prześlij dane**" zamyka tryb analizy w programie Fundament bezpośredni - wyniki obliczeń i wszystkie rysunki kopiowane są do programu wyjściowego, tj. "**Ściana kątowa**". Program "**Fundament bezpośredni**" musi być zainstalowany, aby przycisk ten był dostępny. Przy wyborze tej opcji należy zdefiniować

całkowitą długość fundamentu ściany.

- **Analyse bearing capacity by program "Spread footing CPT"** The procedure is identical as if calculating soil bearing capacity by the **"Spread footing**" program.
- **Analiza posadowienia programem "Pal"** W tym przypadku, procedura jest jednakowa jak przy wyznaczaniu nośności podłoża gruntowego za pomocą programu **"Fundament bezpośredni"**. Opcja "**Uruchom program Pal**" jest dostępna jedynie w przypadku, gdy ściana ma zdefiniowany (w ramce "Fundament") typ fundamentu jako fundament palowy. Przy wyborze tej opcji konieczne jest zdefiniowanie rozstawu pali s.
- **Analyse bearing capacity by program "Pile CPT"** The procedure is identical as if calculating soil bearing capacity by the "**Pile**" program.
- **Analiza posadowienia programem "Grupa pali"** W tym przypadku, procedura jest jednakowa jak przy wyznaczaniu nośności podłoża gruntowego za pomocą programu "**Fundament bezpośredni**". Opcja **"Uruchom program Grupa pali**" jest dostępna jedynie w przypadku, gdy ściana ma zdefiniowany (w ramce "Fundament") typ fundamentu jako fundament palowy z liczbą pali większą niż jeden. W tej sytuacji należy zdefiniować: rozstaw pali s, całkowitą liczbę rzędów pali n oraz długość obciążenia l.
- **Nie obliczaj (fundament na palach)** Nośność podłoża gruntowego nie jest obliczana.

Program umożliwia określenie kształtu naprężenia kontaktowego w podstawie fundamentu.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Nośność"

Wymiarowanie

Ramka "**Wymiarowanie**" służy do projektowania i wymiarowania zbrojenia przekroju ściany - przekrój poddawany wymiarowaniu wybiera się z listy z lewej strony ekranu.

- **Analiza trzonu ściany - zbrojenie przednie**
- **Analiza trzonu ściany - zbrojenie tylne**
- **Analiza przedniej odsadzki ściany**
- **Analiza tylnej odsadzki ściany**
- **Sprawdzenie płyty odprężającej**

W przypadku ścian użebrowanych z przodu lub z tyłu konstrukcji następujące przekroje są weryfikowane:

- **Analiza trzonu ściany - zbrojenie przednie pionowe i poziome**
- **Analiza trzonu ściany - zbrojenie tylne pionowe i poziome**
- **Analiza przedniej odsadzki ściany - zbrojenie dolne i górne**
- **Analiza tylnej odsadzki ściany - zbrojenie dolne i górne**
- **Analiza żeber (ściany użebrowane z przodu i/lub z tyłu)**

Wygląd ramki jest dostosowany do wybranej metodyki obliczeń:

- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa, lub zgodnie z teorią stanów granicznych -

ostatnia kolumna w tablicy umożliwia modyfikację współczynników obliczeniowych, przykładanych do wyznaczonych sił. Wartości tych sił są wyświetlane na ekranie i są automatycznie odświeżane przy każdej zmianie danych projektu lub ustawień w tablicy.

- Obliczenia według EN 1997 - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia zdefiniowanie czy obciążenie oddziałujące na konstrukcje jest uwzględniane jako drugorzędne. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w rozdziale "Kombinacje obciążeń".
- Obliczenia według LRFD - w tym przypadku ostatnia kolumna nie jest wyświetlana.

Metody określania sił oraz ich oddziaływania na analizowany przekrój opisane są w rozdziale "Wymiarowanie ściany".

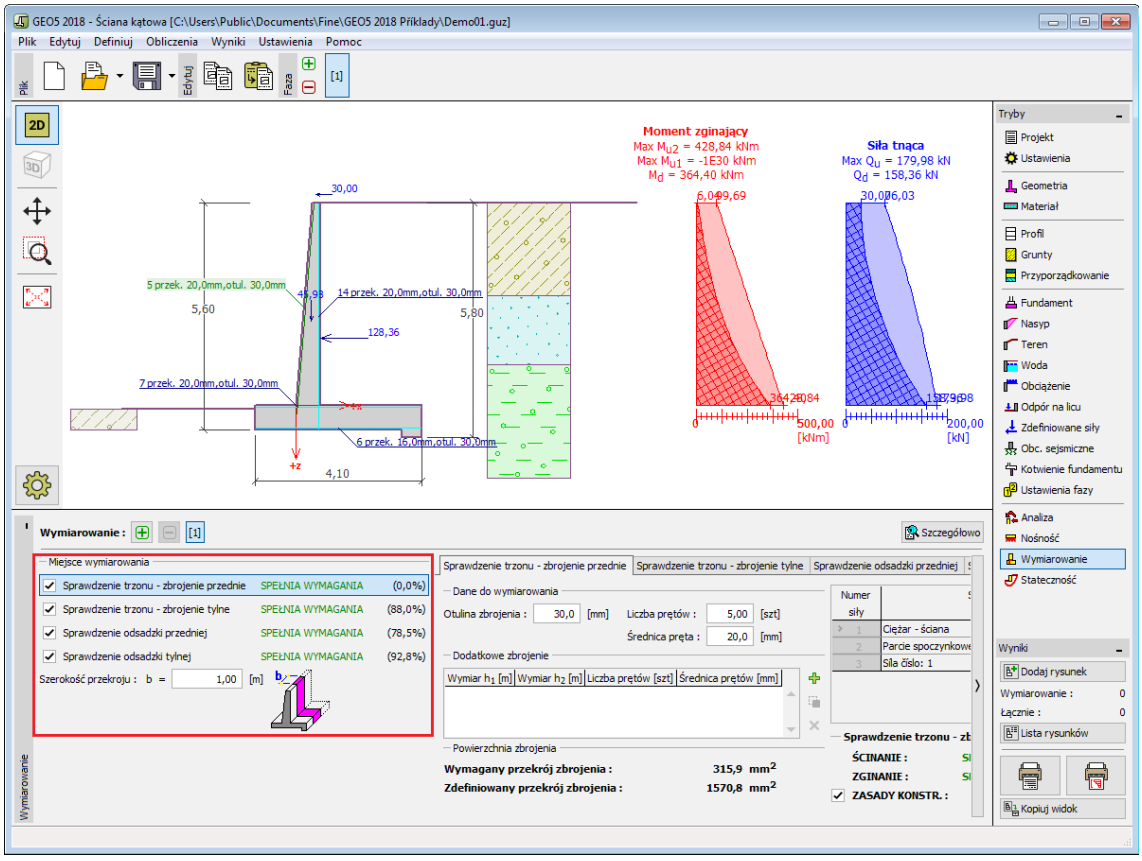
Trzon ściany i przekrój roboczy są zawsze obciążane parciem spoczynkowym. Podczas analizy przedniej odsadzki ściany, ściana jest obciążana parciem czynnym lub parciem spoczynkowym w zależności od wyboru dokonanego w ramce "Ustawienia fazy".

Metody wyznaczania rokładu sił wewnętrznych w poszczególnych przekrojach zostały opisane w teoretycznej części pomocy. Dodatkowo, siła pochodząca od parcia spoczynkowego uwzględniana jest w analizie zagadnień sejsmicznych.

Wymiarowanie konstrukcji żelbetowych wykonywane jest zgodnie z normą określoną w ramce "Materiały i normy".

Istnieje możliwość przeprowadzenia wielu obliczeń dla różnych wariantów zbrojenia. Można również określić różne współczynniki obliczeniowe dla poszczególnych sił. Wyniki analizy (wyznaczone siły) wyświetlane są na pulpicie i natychmiast aktualizowane dla dowolnej zmiany wprowadzonych danych bądź ustawień. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które prezentuje szczegółowe wyniki wymiarowania.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".

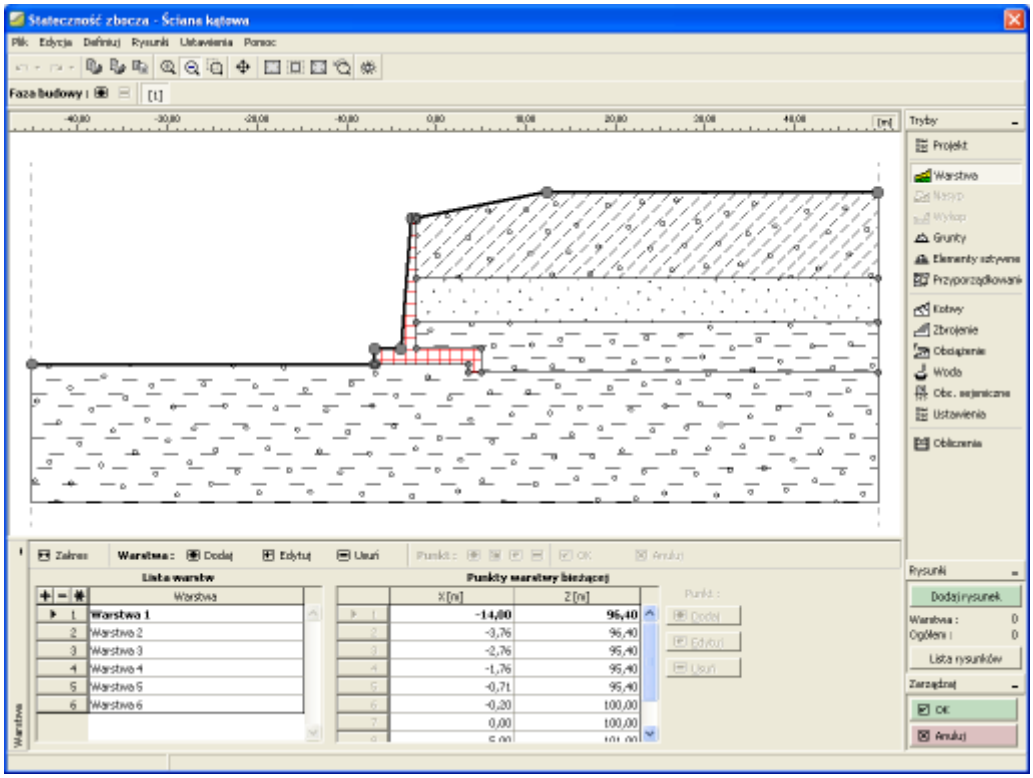


Ramka "Wymiarowanie"

Stateczność

Naciśnięcie przycisku "**Stateczność**" uruchamia program "**Stateczność zbocza**". Program ten umożliwia sprawdzenie ogólnej stateczności analizowanej konstrukcji. Przycisk jest dostępny, jeżeli program "**Stateczność zbocza**" został zainstalowany.

Po zakończeniu obliczeń stateczności w programie Stateczność zbocza należy kliknąć przycisk "**Zakończ i prześlij dane**" aby opuścić program i przekazać wyniki obliczeń do programu "**Ściana kątowa**". Wszystkie operacje (dane, obliczenia, dodane rysunki) przeprowadzone w programie Stateczność zbocza będą dostępne w dokumentacji wynikowej projektu w programie "**Ściana kątowa**".



Ramka "Stateczność"

Program Ściana oporowa

Program ten służy do analizy masywnych ścian oporowych. Udostępnia znaczną liczbę predefiniowanych kształtów ścian i sprawdza masywne przekroje betonowe.

Pomoc w programie "Ściana oporowa" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

  Projekt Ustawienia Geometria Materiał Profil Grunty Przyporządkowanie

Fundament	Nasyp za konstrukcją	Teren	Woda	Obciążenie	Opór na licu	Zdefiniowane siły
Obciążenia sejsmiczne	Ustawienia fazy	Analiza	Nośność	Wymiarowanie	Stateczność	

- Normy i metody obliczeniowe
- Teoria obliczeniowa do programu "**Ściana oporowa**":

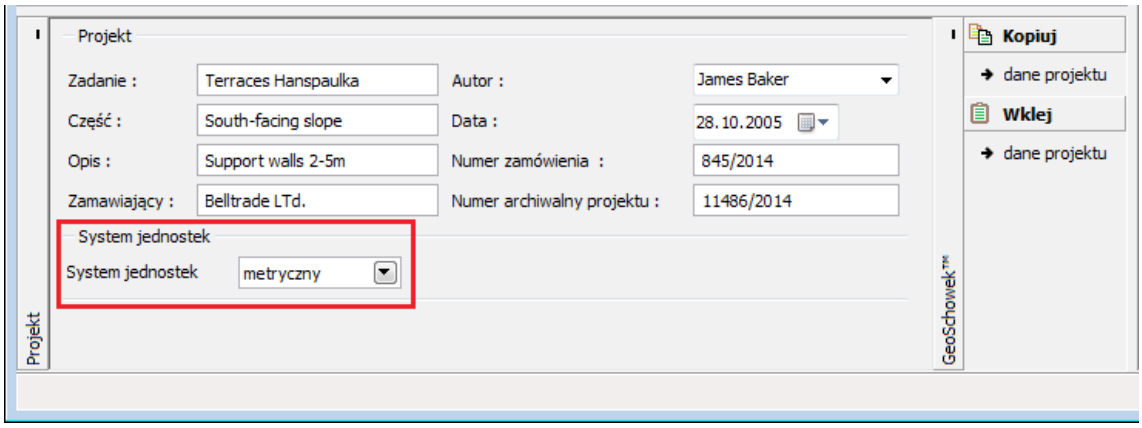
Naprężenia w gruncie	Parcia gruntu	Analiza Ścian	Analiza nośności fundamentu	Wymiarowanie konstrukcji betonowych

- Dane wyjściowe
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

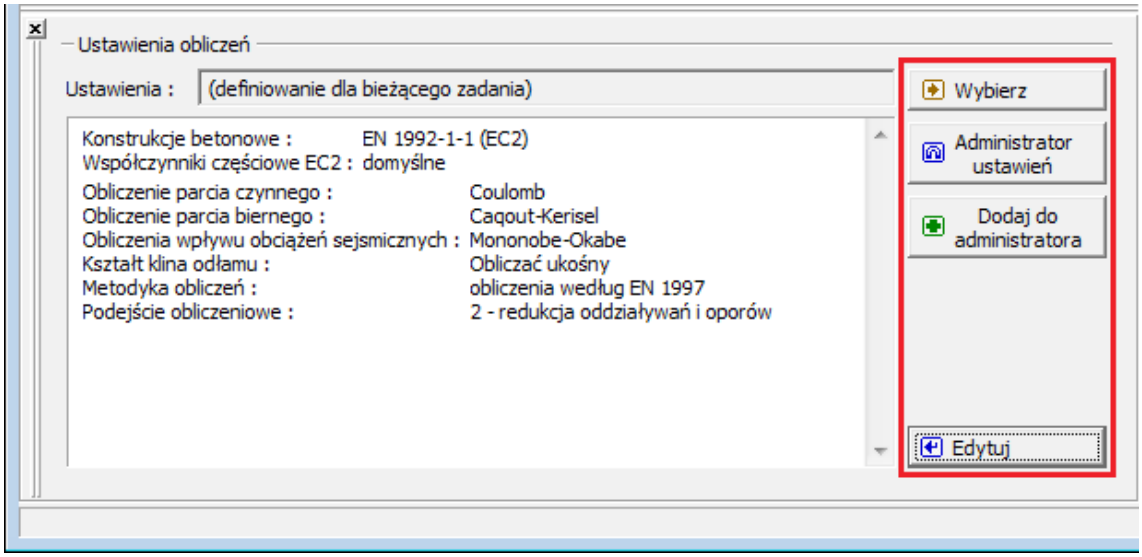
Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładkach "Materiały i normy" oraz "Konstrukcje oporowe".



Ramka "Ustawienia"

Geometria

Ramka "**Geometria**" umożliwia wybranie kształtu ściany poprzez wybór ikony. Wybrany kształt z podpowiedzią graficzną "**Schemat geometrii ściany**" wyświetlany jest w lewej części ramki.

Kształt ściany można modyfikować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól danych lub na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Jeżeli konstrukcja składa się z pochyłych odcinków, wymagane jest wprowadzenie stosunku boków pochyłego odcinka 1:x. **Prostą konstrukcję** określa się poprzez wprowadzenie wartości zero.



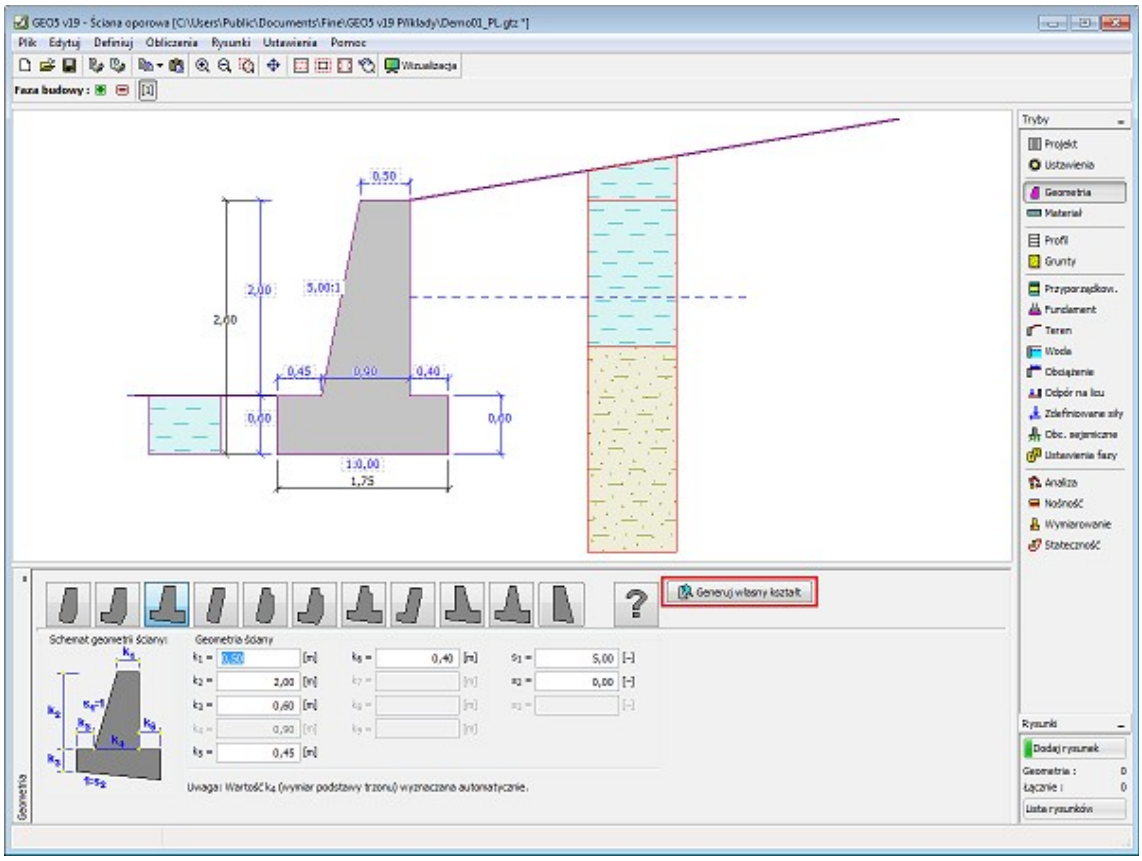
Zdefiniowane kształty ścian

W przypadku gdy, zdefiniowane w programie schematy geometrii ściany nie pozwalają na właściwe odwzorowanie kształtu projektowanej konstrukcji, program umożliwia zdefiniowanie dowolnego kształtu ściany oporowej. Własny kształt ściany oporowej definiuje się za pomocą współrzędnych punktów. Istnieje także możliwość (po przyciśnięciu przycisku "**Generuj własny kształt**") wygenerowania współrzędnych geometrii konstrukcji z wcześniej zdefiniowanych predefiniowanych schematów geometrii.

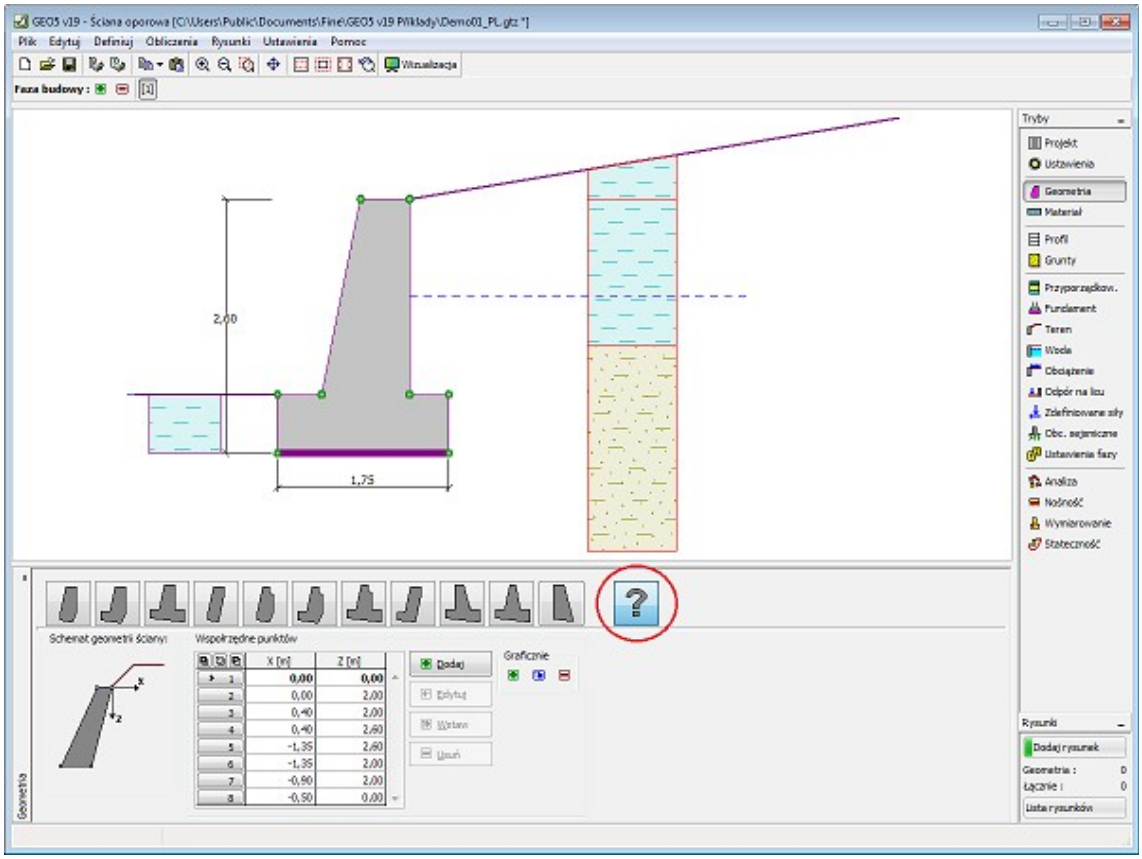


Definiowanie dowolnego/własnego kształtu konstrukcji

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.



Ramka "Geometria"



Ramka "Geometria" - własny kształt ściany

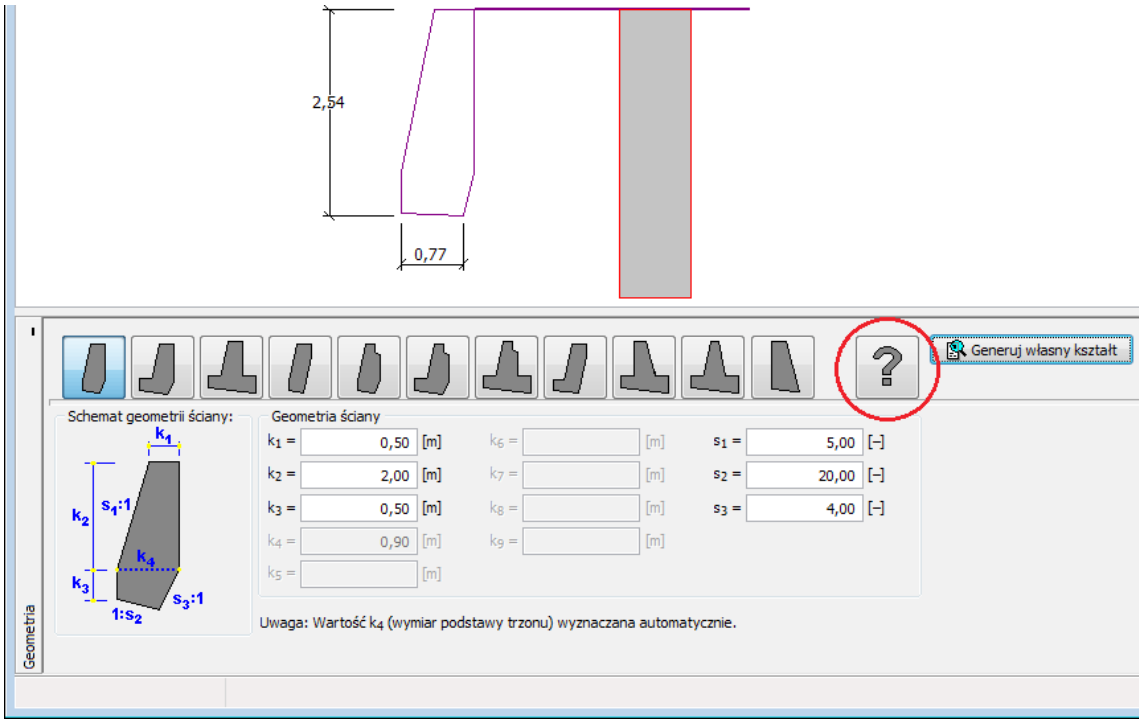
Dowolny/własny kształt ściany

Definiowanie dowolnego/własnego kształtu ściany w nowym zadaniu

Program umożliwia zdefiniowanie dowolnego kształtu ściany dwiema metodami:

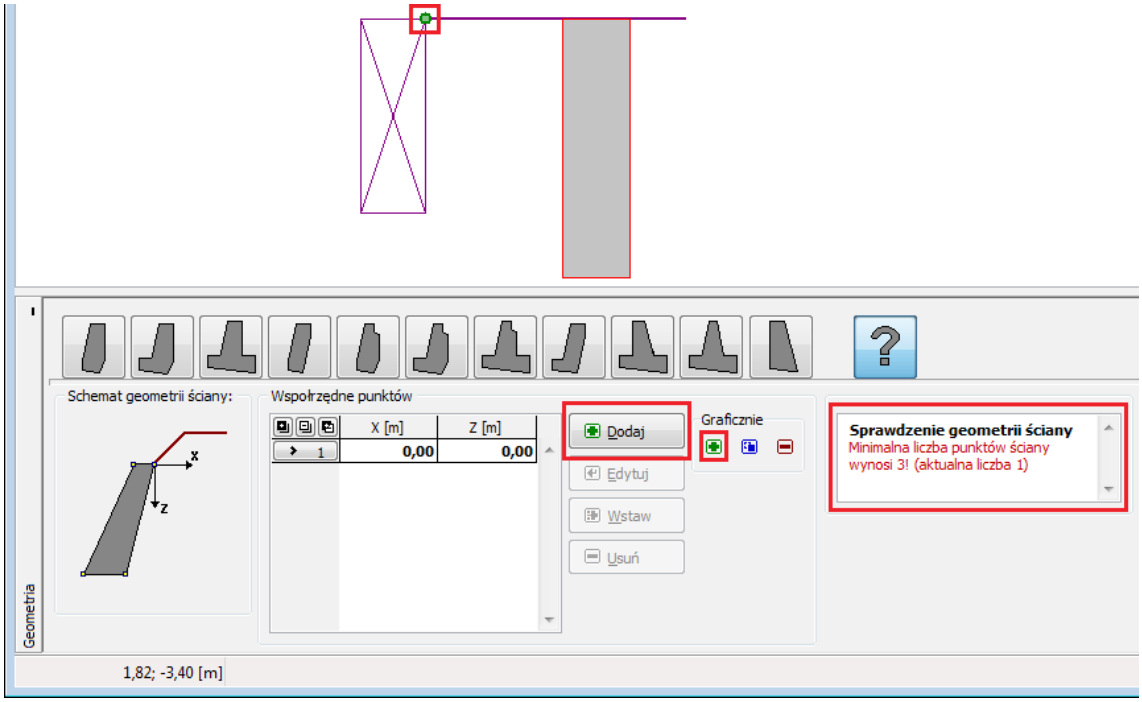
1. Definiowanie dowolnego/własnego kształtu ściany za pomocą punktów

Wciśnięcie ikony ze znakiem zapytania na pasku narzędzi "**Schemat geometrii ściany**", spowoduje utworzenie prostokątnego kształtu oraz pierwszego punktu konstrukcji [0,0]. Minimalna liczba punktów niezbędnych do narysowania własnego kształtu ściany wynosi 3 (w przypadku zdefiniowania mniejszej liczby punktów pojawi się komunikat o błędzie).



Ramka "Geometria" - nowe zadanie

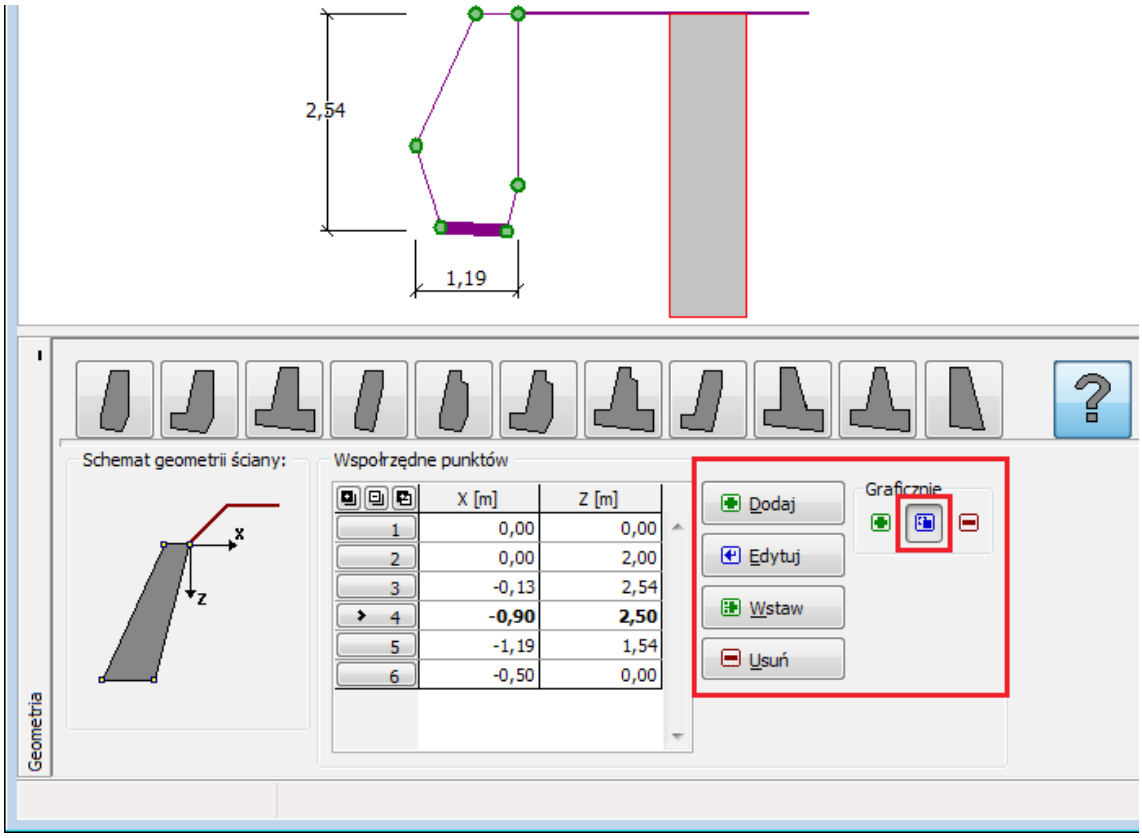
Wykorzystując przycisk **"Dodaj"**, otwierający okno dialogowe **"Nowy punkt"**, mozna dodać więcej punktów geometrii (istnieje także możliwość dodawania punktów poprzez bezpośrednie klikanie myszką na pulpicie).



Ramka "Geometria" - własny kształt ściany definiowany za pomocą punktów

Definiowane punkty zapisywane są w tabeli, w której mogą być następnie edytowane, uzupełniane o kolejne wstawiane pomiędzy nimi oraz usuwane za pomocą odpowiednich przycisków **"Edytuj"**, **"Wstaw"** i **"Usuń".** Punkty mogą być również modyfikowane

odpowiednio poprzez klikanie na nie na pulpicie w odpowiednim trybie, w tym także przesuwane bezpośrednio myszką na pulpicie po wybraniu specjalnej, służącej do tego celu ikony .



Ramka "Geometria" - edycja punktów

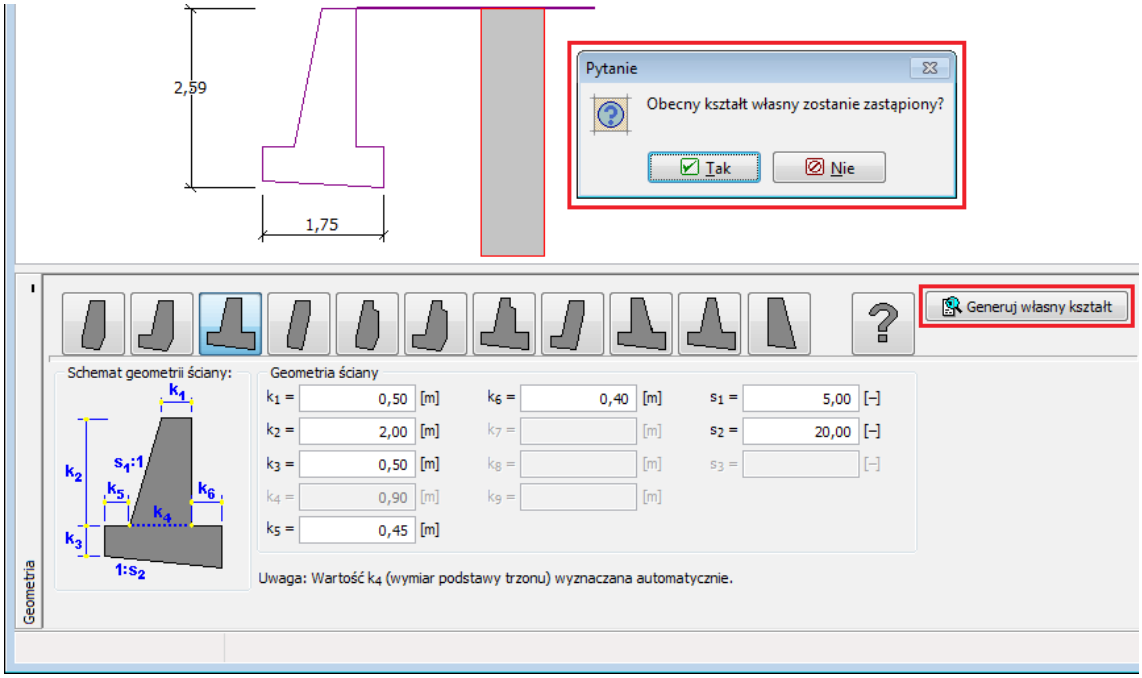
Maksymalne dozwolone nachylenie podstawy fundamentu wynosi 45°. W przypadku zdefiniowania błędnego nachylenia, lub gdy zdefiniowane linie geometrii przecinają się, program sprawdza powstałą geometrię i ostrzega użytkownika o błędzie. W takiej sytuacji geometria musi być poprawiona.



Ramka "Geometria" - komunikat błędu definiowania punktów

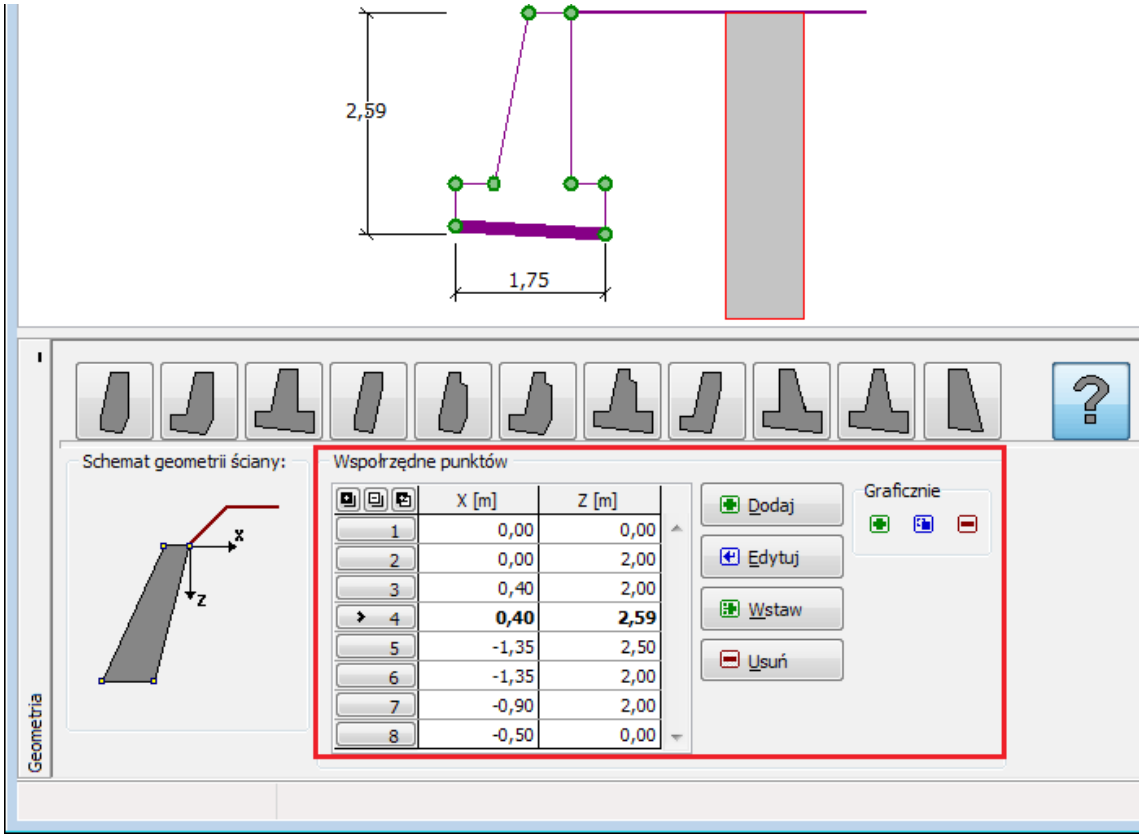
2. Definiowanie dowolnego/własnego kształtu ściany z wykorzystaniem generatora kształtu własnego

Konstrukcja zdefiniowana z wykorzystaniem jednego ze schematów wraz z jej wymiarami mogą być pobrane do definiowania własnego kształtu konstrukcji poprzez przyciśnięcie przycisku "**Generuj własny kształt**". Następnie można modyfikować wygenerowane w ten sposób nowe punkty oraz edytować wygenerowany kształt ściany.



Ramka "Geometria" - Definiowanie własnego kształtu ściany z wykorzystaniem generatora kształtu

Wygląd ramki zmienia się wówczas na taki, jak w pierwszym przypadku - generowania kształtu dowolnego za pomocą punktów. Wygląd (kształt) konstrukcji można wtedy modyfikować w sposób opisany wcześniej.



Ramka "Geometria" - wygląd ramki po zdefiniowaniu punktu

Materiał

Ramka "**Materiał**" pozwala na zdefiniowanie parametrów materiału. Pole, w górnej części ramki służy do definiowania ciężaru objętościowego ściany.

Jeśli ściana wykonana jest z betonu, program oferuje następujące dwie możliwości:

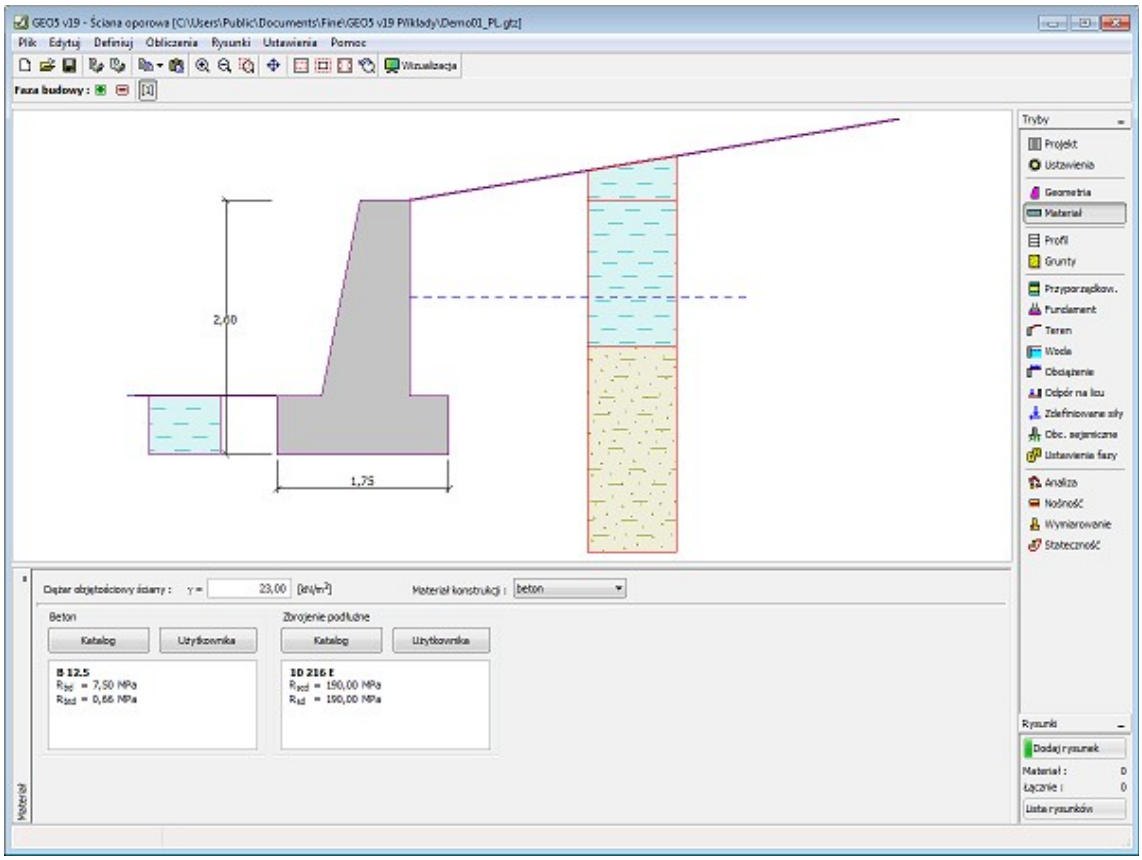
- Przycisk "**Katalog**" otwiera okno dialogowe "**Katalog materiałów**", z zamieszczonej w nim listy materiałów można dokonać wyboru materiału.
- Przycisk "**Użytkownika**" otwiera okno dialogowe "**Edytor materiału** ", które umożliwia ręczne określenie parametrów materiału przez użytkownika.

Zawartość katalogów zależy od wyboru odpowiedniej normy do wymiarowania konstrukcji betonowych i konstrukcji stalowych dokonanego w zakładce "Materiały i normy".

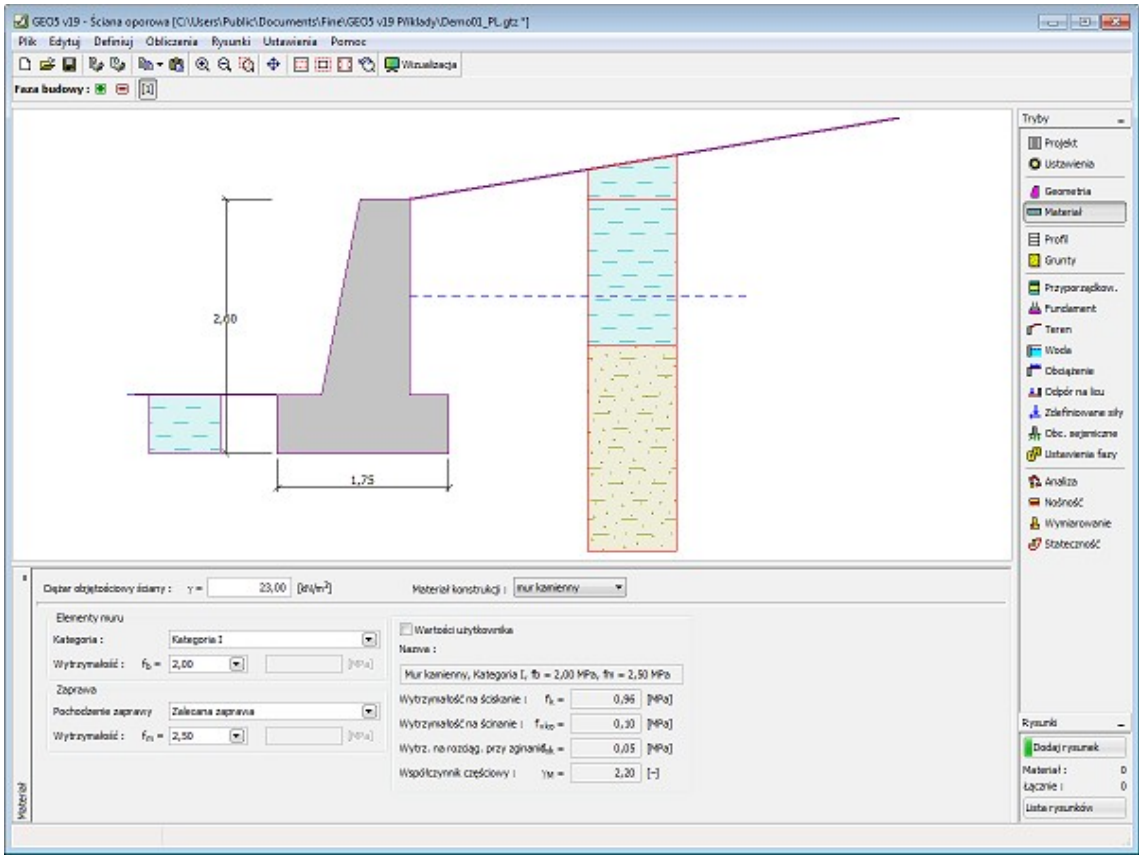
Jeśli ściana jest murem kamiennym, parametry materiałowe elementów muru według wybranej normy określa się w zakładce "Materiały i normy":

- EN 1996-1-1 - wytrzymałość elementów muru f_b, pochodzenie i wytrzymałość zaprawy f_m
- GB 50003-2011 - rodzaj elementów muru, klasa wytrzymałości kamienia, klasa wytrzymałości zaprawy

W przypadku zaznaczenia przycisku **"Wartości użytkownika"**, istnieje mozliwość definiowania własnych parametrów materiałowych muru kamiennego.



Ramka "Materiał" - beton



Ramka "Materiał" - mur kamienny

Profil

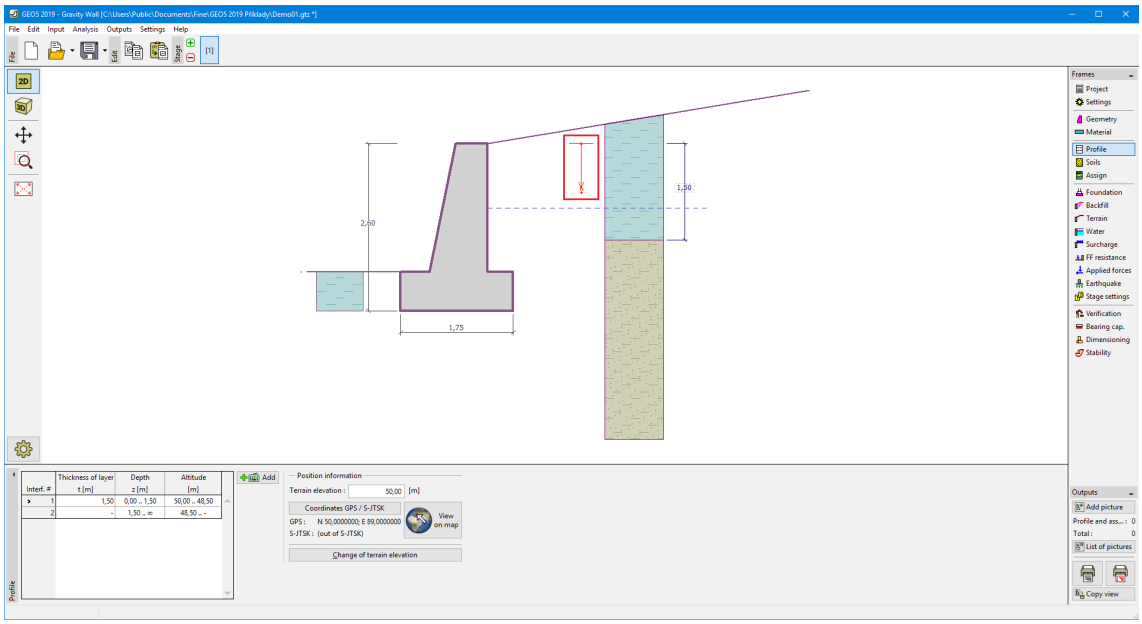
Ramka "**Profil**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych warstw. Po zdefinowaniu poszczególnych warstw można edytować ich miąższość za pomocą aktywnych wymiarów.

Dodawanie warstw wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowa warstwa**". Definiowana jest rzędna z mierzona od górnego punktu konstrukcji (oś-z).

In this frame it is also possible to enter optional information about the structure location:

- **terrain elevation** - an altitude column for the layers is displayed in the table after input of terrain elevation
- **GPS coordinates** - it is possible to show a structure on the Google Maps using "**View on map**" button after input of coordinates.

Program umożliwia obniżenie lub podniesienie górnego punktu konstrukcji w oknie dialogowym "**Zmiana rzędnej terenu**", a zdefiniowane warstwy będą wówczas przesunięte, jednocześnie zachowując swoją miąższość. Funkcja ta jest istotna podczas kopiowania profilu z programu "**Teren**".



Ramka "Profil"

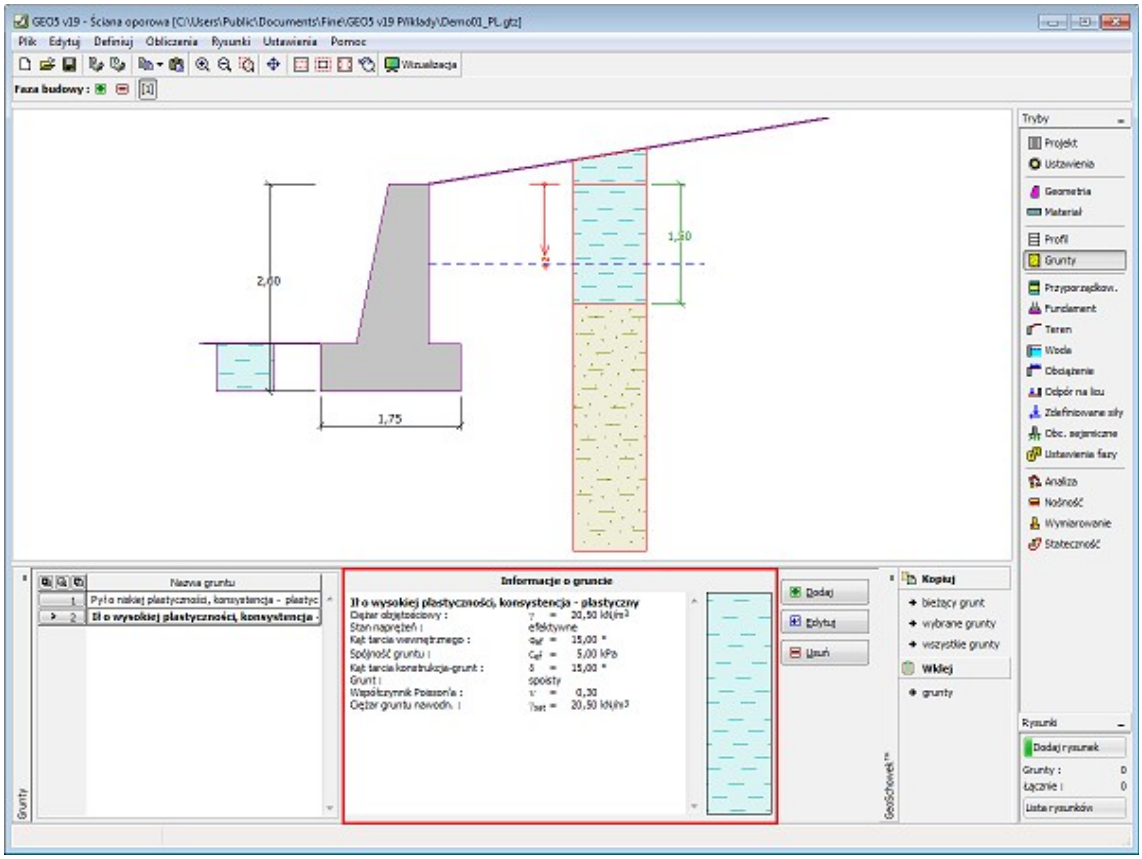
Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie (edycja) gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Dane podstawowe", "Spoczynkowe parcie gruntu" oraz "Naprężenie geostatyczne, wypór".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

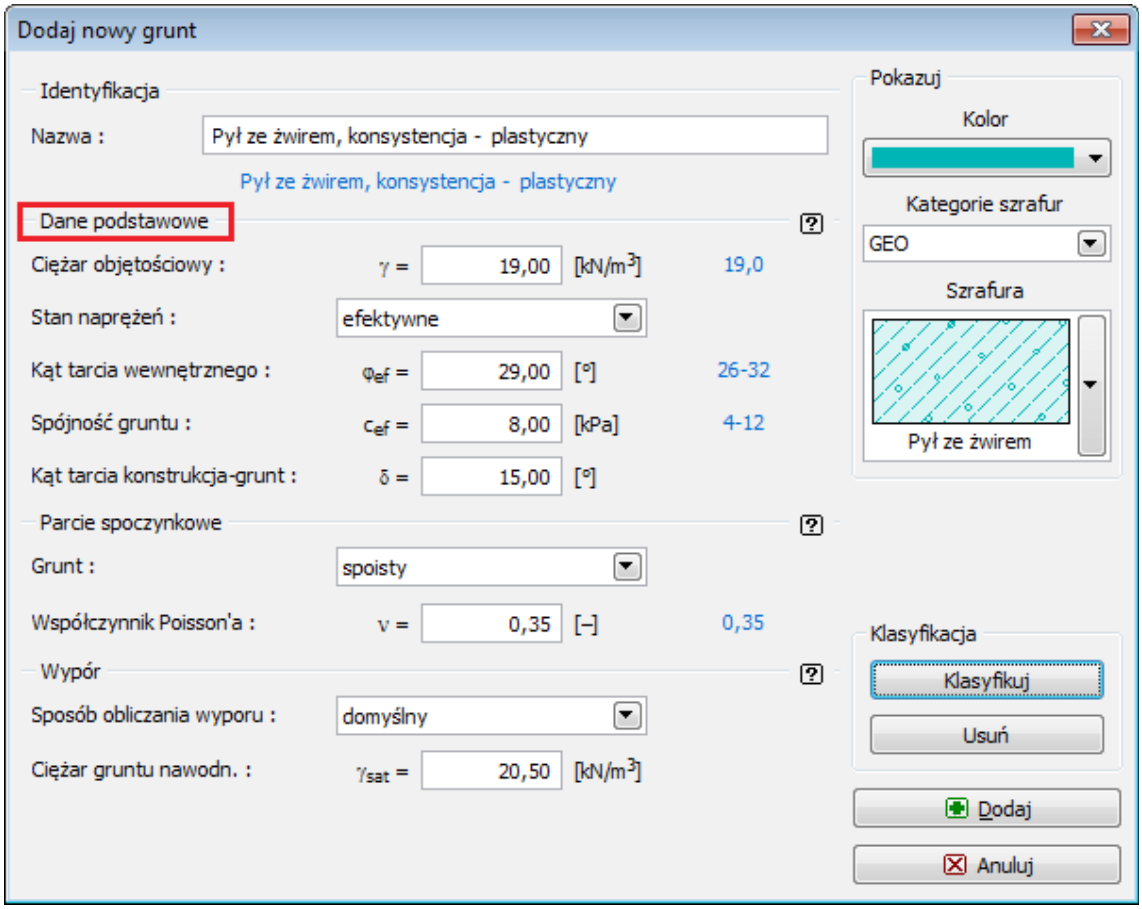
Ta część okna dialogowego służy do definiowania podstawowych parametrów gruntów - **ciężaru objętościowego, kąta tarcia wewnętrznego** oraz **spójności**. Wartości te określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub in-situ dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wartości parametrów gruntów określone na podstawie doświadczenia oraz literatury światowej. Parametry skał nie zostały zawarte w tej bazie, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym.

Istnieje możliwość definiowania wymiennie - parametrów **efektywnych** lub **uogólnionych** kąta tarcia wewnętrznego i spójności w zależności od wybranego ustawienia w liście rozwijanej "**Stan naprężeń**". Decyzja o zastosowaniu parametrów efektywnych czy uogólnionych zależy w szczególności od rodzaju gruntu, rodzaju obciążenia, czasu wykorzystania konstrukcji i warunków wodnych.

W dalszej kolejności, w przypadku naprężeń efektywnych definiuje się kąt tarcia pomiędzy konstrukcją i gruntem, który zależy zarówno od rodzaju gruntu jak i rodzaju konstrukcji. Szacunkowe wartości tego parametru podano w tabeli wartości zalecanych.

W przypadku naprężeń całkowitych natomiast należy zdefiniować adhezję gruntu do lica konstrukcji a.

Podstawy teoretyczne dotyczące omawianego zaganienia opisano w rozdziale "Parcia gruntu".

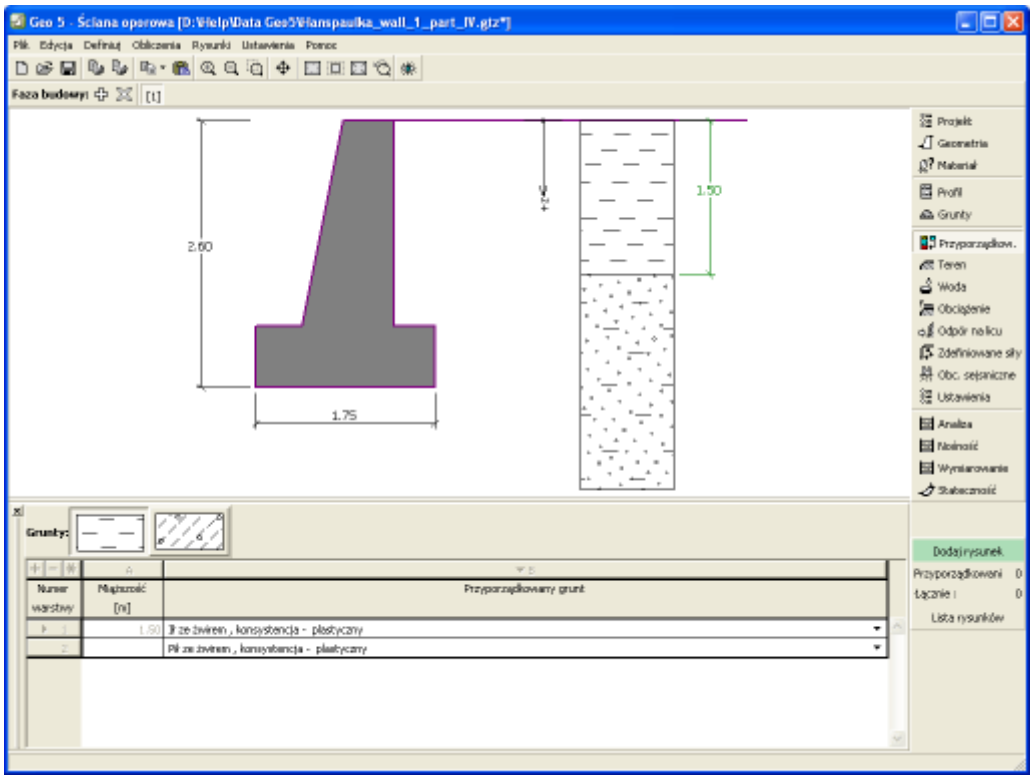


Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów"**.**



Ramka "Przyporządkowanie"

Fundament

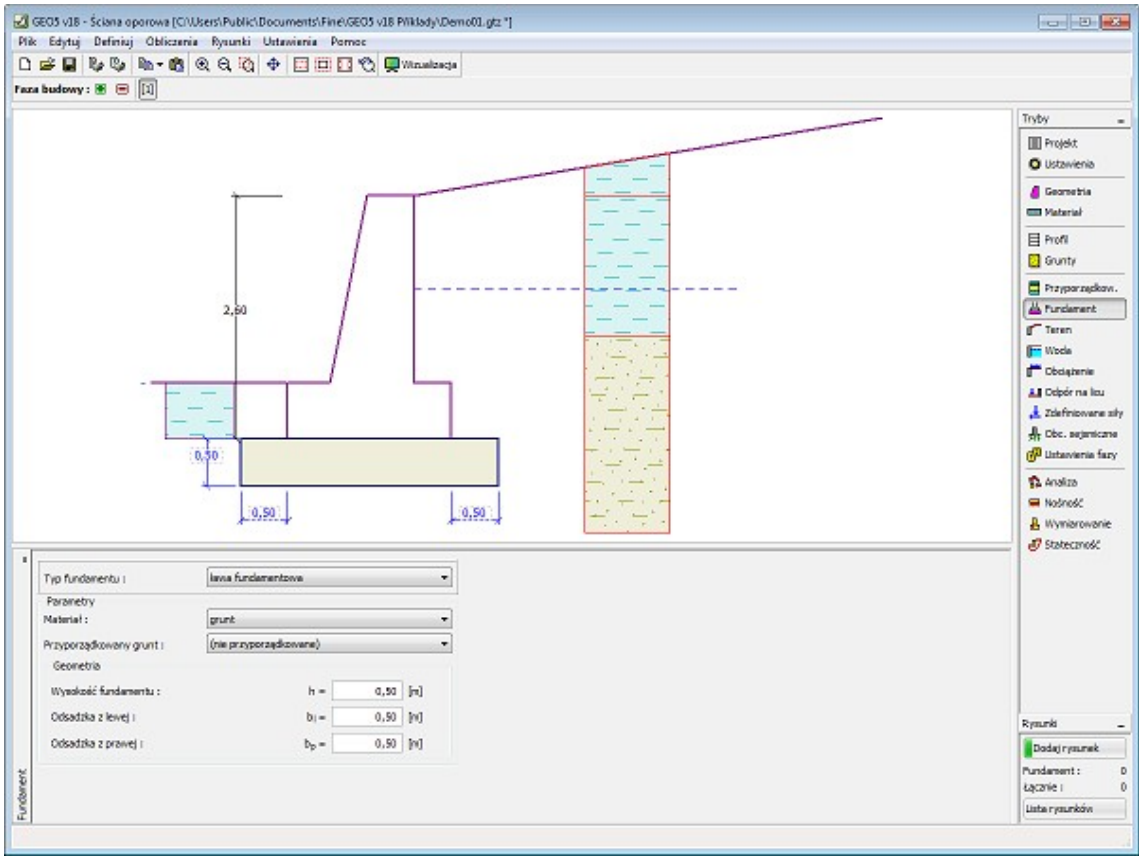
Ramka "**Fundament**" służy do definiowania rodzaju fundamentu ściany (konstrukcji oporowej). Następujące rodzaje fundamentów są dostępne w programie:

- **grunt - z profilu geologicznego** - w tym przypadku ściana posadowiona jest na gruncie przyporządkowanym z profilu geologicznego zdefiniowanego w ramce "Profil".
- **grunt - definiuj parametry kontaktu** - przy wybraniu tej opcji definiowane są parametry kontaktu pomiędzy podłożem fundamentowym a fundamentem. Opcja "**definiuj kąt tarcia fundament-grunt**" wymaga zdefiniowania kąta tarcia ψ [°] pomiędzy fundamentem a gruntem. Opcja "**definiuj współczynnik tarcia**" wymaga natomiast zdefiniowania współczynnika tarcia μ [-]. W obydwu przypadkach natomiast niezbędne jest określenie spójności a [kPa] pomiędzy podstawą fundamentu a gruntem.
- **ława fundamentowa** - materiał ławy fundamentowej może być zdefiniowany w postaci **gruntu** (zdefiniowanego w ramce "Grunty") lub **betonu** - wybór tego typu fundamentu wymaga zdefiniowania **ciężaru objętościowego materiału fundamentu** γ oraz **parametrów kontaktu konstrukcji z gruntem** (współczynnik tarcia f, spójność c, dodatkowy odpór F).
- **fundament palowy** - ściana może być posadowiona odpowiednio na pojedynczym rzędzie pali lub dwóch rzędach pali.

Ławę fundamentową lub **fundament palowy** można zastosować w obliczeniach jedynie w przypadku gdy w zakładce "Geometria" wybrany jest kształt konstrukcji ściany oporowej z **płaską podstawą fundamentu bez odsadzki**. Geometria fundamentu ściany (ława fundamentowa, fundament palowy) może być modyfikowana w ramce poprzez wprowadzanie właściwych wartości w odpowiednich polach definiowania lub na ekranie z wykorzystaniem

aktywnych wymiarów.

Dane wprowadzone w tej ramce wpływają na przebieg analizy ściany (sprawdzenie na przesuw) a także w dalszej kolejności obliczenie nośności podłoża fundamentowego.

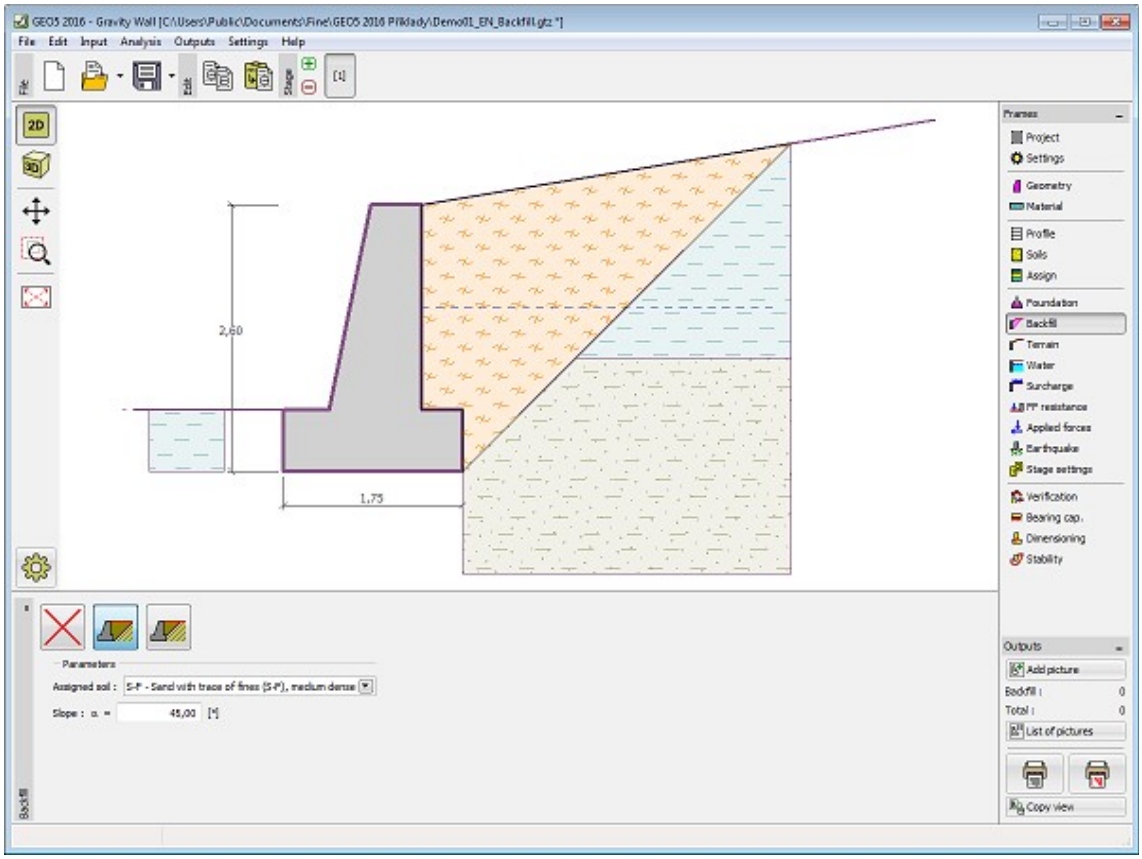


Ramka "Fundament"

Nasyp za konstrukcją

Ramka "**Nasyp**" pozwala na wprowadzenie nasypu gruntowego za konstrukcją.

Grunt przypisany do nasypu należy wybrać z listy rozwijanej w ramce (parametry gruntu definiuje się w ramce "Grunty"). Ponadto, należy zdefiniować kąt nachylenia nasypu za konstrukcją.



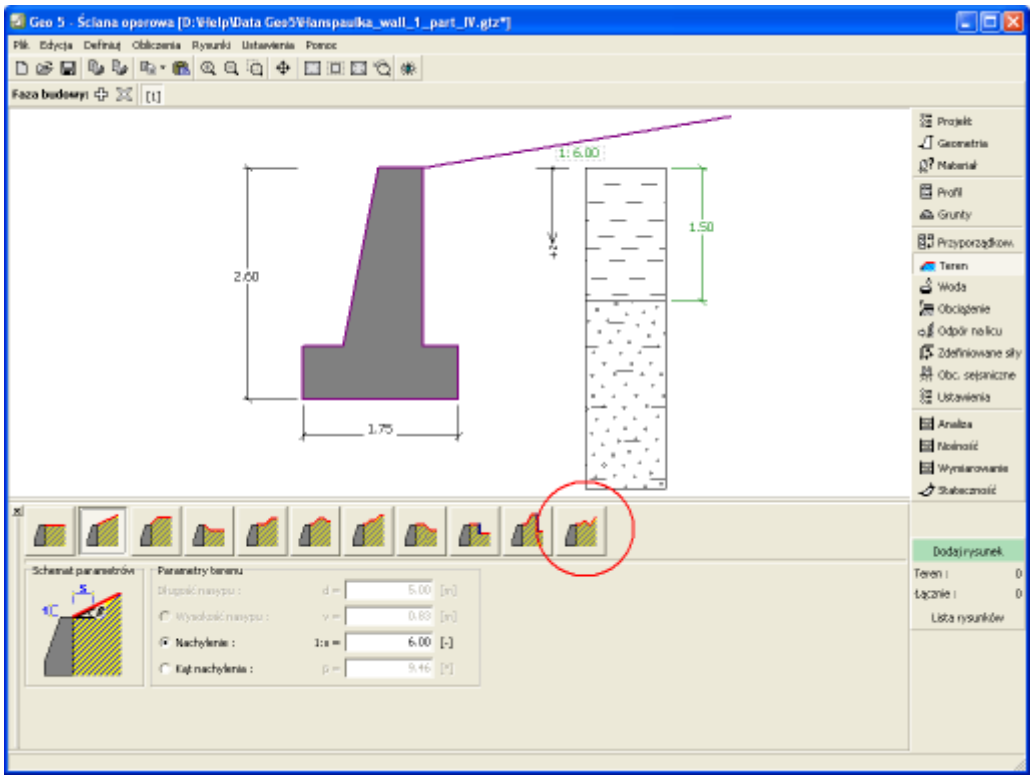
Ramka "Nasyp"

Teren

Ramka "**Teren**" umożliwia określenie ukształtowania terenu za konstrukcją. Wyboru kształtu terenu dokonuje się spośród kształtów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany kształt terenu z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości wyświetlany jest w lewej części ramki. Wymiary wybranego schematu terenu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego kształtu terenu. W takim przypadku, pojawiająca się ramka zawiera tabelę z listą punktów terenu. Pierwszy punkt współrzędnych $[0,0]$ zbiega się z górnym punktem konstrukcji.

Metody analizy parcia gruntu w przypadku terenu pochyłego zostały opisane w teoretycznej części pomocy "Rozkład parć gruntu dla terenu pochyłego"**.**



Ramka "Teren"

Woda

Ramka "**Woda**" umożliwia określenie rodzaju wody gruntowej. Wyboru schematu obciążenia wodą dokonuje się spośród schematów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany schemat z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Parametry (h_1, h_2...) wybranego schematu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

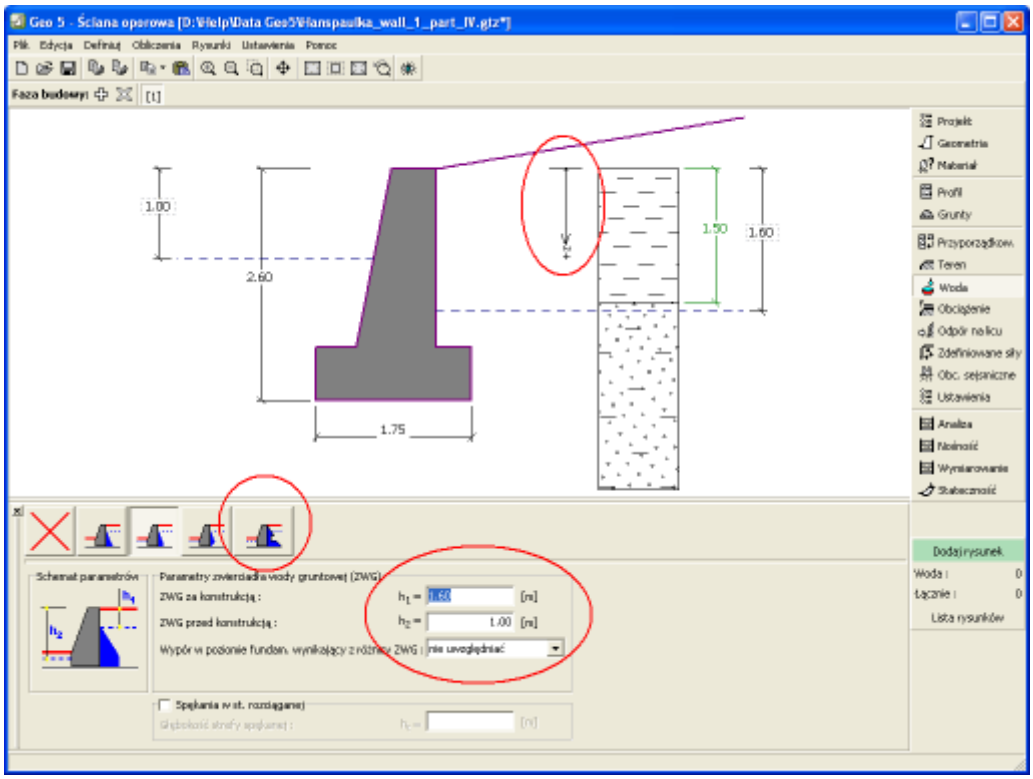
Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego ciśnienia porowego wody w gruncie zarówno przed jak i za konstrukcją. W takim przypadku, pojawiają się dwie zakładki z tabelami "**Przed konstrukcją**" i "**Za konstrukcją**". Tabele te wypełnia się wartościami ciśnienia porowego odpowiednio przed lub za konstrukcją na głębokości "z" (oś-z).

Lista rozwijana w ramce służy do określenia, czy i w jaki sposób uwzględniany jest wypór wody pod fundamentem wynikający z różnicy poziomów ZWG. Wypór może być uwzględniany jako liniowy lub paraboliczny. Przy sprawdzeniu ściany, wypór wody pod fundamentem wynikający z różnicy poziomów ZWG uwzględniany jest w postaci dodatkowej siły.

W programie istnieje również możliwość zdefiniowania zwierciadła wody gruntowej **ponad konstrukcją** lub ponad profilem gruntu - w takim przypadku, poziom wody wprowadza się za pomocą wartości ujemnej.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem wpływu wody zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ wody".

Ponadto, program umożliwia określenie głębokości rys rozciąganych wypełnionych wodą w gruncie za konstrukcją.



Ramka "Woda"

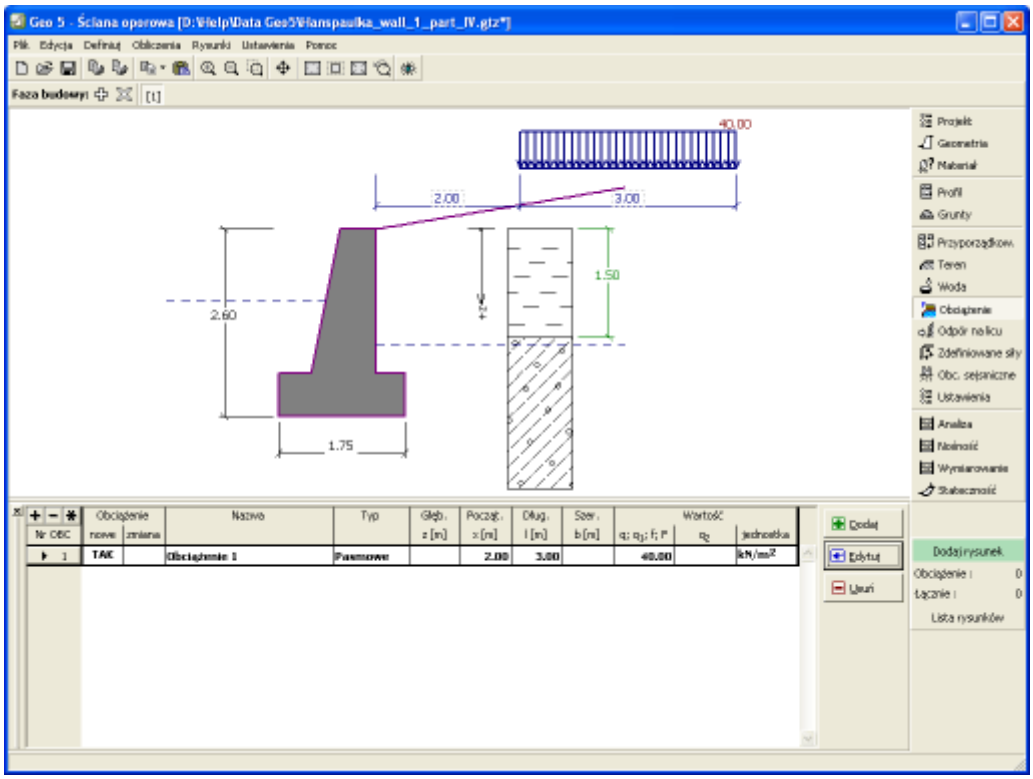
Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych obciążeń. Dodawanie (edytowanie) obciążenia wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Zdefiniowane obciążenia można edytować na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów lub aktywnych obiektów.

Przy definiowaniu obciążenia na pewnej głębokości wprowadzana jest rzędna z, mierzona od górnego punktu konstrukcji (kierunek dodatni w dół). W przypadku, gdy obciążenie znajduje się poza terenem, program wyświetla komunikat błędu przed rozpoczęciem obliczeń.

W programie istnieje możliwość zdefiniowania obciążeń **stałych, zmiennych** lub **wyjątkowych**. Wybór rodzaju obciążenia wpływa na dobór stosownego współczynnika obliczeniowego do przemnożenia wynikowych oddziaływań. Obciążenia wyjątkowe oddziałujące w sposób korzystny nie są uwzględniane w obliczeniach.

Obliczenia parć gruntu wywołanych obciążeniami zewnętrznymi zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążenia".



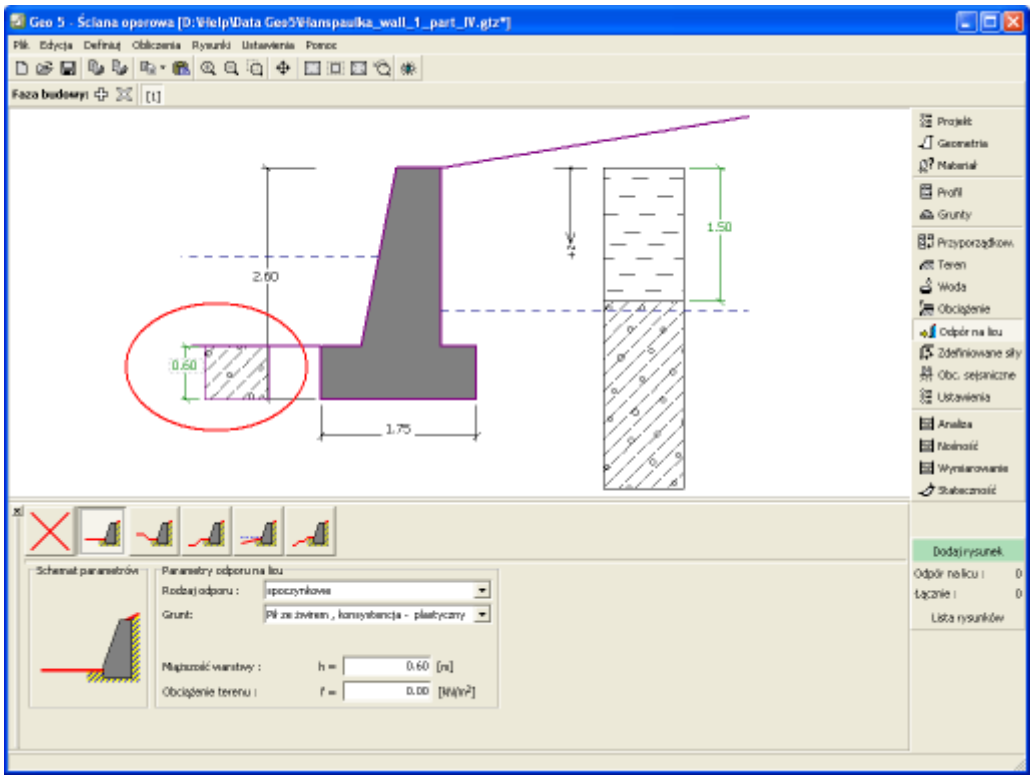
Ramka "Obciążenie"

Odpór na licu

Ramka "**Odpór na licu**" umożliwia określenie ukształtowania terenu oraz parametrów odporu na licu konstrukcji poprzez wybór ikony. Wybrany kształt z podpowiedziami graficznymi ("**Schemat parametrów**") wprowadzonych wartości wyświetlany jest w lewej części ramki. Kształt terenu można edytować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól lub na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Lista rozwijana w ramce "**Odpór na licu**" pozwala wybrać rodzaj odporu oraz grunt (lista rozwijana zawiera grunty wprowadzone w trybie "Grunty"). W ramce tej można również zdefiniować wartość obciążenia terenu przed licem konstrukcji oraz miąższość warstwy ponad najniższym punktem ściany.

Odpór na licu konstrukcji można zdefiniować jako parcie spoczynkowe, parcie bierne bądź zredukowane parcie bierne. Powstała na skutek zredukowanego parcia biernego siła jest określana jako siła wypadkowa parcia biernego pomnożona przez odpowiedni współczynnik, który wynika z rodzaju wybranego zredukowanego parcia biernego.



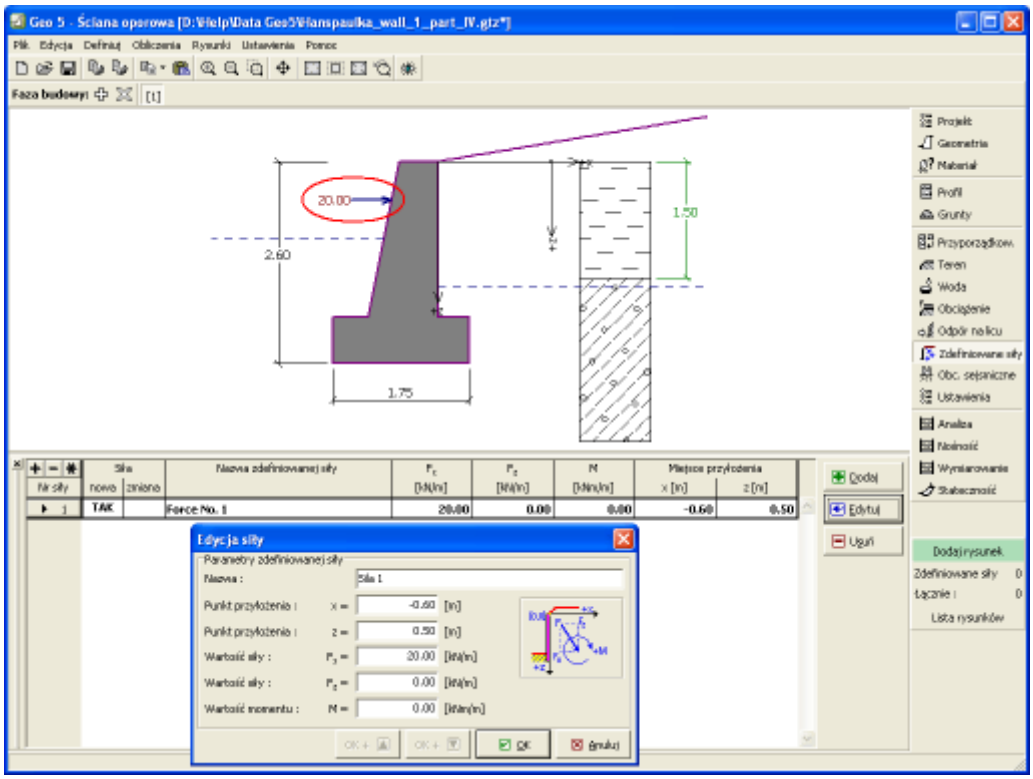
Ramka "Odpór na licu"

Zdefiniowane siły

Ramka "**Zdefiniowane siły**" zawiera tabelę z listą sił działających na konstrukcję. Dodawanie sił odbywa się oknie dialogowym "**Nowa siła**". Zdefiniowane siły można również edytować na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

Zdefiniowane siły reprezentują dodatkowe obciążenia oddziałujące na konstrukcje oporową, ścianę wykopu czy nasyp zbrojony. W ten sposób istniej możliwość modelowania takich elementów jak: obciążenia od bilboardów, ekranów czy barier drogowych. Program nie dostosowuje (nie zmienia) w żaden sposób zdefiniowanych sił w toku obliczeń, za wyjątkiem przemnażania ich przez odpowiednie współczynniki zgodnie z wybranym rodzajem oddziaływania (EN1997, LRFD).

Obciążenia zewnętrzne oddziałujące na naziomie (na powierzchni terenu) należy definiować jako obciążenie.



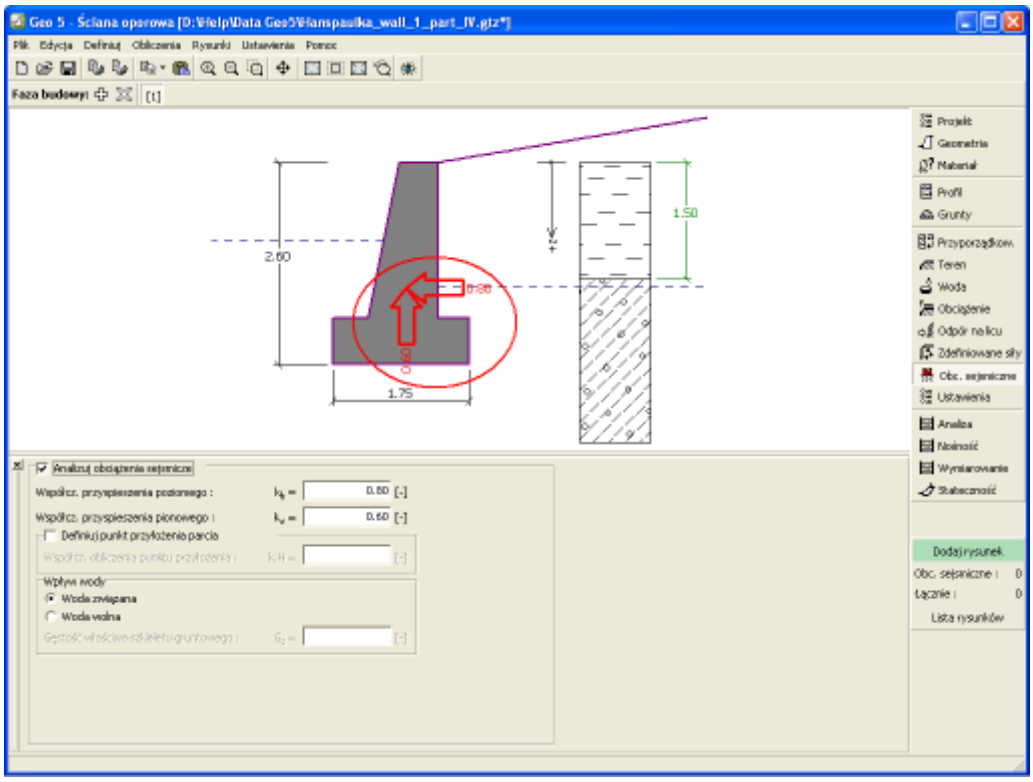
Ramka "Zdefiniowane siły"

Obciążenia sejsmiczne

Ramka "**Obciążenia sejsmiczne**" służy do wprowadzania parametrów obciążeń sejsmicznych. Kierunki skutków obciążeń sejsmicznych są wyświetlane na pulpicie.

Jeśli nie są dostępne wyniki pomiarów współczynniki k_h oraz k_v można wyznaczyć stosując opisane w pomocy podejście z normy EN 1998-5.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem obciążeń sejsmicznych zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążeń sejsmicznych".



Ramka "Obciążenia sejsmiczne"

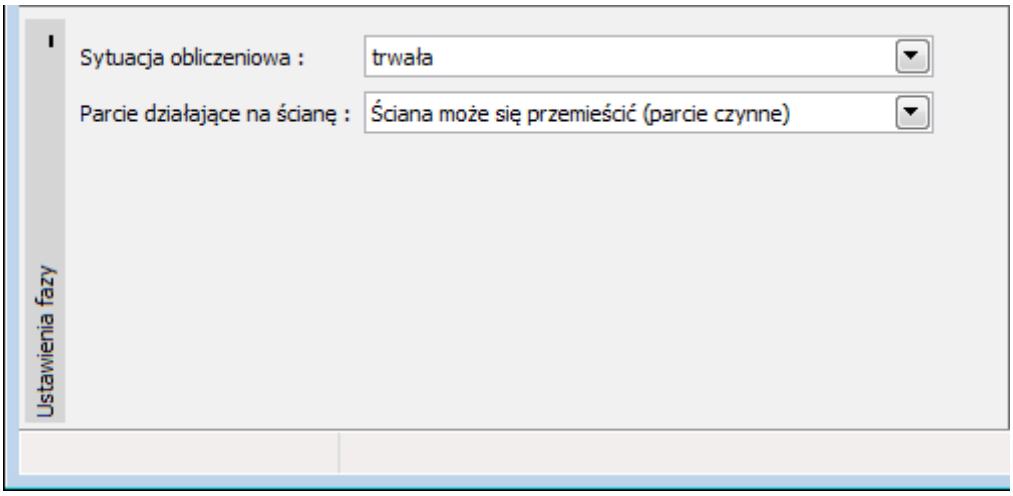
Ustawienia fazy

Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących tylko wybranej fazy obliczeniowej.

Wybrana sytuacja obliczeniowa określa współczynniki bezpieczeństwa, które będą zastosowane w obliczeniach danej fazy budowy.

Wygląd ramki zależy od wybranej metody analizy.

W ramce "**Ustawienia fazy**" można także dokonać wyboru parcia oddziałującego na ścianę z uwzględnieniem dopuszczalnych przemieszczeń konstrukcji. Przy założeniu dopuszczenia do przemieszczeń ściany przyjmuje się parcie czynne, w przeciwnym wypadku zastosowane będzie parcie spoczynkowe. Trzecia opcja umożliwia obciążenie ściany zwiększonym parciem czynnym.



Ramka "Ustawienia fazy"

Analiza

Ramka "**Analiza**" wyświetla wyniki analizy stateczności zbocza. Istnieje możliwość przeprowadzenia dowolnej liczby analiz w obrębie jednego zadania.

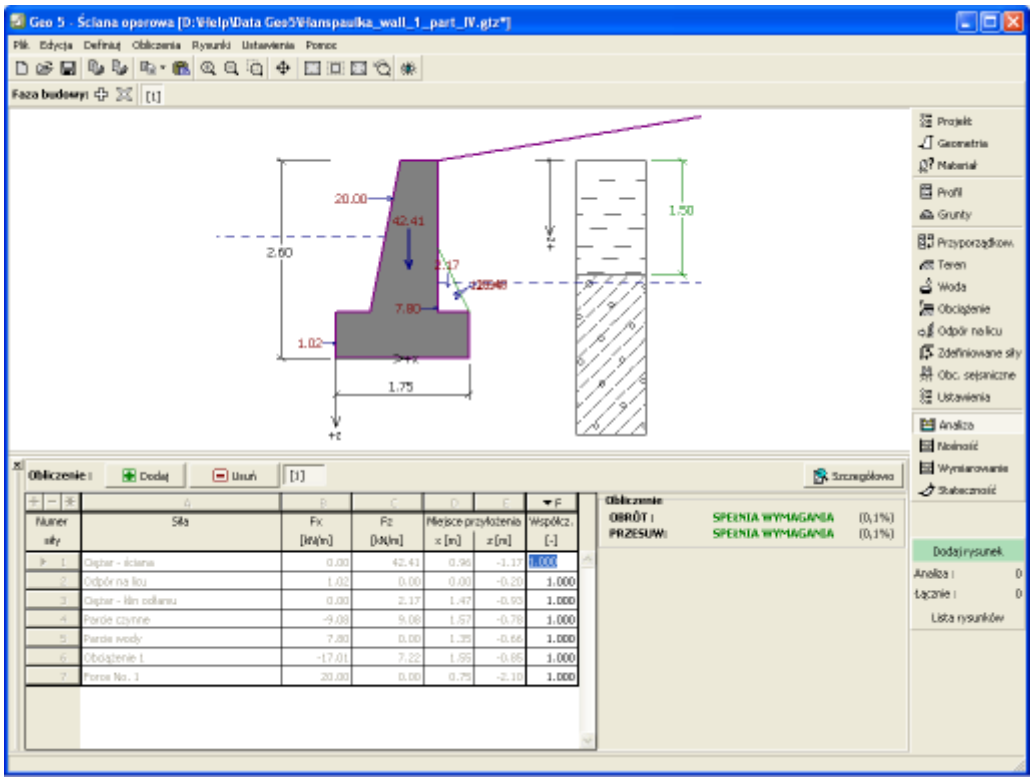
Wygląd ramki jest dostosowany do wybranej metodyki obliczeń.

- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa, lub zgodnie z teorią stanów granicznych - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia modyfikację współczynników obliczeniowych, przykładanych do wyznaczonych sił. Wartości tych sił są wyświetlane na ekranie i są automatycznie odświeżane przy każdej zmianie danych projektu lub ustawień w tablicy.
- Obliczenia według EN 1997 - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia zdefiniowanie czy obciążenie oddziałujące na konstrukcje jest uwzględniane jako drugorzędne. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w rozdziale "Kombinacje obciążeń".
- Obliczenia według LRFD - w tym przypadku ostatnia kolumna nie jest wyświetlana.

Procedura analizy ściany została opisana w teoretycznej części pomocy.

Wyniki analizy wyświetlane są na pulpicie i natychmiast aktualizowane dla dowolnej zmiany wprowadzonych danych bądź ustawień. Prawa część ramki przedstawia wyniki analizy ściany ze względu na **obrót i przesuw**. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które zawiera szczegółowe zestawienie wyników analizy.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Analiza"

Nośność

Ramka "**Nośność**" wyświetla wyniki analizy nośności podłoża gruntowego. Naprężenie w podstawie fundamentu (założono stałe) uzyskuje się na podstawie wszystkich obliczeń przeprowadzonych w ramce "Analiza". Program "**Fundament bezpośredni**", "**Spread footing CPT**", "**Pile**" and "**Pile group**" traktuje wszystkie obliczenia jako przypadki obciążeń. In the program "**Pile CPT**", just normal load is used.

Ramka "**Nośność**" zawiera następujące opcje analizy:

- **Definiuj nośność podłoża gruntowego**

  W tym przypadku, nośność podłoża gruntowego definiowana jest przez użytkownika. Wyniki analizy fundamentu ze względu na **mimośród** oraz nośność **podłoża** wyświetlane są w prawej części ramki. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które wyświetla szczegółowe wyniki analizy nośności podłoża gruntowego.

- **Wyznacz nośność podłoża gruntowego programem "Fundament bezpośredni"**

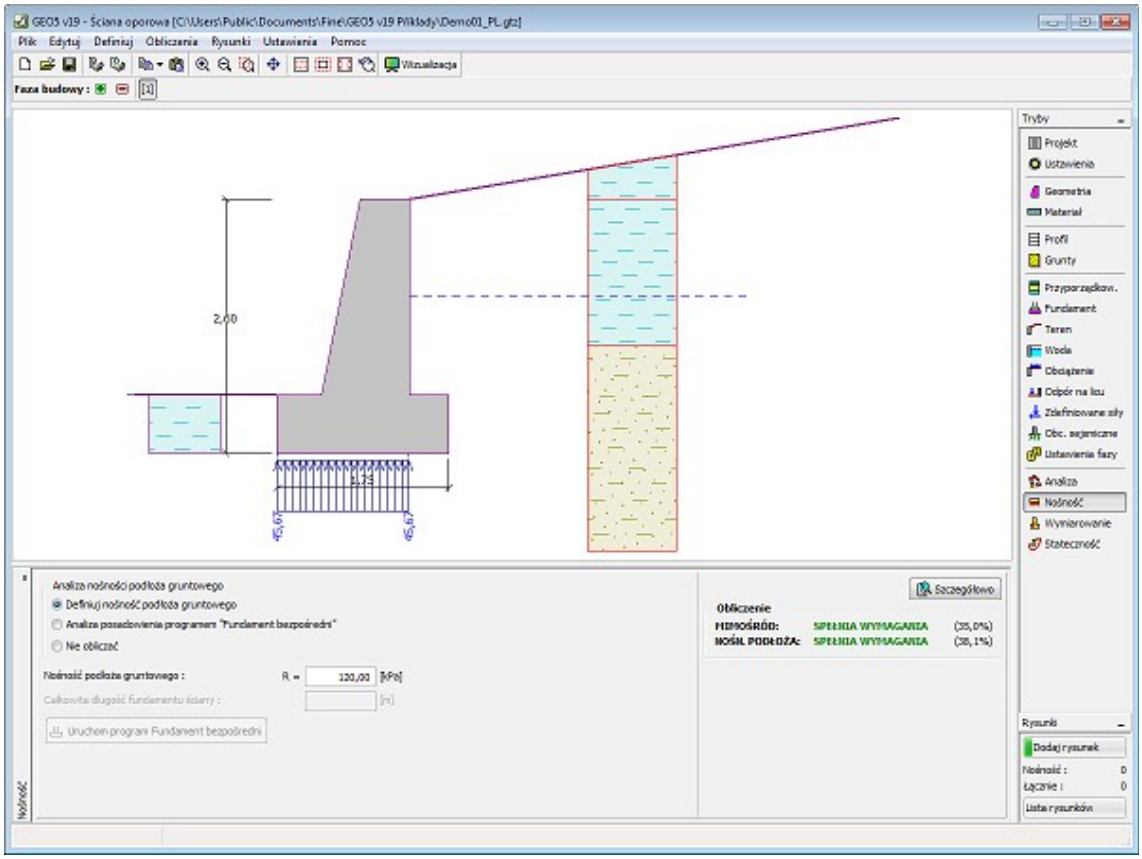
  Naciśnięcie przycisku "**Uruchom program Fundament bezpośredni**" uruchamia program **"Fundament bezpośredni**", który umożliwia obliczenie nośności gruntu lub osiadanie i obrót fundamentu. Naciśnięcie przycisku "**Zakończ i prześlij dane**" zamyka tryb analizy w programie Fundament bezpośredni - wyniki obliczeń i wszystkie rysunki kopiowane są do programu wyjściowego, tj. "**Ściana oporowa**". Program "**Fundament bezpośredni**" musi być zainstalowany, aby przycisk ten był dostępny. Przy wyborze tej opcji należy zdefiniować

całkowitą długość fundamentu ściany.

- **Analyse bearing capacity by program "Spread footing CPT"** The procedure is identical as if calculating soil bearing capacity by the **"Spread footing**" program.
- **Analiza posadowienia programem "Pal"** W tym przypadku, procedura jest jednakowa jak przy wyznaczaniu nośności podłoża gruntowego za pomocą programu **"Fundament bezpośredni"**. Opcja "**Uruchom program Pal"** jest dostępna jedynie w przypadku, gdy ściana ma zdefiniowany (w ramce "Fundament") typ fundamentu jako fundament palowy. Przy wyborze tej opcji konieczne jest zdefiniowanie rozstawu pali s.
- **Analyse bearing capacity by program "Pile CPT"** The procedure is identical as if calculating soil bearing capacity by the "**Pile**" program.
- **Analiza posadowienia programem "Grupa pali"** W tym przypadku, procedura jest jednakowa jak przy wyznaczaniu nośności podłoża gruntowego za pomocą programu "**Fundament bezpośredni**". Opcja "**Uruchom program Grupa pali"** jest dostępna jedynie w przypadku, gdy ściana ma zdefiniowany (w ramce "Fundament") typ fundamentu jako fundament palowy z liczbą pali większą niż jeden. W tej sytuacji nalezy zdefiniować: rozstaw pali s, całkowitą liczbę rzędów pali n oraz długość obciążenia l.
- **Nie obliczaj (fundament na palach)** Nośność podłoża gruntowego nie jest obliczana.

Program umożliwia określenie kształtu naprężenia kontaktowego w podstawie fundamentu.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Nośność"

Wymiarowanie

Ramka "**Wymiarowanie**" służy do projektowania i wymiarowania zbrojenia przekroju ściany - przekrój poddawany wymiarowaniu wybiera się z rozwijanej listy.

- **Analiza trzonu ściany**
- **Analiza przekroju roboczego** określana jest **głębokość** przekroju roboczego od górnej krawędzi budowy
- **Analiza odsadzki ściany**

Wygląd ramki jest dostosowany do wybranej metodyki obliczeń.

- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa, lub zgodnie z teorią stanów granicznych - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia modyfikację współczynników obliczeniowych, przykładanych do wyznaczonych sił. Wartości tych sił są wyświetlane na ekranie i są automatycznie odświeżane przy każdej zmianie danych projektu lub ustawień w tablicy.
- Obliczenia według EN 1997 - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia zdefiniowanie czy obciążenie oddziałujące na konstrukcje jest uwzględniane jako drugorzędne. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w rozdziale "Kombinacje obciążeń".
- Obliczenia według LRFD - w tym przypadku ostatnia kolumna nie jest wyświetlana.

Metody określania sił oraz ich oddziaływania na analizowany przekrój opisane są w rozdziale "Wymiarowanie ściany".

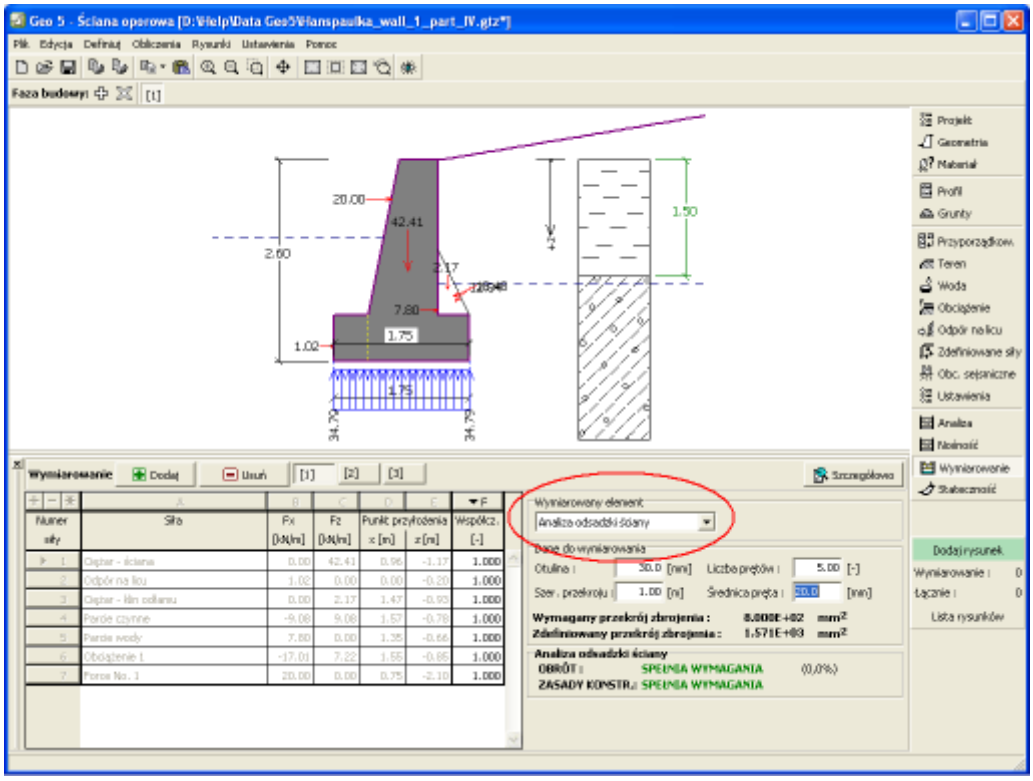
Trzon ściany i przekrój roboczy są zawsze obciążane parciem spoczynkowym.

Metody wyznaczania rozkładu sił wewnętrznych w poszczególnych przekrojach zostały opisane w teoretycznej części pomocy.

Wymiarowanie konstrukcji żelbetowych wykonywane jest zgodnie z normą określoną w ramce "Materiały i normy" .

Istnieje możliwość przeprowadzenia wielu obliczeń dla różnych przekrojów. Można również określić różne współczynniki obliczeniowe dla poszczególnych sił. Wyniki analizy (wyznaczone siły) wyświetlane są na pulpicie i natychmiast aktualizowane dla dowolnej zmiany wprowadzonych danych bądź ustawień. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które prezentuje szczegółowe wyniki wymiarowania.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".

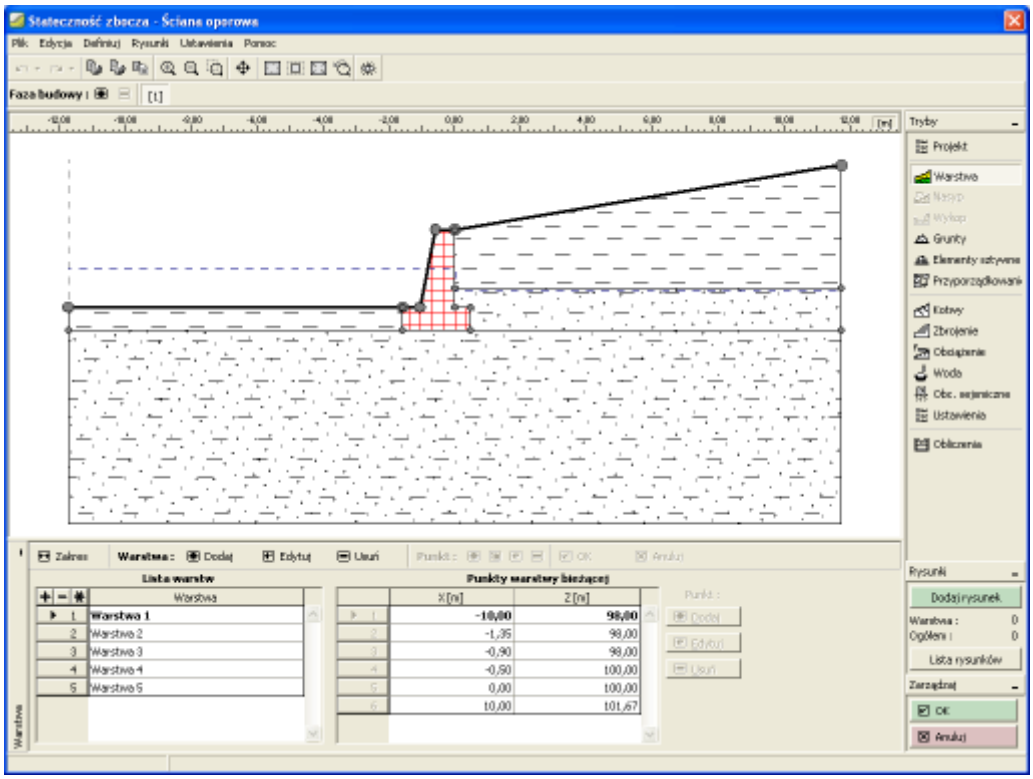


Ramka "Wymiarowanie"

Stateczność

Naciśnięcie przycisku "**Stateczność**" uruchamia program "**Stateczność zbocza**". Program ten umożliwia sprawdzenie ogólnej stateczności analizowanej konstrukcji. Przycisk jest dostępny, jeżeli program "**Stateczność zbocza**" został zainstalowany.

Po zakończeniu obliczeń stateczności w programie Stateczność zbocza należy kliknąć przycisk "**Zakończ i prześlij dane**" aby opuścić program i przekazać wyniki obliczeń do programu **Ściana oporowa**". Wszystkie operacje (dane, obliczenia, dodane rysunki) przeprowadzone w programie Stateczność zbocza będą dostępne w dokumentacji wynikowej projektu w programie **Ściana oporowa**".



Ramka "Stateczność"

Program Ściana prefabrykowana

Program ten służy do analizy ścian oporowych zbudowanych z bloków prefabrykowanych.

Pomoc w programie "Ściana prefabrykowana" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

Projekt	Ustawienia	Geometria	Profil	Grunty	Przyporządkowanie	Fundament
Nasyp za konstrukcją	Teren	Woda	Obciążenie	Opór na licu	Zdefiniowane siły	Obciążenia sejsmiczne
Ustawienia fazy	Analiza	Nośność	Wymiarowanie	Poślizg po zbrojeniu	Stateczność	

- Normy i metody obliczeniowe

- Teoria obliczeniowa do programu "**Ściana prefabrykowana**":

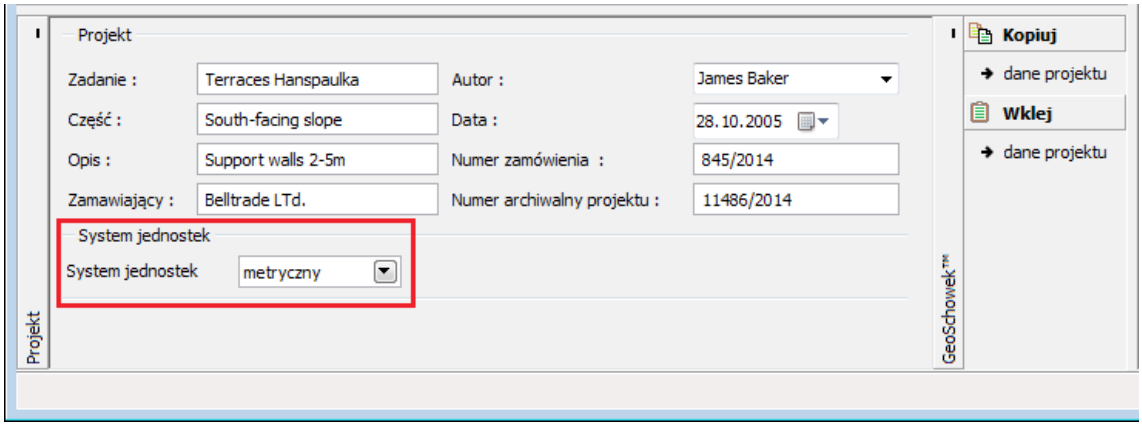
Naprężenia w gruncie	Parcia gruntu	Analiza ścian	Analiza nośności fundamentu

- Dane wyjściowe
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

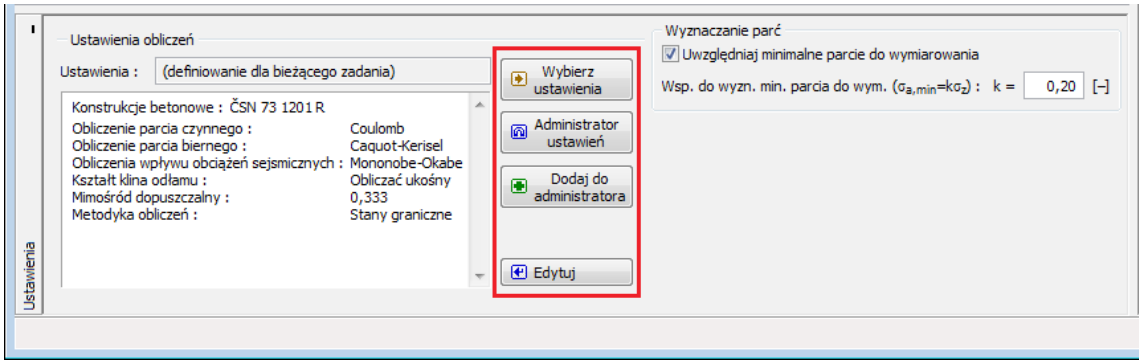
Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Program umożliwia zdefiniowanie minimalnego parcia do wymiarowania k (poprzez wybór/zaznaczenie opcji "**Uwzględniaj minimalne parcie do wymiarowania**"). Opcja ta ma w szczególności zastosowanie w przypadku, gdy za ścianą, w górnej części ściany, znajdują się grunty spoiste. Zaleca się wprowadzanie w obliczeniach konstrukcji z zasypką z gruntów spoistych pewnej wartości k.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładkach "Materiały i normy" oraz "Konstrukcje oporowe".



Ramka "Ustawienia"

Geometria

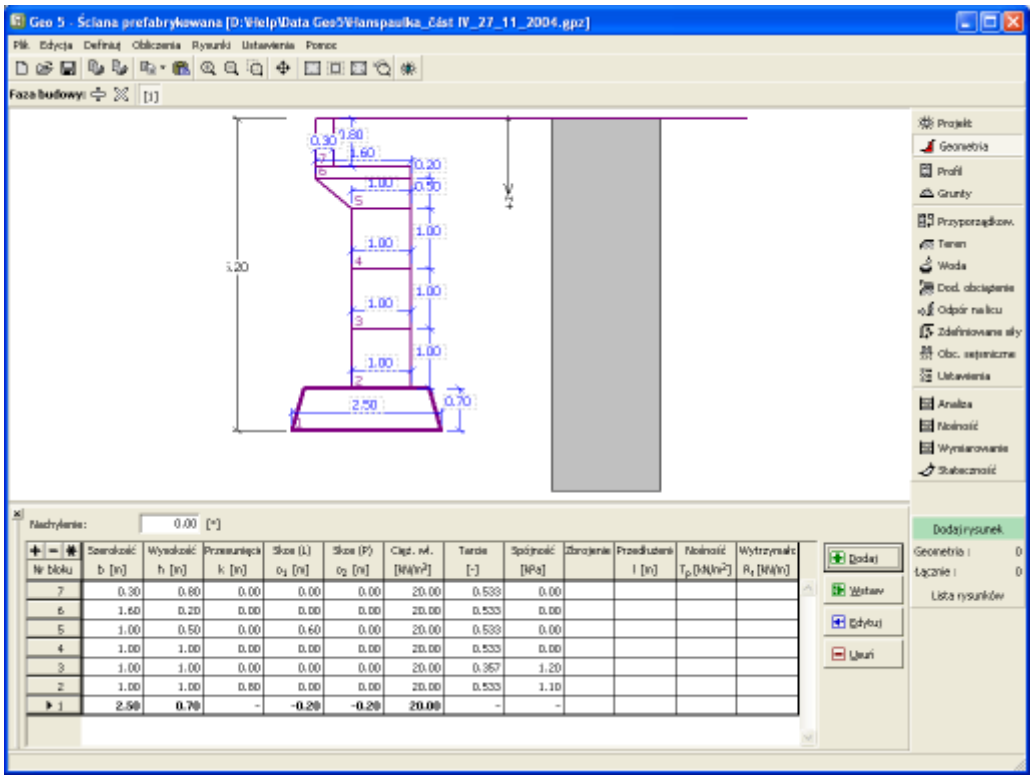
Ramka "**Geometria**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych bloków prefabrykowanych stanowiących konstrukcję ściany (najniższy blok posiada etykietę nr 1). Dodawanie bloków odbywa się w oknie dialogowym "**Nowy blok**".

Okno dialogowe służy do definiowania **geometrii bloku**, parametrów zbrojenia (długość, długość zakotwienia, wytrzymałość zbrojenia i nośność na wyciąganie) oraz **parametrów materiału** (ciężar, wytrzymałość na ścinanie pomiędzy blokami, spójność).

Program umożliwia dodanie (wstawienie) kolejnego bloku pomiędzy dwa istniejące bloki konstrukcji. Wstawienie nowego bloku odbywa się w oknie dialogowym "**Wstaw**", które jest podobne do okna "**Nowy blok**". Blok wstawiany jest przed aktualnie wybranym blokiem konstrukcji.

Wstawione bloki można następnie edytować na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów bądź aktywnych obiektów - dwukrotne kliknięcie na konstrukcji otwiera okno dialogowe z danym blokiem. **W przypadku używania trybu aktywnych obiektów należy wyłączyć wizualizację szczegółowych wymiarów w ramce** "Konfiguracja rysunku"**.**

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.



Ramka "Geometria"

Profil

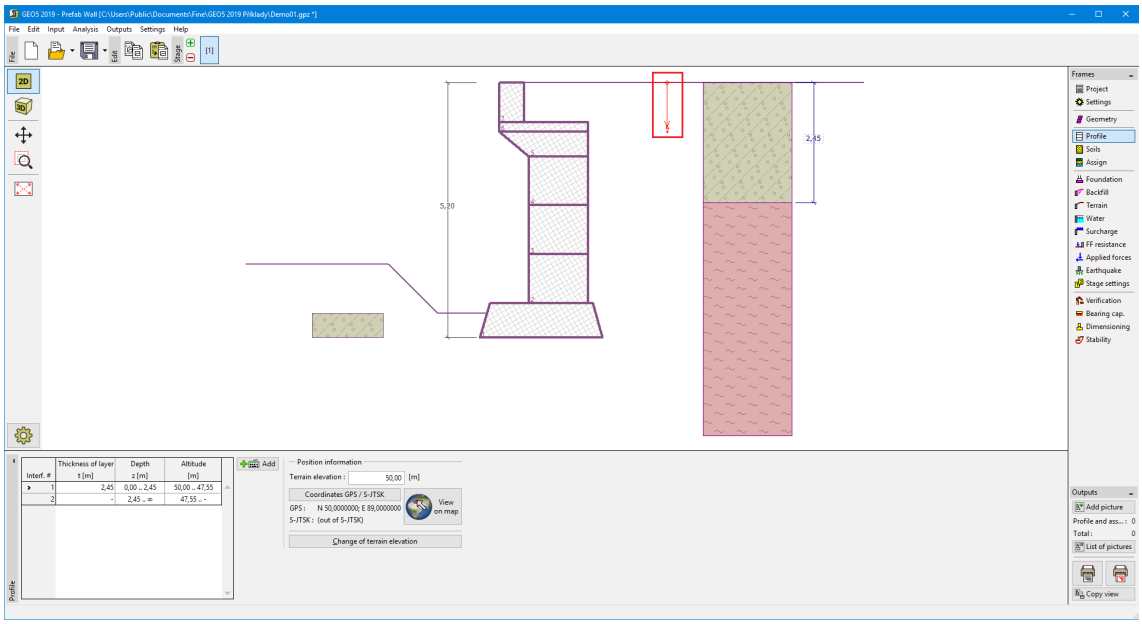
Ramka "**Profil**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych warstw. Po zdefinowaniu poszczególnych warstw można edytować ich miąższość za pomocą aktywnych wymiarów.

Dodawanie warstw wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowa warstwa**". Definiowana jest rzędna z mierzona od górnego punktu konstrukcji (oś-z).

In this frame it is also possible to enter optional information about the structure location:

- **terrain elevation** - an altitude column for the layers is displayed in the table after input of terrain elevation
- **GPS coordinates** - it is possible to show a structure on the Google Maps using "**View on map**" button after input of coordinates.

Program umożliwia obniżenie lub podniesienie górnego punktu konstrukcji w oknie dialogowym "**Zmiana rzędnej terenu**", a zdefiniowane warstwy będą wówczas przesunięte, jednocześnie zachowując swoją miąższość. Funkcja ta jest istotna podczas kopiowania profilu z programu "**Teren**".



Ramka "Profil"

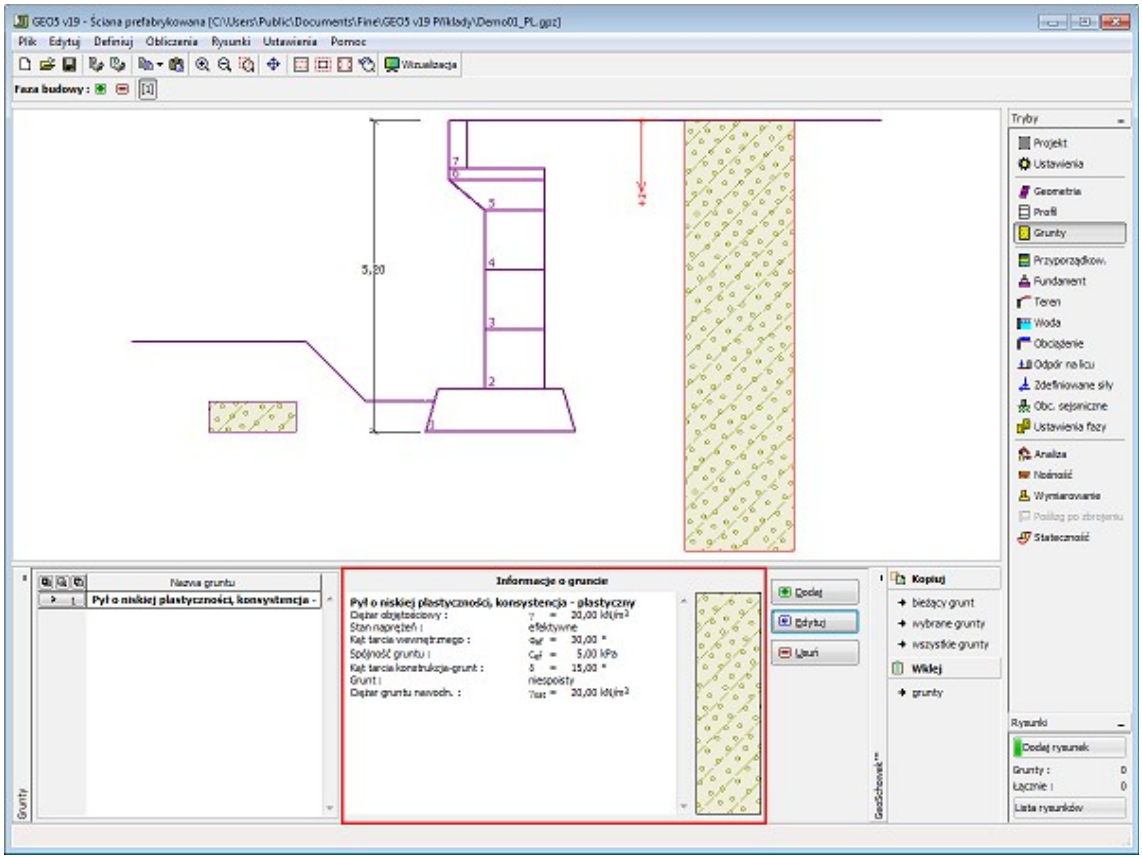
Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie (edycja) gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Dane podstawowe", "Spoczynkowe parcie gruntu" oraz "Naprężenie geostatyczne, wypór".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

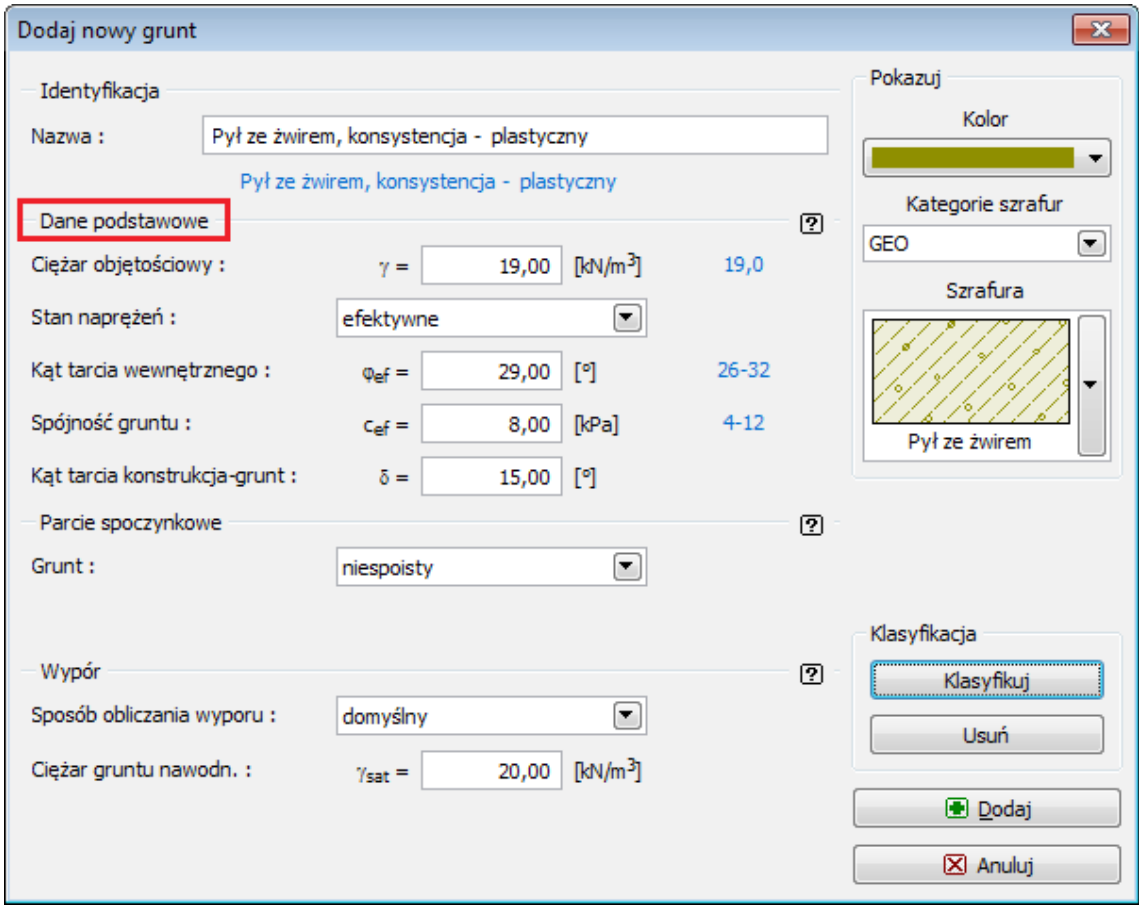
Ta część okna dialogowego służy do definiowania podstawowych parametrów gruntów - **ciężaru objętościowego, kąta tarcia wewnętrznego** oraz **spójności**. Wartości te określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub in-situ dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wartości parametrów gruntów określone na podstawie doświadczenia oraz literatury światowej. Parametry skał nie zostały zawarte w tej bazie, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym.

Istnieje możliwość definiowania wymiennie - parametrów **efektywnych** lub **uogólnionych** kąta tarcia wewnętrznego i spójności w zależności od wybranego ustawienia w liście rozwijanej "**Stan naprężeń**". Decyzja o zastosowaniu parametrów efektywnych czy uogólnionych zależy w szczególności od rodzaju gruntu, rodzaju obciążenia, czasu wykorzystania konstrukcji i warunków wodnych.

W dalszej kolejności, w przypadku naprężeń efektywnych definiuje się kąt tarcia pomiędzy konstrukcją i gruntem, który zależy zarówno od rodzaju gruntu jak i rodzaju konstrukcji. Szacunkowe wartości tego parametru podano w tabeli wartości zalecanych.

W przypadku naprężeń całkowitych natomiast należy zdefiniować adhezję gruntu do lica konstrukcji a.

Podstawy teoretyczne dotyczące omawianego zaganienia opisano w rozdziale "Parcie gruntu".

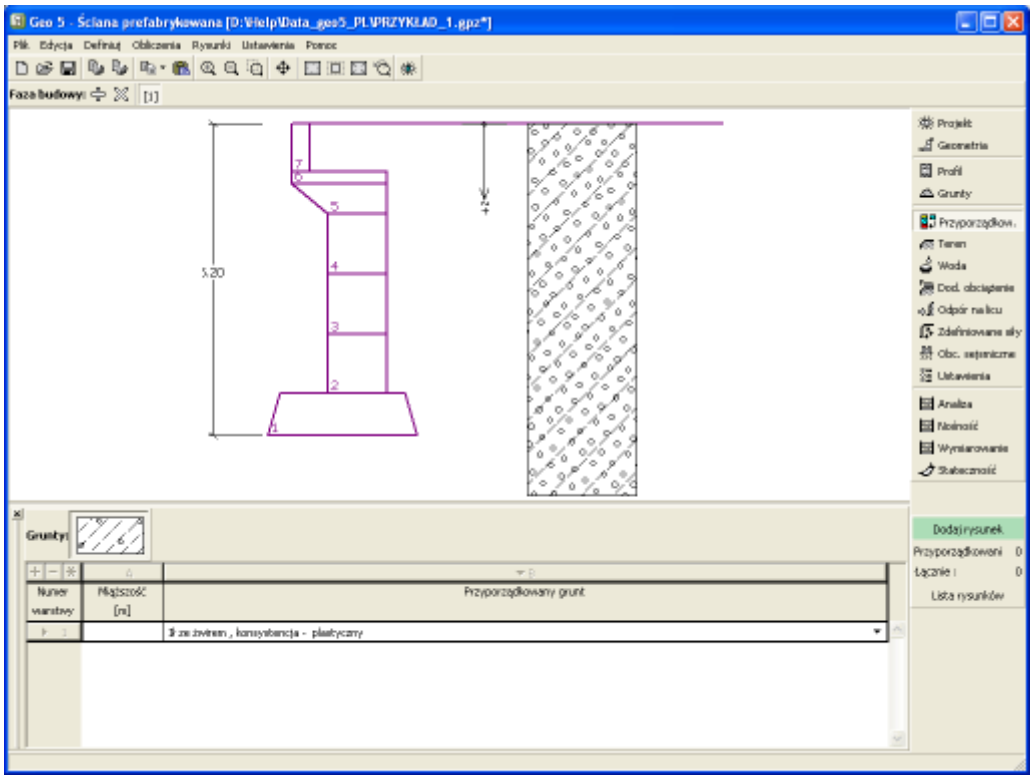


Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów"**.**



Ramka "Przyporządkowanie"

Fundament

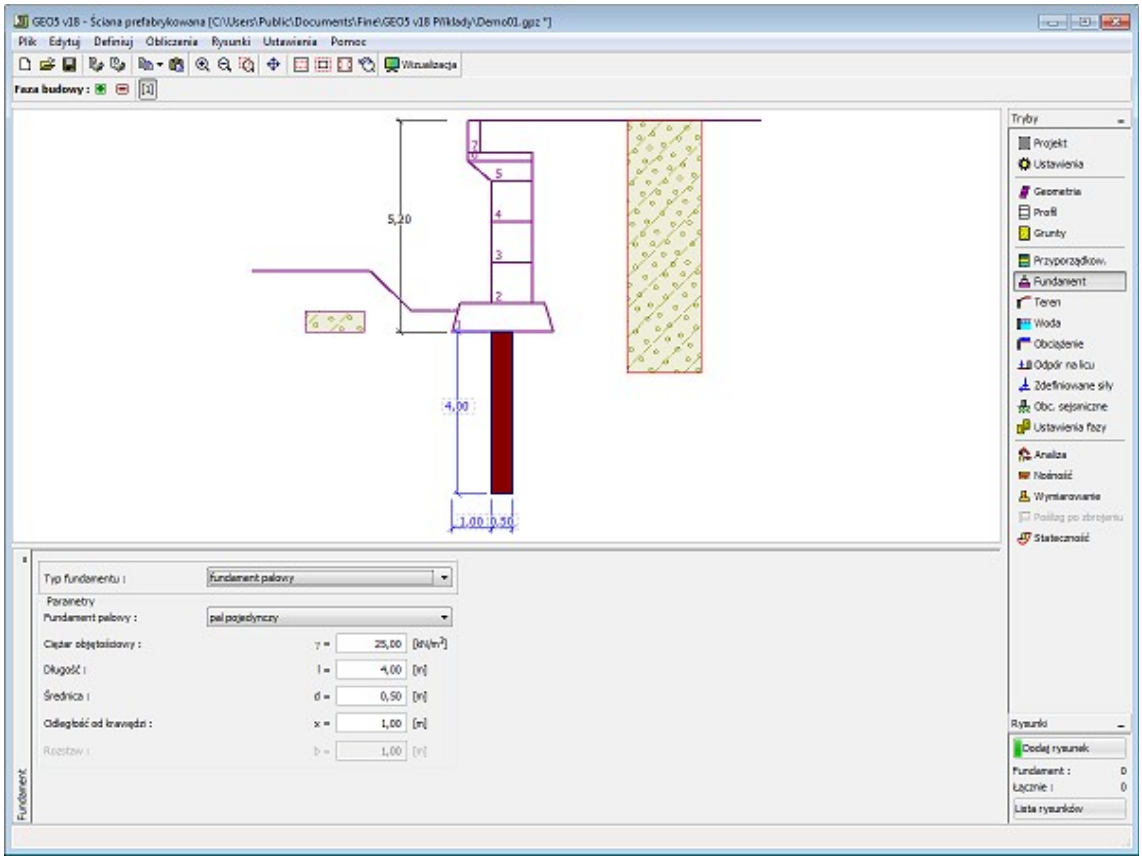
Ramka "**Fundament**" służy do definiowania rodzaju fundamentu ściany (konstrukcji oporowej). Następujące rodzaje fundamentów są dostępne w programie:

- **grunt - z profilu geologicznego** - w tym przypadku ściana posadowiona jest na gruncie przyporządkowanym z profilu geologicznego zdefiniowanego w ramce "Profil".
- **grunt - definiuj parametry kontaktu** - przy wybraniu tej opcji definiowane są parametry kontaktu pomiędzy podłożem fundamentowym a fundamentem. Opcja "**definiuj kąt tarcia fundament-grunt**" wymaga zdefiniowania kąta tarcia ψ [°] pomiędzy fundamentem a gruntem. Opcja "**definiuj współczynnik tarcia**" wymaga natomiast zdefiniowania współczynnika tarcia μ [-]. W obydwu przypadkach natomiast niezbędne jest określenie spójności a [kPa] pomiędzy podstawą fundamentu a gruntem.
- **ława fundamentowa** - materiał ławy fundamentowej może być zdefiniowany w postaci **gruntu** (zdefiniowanego w ramce "Grunty") lub **betonu** - wybór tego typu fundamentu wymaga zdefiniowania **ciężaru objętościowego materiału fundamentu** γ oraz **parametrów kontaktu konstrukcji z gruntem** (współczynnik tarcia f, spójność c, dodatkowy odpór F).
- **fundament palowy** - ściana może być posadowiona odpowiednio na pojedynczym rzędzie pali lub dwóch rzędach pali.

Ławę fundamentową lub **fundament palowy** można zastosować w obliczeniach jedynie w przypadku gdy w zakładce "Geometria" wybrany jest kształt konstrukcji ściany oporowej z **płaską podstawą fundamentu bez odsadzki**. Geometria fundamentu ściany (ława fundamentowa, fundament palowy) może być modyfikowana w ramce poprzez wprowadzanie właściwych wartości w odpowiednich polach definiowania lub na ekranie z wykorzystaniem

aktywnych wymiarów.

Dane wprowadzone w tej ramce wpływają na przebieg analizy ściany (sprawdzenie na przesuw) a także w dalszej kolejności obliczenie nośności podłoża fundamentowego.

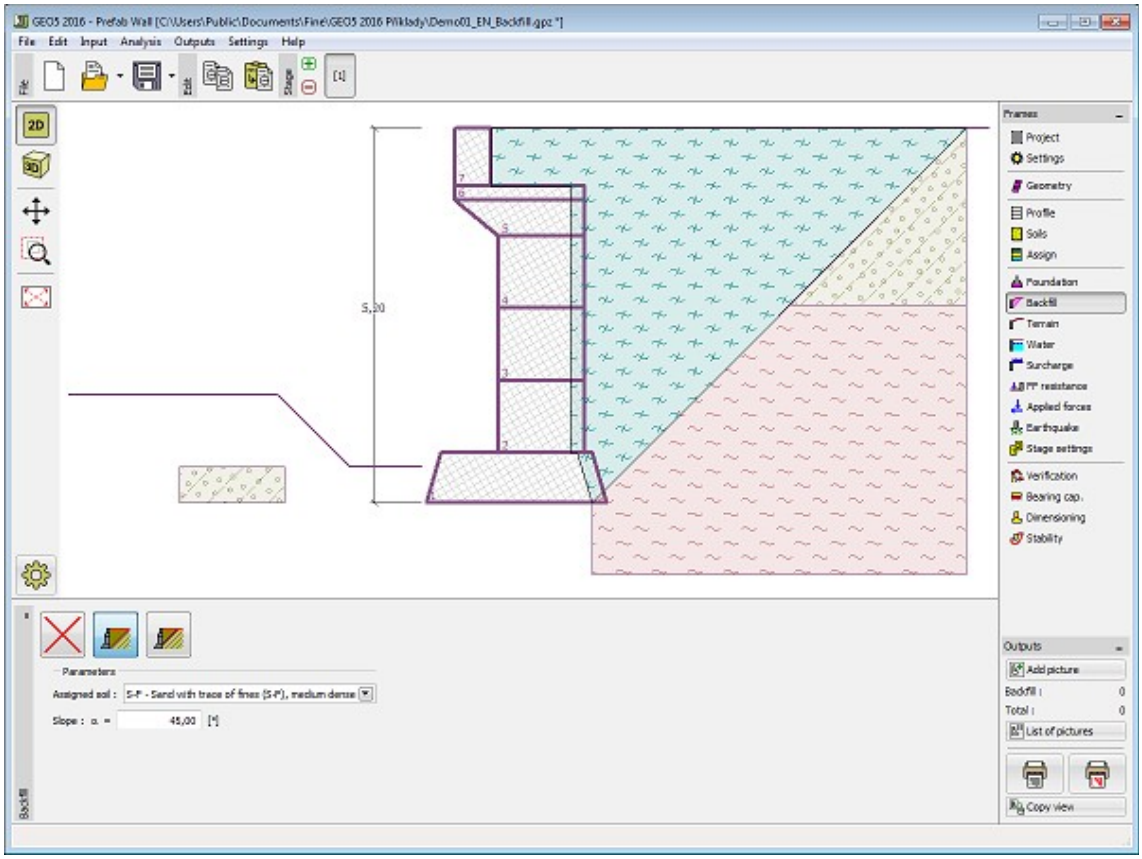


Ramka "Fundament"

Nasyp za konstrukcją

Ramka "**Nasyp**" pozwala na wprowadzenie nasypu gruntowego za konstrukcją.

Grunt przypisany do nasypu należy wybrać z listy rozwijanej w ramce (parametry gruntu definiuje się w ramce "Grunty"). Ponadto, należy zdefiniować kąt nachylenia nasypu za konstrukcją.



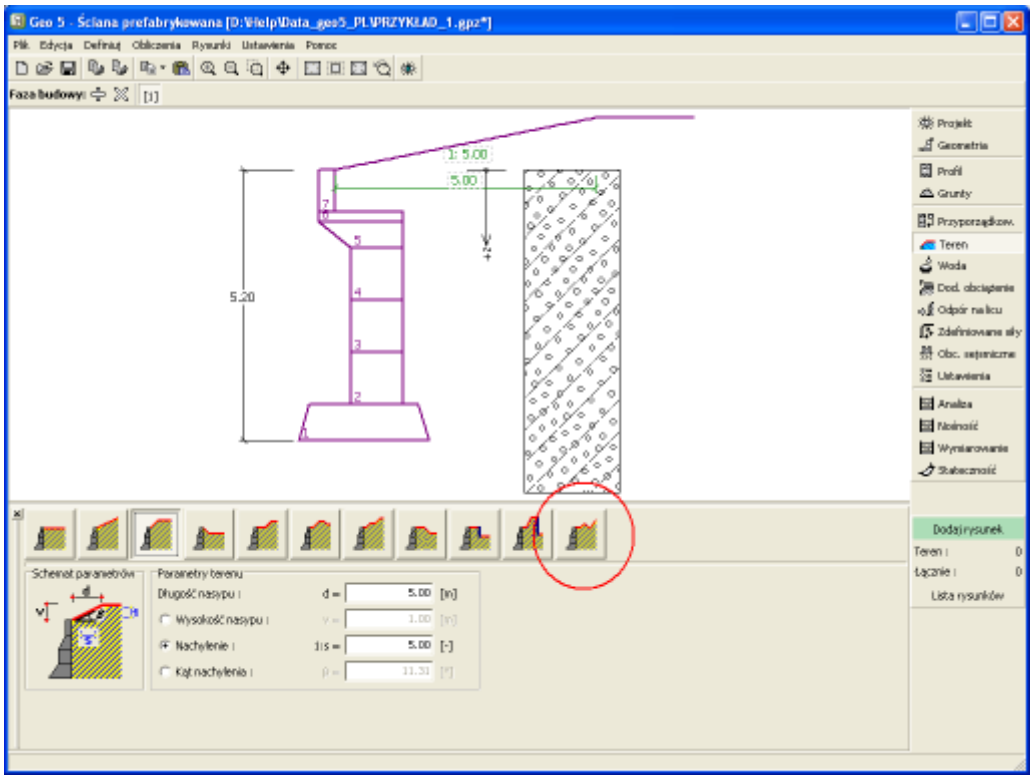
Ramka "Nasyp"

Teren

Ramka "**Teren**" umożliwia określenie ukształtowania terenu za konstrukcją. Wyboru kształtu terenu dokonuje się spośród kształtów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany kształt terenu z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Wymiary wybranego schematu terenu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego kształtu terenu. W takim przypadku, pojawiająca się ramka zawiera tabelę z listą punktów terenu. Pierwszy punkt współrzędnych $[0,0]$ zbiega się z górnym punktem konstrukcji.

Metody analizy parcia gruntu w przypadku terenu pochyłego zostały opisane w teoretycznej części pomocy "Rozkład parć gruntu dla terenu pochyłego"**.**



Ramka "Teren"

Woda

Ramka "**Woda**" umożliwia określenie rodzaju wody gruntowej. Wyboru schematu obciążenia wodą dokonuje się spośród schematów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany schemat z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Parametry (h_1, h_2...) wybranego schematu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

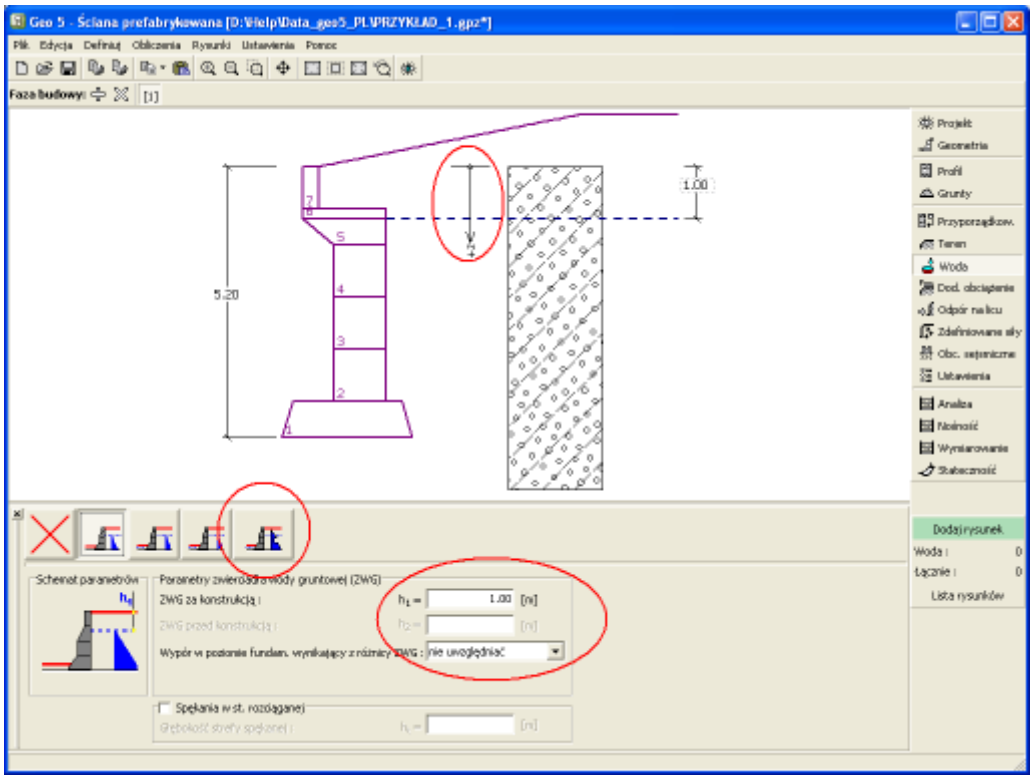
Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego ciśnienia porowego wody w gruncie zarówno przed jak i za konstrukcją. W takim przypadku, pojawiają się dwie zakładki z tabelami "**Przed konstrukcją**" i "**Za konstrukcją**". Tabele te wypełnia się wartościami ciśnienia porowego odpowiednio przed lub za konstrukcją na głębokości "z" (oś-z).

Lista rozwijana w ramce służy do określenia, czy i w jaki sposób uwzględniany jest wypór wody pod fundamentem wynikający z różnicy poziomów ZWG. Wypór może być uwzględniany jako liniowy lub paraboliczny. Przy sprawdzeniu ściany, wypór wody pod fundamentem wynikający z różnicy poziomów ZWG uwzględniany jest w postaci dodatkowej siły.

W programie istnieje również możliwość zdefiniowania zwierciadła wody gruntowej **ponad konstrukcją** lub ponad profilem gruntu - w takim przypadku, poziom wody wprowadza się za pomocą wartości ujemnej.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem wpływu wody zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ wody".

Ponadto, program umożliwia określenie głębokości rys rozciąganych wypełnionych wodą w gruncie za konstrukcją.



Ramka "Woda"

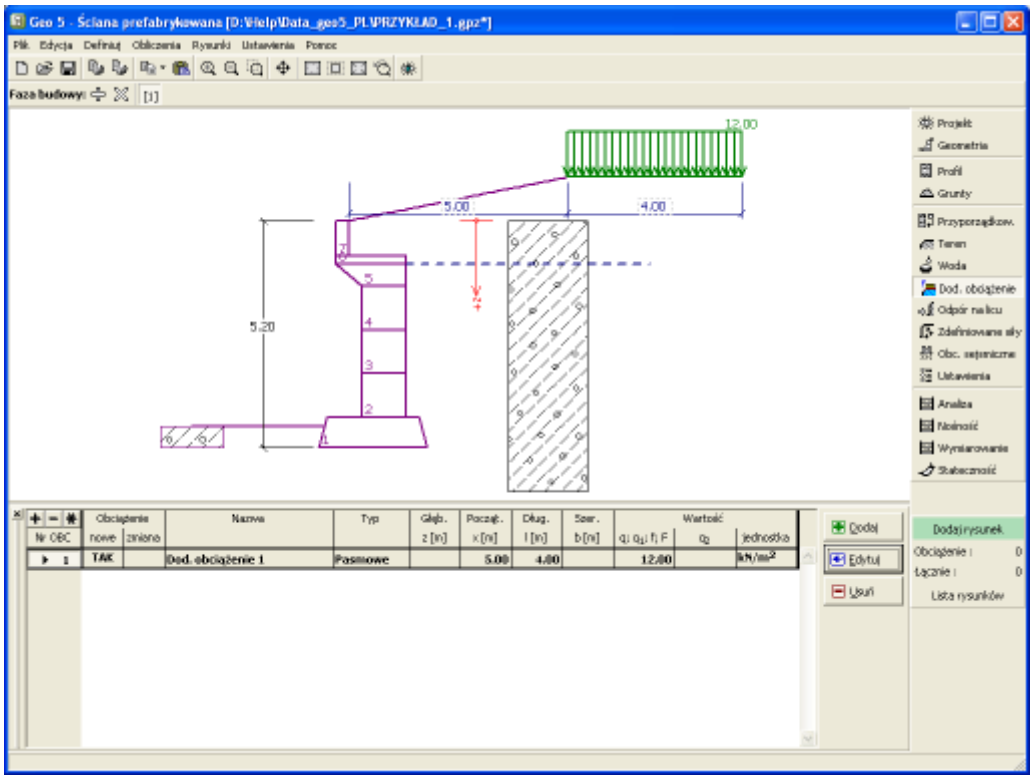
Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych obciążeń. Dodawanie (edytowanie) obciążenia wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Zdefiniowane obciążenia można edytować na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów lub aktywnych obiektów.

Przy definiowaniu obciążenia na pewnej głębokości wprowadzana jest rzędna z, mierzona od górnego punktu konstrukcji (kierunek dodatni w dół). W przypadku, gdy obciążenie znajduje się poza terenem, program wyświetla komunikat błędu przed rozpoczęciem obliczeń.

W programie istnieje możliwość zdefiniowania obciążeń **stałych, zmiennych** lub **wyjątkowych**. Wybór rodzaju obciążenia wpływa na dobór stosownego współczynnika obliczeniowego do przemnożenia wynikowych oddziaływań. Obciążenia wyjątkowe oddziałujące w sposób korzystny nie są uwzględniane w obliczeniach.

Obliczenia parć gruntu wywołanych obciążeniami zewnętrznymi zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążenia".



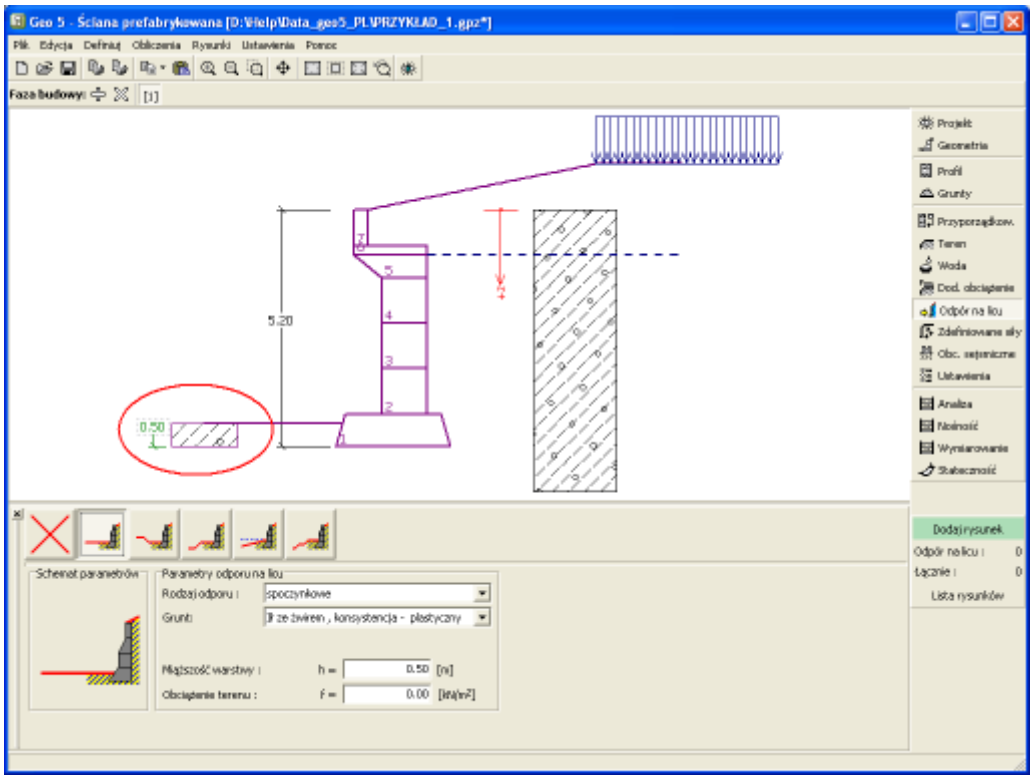
Ramka "Obciążenie"

Odpór na licu

Ramka "**Odpór na licu**" umożliwia określenie ukształtowania terenu oraz parametrów odporu na licu konstrukcji poprzez wybór ikony. Wybrany kształt z podpowiedziami graficznymi ("**Schemat parametrów**") wprowadzonych wartości wyświetlany jest w lewej części ramki. Kształt terenu można edytować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól lub na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Lista rozwijana w ramce "**Odpór na licu**" pozwala wybrać rodzaj odporu oraz grunt (lista rozwijana zawiera grunty wprowadzone w trybie "Grunty"). W ramce tej można również zdefiniować wartość obciążenia terenu przed licem konstrukcji oraz miąższość warstwy ponad najniższym punktem ściany.

Odpór na licu konstrukcji można zdefiniować jako parcie spoczynkowe, parcie bierne bądź zredukowane parcie bierne. Powstała na skutek zredukowanego parcia biernego siła jest określana jako siła wypadkowa parcia biernego pomnożona przez odpowiedni współczynnik, który wynika z rodzaju wybranego zredukowanego parcia biernego.



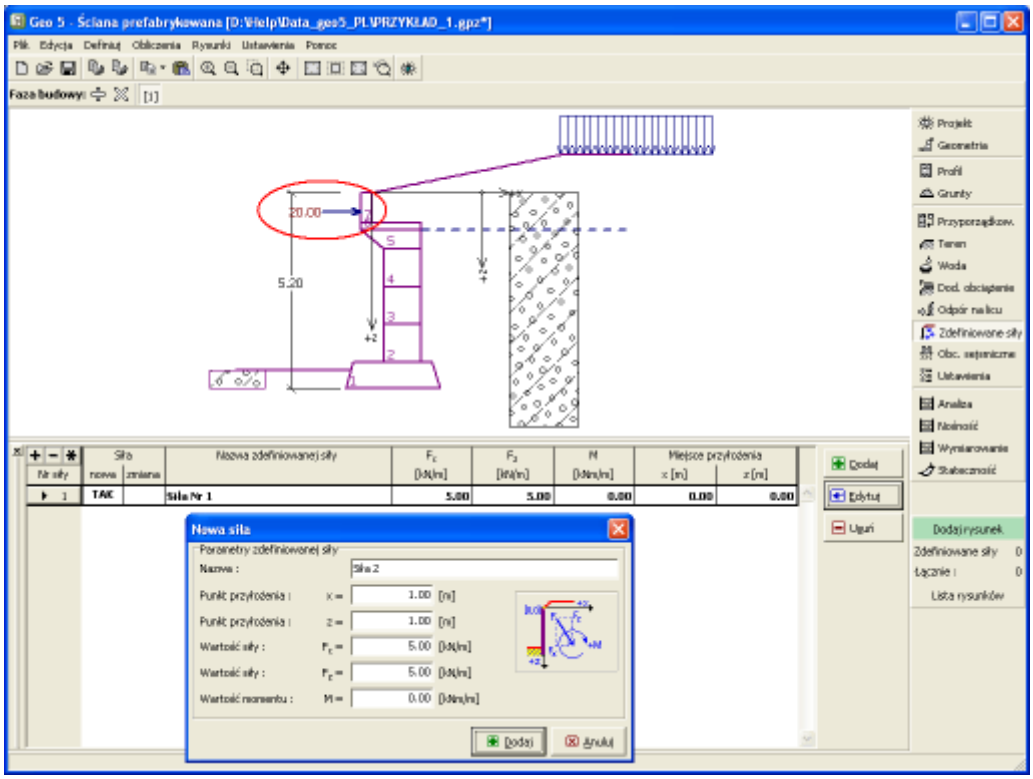
Ramka "Odpór na licu"

Zdefiniowane siły

Ramka "**Zdefiniowane siły**" zawiera tabelę z listą sił działających na konstrukcję. Dodawanie sił odbywa się oknie dialogowym "**Nowa siła**". Zdefiniowane siły można również edytować na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

Zdefiniowane siły reprezentują dodatkowe obciążenia oddziałujące na konstrukcje oporową, ścianę wykopu czy nasyp zbrojony. W ten sposób istniej możliwość modelowania takich elementów jak: obciążenia od bilboardów, ekranów czy barier drogowych. Program nie dostosowuje (nie zmienia) w żaden sposób zdefiniowanych sił w toku obliczeń, za wyjątkiem przemnażania ich przez odpowiednie współczynniki zgodnie z wybranym rodzajem oddziaływania (EN1997, LRFD).

Obciążenia zewnętrzne oddziałujące na naziomie (na powierzchni terenu) należy definiować jako obciążenie.



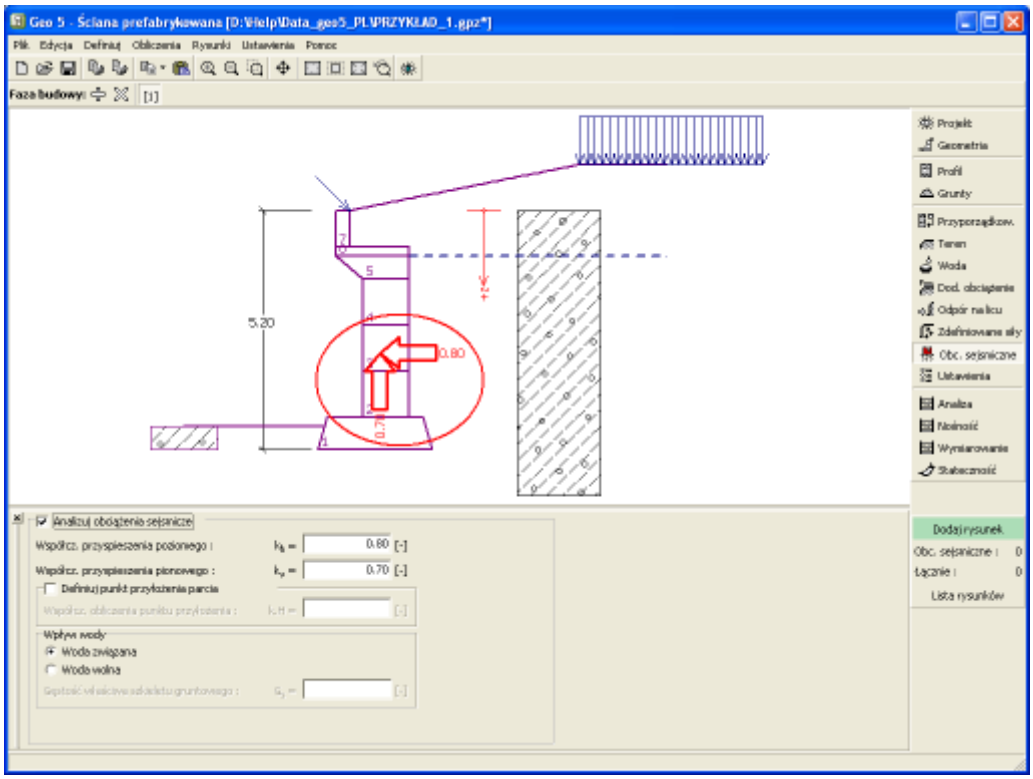
Ramka "Zdefiniowane siły"

Obciążenia sejsmiczne

Ramka "**Obciążenia sejsmiczne**" służy do wprowadzania parametrów obciążeń sejsmicznych. Kierunki skutków obciążeń sejsmicznych są wyświetlane na pulpicie.

Jeśli nie są dostępne wyniki pomiarów współczynniki k_h oraz k_v można wyznaczyć stosując opisane w pomocy podejście z normy EN 1998-5.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem obciążeń sejsmicznych zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążeń sejsmicznych".



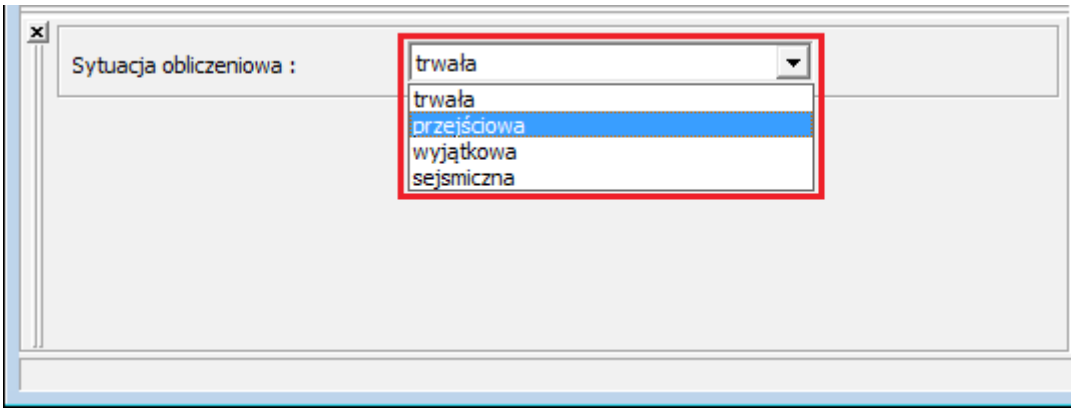
Ramka "Obciążenia sejsmiczne"

Ustawienia fazy

Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących tylko wybranej fazy obliczeniowej.

Wybrana sytuacja obliczeniowa określa współczynniki bezpieczeństwa, które będą zastosowane w obliczeniach danej fazy budowy.

Wygląd ramki zależy od wybranej metody analizy.



Ramka "Ustawienia fazy"

Analiza

Ramka "**Analiza**" wyświetla wyniki analizy stateczności zbocza. Istnieje

możliwość przeprowadzenia dowolnej liczby analiz w obrębie jednego zadania.

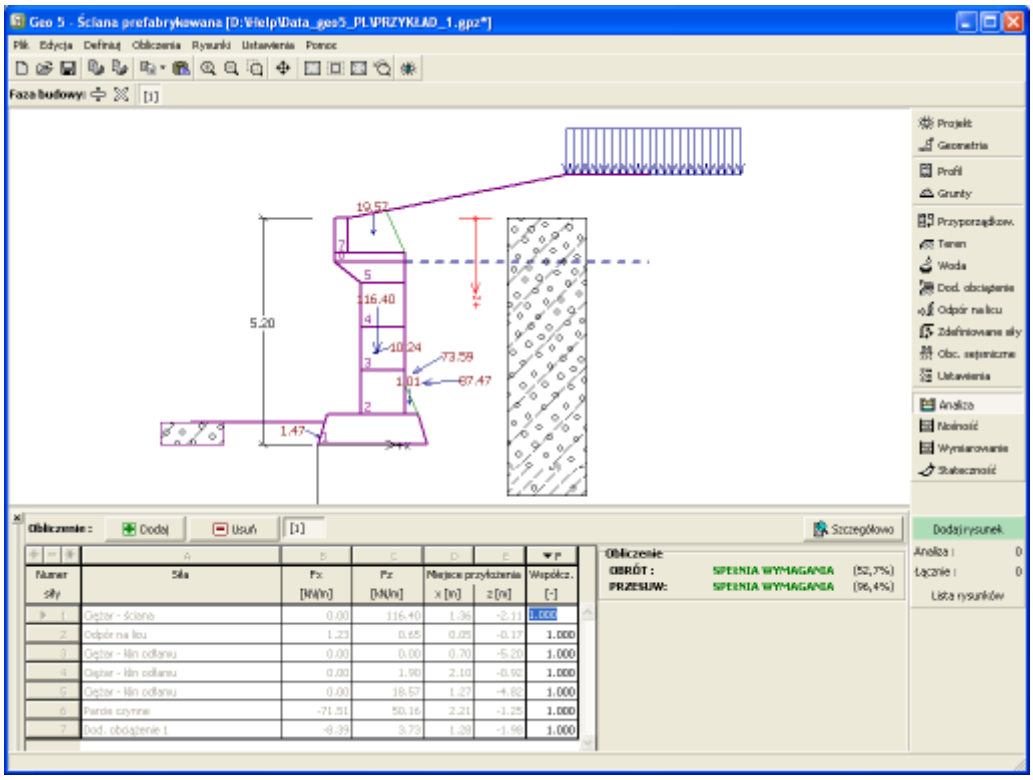
Wygląd ramki jest dostosowany do wybranej metodyki obliczeń.

- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa, lub zgodnie z teorią stanów granicznych - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia modyfikację współczynników obliczeniowych, przykładanych do wyznaczonych sił. Wartości tych sił są wyświetlane na ekranie i są automatycznie odświeżane przy każdej zmianie danych projektu lub ustawień w tablicy.
- Obliczenia według EN 1997 - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia zdefiniowanie czy obciążenie oddziałujące na konstrukcje jest uwzględniane jako drugorzędne. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w rozdziale "Kombinacje obciążeń".
- Obliczenia według LRFD - w tym przypadku ostatnia kolumna nie jest wyświetlana.

Procedura analizy ściany została opisana w teoretycznej części pomocy.

Wyniki analizy wyświetlane są na pulpicie i natychmiast aktualizowane dla dowolnej zmiany wprowadzonych danych bądź ustawień. Prawa część ramki przedstawia wyniki analizy ściany ze względu na **obrót i przesuw**. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które zawiera szczegółowe zestawienie wyników analizy.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Analiza"

Nośność

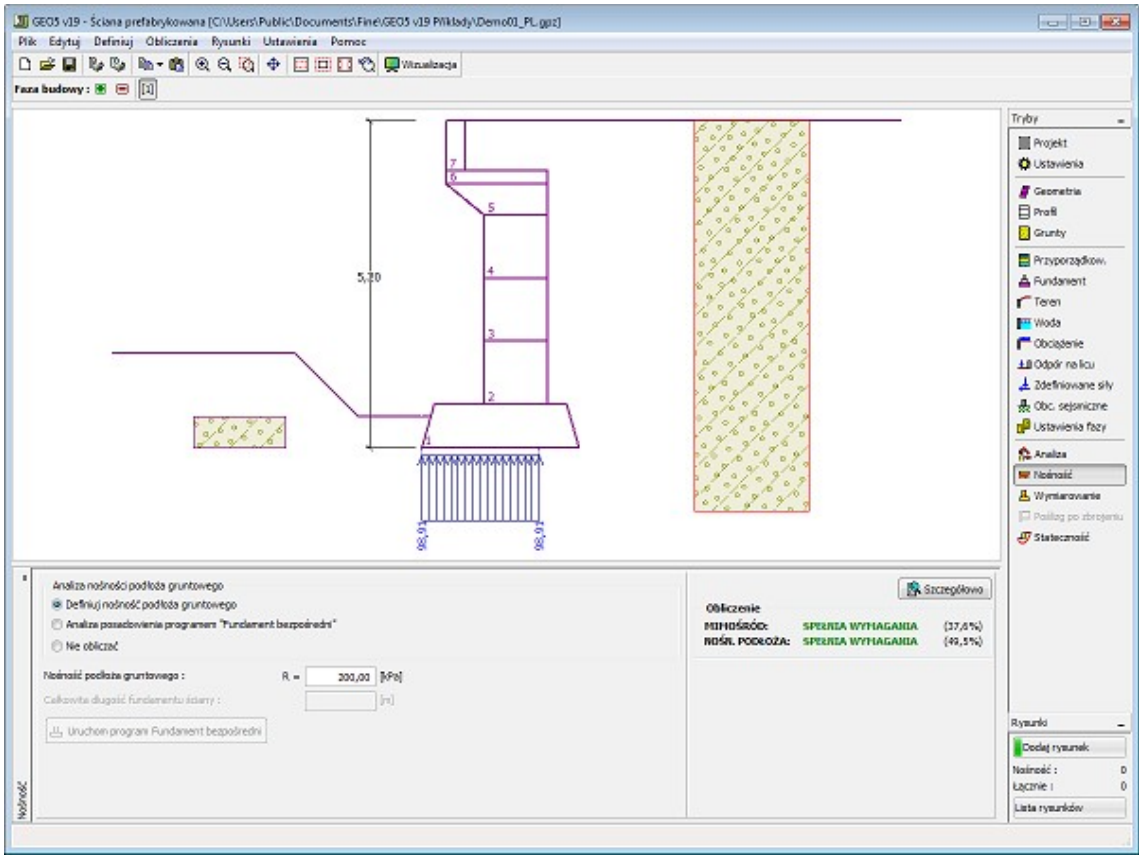
Ramka "**Nośność**" wyświetla wyniki analizy nośności podłoża gruntowego. Naprężenie w podstawie fundamentu (założono stałe) uzyskuje się na podstawie wszystkich obliczeń przeprowadzonych w ramce "Analiza". Program "**Fundament bezpośredni**", "**Spread footing CPT**", "**Pile**" and "**Pile group**" traktuje wszystkie obliczenia jako przypadki obciążeń. In the program "**Pile CPT**", just normal load is used.

Ramka "**Nośność**" zawiera następujące opcje analizy:

- **Definiuj nośność podłoża gruntowego** W tym przypadku, nośność podłoża gruntowego definiowana jest przez użytkownika. Wyniki analizy fundamentu ze względu na **mimośród** oraz nośność **podłoża** wyświetlane są w prawej części ramki. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które wyświetla szczegółowe wyniki analizy nośności podłoża gruntowego.
- **Wyznacz nośność podłoża gruntowego programem "Fundament bezpośredni"** Naciśnięcie przycisku "**Uruchom program Fundament bezpośredni**" uruchamia program **"Fundament bezpośredni**", który umożliwia obliczenie nośności gruntu lub osiadanie i obrót fundamentu. Naciśnięcie przycisku "**Zakończ i prześlij dane**" zamyka tryb analizy w programie Fundament bezpośredni - wyniki obliczeń i wszystkie rysunki kopiowane są do programu wyjściowego, tj. "**Ściana prefabrykowana**". Program "**Fundament bezpośredni**" musi być zainstalowany, aby przycisk ten był dostępny. Przy wyborze tej opcji należy zdefiniować całkowitą długość fundamentu ściany.
- **Analyse bearing capacity by program "Spread footing CPT"** The procedure is identical as if calculating soil bearing capacity by the **"Spread footing**" program.
- **Analiza posadowienia programem "Pal"** W tym przypadku, procedura jest jednakowa jak przy wyznaczaniu nośności podłoża gruntowego za pomocą programu **"Fundament bezpośredni"**. Opcja "**Uruchom program Pal**" jest dostępna jedynie w przypadku, gdy ściana ma zdefiniowany (w ramce "Fundament") typ fundamentu jako fundament palowy. Przy wyborze tej opcji konieczne jest zdefiniowanie rozstawu pali s.
- **Analyse bearing capacity by program "Pile CPT"** The procedure is identical as if calculating soil bearing capacity by the "**Pile**" program.
- **Analiza posadowienia programem "Grupa pali"** W tym przypadku, procedura jest jednakowa jak przy wyznaczaniu nośności podłoża gruntowego za pomocą programu "**Fundament bezpośredni**". Opcja "**Uruchom program Grupa pali**" jest dostępna jedynie w przypadku, gdy ściana ma zdefiniowany (w ramce "Fundament") typ fundamentu jako fundament palowy z liczbą pali większą niż jeden. W tej sytuacji nalezy zdefiniować: rozstaw pali s, całkowitą liczbę rzędów pali n oraz długość obciążenia l.
- **Nie obliczaj (fundament na palach)** Nośność podłoża gruntowego nie jest obliczana.

Program umożliwia określenie kształtu naprężenia kontaktowego w podstawie fundamentu.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Nośność"

Wymiarowanie

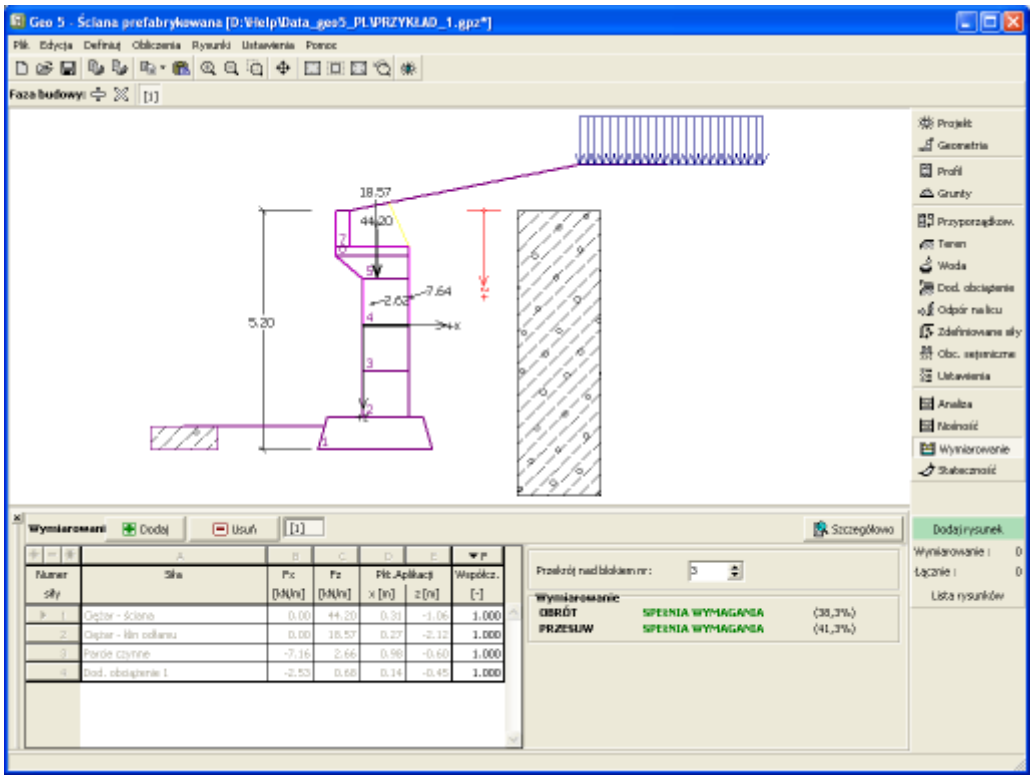
Ramka "**Wymiarowanie**" umożliwia sprawdzenie połączeń pomiędzy poszczególnymi blokami ściany. Pole "**Przekrój nad blokiem nr**" służy do określenia przekroju, który zostanie poddany weryfikacji. Sprawdzenie na **obrót** i **przesuw** wykonuje się identycznie jak dla całej ściany - tarcie pomiędzy blokami materiału oraz spójność materiału, z którego wykonane są bloki definiuje się w ramce "Geometria".

Wygląd ramki jest dostosowany do wybranej metodyki obliczeń.

- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa, lub zgodnie z teorią stanów granicznych - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia modyfikację współczynników obliczeniowych, przykładanych do wyznaczonych sił. Wartości tych sił są wyświetlane na ekranie i są automatycznie odświeżane przy każdej zmianie danych projektu lub ustawień w tablicy.
- Obliczenia według EN 1997 - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia zdefiniowanie czy obciążenie oddziałujące na konstrukcje jest uwzględniane jako drugorzędne. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w rozdziale "Kombinacje obciążeń".
- Obliczenia według LRFD - w tym przypadku pstatnia kolumna nie jest wyświetlana.

Istnieje możliwość przeprowadzenia wielu obliczeń dla różnych przekrojów. Można również określić różne współczynniki obliczeniowe dla poszczególnych sił. Wyniki analizy (wyznaczone siły) wyświetlane są na pulpicie i natychmiast aktualizowane dla dowolnej zmiany wprowadzonych danych bądź ustawień. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które prezentuje szczegółowe wyniki wymiarowania.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Wymiarowanie"

Poślizg po zbrojeniu

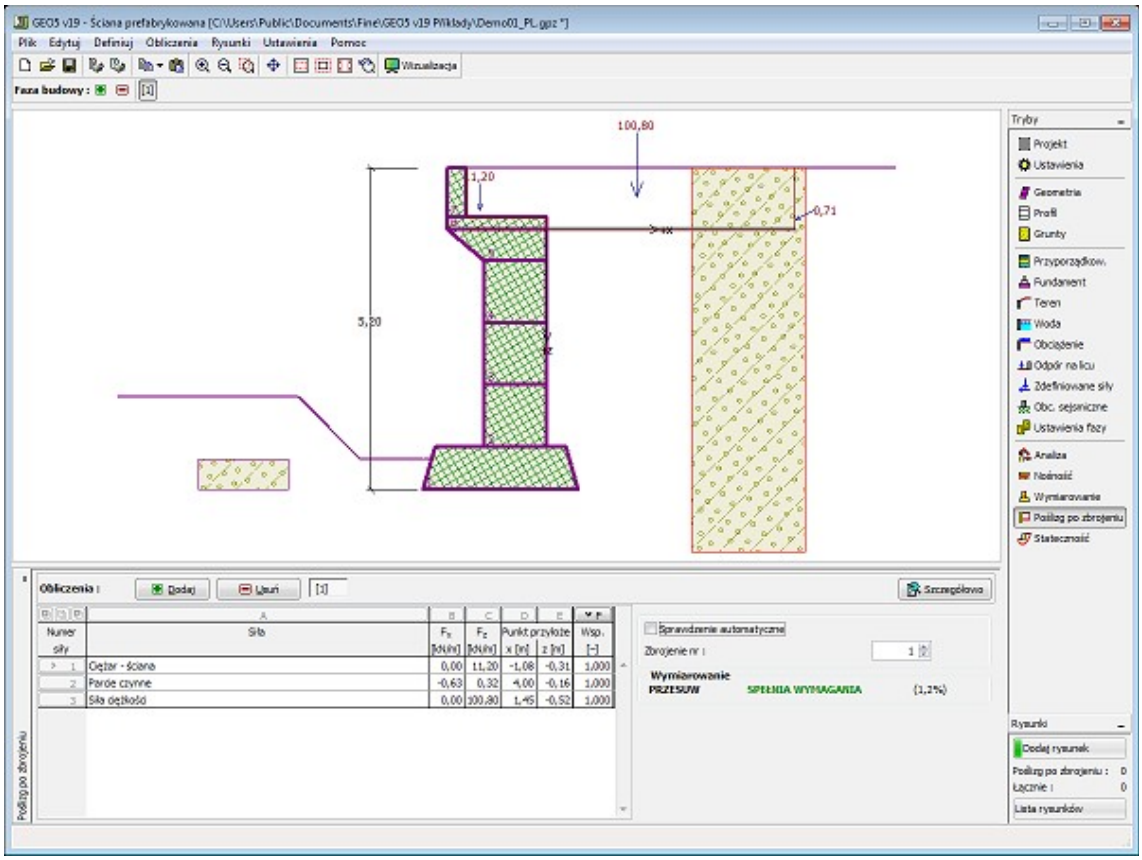
Ramka "**Poślizg po zbrojeniu**" służy do sprawdzenia stanu granicznego na przesuw (poslizg) po zbrojeniu - jest więc ona dostępna tylko w tych fazach budowy, w których zdefiniowane jest zbrojenie.

Należy dokonać wybor numeru zbrojenia z listy rozwijanej - pojawią się wówczas na pulpicie siły uwzględniane w obliczeniach oraz rysowana jest bryła poślizgu. Wyznaczone siły pokazane są w tabelę.

Istnieje możliwość przeprowadzenia dowolnej liczby obliczeń sprawdzających dla kolejnych poziomów zbrojenia. Można również określić różne współczynniki obliczeniowe dla poszczególnych sił. Wyniki analizy (wyznaczone siły) wyświetlane są na pulpicie i natychmiast aktualizowane dla dowolnej zmiany wprowadzonych danych bądź ustawień. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które prezentuje szczegółowe wyniki wymiarowania.

Metoda weryfikacji zależna jest od wyboru dokonanego w zakładce "Konstrukcje oporowe" - obliczenia prowadzone są z wykorzystaniem ogólnego **współczynnika bezpieczeństwa** lub według **teorii stanów granicznych**. Zastosowane rozwiązania omówiono szczegółowo w części teoretycznej pomocy w rozdziale "Stateczność wewnętrzna".

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".

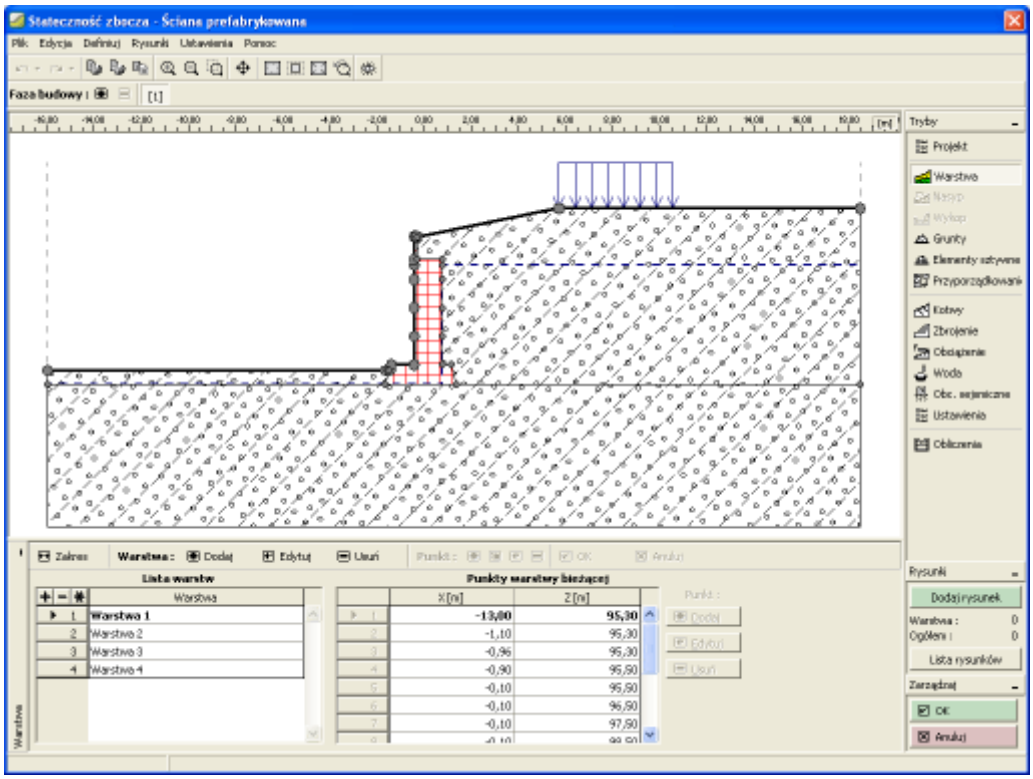


Ramka "Poślizg po zbrojeniu"

Stateczność

Naciśnięcie przycisku "**Stateczność**" uruchamia program "**Stateczność zbocza**". Program ten umożliwia sprawdzenie ogólnej stateczności analizowanej konstrukcji. Przycisk jest dostępny, jeżeli program "**Stateczność zbocza**" został zainstalowany.

Po zakończeniu obliczeń stateczności w programie Stateczność zbocza należy kliknąć przycisk "**Zakończ i prześlij dane**" aby opuścić program i przekazać wyniki obliczeń do programu "**Ściana prefabrykowana**". Wszystkie operacje (dane, obliczenia, dodane rysunki) przeprowadzone w programie Stateczność zbocza będą dostępne w dokumentacji wynikowej projektu w programie "**Ściana prefabrykowana**".



Ramka "Stateczność"

Program Mur oporowy

Program ten służy do analizy murów oporowych z cegły na podstawie różnorodnych norm.

Pomoc w programie "Mur oporowy" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

  Projekt | Ustawienia | Geometria | Typy bloków | Materiał | Profil | Grunty | Przyporządkowanie | Fundament | Nasyp za konstrukcją | Teren | Woda | Obciążenie | Opór na licu | Zdefiniowane siły | Obciążenia sejsmiczne | Kotwienie fundamentu | Ustawienia fazy | Analiza | Nośność | Wymiarowanie | Stateczność

- Normy i metody obliczeniowe

- Teoria obliczeniowa do programu "**Mur oporowy**":

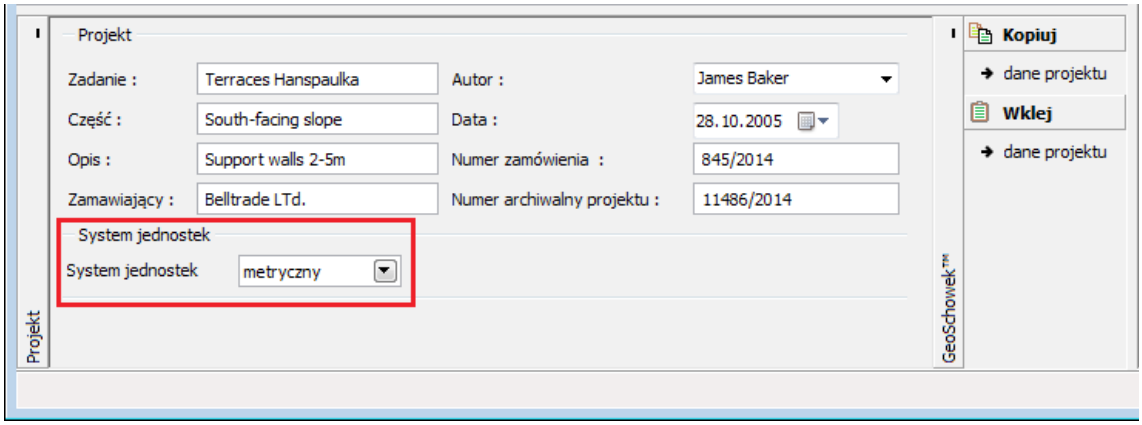
  Naprężenia w gruncie | Parcia gruntu | Analiza Ścian | Analiza nośności fundamentu | Wymiarowanie konstrukcji betonowych

- Dane wyjściowe
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

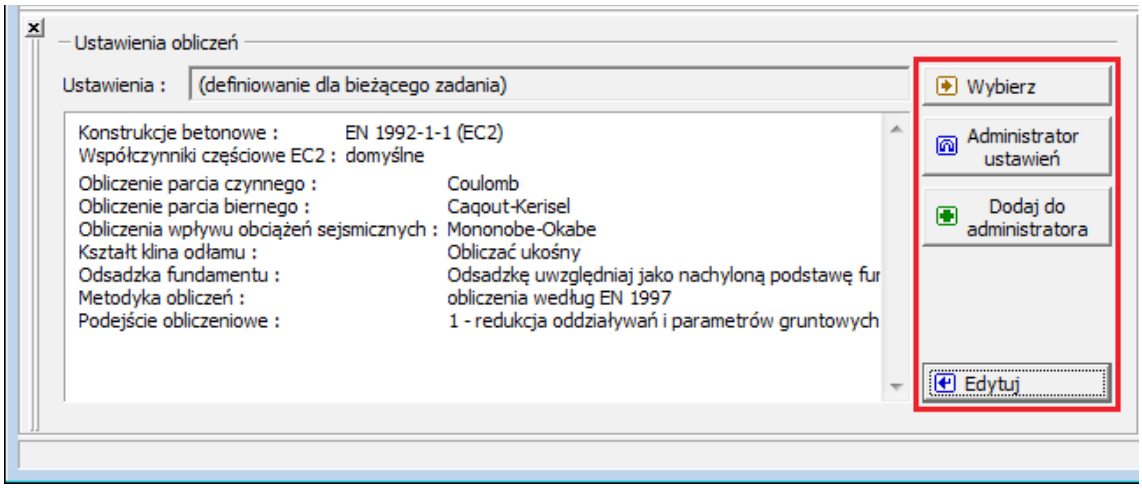
Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych

użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładkach "Materiały i normy" oraz "Konstrukcje oporowe".



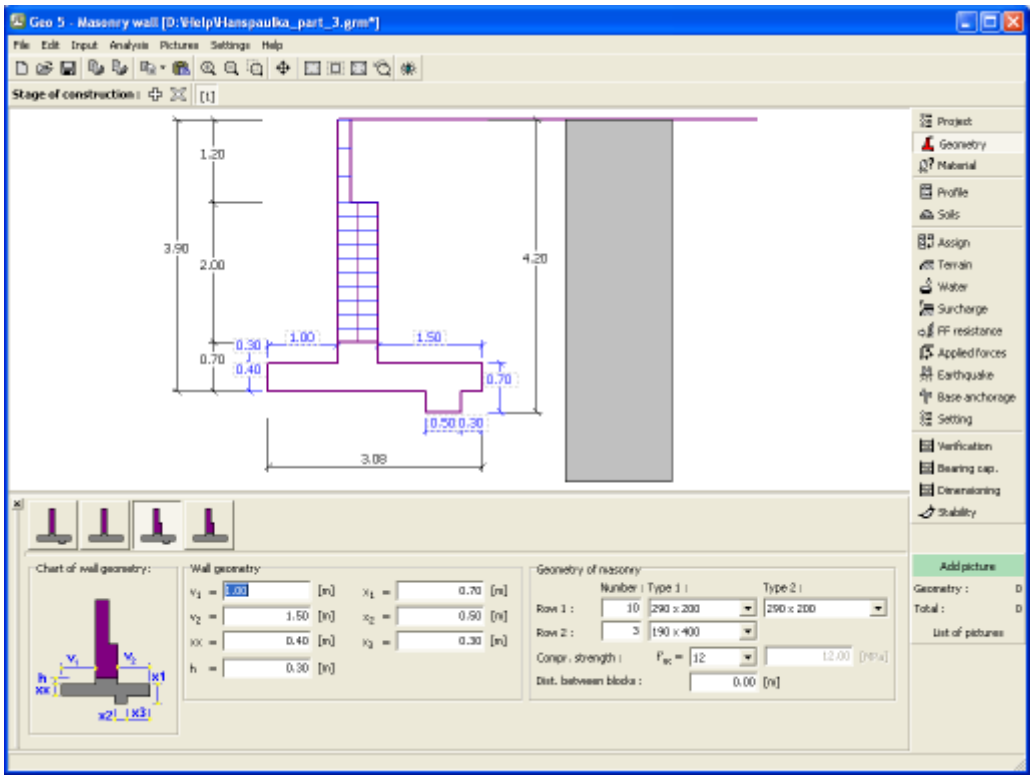
Ramka "Ustawienia"

Geometria

Ramka "**Geometria**" umożliwia wybranie kształtu ściany poprzez wybór ikony. Wybrany kształt z podpowiedzią graficzną "**Schemat geometrii ściany**" wyświetlany jest w lewej części ramki. Kształt ściany można modyfikować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól danych bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

W odniesieniu do zdefiniowanej geometrii ściany, w prawej części ramki "**Geometria i materiał muru**" określa się liczbę oraz wymiary bloków (elementów) muru, a także jeśli konieczne - grubość pionowej spoiny między blokami. Dodatkowo należy również zdefiniować wytrzymałości na ściskanie i ścinanie muru, które są podstawowymi parametrami wejściowymi do sprawdzenia nośności muru zbrojonego (według EN 1996-1-1 oraz AS 3700).

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.



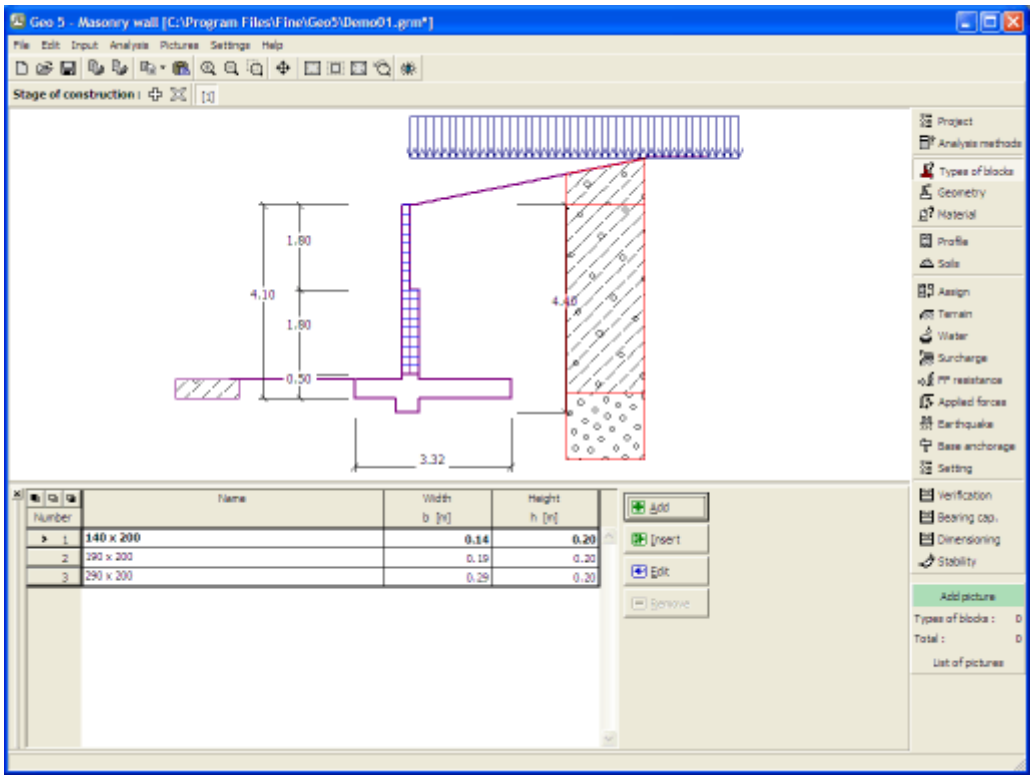
Ramka "Geometria"

Typy bloków

Ramka "**Typy bloków**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych bloków. Dodawanie (edycję) bloków wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowy typ bloku (Edycja typu bloku)**".

Okna te służą definiowanu **geometrii** poszczególnych bloków (szerokości i wysokości).

Program umożliwia dodawanie (wstawianie) nowych bloków pomiędzy wcześniej zdefiniowane bloki konstrukcji. Dodawanie nowego bloku wykonuje się w oknie dialogowym "**Dodany typ bloku**", które jest podobne do okna "**Nowy typ bloku**". Dodawany blok wstawiany jest w tabeli powyżej aktualnie wybranego (zaznaczonego) bloku konstrukcji.



Ramka "Typy bloków"

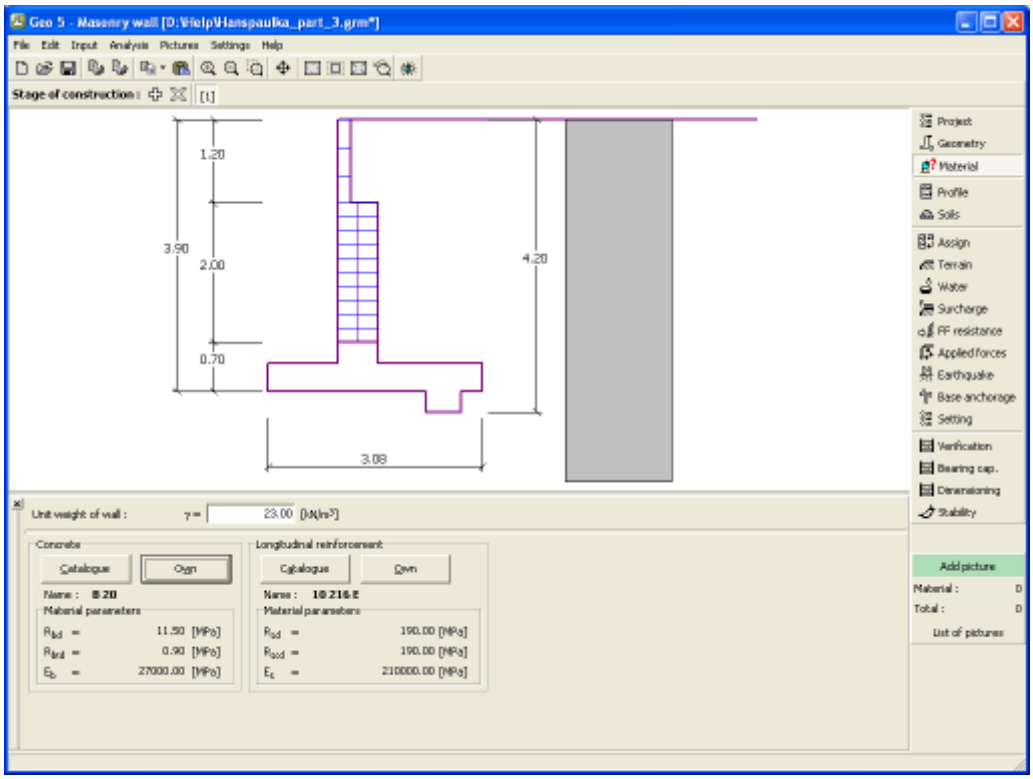
Materiał

Ramka "**Materiał**" umożliwia wybór stosowanych materiałów - betonu oraz stali zbrojeniowej (zbrojenia podłużnego).

W ramce "**Materiał**" dostępne są dwie opcje wyboru rodzaju materiału:

- Przycisk "**Katalog**" otwiera okno dialogowe "**Katalog materiałów**" (dla betonu lub stali zbrojeniowej); z zamieszczonej w nim listy materiałów można dokonać wyboru materiału.
- Przycisk "**Użytkownika**" otwiera okno dialogowe "**Edytor materiału - beton**" (dla betonu) lub okno dialogowe "**Edytor materiału - stal zbrojeniowa**" (dla zbrojenia podłużnego), które umożliwia ręczne określenie parametrów materiału.

Zawartość katalogu zależna jest od wyboru normy do konstrukcji betonowych. Wyboru normy dokonuje się w zakładce "Materiały i normy". Pole danych w górnej części ramki służy do zdefiniowania ciężaru objętościowego ściany.



Ramka "Materiał"

Profil

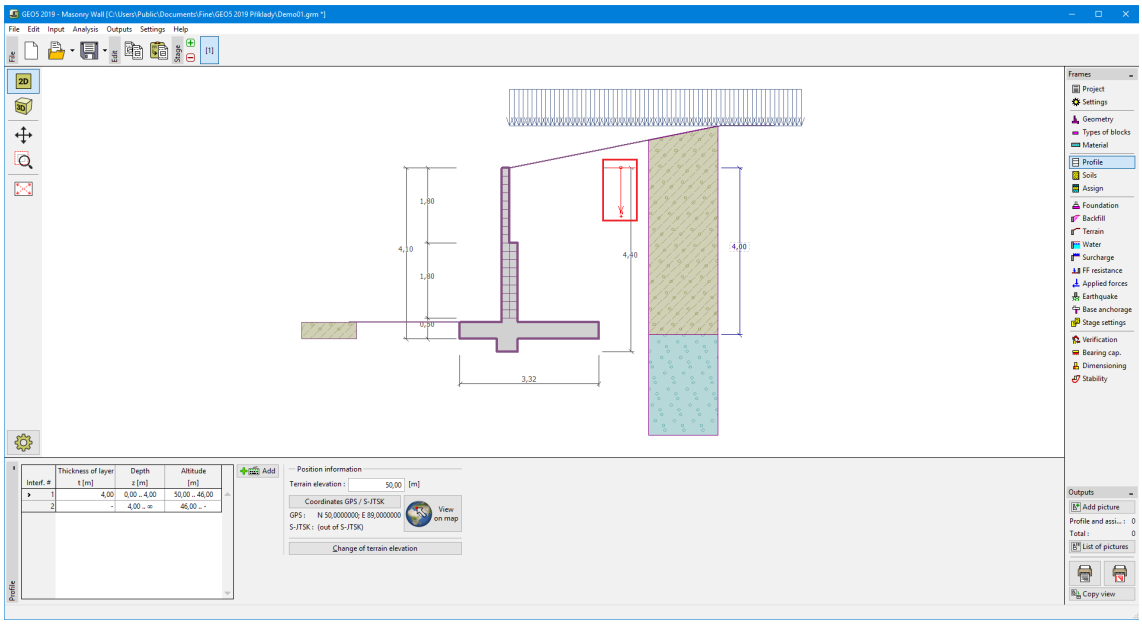
Ramka "**Profil**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych warstw. Po zdefinowaniu poszczególnych warstw można edytować ich miąższość za pomocą aktywnych wymiarów.

Dodawanie warstw wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowa warstwa**". Definiowana jest rzędna z mierzona od górnego punktu konstrukcji (oś-z).

In this frame it is also possible to enter optional information about the structure location:

- **terrain elevation** - an altitude column for the layers is displayed in the table after input of terrain elevation
- **GPS coordinates** - it is possible to show a structure on the Google Maps using "**View on map**" button after input of coordinates.

Program umożliwia obniżenie lub podniesienie górnego punktu konstrukcji w oknie dialogowym "**Zmiana rzędnej terenu**", a zdefiniowane warstwy będą wówczas przesunięte, jednocześnie zachowując swoją miąższość. Funkcja ta jest istotna podczas kopiowania profilu z programu "**Teren**".



Ramka "Profil"

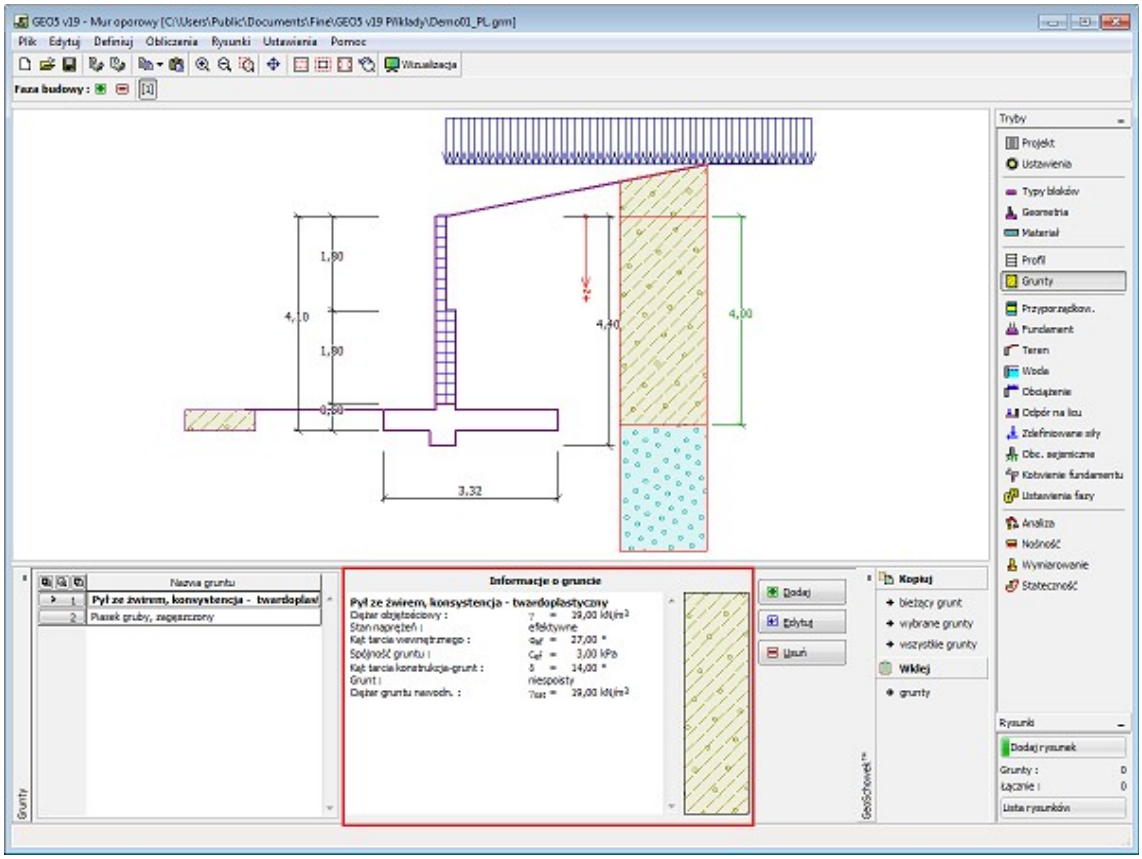
Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie (edycja) gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Dane podstawowe", "Spoczynkowe parcie gruntu" oraz "Naprężenie geostatyczne, wypór".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

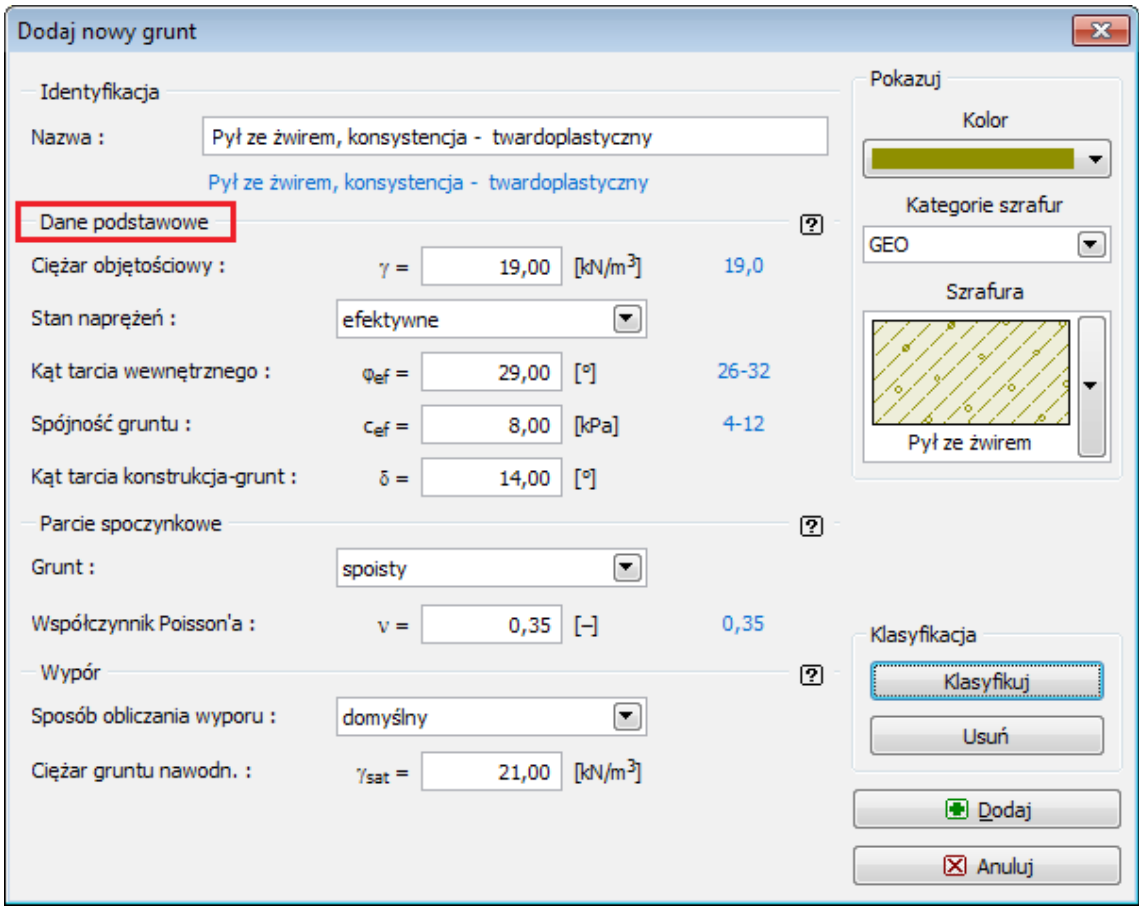
Ta część okna dialogowego służy do definiowania podstawowych parametrów gruntów - **ciężaru objętościowego, kąta tarcia wewnętrznego** oraz **spójności**. Wartości te określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub in-situ dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wartości parametrów gruntów określone na podstawie doświadczenia oraz literatury światowej. Parametry skał nie zostały zawarte w tej bazie, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym.

Istnieje możliwość definiowania wymiennie - parametrów **efektywnych** lub **uogólnionych** kąta tarcia wewnętrznego i spójności w zależności od wybranego ustawienia w liście rozwijanej "**Stan naprężeń**". Decyzja o zastosowaniu parametrów efektywnych czy uogólnionych zależy w szczególności od rodzaju gruntu, rodzaju obciążenia, czasu wykorzystania konstrukcji i warunków wodnych.

W dalszej kolejności, w przypadku naprężeń efektywnych definiuje się kąt tarcia pomiędzy konstrukcją i gruntem, który zależy zarówno od rodzaju gruntu jak i rodzaju konstrukcji. Szacunkowe wartości tego parametru podano w tabeli wartości zalecanych.

W przypadku naprężeń całkowitych natomiast należy zdefiniować adhezję gruntu do lica konstrukcji a.

Podstawy teoretyczne dotyczące omawianego zaganienia opisano w rozdziale "Parcie gruntu".

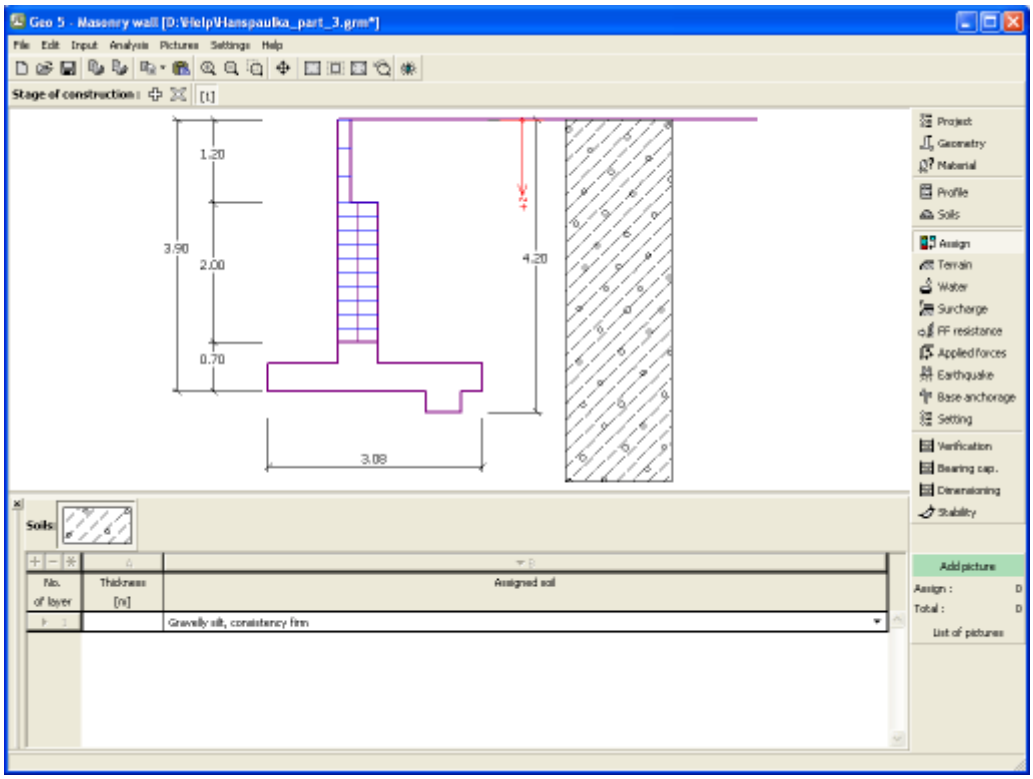


Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów".



Ramka "Przyporządkowanie"

Fundament

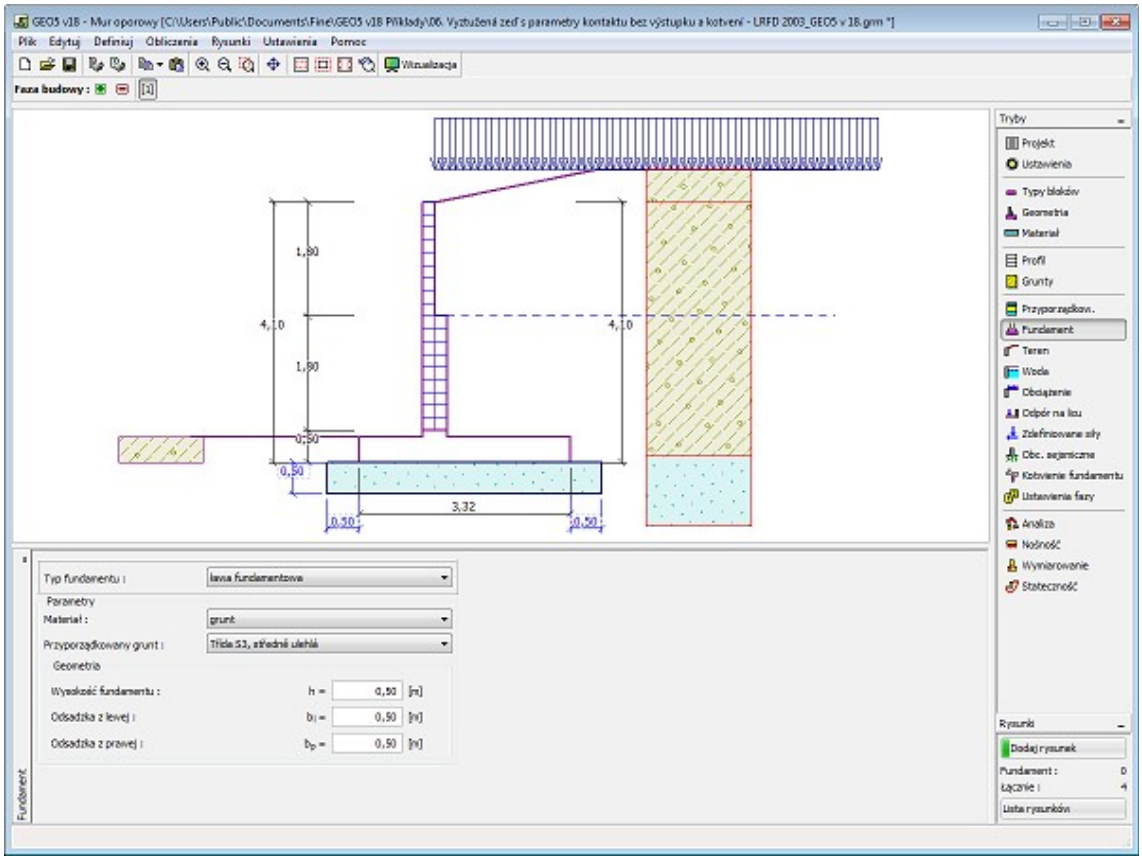
Ramka "**Fundament**" służy do definiowania rodzaju fundamentu ściany (konstrukcji oporowej). Następujące rodzaje fundamentów są dostępne w programie:

- **grunt - z profilu geologicznego** - w tym przypadku ściana posadowiona jest na gruncie przyporządkowanym z profilu geologicznego zdefiniowanego w ramce "Profil".
- **grunt - definiuj parametry kontaktu** - przy wybraniu tej opcji definiowane są parametry kontaktu pomiędzy podłożem fundamentowym a fundamentem. Opcja "**definiuj kąt tarcia fundament-grunt**" wymaga zdefiniowania kąta tarcia ψ [°] pomiędzy fundamentem a gruntem. Opcja "**definiuj współczynnik tarcia**" wymaga natomiast zdefiniowania współczynnika tarcia μ [-]. W obydwu przypadkach natomiast niezbędne jest określenie spójności a [kPa] pomiędzy podstawą fundamentu a gruntem.
- **ława fundamentowa** - materiał ławy fundamentowej może być zdefiniowany w postaci **gruntu** (zdefiniowanego w ramce "Grunty") lub **betonu** - wybór tego typu fundamentu wymaga zdefiniowania **ciężaru objętościowego materiału fundamentu** γ oraz **parametrów kontaktu konstrukcji z gruntem** (współczynnik tarcia f, spójność c, dodatkowy odpór F).
- **fundament palowy** - ściana może być posadowiona odpowiednio na pojedynczym rzędzie pali lub dwóch rzędach pali.

Ławę fundamentową lub **fundament palowy** można zastosować w obliczeniach jedynie w przypadku gdy w zakładce "Geometria" wybrany jest kształt konstrukcji ściany oporowej z **płaską podstawą fundamentu bez odsadzki**. Geometria fundamentu ściany (ława fundamentowa, fundament palowy) może być modyfikowana w ramce poprzez wprowadzanie właściwych wartości w odpowiednich polach definiowania lub na ekranie z wykorzystaniem

aktywnych wymiarów.

Dane wprowadzone w tej ramce wpływają na przebieg analizy ściany (sprawdzenie na przesuw) a także w dalszej kolejności obliczenie nośności podłoża fundamentowego.

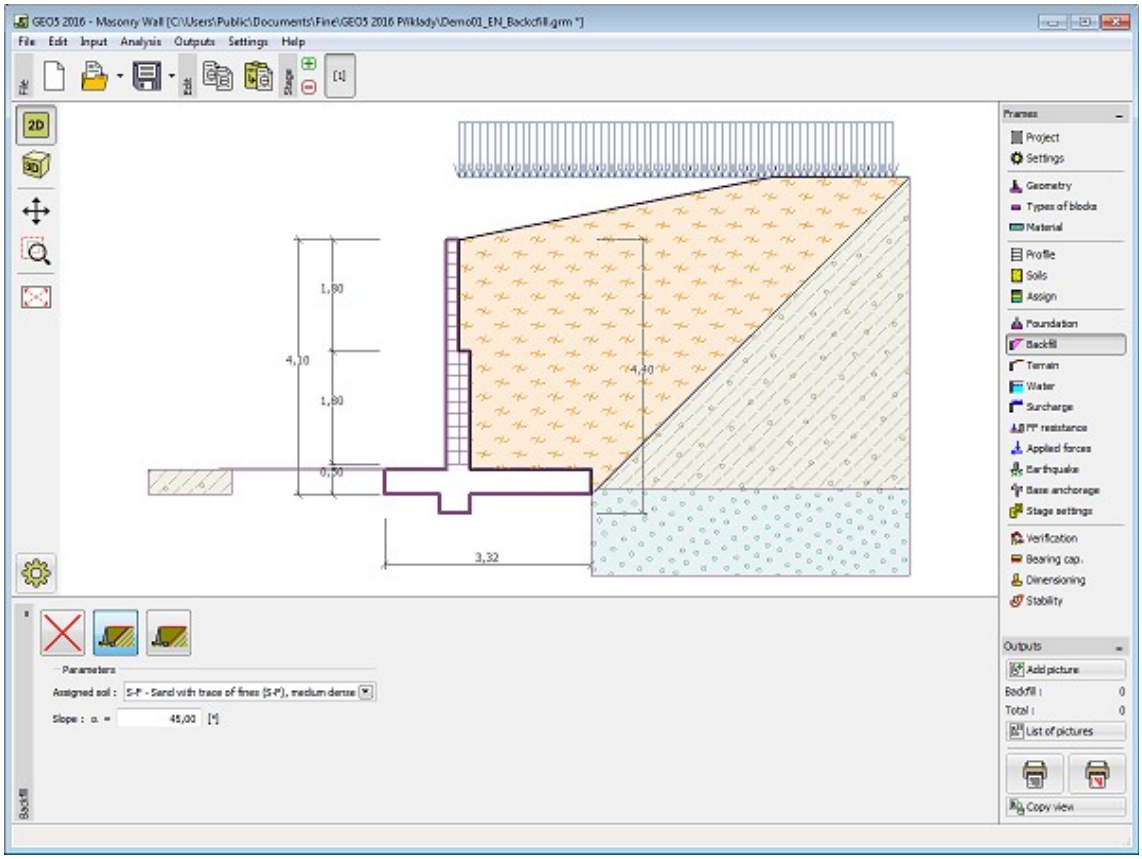


Ramka "Fundament"

Nasyp za konstrukcją

Ramka "**Nasyp**" pozwala na wprowadzenie nasypu gruntowego za konstrukcją.

Grunt przypisany do nasypu należy wybrać z listy rozwijanej w ramce (parametry gruntu definiuje się w ramce "Grunty"). Ponadto, należy zdefiniować kąt nachylenia nasypu za konstrukcją.



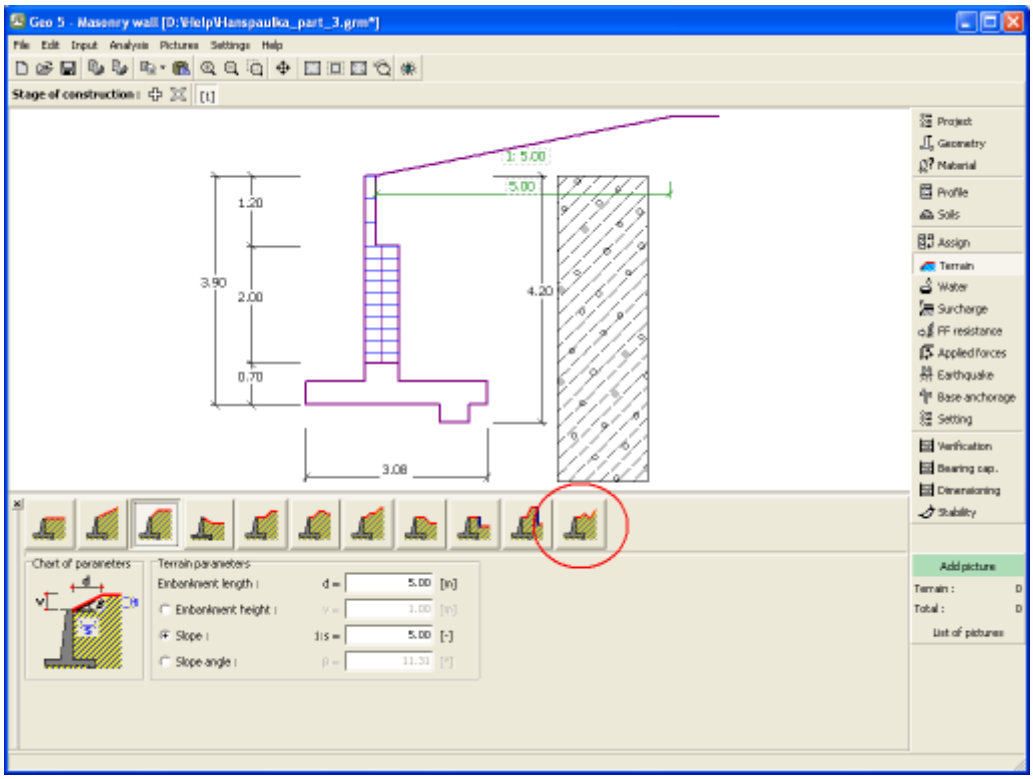
Ramka "Nasyp"

Teren

Ramka "**Teren**" umożliwia określenie ukształtowania terenu za konstrukcją. Wyboru kształtu terenu dokonuje się spośród kształtów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany kształt terenu z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Wymiary wybranego schematu terenu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego kształtu terenu. W takim przypadku, pojawiająca się ramka zawiera tabelę z listą punktów terenu. Pierwszy punkt współrzędnych $[0,0]$ zbiega się z górnym punktem konstrukcji.

Metody analizy parcia gruntu w przypadku terenu pochyłego zostały opisane w teoretycznej części pomocy "Rozkład parć gruntu dla terenu pochyłego"**.**



Ramka "Teren"

Woda

Ramka "**Woda**" umożliwia określenie rodzaju wody gruntowej. Wyboru schematu obciążenia wodą dokonuje się spośród schematów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany schemat z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Parametry (h_1, h_2...) wybranego schematu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

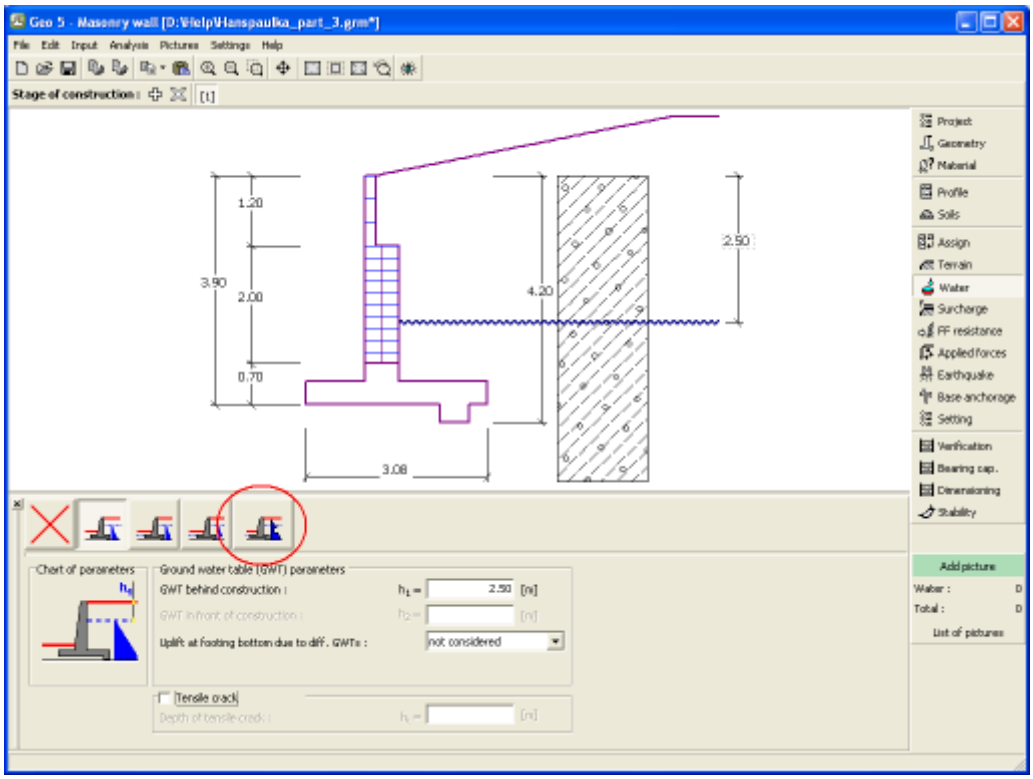
Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego ciśnienia porowego wody w gruncie zarówno przed jak i za konstrukcją. W takim przypadku, pojawiają się dwie zakładki z tabelami "**Przed konstrukcją**" i "**Za konstrukcją**". Tabele te wypełnia się wartościami ciśnienia porowego odpowiednio przed lub za konstrukcją na głębokości "z" (oś-z).

Lista rozwijana w ramce służy do określenia, czy i w jaki sposób uwzględniany jest wypór wody pod fundamentem wynikający z różnicy poziomów ZWG. Wypór może być uwzględniany jako liniowy lub paraboliczny. Przy sprawdzeniu ściany, wypór wody pod fundamentem wynikający z różnicy poziomów ZWG uwzględniany jest w postaci dodatkowej siły.

W programie istnieje również możliwość zdefiniowania zwierciadła wody gruntowej **ponad konstrukcją** lub ponad profilem gruntu - w takim przypadku, poziom wody wprowadza się za pomocą wartości ujemnej.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem wpływu wody zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ wody".

Ponadto, program umożliwia określenie głębokości rys rozciąganych wypełnionych wodą w gruncie za konstrukcją.



Ramka "Woda"

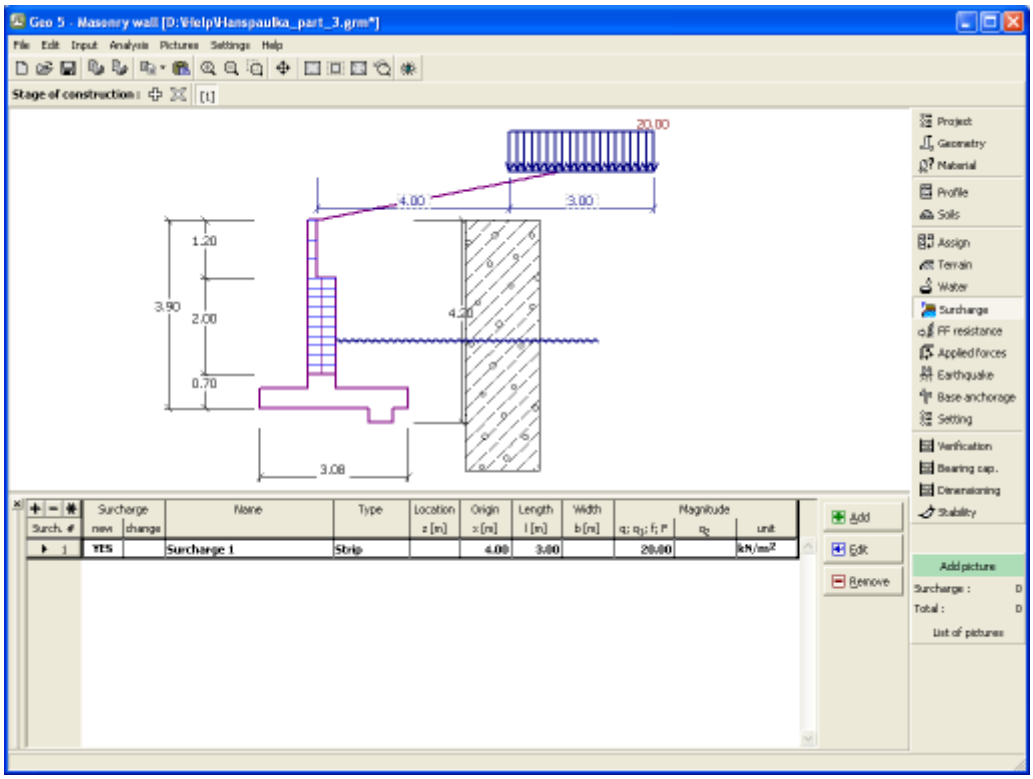
Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych obciążeń. Dodawanie obciążenia wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Zdefiniowane obciążenia można edytować na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów lub aktywnych obiektów.

Przy definiowaniu obciążenia na pewnej głębokości wprowadzana jest rzędna z, mierzona od górnego punktu konstrukcji (kierunek dodatni w dół). W przypadku, gdy obciążenie znajduje się poza terenem, program wyświetla komunikat błędu przed rozpoczęciem obliczeń.

W programie istnieje możliwość zdefiniowania obciążeń **stałych, zmiennych** lub **wyjątkowych**. Wybór rodzaju obciążenia wpływa na dobór stosownego współczynnika obliczeniowego do przemnożenia wynikowych oddziaływań. Obciążenia wyjątkowe oddziałujące w sposób korzystny nie są uwzględniane w obliczeniach.

Obliczenia parć gruntu wywołanych obciążeniami zewnętrznymi zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążenia".



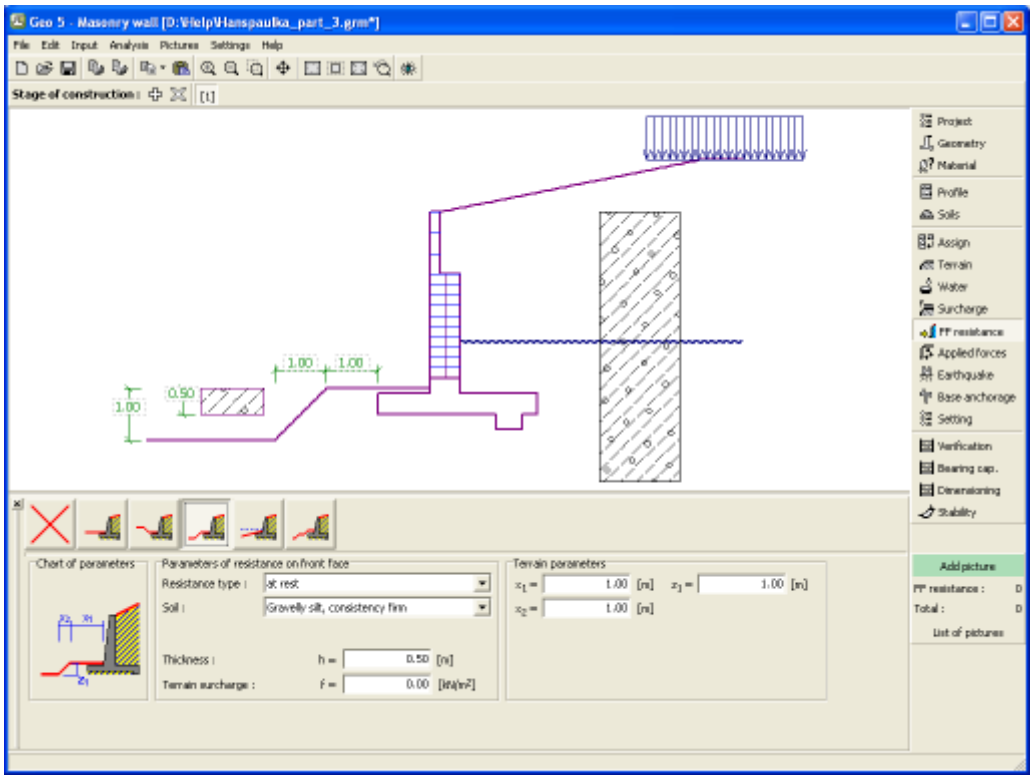
Ramka "Obciążenie"

Odpór na licu

Ramka "**Odpór na licu**" umożliwia określenie ukształtowania terenu oraz parametrów odporu na licu konstrukcji poprzez wybór ikony. Wybrany kształt z podpowiedziami graficznymi ("**Schemat parametrów**") wprowadzonych wartości wyświetlany jest w lewej części ramki. Kształt terenu można edytować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól lub na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Lista rozwijana w ramce "**Odpór na licu**" pozwala wybrać rodzaj odporu oraz grunt (lista rozwijana zawiera grunty wprowadzone w trybie "Grunty"). W ramce tej można również zdefiniować wartość obciążenia terenu przed licem konstrukcji oraz miąższość warstwy ponad najniższym punktem ściany.

Odpór na licu konstrukcji można zdefiniować jako parcie spoczynkowe, parcie bierne bądź zredukowane parcie bierne. Powstała na skutek zredukowanego parcia biernego siła jest określana jako siła wypadkowa parcia biernego pomnożona przez odpowiedni współczynnik, który wynika z rodzaju wybranego zredukowanego parcia biernego.



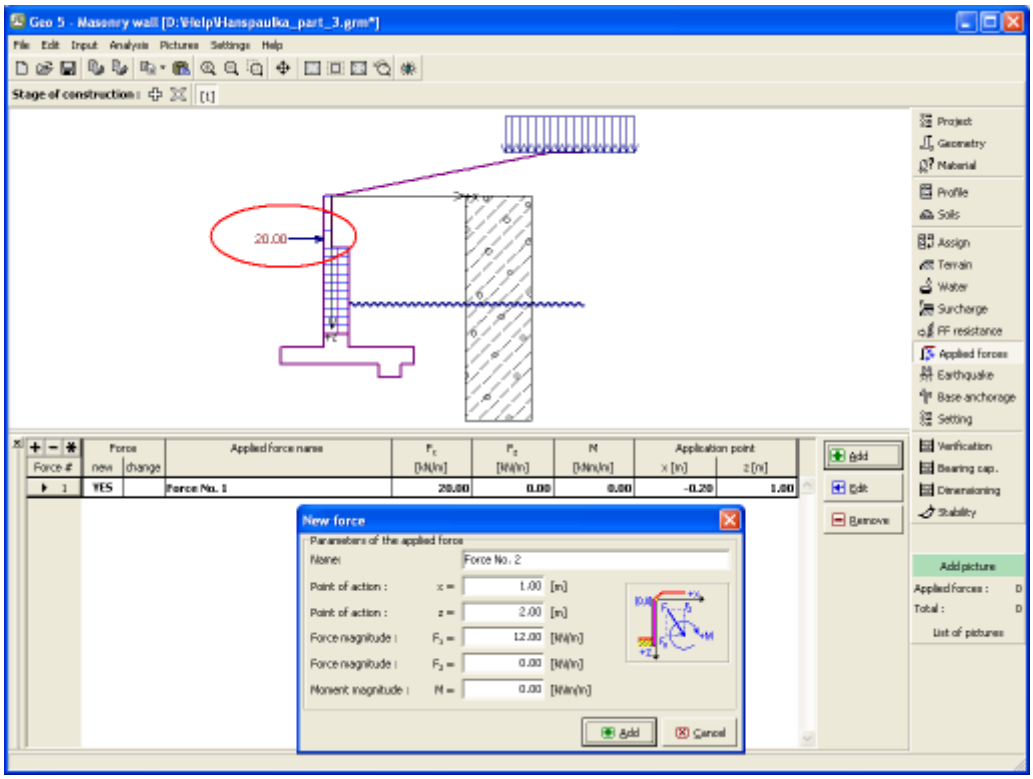
Ramka "Odpór na licu"

Zdefiniowane siły

Ramka "**Zdefiniowane siły**" zawiera tabelę z listą sił działających na konstrukcję. Dodawanie sił odbywa się oknie dialogowym "**Nowa siła**". Zdefiniowane siły można również edytować na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

Zdefiniowane siły reprezentują dodatkowe obciążenia oddziałujące na konstrukcje oporową, ścianę wykopu czy nasyp zbrojony. W ten sposób istniej możliwość modelowania takich elementów jak: obciążenia od bilboardów, ekranów czy barier drogowych. Program nie dostosowuje (nie zmienia) w żaden sposób zdefiniowanych sił w toku obliczeń, za wyjątkiem przemnażania ich przez odpowiednie współczynniki zgodnie z wybranym rodzajem oddziaływania (EN1997, LRFD).

Obciążenia zewnętrzne oddziałujące na naziomie (na powierzchni terenu) należy definiować jako obciążenie.



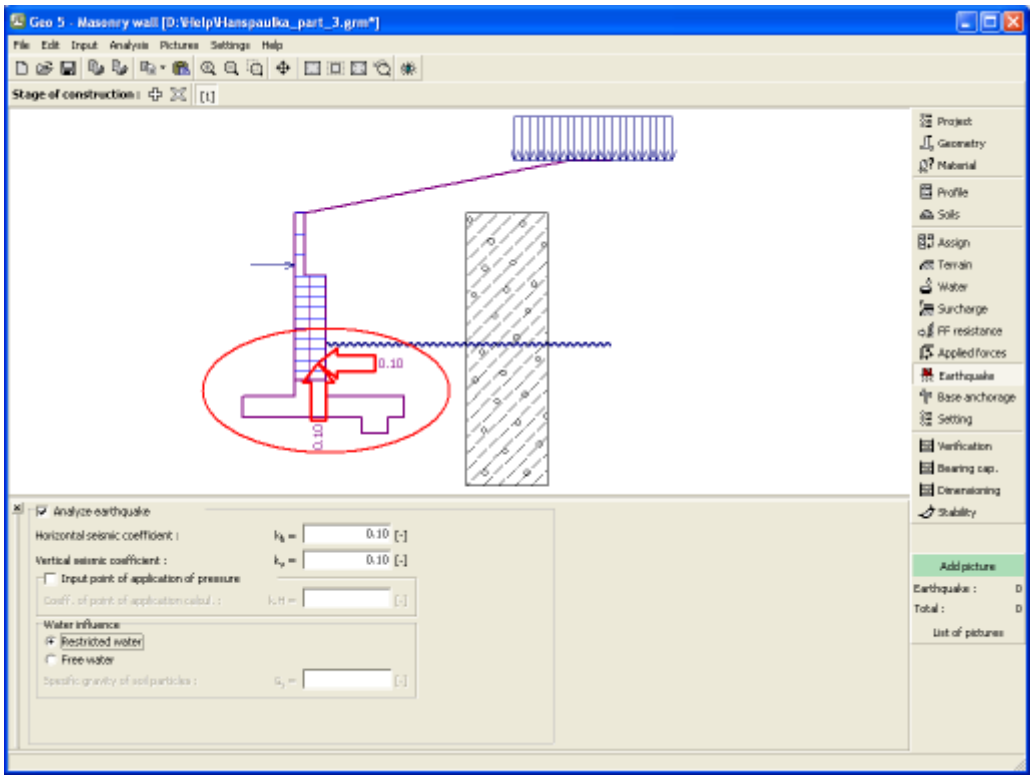
Ramka "Zdefiniowane siły"

Obciążenia sejsmiczne

Ramka "**Obciążenia sejsmiczne**" służy do wprowadzania parametrów obciążeń sejsmicznych. Kierunki skutków obciążeń sejsmicznych są wyświetlane na pulpicie.

Jeśli nie są dostępne wyniki pomiarów współczynniki k_h oraz k_v można wyznaczyć stosując opisane w pomocy podejście z normy EN 1998-5.

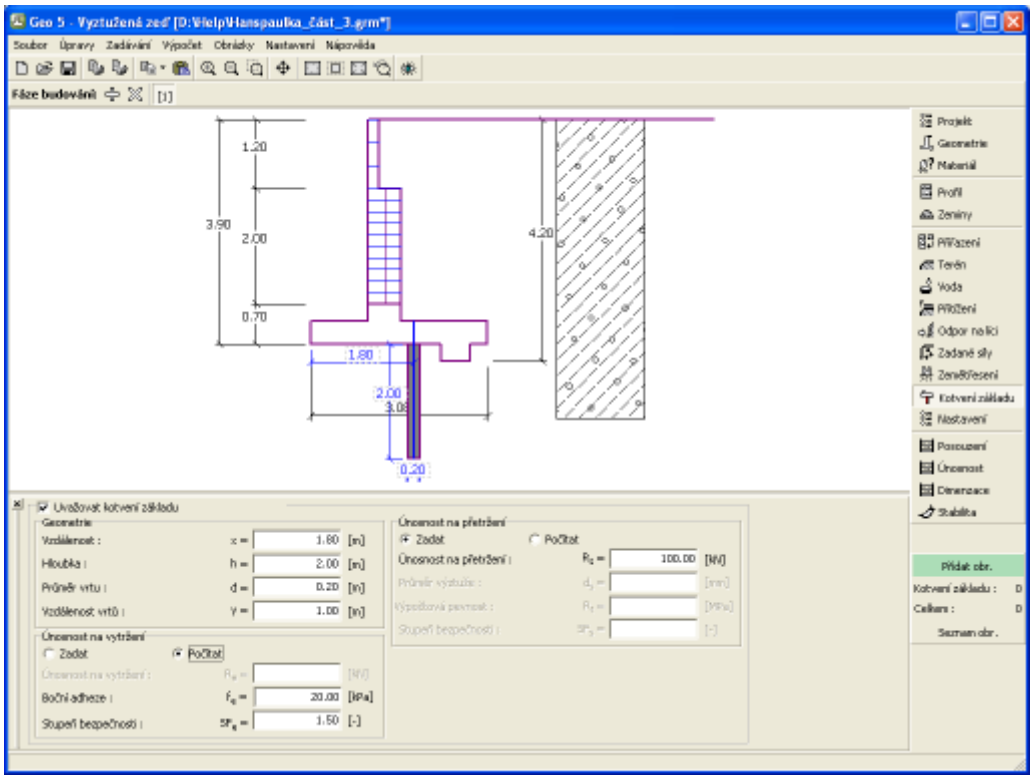
Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem obciążeń sejsmicznych zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążeń sejsmicznych".



Ramka "Obciążenia sejsmiczne"

Kotwienie fundamentu

Ramka "**Kotwienie fundamentu**" służy do definiowania parametrów (geometria kotwienia, nośność na wyciąganie i rozrywanie) określających kotwienie fundamentu ściany. Geometrię kotwienia fundamentu można określić w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól lub na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów. Wartość nośności można zdefiniować lub obliczyć w programie na podstawie podanych parametrów.



Ramka "Kotwienie fundamentu"

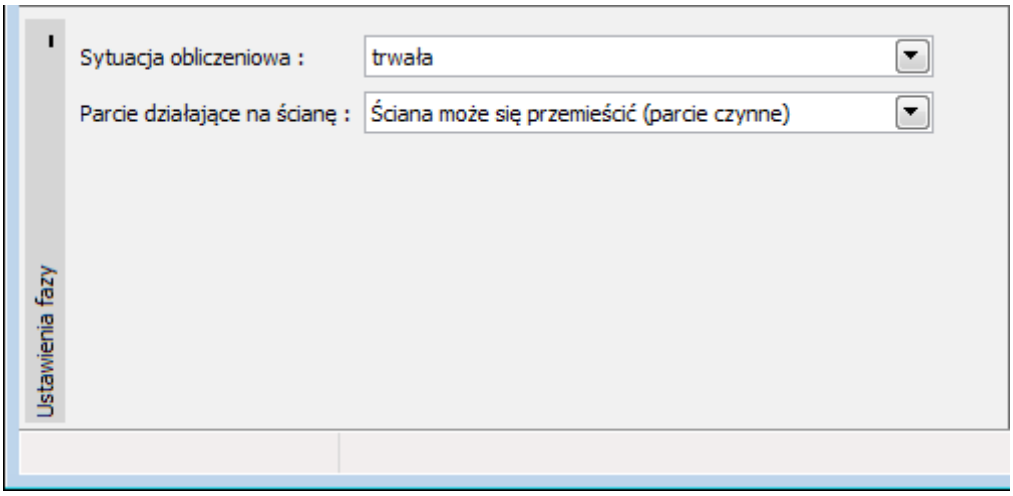
Ustawienia fazy

Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących tylko wybranej fazy obliczeniowej.

Wybrana sytuacja obliczeniowa określa współczynniki bezpieczeństwa, które będą zastosowane w obliczeniach danej fazy budowy.

Wygląd ramki zależy od wybranej metody analizy.

W ramce "**Ustawienia fazy**" można także dokonać wyboru parcia oddziałującego na ścianę z uwzględnieniem dopuszczalnych przemieszczeń konstrukcji. Przy założeniu dopuszczenia do przemieszczeń ściany przyjmuje się parcie czynne, w przeciwnym wypadku zastosowane będzie parcie spoczynkowe. Trzecia opcja umożliwia obciążenie ściany zwiększonym parciem czynnym.



Ramka "Ustawienia fazy"

Analiza

Ramka "**Analiza**" wyświetla wyniki analizy stateczności zbocza. Istnieje możliwość przeprowadzenia dowolnej liczby analiz w obrębie jednego zadania.

Wygląd ramki jest dostosowany do wybranej metodyki obliczeń.

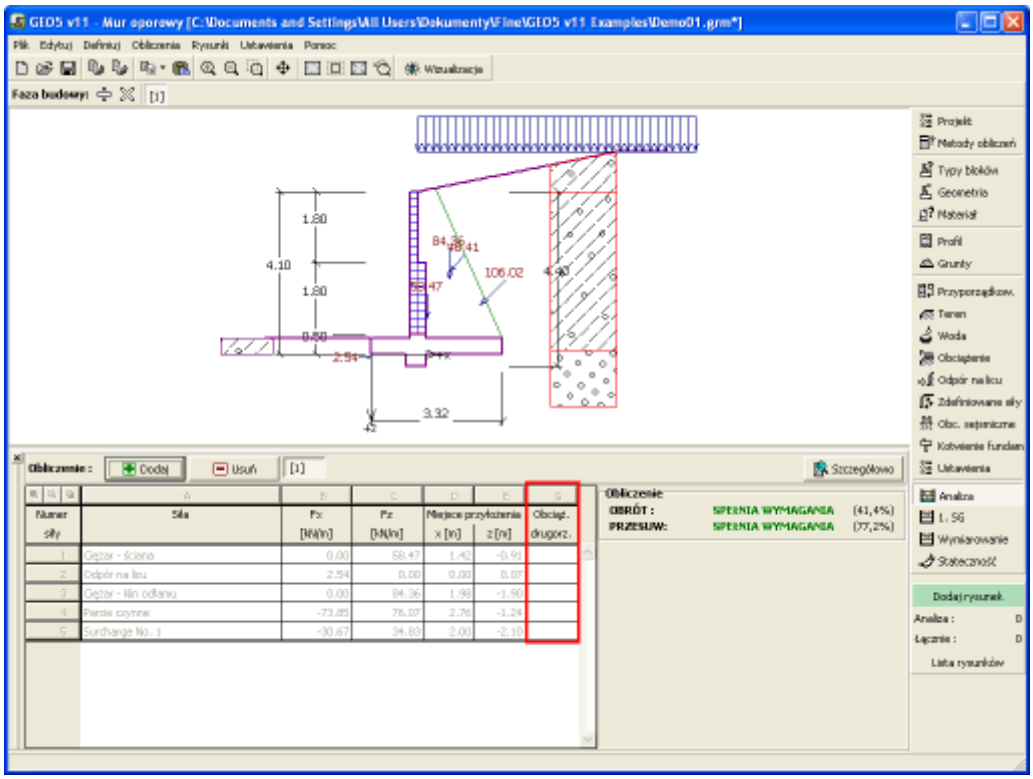
- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa, lub zgodnie z teorią stanów granicznych - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia modyfikację współczynników obliczeniowych, przykładanych do wyznaczonych sił. Wartości tych sił są wyświetlane na ekranie i są automatycznie odświeżane przy każdej zmianie danych projektu lub ustawień w tablicy.
- Obliczenia według EN 1997 - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia zdefiniowanie czy obciążenie oddziałujące na konstrukcje jest uwzględniane jako drugorzędne. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w rozdziale "Kombinacje obciążeń".
- Obliczenia według LRFD - w tym przypadku ostatnia kolumna nie jest wyświetlana.

Ściana jest obciążana parciem cznnym lub parciem spoczynkowym w zależności od danych wprowadzonych w ramce "Ustawienia fazy".

Procedura analizy ściany została opisana w teoretycznej części pomocy.

Wyniki analizy wyświetlane są na pulpicie i natychmiast aktualizowane dla dowolnej zmiany wprowadzonych danych bądź ustawień. Prawa część ramki przedstawia wyniki analizy ściany ze względu na **obrót i przesuw**. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które zawiera szczegółowe zestawienie wyników analizy.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Analiza"

Nośność

Ramka "**Nośność**" wyświetla wyniki analizy nośności podłoża gruntowego. Naprężenie w podstawie fundamentu (założono stałe) uzyskuje się na podstawie wszystkich obliczeń przeprowadzonych w ramce "Analiza". Program "**Fundament bezpośredni**", "**Spread footing CPT**", "**Pile**" and "**Pile group**" traktuje wszystkie obliczenia jako przypadki obciążeń. In the program "**Pile CPT**", just normal load is used.

Ramka "**Nośność**" zawiera następujące opcje analizy:

- **Definiuj nośność podłoża gruntowego**

  W tym przypadku, nośność podłoża gruntowego definiowana jest przez użytkownika. Wyniki analizy fundamentu ze względu na **mimośród** oraz nośność **podłoża** wyświetlane są w prawej części ramki. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które wyświetla szczegółowe wyniki analizy nośności podłoża gruntowego.

- **Wyznacz nośność podłoża gruntowego programem "Fundament bezpośredni"**

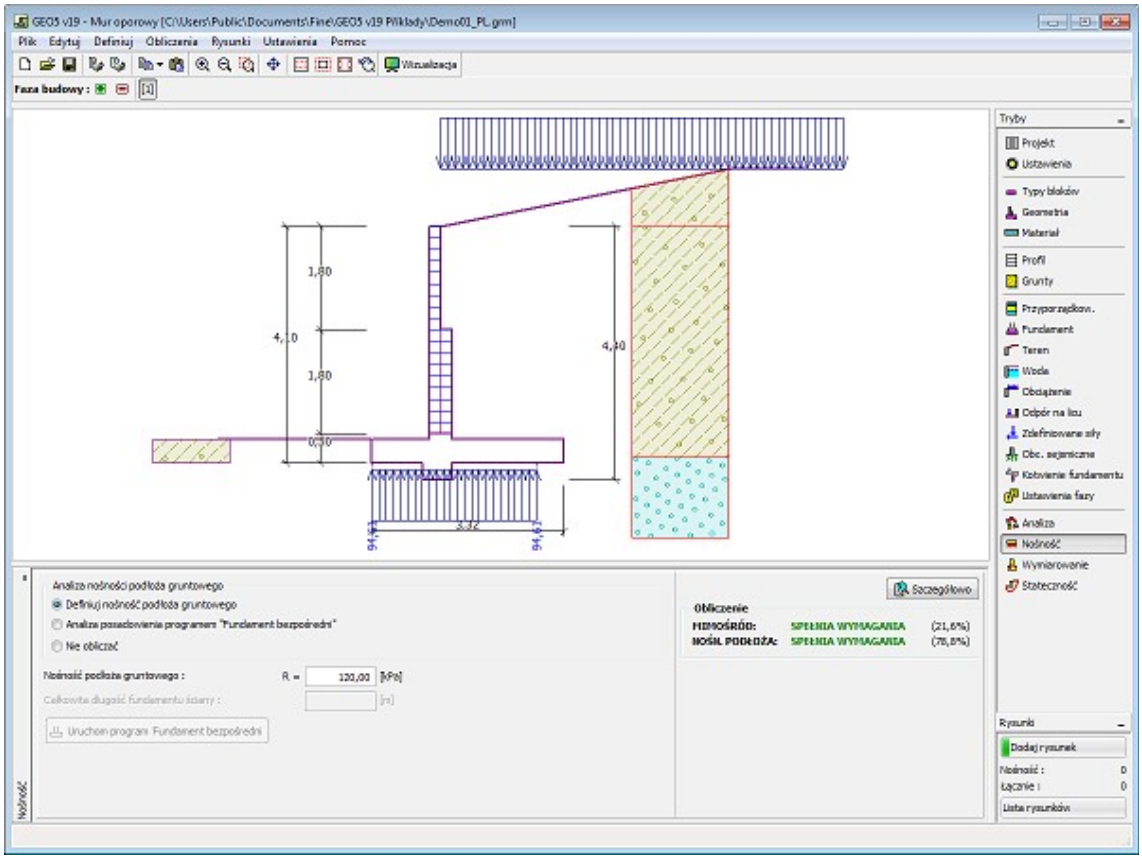
  Naciśnięcie przycisku "**Uruchom program Fundament bezpośredni**" uruchamia program "**Fundament bezpośredni**", który umożliwia obliczenie nośności gruntu lub osiadanie i obrót fundamentu. Naciśnięcie przycisku "**Zakończ i prześlij dane**" zamyka tryb analizy w programie Fundament bezpośredni - wyniki obliczeń i wszystkie rysunki kopiowane są do programu wyjściowego, tj. "**Mur oporowy**". Program "**Fundament bezpośredni**" musi być zainstalowany, aby przycisk ten był dostępny. Przy wyborze tej opcji należy zdefiniować całkowitą długość

fundamentu ściany.

- **Analyse bearing capacity by program "Spread footing CPT"** The procedure is identical as if calculating soil bearing capacity by the **"Spread footing**" program.
- **Analiza posadowienia programem "Pal"** W tym przypadku, procedura jest jednakowa jak przy wyznaczaniu nośności podłoża gruntowego za pomocą programu **"Fundament bezpośredni"**. Opcja "**Uruchom program Pal**" jest dostępna jedynie w przypadku, gdy ściana ma zdefiniowany (w ramce "Fundament") typ fundamentu jako fundament palowy. Przy wyborze tej opcji konieczne jest zdefiniowanie rozstawu pali s.
- **Analyse bearing capacity by program "Pile CPT"** The procedure is identical as if calculating soil bearing capacity by the "**Pile**" program.
- **Analiza posadowienia programem "Grupa pali"** W tym przypadku, procedura jest jednakowa jak przy wyznaczaniu nośności podłoża gruntowego za pomocą programu "**Fundament bezpośredni**". Opcja "**Uruchom program Grupa pali**" jest dostępna jedynie w przypadku, gdy ściana ma zdefiniowany (w ramce "Fundament") typ fundamentu jako fundament palowy z liczbą pali większą niż jeden. W tej sytuacji nalezy zdefiniować: rozstaw pali s, całkowitą liczbę rzędów pali n oraz długość obciążenia l.
- **Nie obliczaj (fundament na palach)** Nośność podłoża gruntowego nie jest obliczana.

Program umożliwia określenie kształtu naprężenia kontaktowego w podstawie fundamentu.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Nośność"

Wymiarowanie

Ramka "**Wymiarowanie**" służy do projektowania i wymiarowania zbrojenia przekroju ściany - przekrój poddawany wymiarowaniu wybiera się z rozwijanej listy.

- **Analiza przekroju roboczego** określany jest **numer** spoiny między blokami (licząc od dołu muru)
- **Analiza przedniej odsadzki ściany**
- **Analiza tylnej odsadzki ściany**

Wygląd ramki jest dostosowany do wybranej metodyki obliczeń:

- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa, lub zgodnie z teorią stanów granicznych - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia modyfikację współcznników obliczeniowych, przykładanych do wyznaczonych sił. Wartości tych sił są wyświetlane na ekranie i są automatycznie odświeżane przy każdej zmianie danych projektu lub ustawień w tablicy.
- Obliczenia według EN 1997 - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia zdefiniowanie czy obciążenie oddziałujące na konstrukcje jest uwzględniane jako drugorzędne. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w rozdziale "Kombinacje obciążeń".
- Obliczenia według LRFD - w tym przypadku ostatnia kolumna nie jest wyświetlana.

Metody określania sił oraz ich oddziaływania na analizowany przekrój opisane są w rozdziale

"Wymiarowanie ściany".

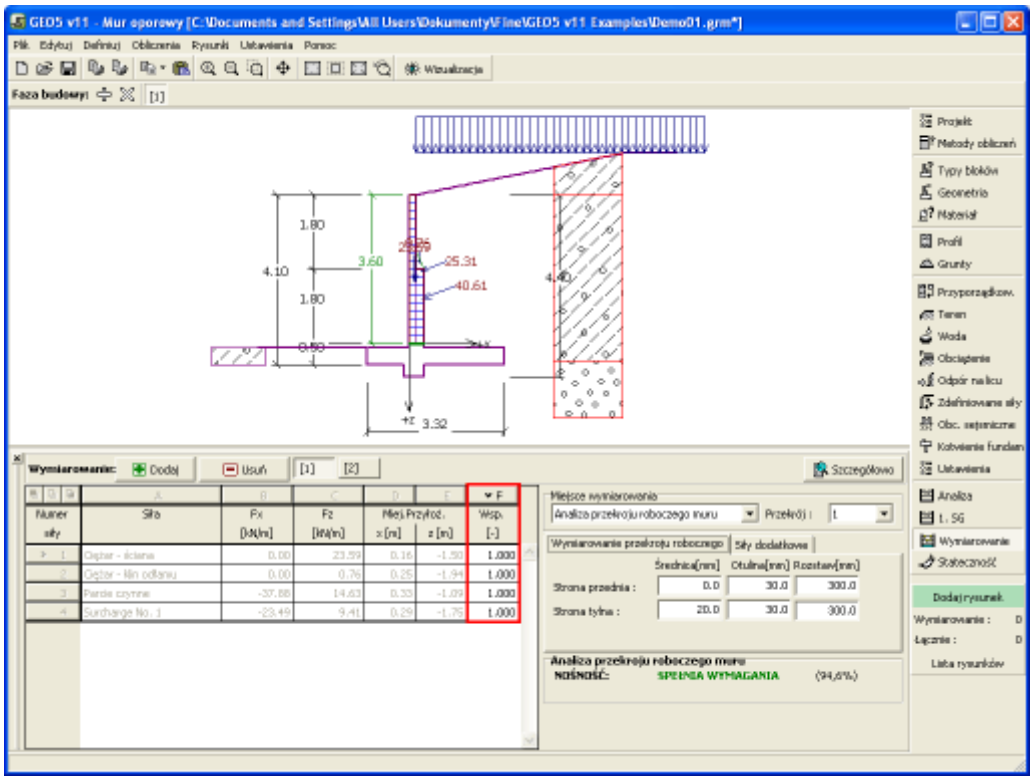
Podczas analizy przedniej odsadzki ściany, ściana jest obciążana parciem czynnym lub parciem spoczynkowym w zależności od wyboru dokonanego w ramce "Ustawienia fazy". Metody wyznaczania rokładu sił wewnętrznych w poszczególnych przekrojach zostały opisane w teoretycznej części pomocy. Dodatkowo, siła pochodząca od parcia spoczynkowego uwzględniana jest w analizie zagadnień sejsmicznych.

Spoiny pomiędzy blokami prefabrykatów sprawdzane są zgodnie z normą AS 3700 lub EN 1996-1-1, w zależności od wyboru dokonanego w ramce "Materiały i normy". Program weryfikuje nośność na zginanie, ścinanie oraz kombinację ściskania i zginania. Zbrojenie można zwymiarować zarówno z przodu jak i z tyłu konstrukcji. Istnieje również możliwość określenia dodatkowego obciążenia na przekrój (moment zginający, normalna siła ściskająca oraz siła ścinająca). Te dodatkowe siły dodaje się do sił obliczonych.

Wymiarowanie konstrukcji żelbetowych wykonywane jest zgodnie z normą określoną w ramce "Materiały i normy".

Istnieje możliwość przeprowadzenia wielu obliczeń dla różnych przekrojów. Można również określić różne współczynniki obliczeniowe dla poszczególnych sił. Wyniki analizy (wyznaczone siły) wyświetlane są na pulpicie i natychmiast aktualizowane dla dowolnej zmiany wprowadzonych danych bądź ustawień. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które prezentuje szczegółowe wyniki wymiarowania.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



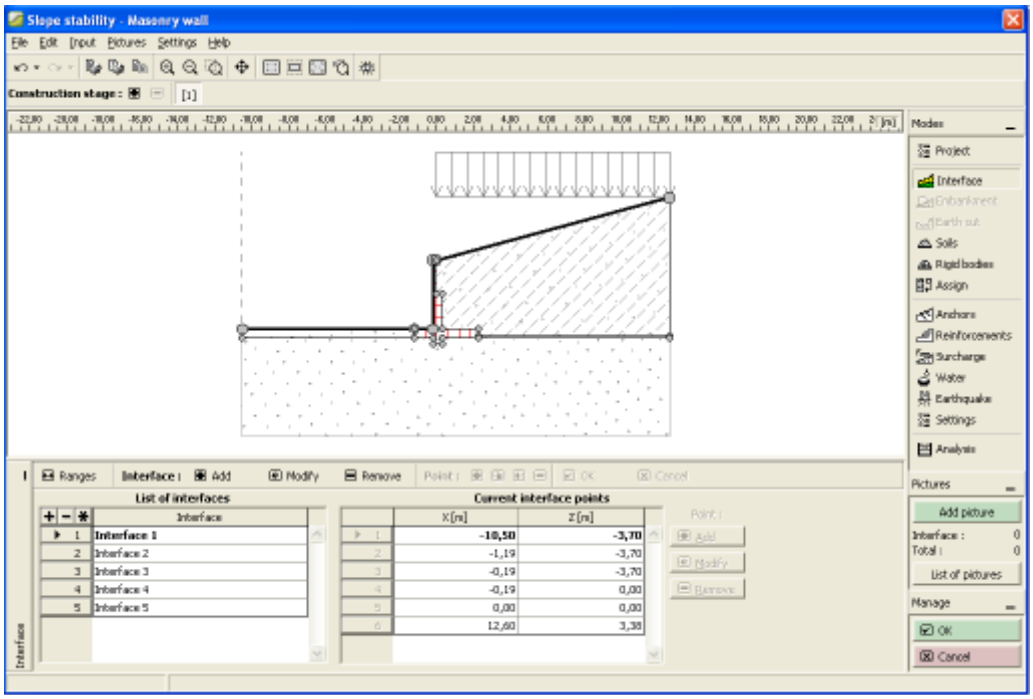
Ramka "Wymiarowanie"

Stateczność

Naciśnięcie przycisku "**Stateczność**" uruchamia program "**Stateczność zbocza**". Program ten umożliwia sprawdzenie ogólnej stateczności analizowanej konstrukcji. Przycisk jest dostępny,

jeżeli program "**Stateczność zbocza**" został zainstalowany.

Po zakończeniu obliczeń stateczności w programie Stateczność zbocza należy kliknąć przycisk "**Zakończ i prześlij dane**" aby opuścić program i przekazać wyniki obliczeń do programu "**Mur oporowy**". Wszystkie operacje (dane, obliczenia, dodane rysunki) przeprowadzone w programie Stateczność zbocza będą dostępne w dokumentacji wynikowej projektu w programie "**Mur oporowy**".



Ramka "Stateczność"

Program Gabion

Program ten służy do analizy ścian oporowych zbudowanych z gabionów. Pozwala na analizę dowolnego kształtu ścian, z uwzględnieniem elementów przewieszonych wymagających kotwienia.

Pomoc w programie "Gabion" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

Projekt	Ustawienia	Materiał	Geometria	Profil	Grunty	Przyporządkowanie
Fundament	Nasyp za konstrukcją	Teren	Woda	Obciążenie	Opór na licu	Zdefiniowane siły
Obciążenia sejsmiczne	Ustawienia fazy	Analiza	Nośność	Wymiarowanie	Stateczność	

- Normy i metody obliczeniowe

- Teoria obliczeniowa do programu "**Gabion**":

  Naprężenia w gruncie Parcia gruntu Analiza ścian Analiza nośności fundamentu

- Dane wyjściowe

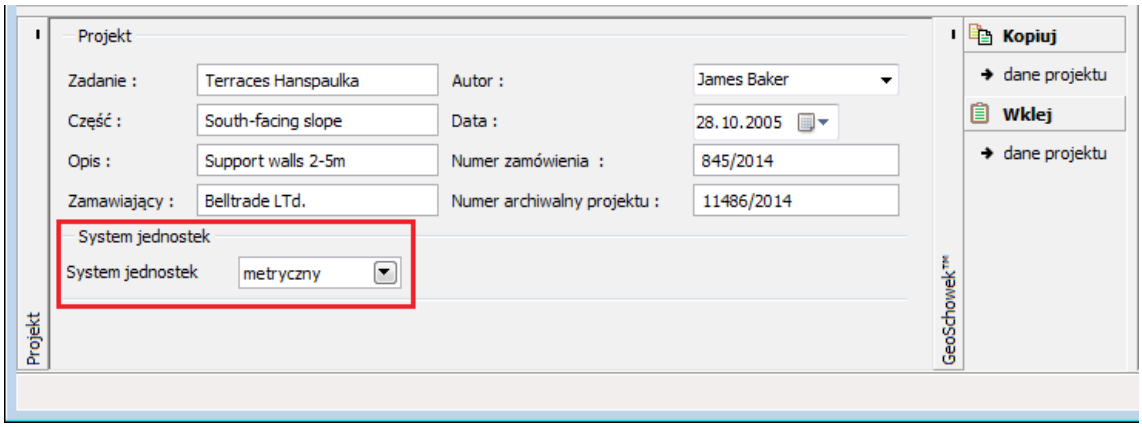
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5

- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

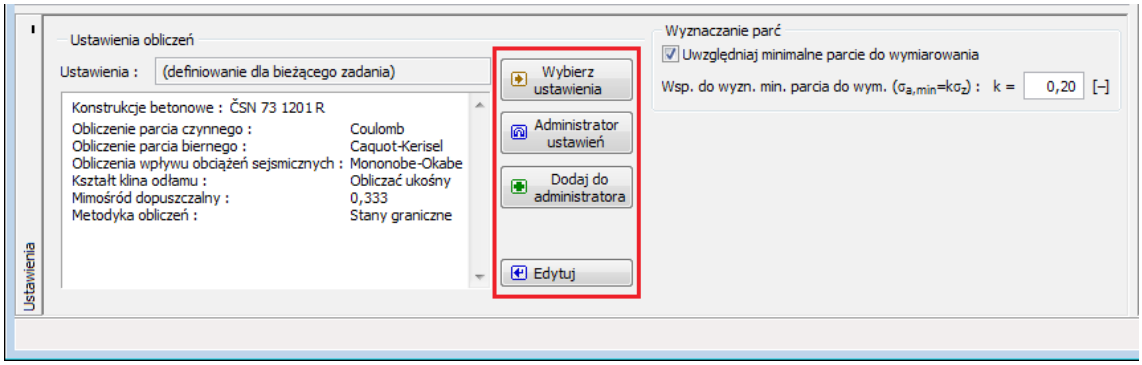
Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Program umożliwia zdefiniowanie minimalnego parcia do wymiarowania k (poprzez wybór/zaznaczenie opcji "**Uwzględniaj minimalne parcie do wymiarowania**"). Opcja ta ma w szczególności zastosowanie w przypadku, gdy za ścianą, w górnej części ściany, znajdują się grunty spoiste. Zaleca się wprowadzanie w obliczeniach konstrukcji z zasypką z gruntów spoistych pewnej wartości k.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładkach "Materiały i normy" oraz "Konstrukcje oporowe".



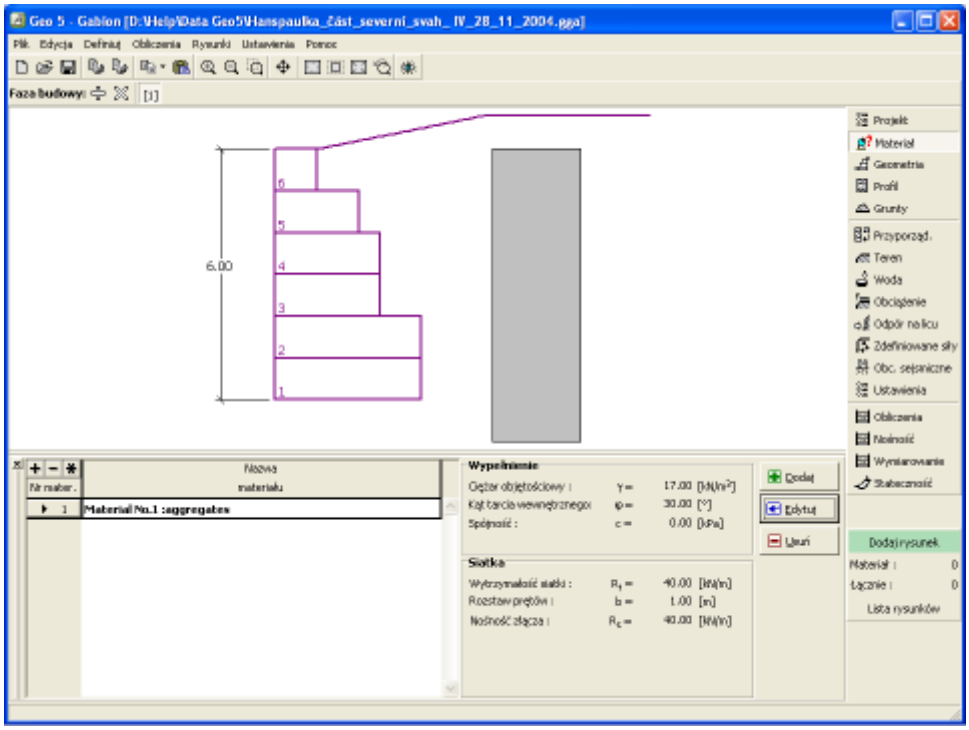
Ramka "Ustawienia"

Material

Ramka "**Materiał**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych materiałów koszy gabionowych (wypełnienia i siatki). Dodawanie materiału wypełnienia i siatki wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowy materiał**".

Parametry materiału wypełniania i siatki wybranego bloku gabionu wyświetlane są w prawej części ramki.

Szacunkowa wartość kąta tarcia wewnętrznego materiału wypełnienia gabionu dla różnoziarnistego żwiru jest w zakresie od **35 - 40**, dla wypełnienia kamiennego można przyjmować wartości wyższe.



Ramka "Materiał"

Geometria

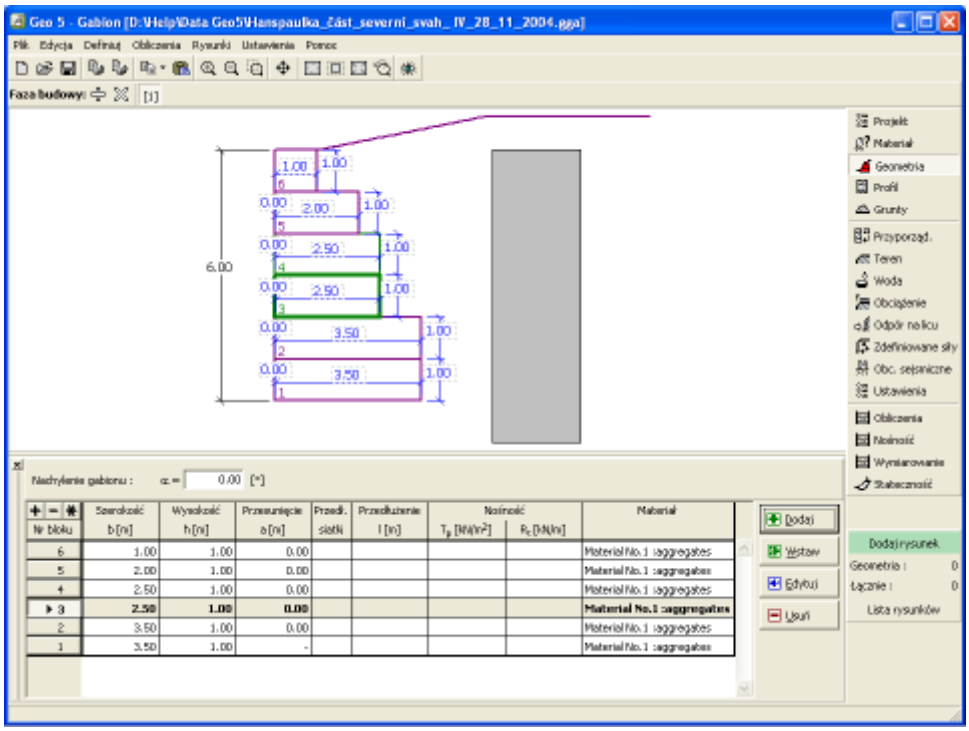
Ramka "**Geometria**" zawiera tabelę z lista zdefiniowanych bloków prefabrykowanych stanowiących konstrukcję ściany (najniższy blok posiada etykietę nr 1). Dodawanie bloków odbywa się w oknie dialogowym "**Nowy blok**".

Okno dialogowe "**Nowy blok (edycja bloku)**" służy do definiowania **geometrii bloku** i parametrów siatki (przedłużenie, długość kotwienia, nośność na wyciąganie).

Program umożliwia dodanie (wstawienie) kolejnego bloku pomiędzy dwa istniejące bloki konstrukcji. Wstawienie nowego bloku odbywa się w oknie dialogowym "**Wstaw**", które jest częścią okna "**Dodaj**". Blok wstawiany jest przed aktualnie wybranym blokiem konstrukcji.

Wstawione bloki można następnie edytować na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów bądź aktywnych obiektów - dwukrotne kliknięcie na konstrukcji otwiera okno dialogowe z danym blokiem. **W przypadku używania trybu aktywnych obiektów należy wyłączyć wizualizację szczegółowych wymiarów w ramce** "Konfiguracja rysunku".

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.



Ramka "Geometria"

Profil

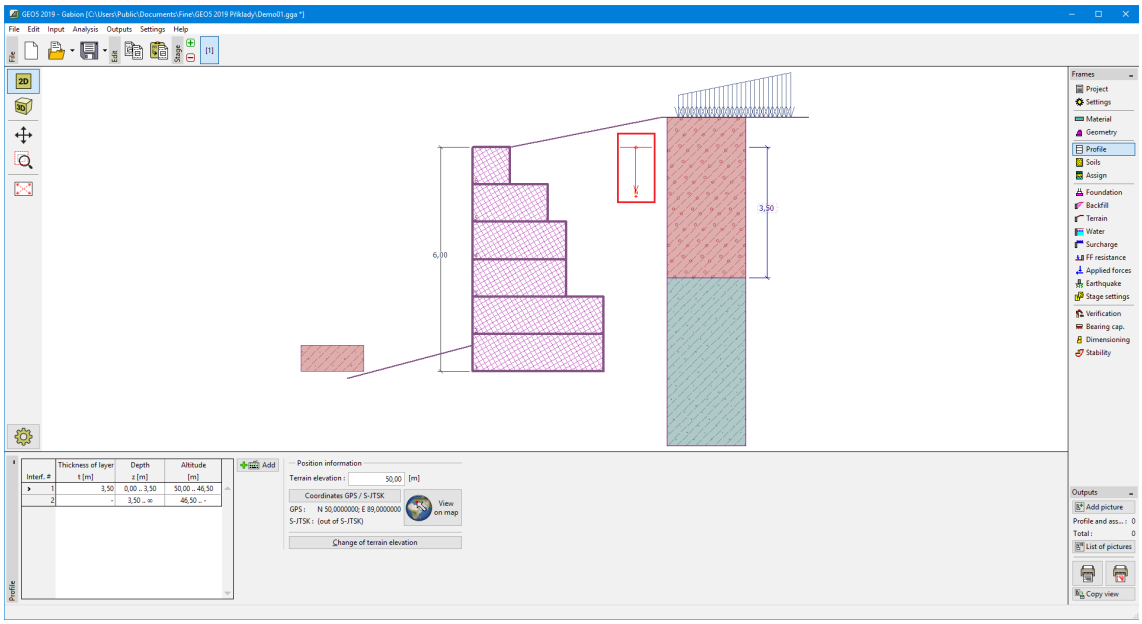
Ramka "**Profil**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych warstw. Po zdefinowaniu poszczególnych warstw można edytować ich miąższość za pomocą aktywnych wymiarów.

Dodawanie warstw wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowa warstwa**". Definiowana jest rzędna z mierzona od górnego punktu konstrukcji (oś-z).

In this frame it is also possible to enter optional information about the structure location:

- **terrain elevation** - an altitude column for the layers is displayed in the table after input of terrain elevation
- **GPS coordinates** - it is possible to show a structure on the Google Maps using "**View on map**" button after input of coordinates.

Program umożliwia obniżenie lub podniesienie górnego punktu konstrukcji w oknie dialogowym "**Zmiana rzędnej terenu**", a zdefiniowane warstwy będą wówczas przesunięte, jednocześnie zachowując swoją miąższość. Funkcja ta jest istotna podczas kopiowania profilu z programu "**Teren**".



Ramka "Profil"

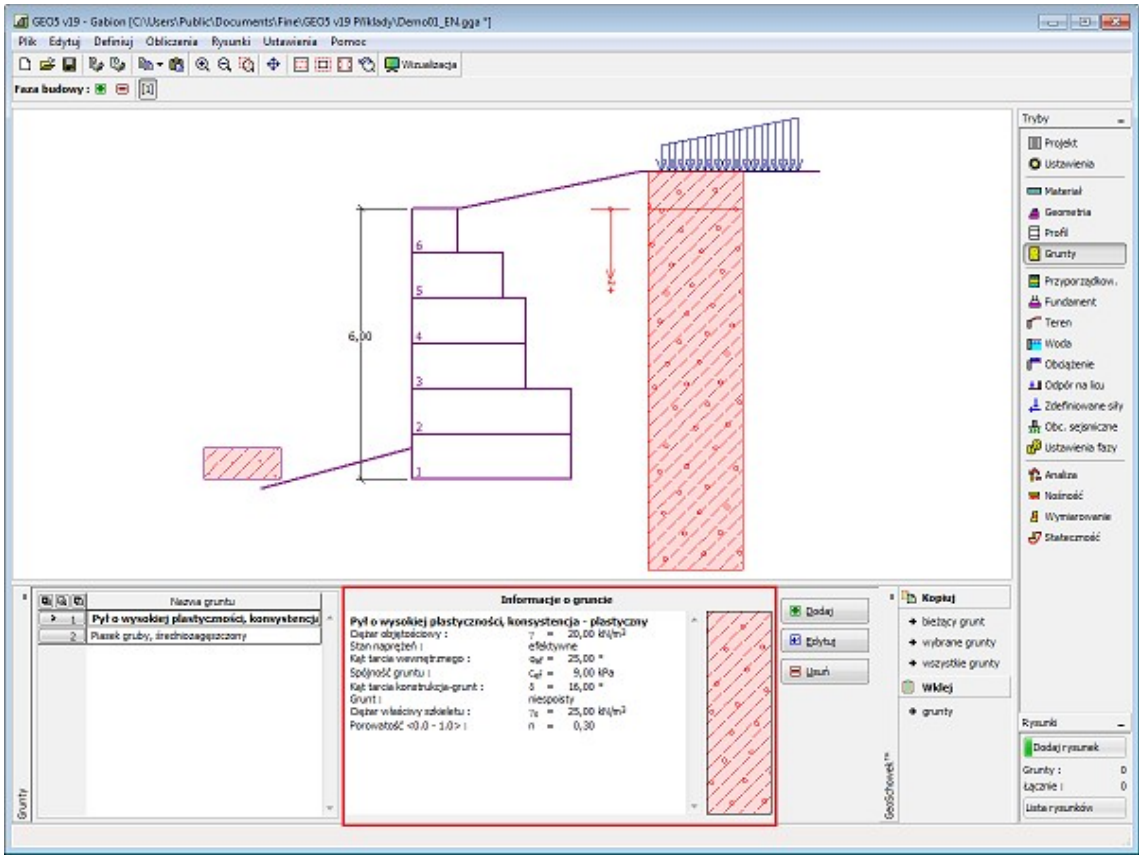
Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie (edycja) gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Dane podstawowe", "Spoczynkowe parcie gruntu" oraz "Naprężenie geostatyczne, wypór".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

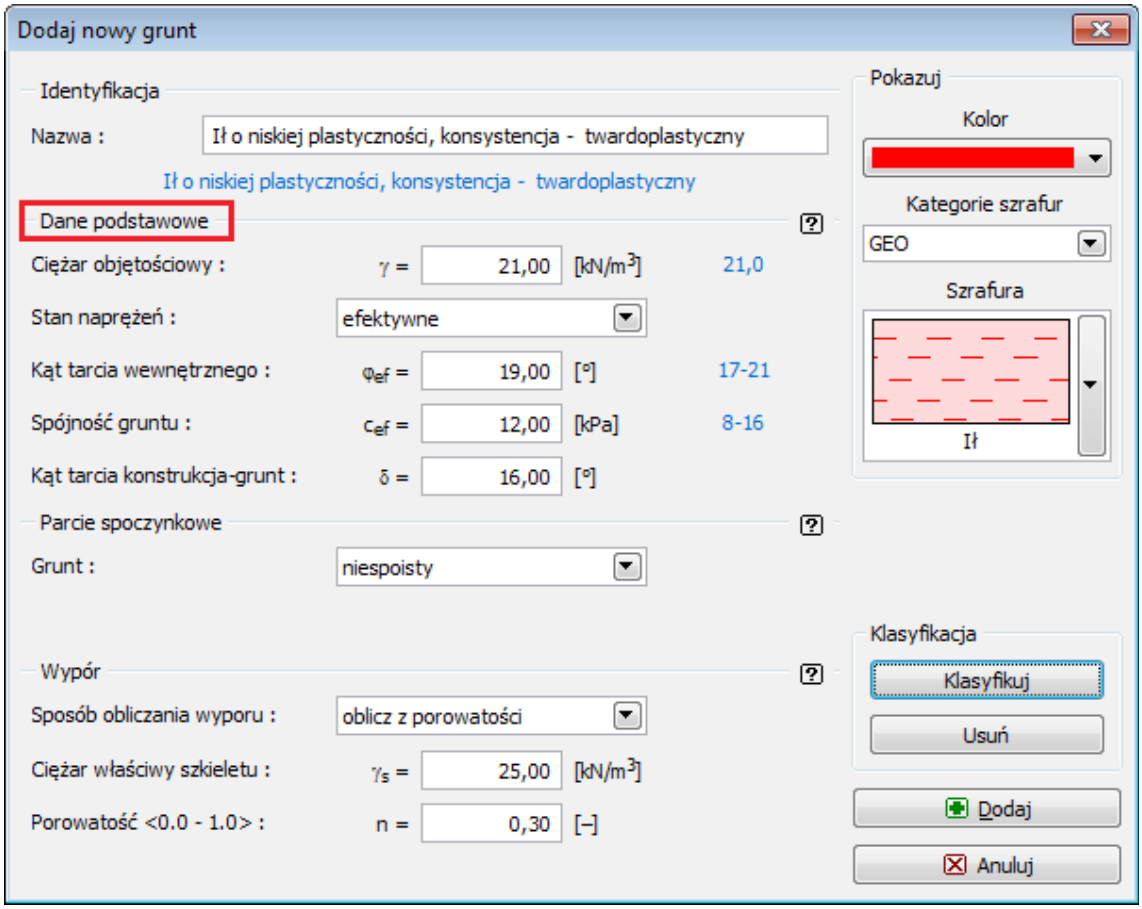
Ta część okna dialogowego służy do definiowania podstawowych parametrów gruntów - **ciężaru objętościowego, kąta tarcia wewnętrznego** oraz **spójności**. Wartości te określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub in-situ dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wartości parametrów gruntów określone na podstawie doświadczenia oraz literatury światowej. Parametry skał nie zostały zawarte w tej bazie, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym.

Istnieje możliwość definiowania wymiennie - parametrów **efektywnych** lub **uogólnionych** kąta tarcia wewnętrznego i spójności w zależności od wybranego ustawienia w liście rozwijanej "**Stan naprężeń**". Decyzja o zastosowaniu parametrów efektywnych czy uogólnionych zależy w szczególności od rodzaju gruntu, rodzaju obciążenia, czasu wykorzystania konstrukcji i warunków wodnych.

W dalszej kolejności, w przypadku naprężeń efektywnych definiuje się kąt tarcia pomiędzy konstrukcją i gruntem, który zależy zarówno od rodzaju gruntu jak i rodzaju konstrukcji. Szacunkowe wartości tego parametru podano w tabeli wartości zalecanych.

W przypadku naprężeń całkowitych natomiast należy zdefiniować adhezję gruntu do lica konstrukcji a.

Podstawy teoretyczne dotyczące omawianego zaganienia opisano w rozdziale "Parcie gruntu".

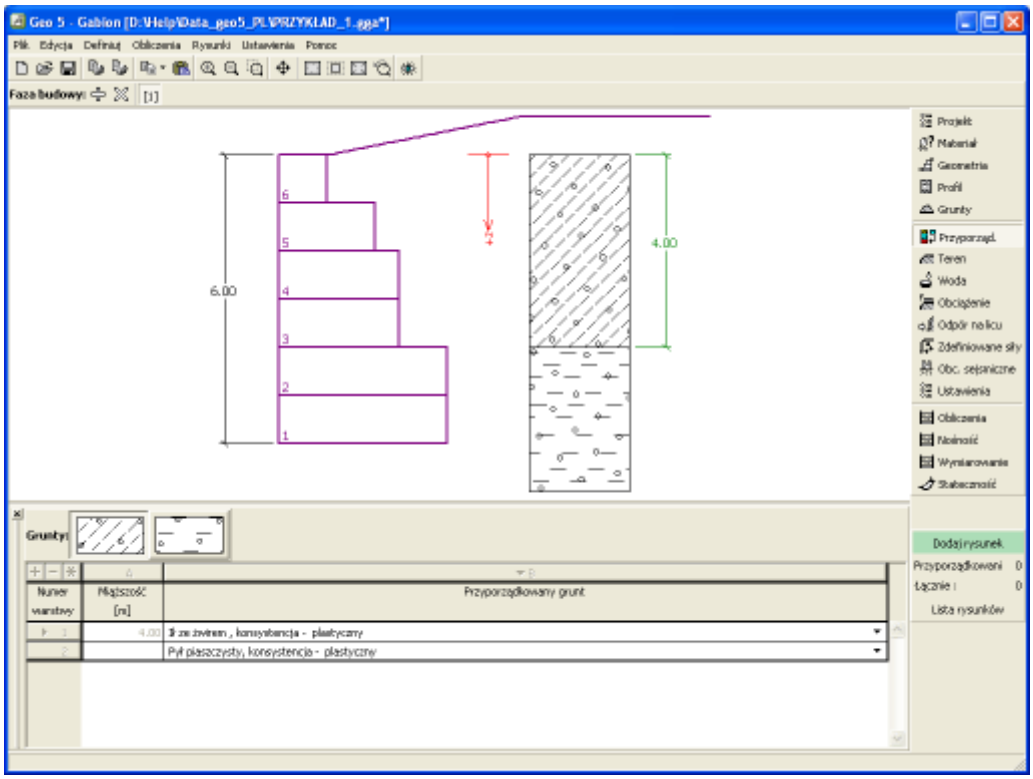


Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów"**.**



Ramka "Przyporządkowanie"

Fundament

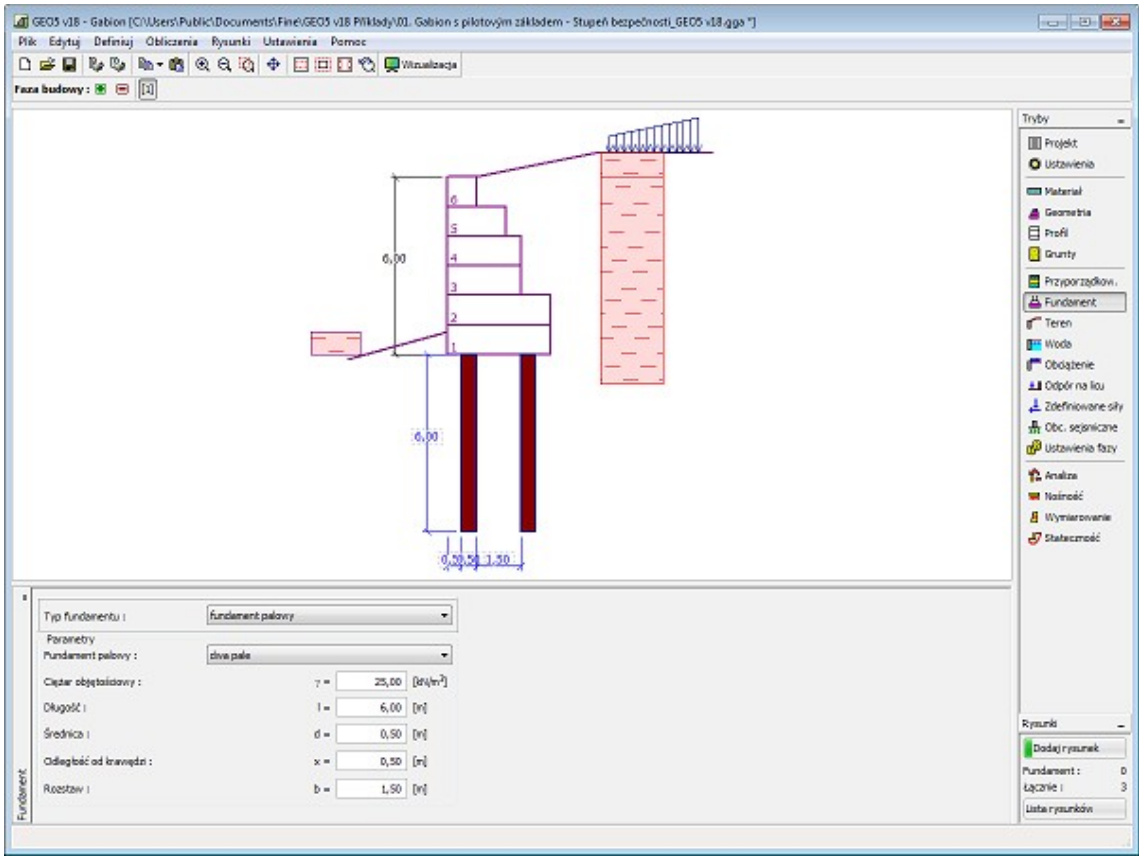
Ramka "**Fundament**" służy do definiowania rodzaju fundamentu ściany (konstrukcji oporowej). Następujące rodzaje fundamentów są dostępne w programie:

- **grunt - z profilu geologicznego** - w tym przypadku ściana posadowiona jest na gruncie przyporządkowanym z profilu geologicznego zdefiniowanego w ramce "Profil".
- **grunt - definiuj parametry kontaktu** - przy wybraniu tej opcji definiowane są parametry kontaktu pomiędzy podłożem fundamentowym a fundamentem. Opcja "**definiuj kąt tarcia fundament-grunt**" wymaga zdefiniowania kąta tarcia ψ [°] pomiędzy fundamentem a gruntem. Opcja "**definiuj współczynnik tarcia**" wymaga natomiast zdefiniowania współczynnika tarcia μ [-]. W obydwu przypadkach natomiast niezbędne jest określenie spójności a [kPa] pomiędzy podstawą fundamentu a gruntem.
- **ława fundamentowa** - materiał ławy fundamentowej może być zdefiniowany w postaci **gruntu** (zdefiniowanego w ramce "Grunty") lub **betonu** - wybór tego typu fundamentu wymaga zdefiniowania **ciężaru objętościowego materiału fundamentu** γ oraz **parametrów kontaktu konstrukcji z gruntem** (współczynnik tarcia f, spójność c, dodatkowy odpór F).
- **fundament palowy** - ściana może być posadowiona odpowiednio na pojedynczym rzędzie pali lub dwóch rzędach pali.

Ławę fundamentową lub **fundament palowy** można zastosować w obliczeniach jedynie w przypadku gdy w zakładce "Geometria" wybrany jest kształt konstrukcji ściany oporowej z **płaską podstawą fundamentu bez odsadzki**. Geometria fundamentu ściany (ława fundamentowa, fundament palowy) może być modyfikowana w ramce poprzez wprowadzanie właściwych wartości w odpowiednich polach definiowania lub na ekranie z wykorzystaniem

aktywnych wymiarów.

Dane wprowadzone w tej ramce wpływają na przebieg analizy ściany (sprawdzenie na przesuw) a także w dalszej kolejności obliczenie nośności podłoża fundamentowego.

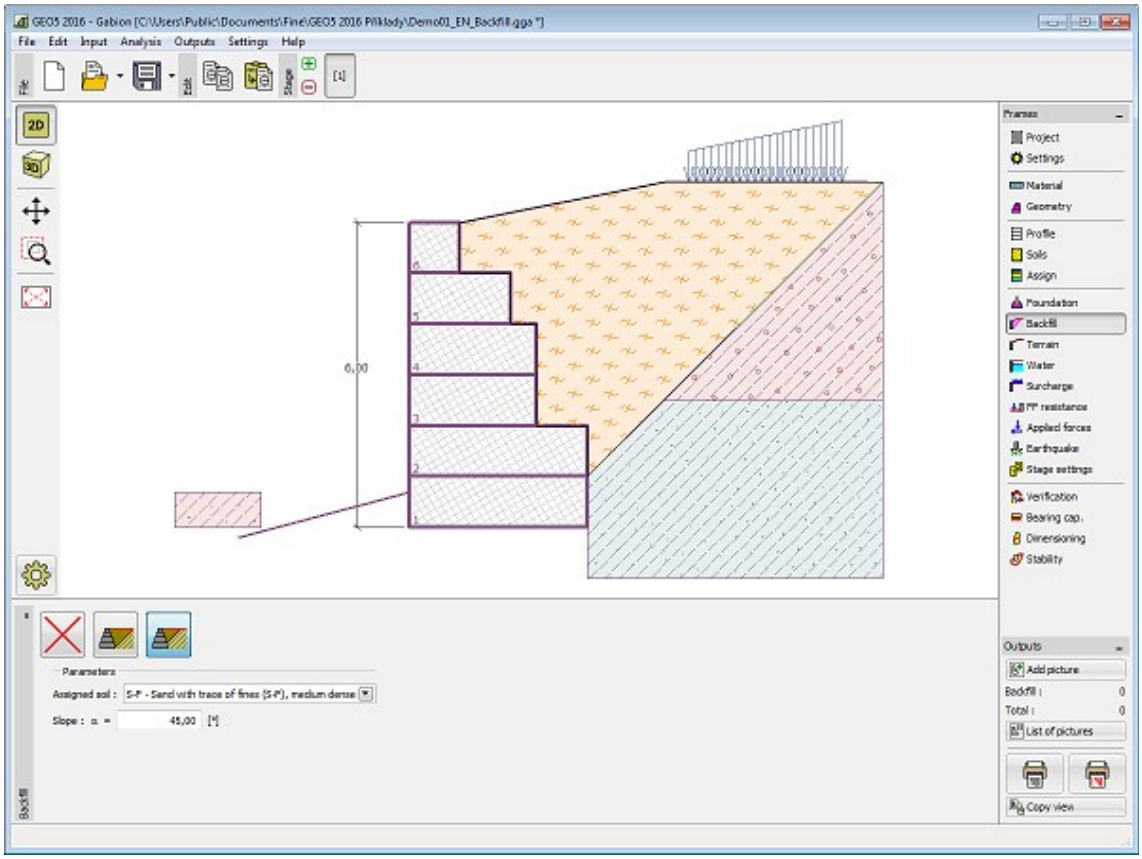


Ramka "Fundament"

Nasyp za konstrukcją

Ramka "**Nasyp**" pozwala na wprowadzenie nasypu gruntowego za konstrukcją.

Grunt przypisany do nasypu należy wybrać z listy rozwijanej w ramce (parametry gruntu definiuje się w ramce "Grunty"). Ponadto, należy zdefiniować kąt nachylenia nasypu za konstrukcją.



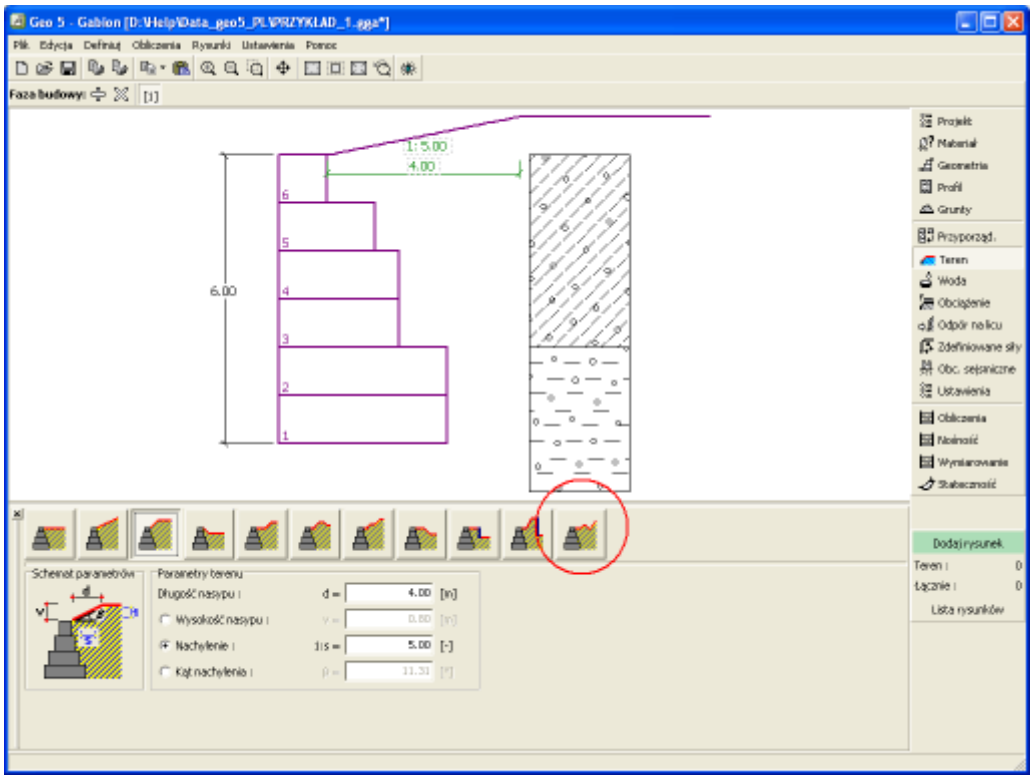
Ramka "Nasyp"

Teren

Ramka "**Teren**" umożliwia określenie ukształtowania terenu za konstrukcją. Wyboru kształtu terenu dokonuje się spośród kształtów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany kształt terenu z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Wymiary wybranego schematu terenu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego kształtu terenu. W takim przypadku, pojawiająca się ramka zawiera tabelę z listą punktów terenu. Pierwszy punkt współrzędnych $[0,0]$ zbiega się z górnym punktem konstrukcji.

Metody analizy parcia gruntu w przypadku terenu pochyłego zostały opisane w teoretycznej części pomocy "Rozkład parć gruntu dla terenu pochyłego"**.**



Frame "Terrain"

Woda

Ramka "**Woda**" umożliwia określenie rodzaju wody gruntowej. Wyboru schematu obciążenia wodą dokonuje się spośród schematów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany schemat z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Parametry (h_1, h_2...) wybranego schematu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

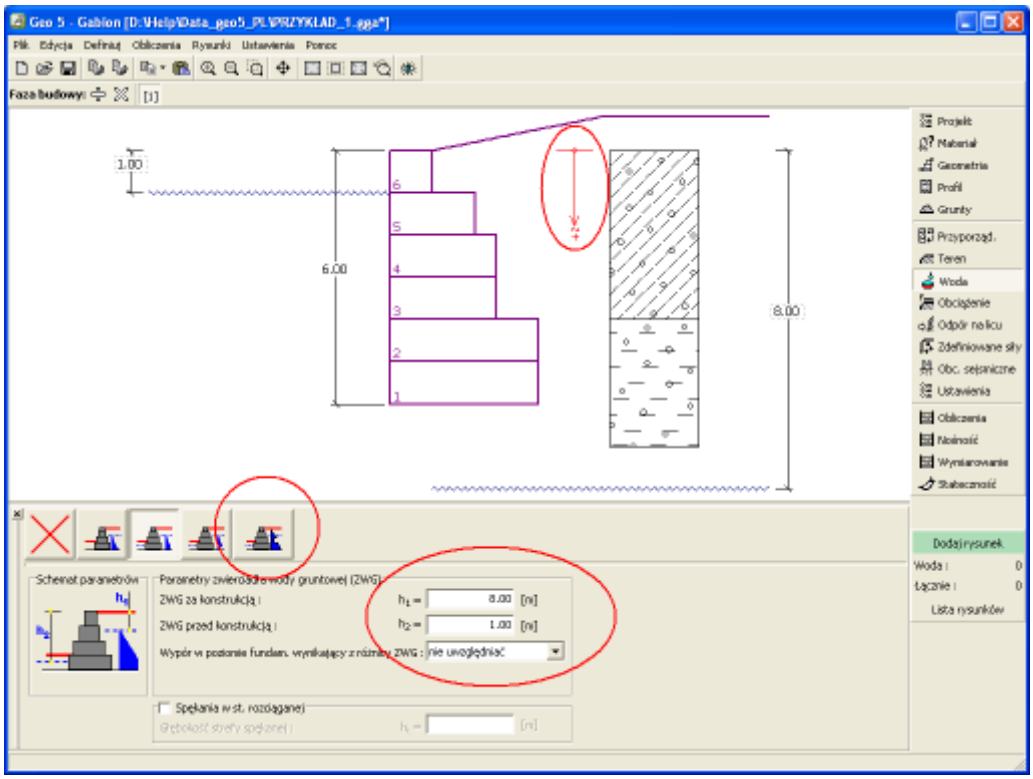
Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego ciśnienia porowego wody w gruncie zarówno przed jak i za konstrukcją. W takim przypadku, pojawiają się dwie zakładki z tabelami "**Przed konstrukcją**" i "**Za konstrukcją**". Tabele te wypełnia się wartościami ciśnienia porowego odpowiednio przed lub za konstrukcją na głębokości "z" (oś-z).

Lista rozwijana w ramce służy do określenia, czy i w jaki sposób uwzględniany jest wypór wody pod fundamentem wynikający z różnicy poziomów ZWG. Wypór może być uwzględniany jako liniowy lub paraboliczny. Przy sprawdzeniu ściany, wypór wody pod fundamentem wynikający z różnicy poziomów ZWG uwzględniany jest w postaci dodatkowej siły.

W programie istnieje również możliwość zdefiniowania zwierciadła wody gruntowej **ponad konstrukcją** lub ponad profilem gruntu - w takim przypadku, poziom wody wprowadza się za pomocą wartości ujemnej.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem wpływu wody zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ wody".

Ponadto, program umożliwia określenie głębokości rys rozciąganych wypełnionych wodą w gruncie za konstrukcją.



Ramka "Woda"

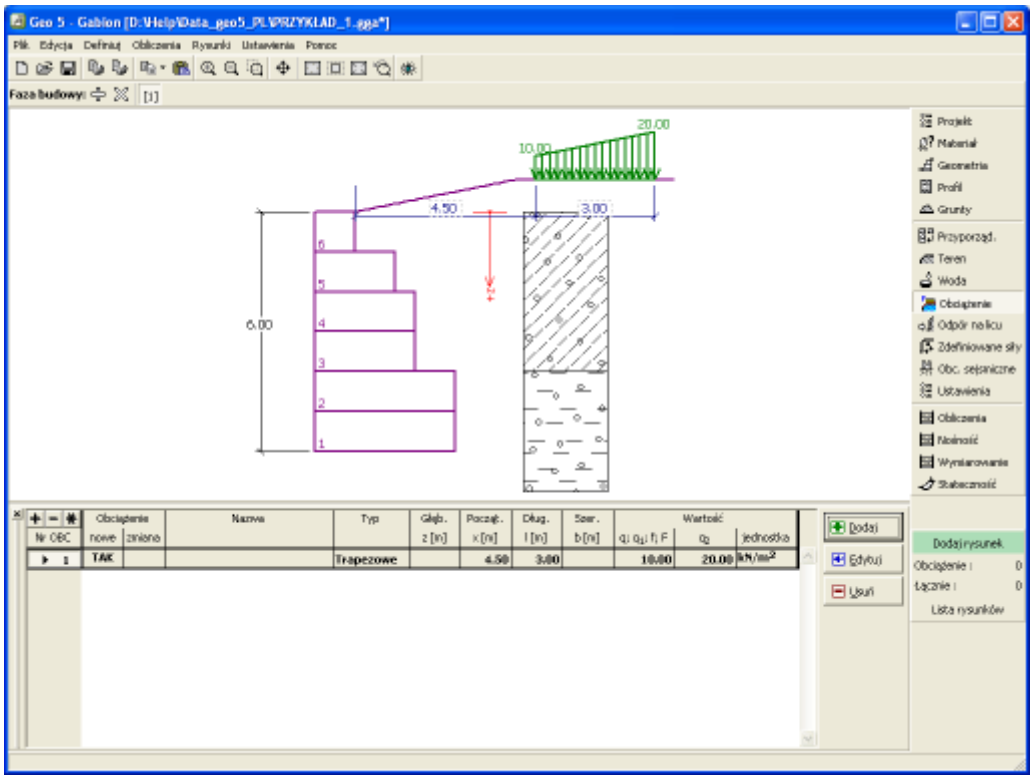
Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych obciążeń. Dodawanie obciążenia wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Zdefiniowane obciążenia można edytować na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów lub aktywnych obiektów.

Przy definiowaniu obciążenia na pewnej głębokości wprowadzana jest rzędna z, mierzona od górnego punktu konstrukcji (kierunek dodatni w dół). W przypadku, gdy obciążenie znajduje się poza terenem, program wyświetla komunikat błędu przed rozpoczęciem obliczeń.

W programie istnieje możliwość zdefiniowania obciążeń **stałych, zmiennych** lub **wyjątkowych**. Wybór rodzaju obciążenia wpływa na dobór stosownego współczynnika obliczeniowego do przemnożenia wynikowych oddziaływań. Obciążenia wyjątkowe oddziałujące w sposób korzystny nie są uwzględniane w obliczeniach.

Obliczenia parć gruntu wywołanych obciążeniami zewnętrznymi zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążenia".



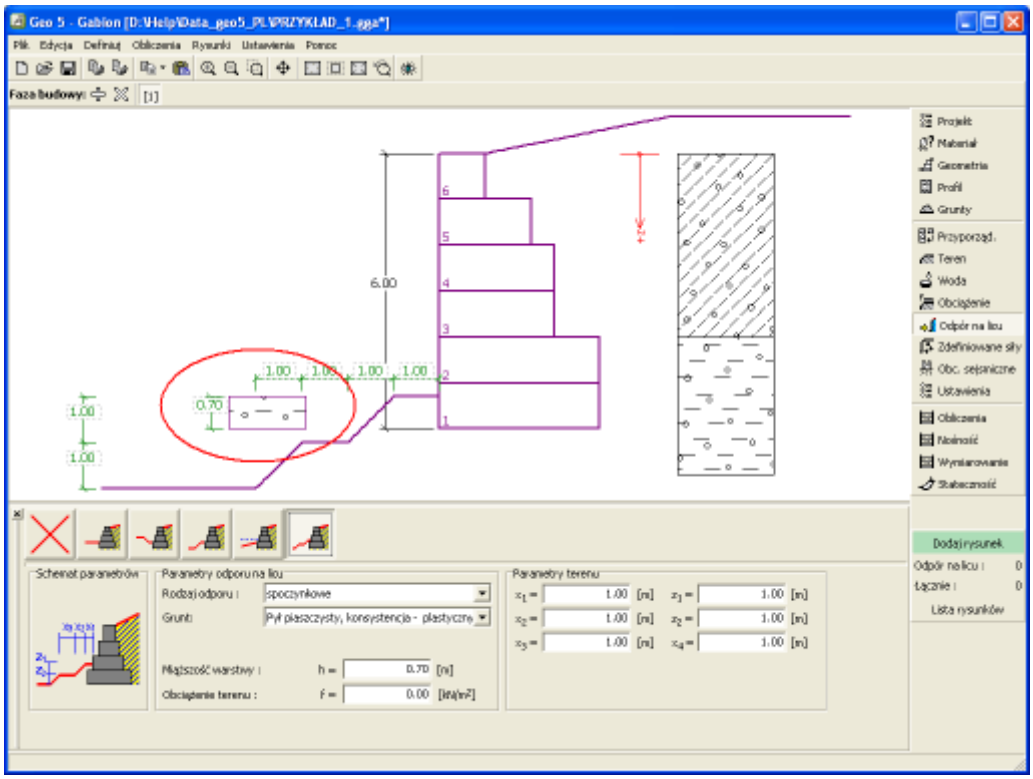
Ramka "Obciążenie"

Odpór na licu

Ramka "**Odpór na licu**" umożliwia określenie ukształtowania terenu oraz parametrów odporu na licu konstrukcji poprzez wybór ikony. Wybrany kształt z podpowiedziami graficznymi ("**Schemat parametrów**") wprowadzonych wartości wyświetlany jest w lewej części ramki. Kształt terenu można edytować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól lub na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Lista rozwijana w ramce "**Odpór na licu**" pozwala wybrać rodzaj odporu oraz grunt (lista rozwijana zawiera grunty wprowadzone w trybie "Grunty"). W ramce tej można również zdefiniować wartość obciążenia terenu przed licem konstrukcji oraz miąższość warstwy ponad najniższym punktem ściany.

Odpór na licu konstrukcji można zdefiniować jako parcie spoczynkowe, parcie bierne bądź zredukowane parcie bierne. Powstała na skutek zredukowanego parcia biernego siła jest określana jako siła wypadkowa parcia biernego pomnożona przez odpowiedni współczynnik, który wynika z rodzaju wybranego zredukowanego parcia biernego.



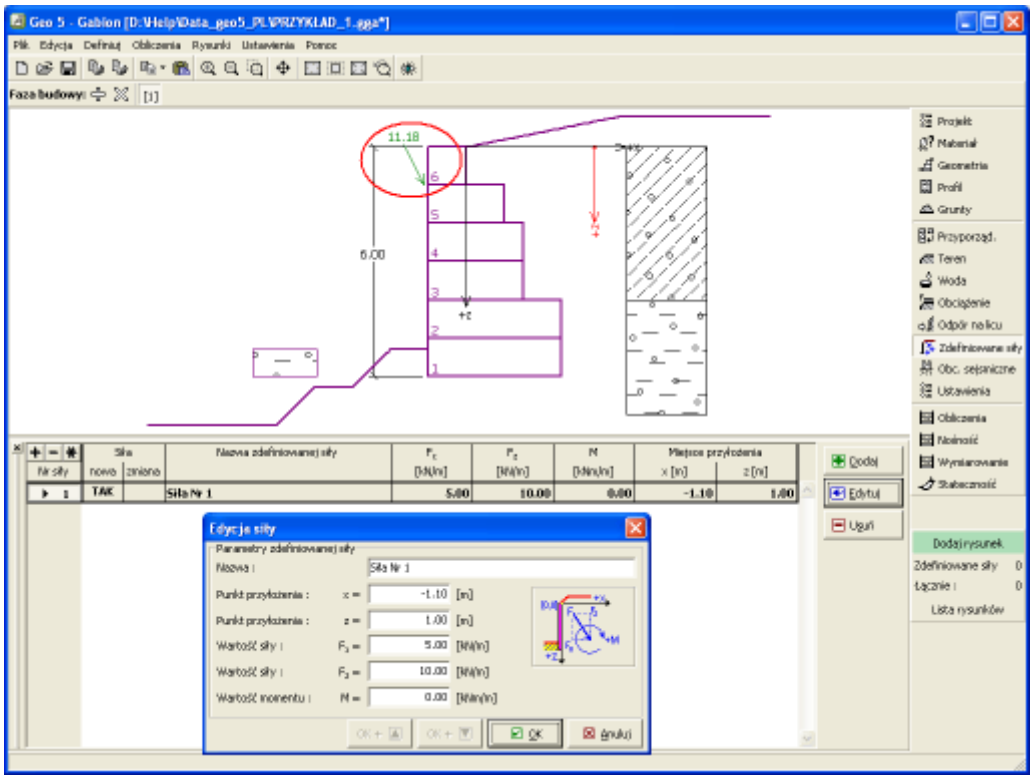
Ramka "Odpór na licu"

Zdefiniowane siły

Ramka "**Zdefiniowane siły**" zawiera tabelę z listą sił działających na konstrukcję. Dodawanie sił odbywa się oknie dialogowym "**Nowa siła**". Zdefiniowane siły można również edytować na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

Zdefiniowane siły reprezentują dodatkowe obciążenia oddziałujące na konstrukcje oporową, ścianę wykopu czy nasyp zbrojony. W ten sposób istniej możliwość modelowania takich elementów jak: obciążenia od bilboardów, ekranów czy barier drogowych. Program nie dostosowuje (nie zmienia) w żaden sposób zdefiniowanych sił w toku obliczeń, za wyjątkiem przemnażania ich przez odpowiednie współczynniki zgodnie z wybranym rodzajem oddziaływania (EN1997, LRFD).

Obciążenia zewnętrzne oddziałujące na naziomie (na powierzchni terenu) należy definiować jako obciążenie.



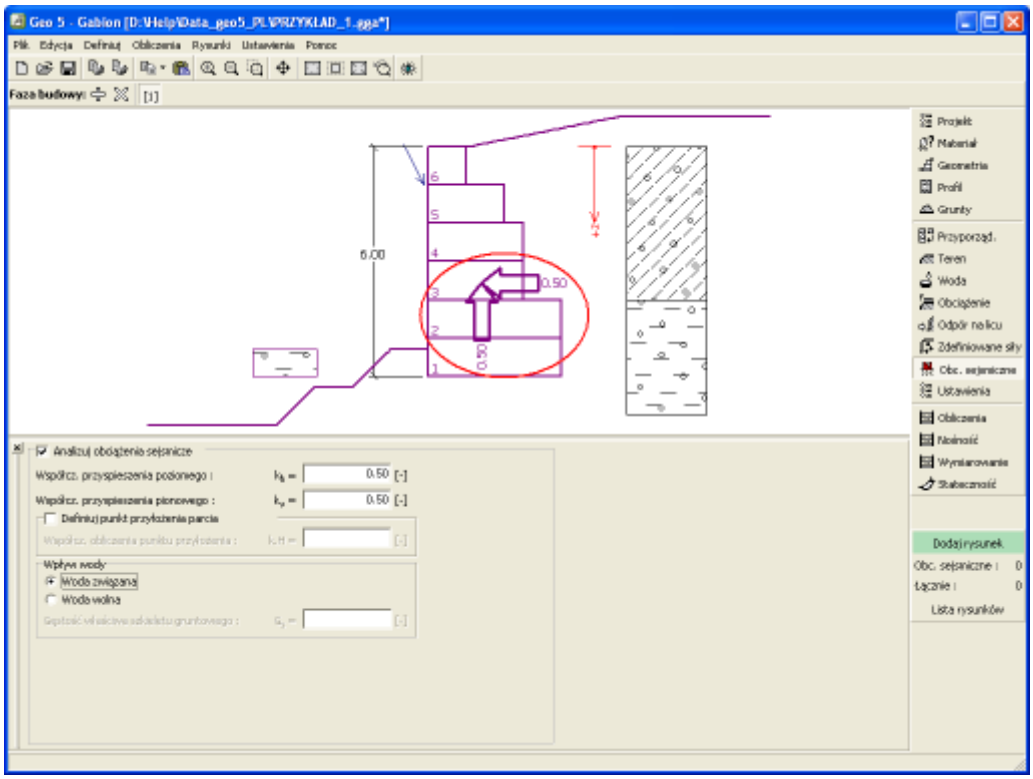
Ramka "Zdefiniowane siły"

Obciążenia sejsmiczne

Ramka "**Obciążenia sejsmiczne**" służy do wprowadzania parametrów obciążeń sejsmicznych. Kierunki skutków obciążeń sejsmicznych są wyświetlane na pulpicie.

Jeśli nie są dostępne wyniki pomiarów współczynniki k_h oraz k_v można wyznaczyć stosując opisane w pomocy podejście z normy EN 1998-5.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem obciążeń sejsmicznych zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążeń sejsmicznych".



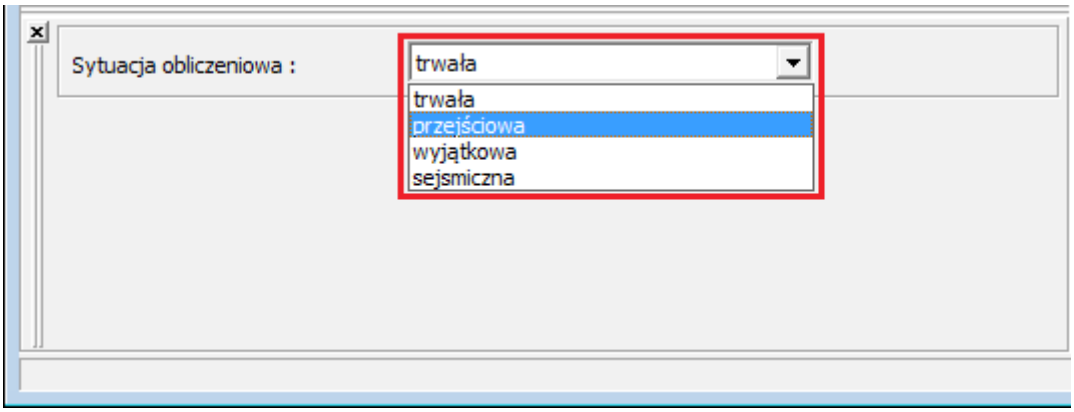
Ramka "Obciążenia sejsmiczne"

Ustawienia fazy

Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących tylko wybranej fazy obliczeniowej.

Wybrana sytuacja obliczeniowa określa współczynniki bezpieczeństwa, które będą zastosowane w obliczeniach danej fazy budowy.

Wygląd ramki zależy od wybranej metody analizy.



Ramka "Ustawienia fazy"

Analiza

Ramka "**Analiza**" wyświetla wyniki analizy stateczności zbocza. Istnieje

możliwość przeprowadzenia dowolnej liczby analiz w obrębie jednego zadania.

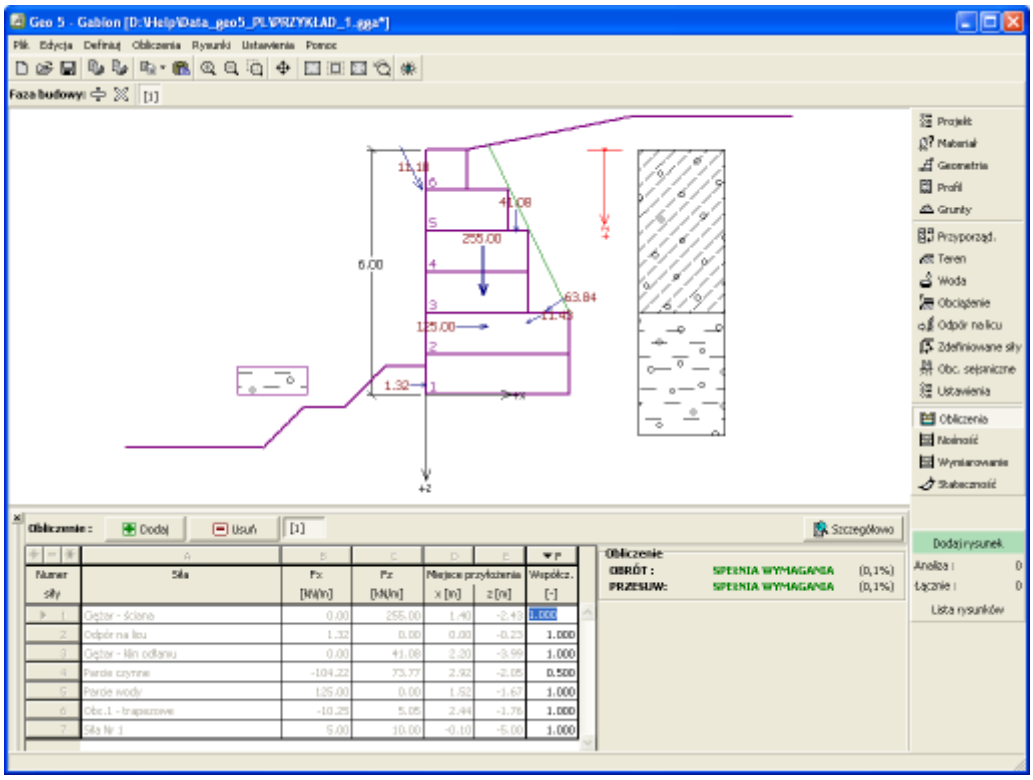
Wygląd ramki jest dostosowany do wybranej metodyki obliczeń.

- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa, lub zgodnie z teorią stanów granicznych - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia modyfikację współczynników obliczeniowych, przykładanych do wyznaczonych sił. Wartości tych sił są wyświetlane na ekranie i są automatycznie odświeżane przy każdej zmianie danych projektu lub ustawień w tablicy.
- Obliczenia według EN 1997 - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia zdefiniowanie czy obciążenie oddziałujące na konstrukcje jest uwzględniane jako drugorzędne. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w rozdziale "Kombinacje obciążeń".
- Obliczenia według LRFD - w tym przypadku ostatnia kolumna nie jest wyświetlana.

Procedura analizy ściany została opisana w teoretycznej części pomocy.

Wyniki analizy wyświetlane są na pulpicie i natychmiast aktualizowane dla dowolnej zmiany wprowadzonych danych bądź ustawień. Prawa część ramki przedstawia wyniki analizy ściany ze względu na **obrót i przesuw**. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które zawiera szczegółowe zestawienie wyników analizy.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Analiza"

Nośność

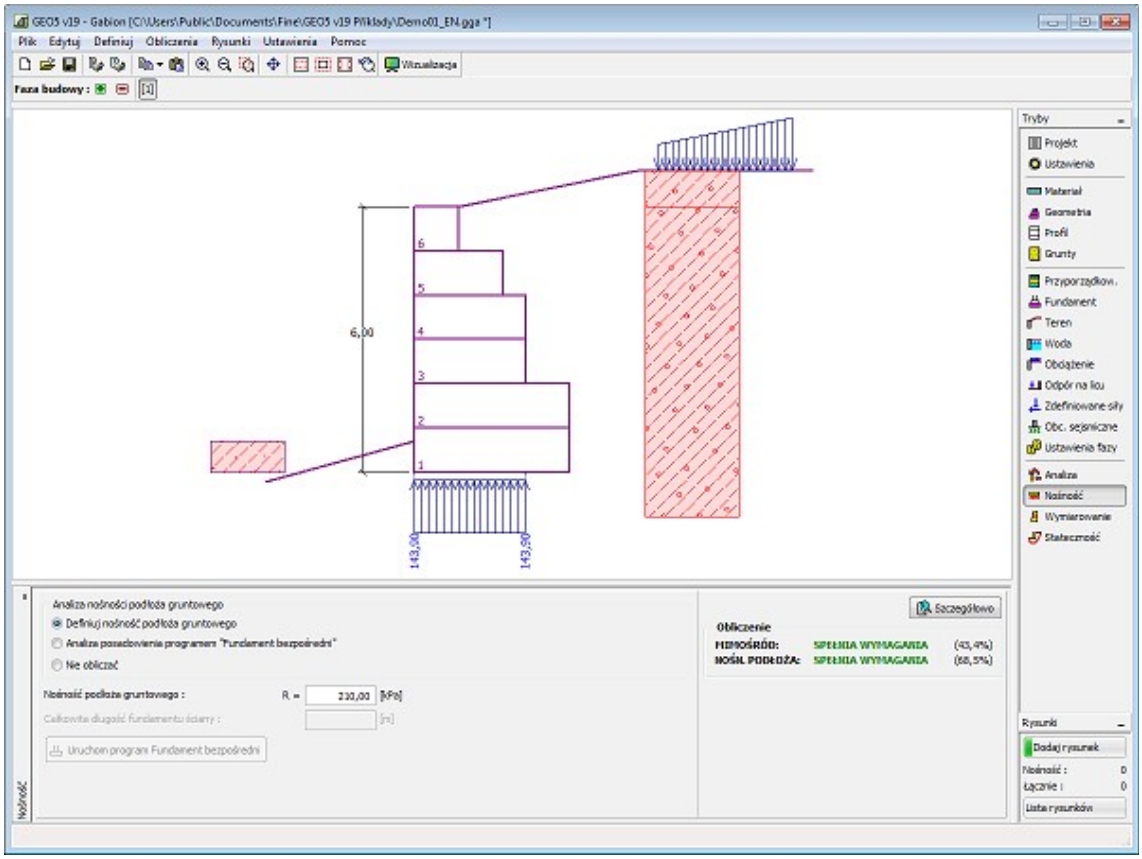
Ramka "**Nośność**" wyświetla wyniki analizy nośności podłoża gruntowego. Naprężenie w podstawie fundamentu (założono stałe) uzyskuje się na podstawie wszystkich obliczeń przeprowadzonych w ramce "Analiza". Program "**Fundament bezpośredni**", "**Spread footing CPT**", "**Pile**" and "**Pile group**" traktuje wszystkie obliczenia jako przypadki obciążeń. In the program "**Pile CPT**", just normal load is used.

Ramka "**Nośność**" zawiera następujące opcje analizy:

- **Definiuj nośność podłoża gruntowego** — W tym przypadku, nośność podłoża gruntowego definiowana jest przez użytkownika. Wyniki analizy fundamentu ze względu na **mimośród** oraz nośność **podłoża** wyświetlane są w prawej części ramki. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które wyświetla szczegółowe wyniki analizy nośności podłoża gruntowego.
- **Wyznacz nośność podłoża gruntowego programem "Fundament bezpośredni"** — Naciśnięcie przycisku "**Uruchom program Fundament bezpośredni**" uruchamia program "**Fundament bezpośredni**", który umożliwia obliczenie nośności gruntu lub osiadanie i obrót fundamentu. Naciśnięcie przycisku "**Zakończ i prześlij dane**" zamyka tryb analizy w programie Fundament bezpośredni - wyniki obliczeń i wszystkie rysunki kopiowane są do programu wyjściowego, tj. "**Gabion**". Program "**Fundament bezpośredni**" musi być zainstalowany, aby przycisk ten był dostępny. Przy wyborze tej opcji należy zdefiniować całkowitą długość fundamentu ściany.
- **Analyse bearing capacity by program "Spread footing CPT"** — The procedure is identical as if calculating soil bearing capacity by the **"Spread footing**" program.
- **Analiza posadowienia programem "Pal"** — W tym przypadku, procedura jest jednakowa jak przy wyznaczaniu nośności podłoża gruntowego za pomocą programu "**Fundament bezpośredni**". Opcja "**Uruchom program Pal**" jest dostępna jedynie w przypadku, gdy ściana ma zdefiniowany (w ramce "Fundament") typ fundamentu jako fundament palowy. Przy wyborze tej opcji konieczne jest zdefiniowanie rozstawu pali s.
- **Analyse bearing capacity by program "Pile CPT"** — The procedure is identical as if calculating soil bearing capacity by the "**Pile**" program.
- **Analiza posadowienia programem "Grupa pali"** — W tym przypadku, procedura jest jednakowa jak przy wyznaczaniu nośności podłoża gruntowego za pomocą programu "**Fundament bezpośredni**". Opcja "**Uruchom program Grupa pali**" jest dostępna jedynie w przypadku, gdy ściana ma zdefiniowany (w ramce "Fundament") typ fundamentu jako fundament palowy z liczbą pali większą niż jeden. W tej sytuacji nalezy zdefiniować: rozstaw pali s, całkowitą liczbę rzędów pali n oraz długość obciążenia l.
- **Nie obliczaj (fundament na palach)** — Nośność podłoża gruntowego nie jest obliczana.

Program umożliwia określenie kształtu naprężenia kontaktowego w podstawie fundamentu.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Nośność"

Wymiarowanie

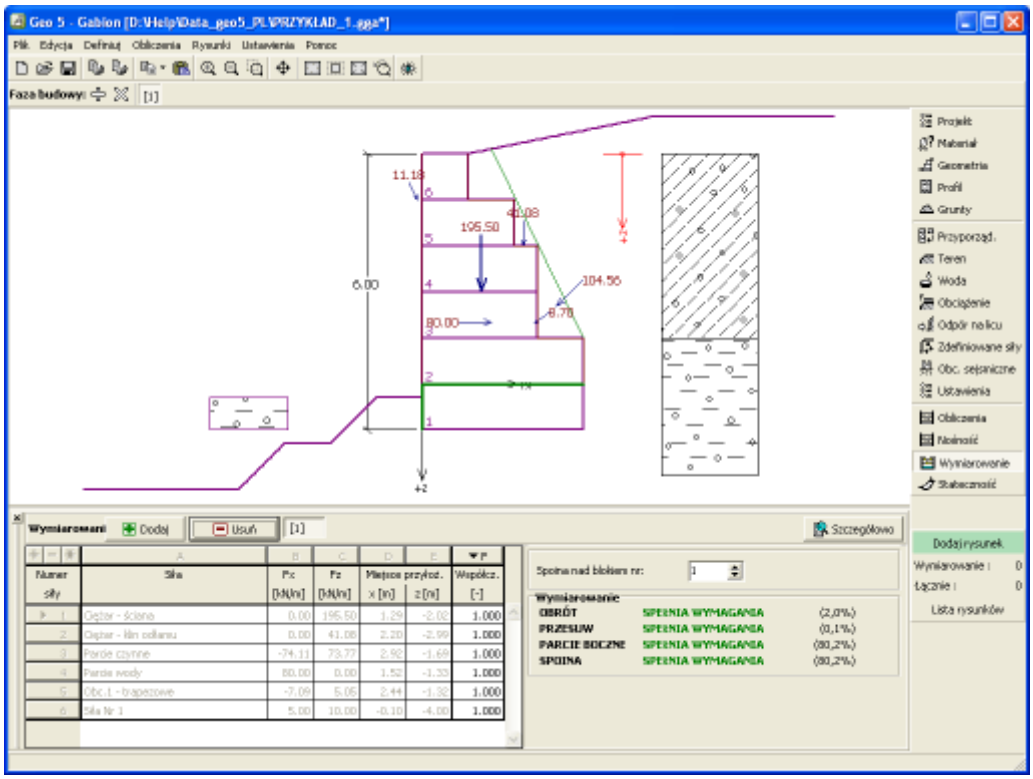
Ramka "**Wymiarowanie**" umożliwia sprawdzenie połączeń pomiędzy poszczególnymi blokami ściany. Pole "**Spoina nad blokiem nr**" służy do określenia przekroju, który zostanie poddany analizie. W ramce "**Wymiarowanie**" wykonywane są: sprawdzenie na obrót, przesuw, parcie boczne i przekrój pomiędzy blokami.

Wygląd ramki jest dostosowany do wybranej metodyki obliczeń.

- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa, lub zgodnie z teorią stanów granicznych - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia modyfikację współczynników obliczeniowych, przykładanych do wyznaczonych sił. Wartości tych sił są wyświetlane na ekranie i są automatycznie odświeżane przy każdej zmianie danych projektu lub ustawień w tablicy.
- Obliczenia według EN 1997 - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia zdefiniowanie czy obciążenie oddziałujące na konstrukcje jest uwzględniane jako drugorzędne. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w rozdziale "Kombinacje obciążeń".
- Obliczenia według LRFD - w tym przypadku ostatnia kolumna nie jest wyświetlana.

Istnieje możliwość przeprowadzenia wielu obliczeń dla różnych przekrojów. Można również określić różne współczynniki obliczeniowe dla poszczególnych sił. Wyniki analizy (wyznaczone siły) wyświetlane są na pulpicie i natychmiast aktualizowane dla dowolnej zmiany wprowadzonych danych bądź ustawień. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które prezentuje szczegółowe wyniki wymiarowania.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".

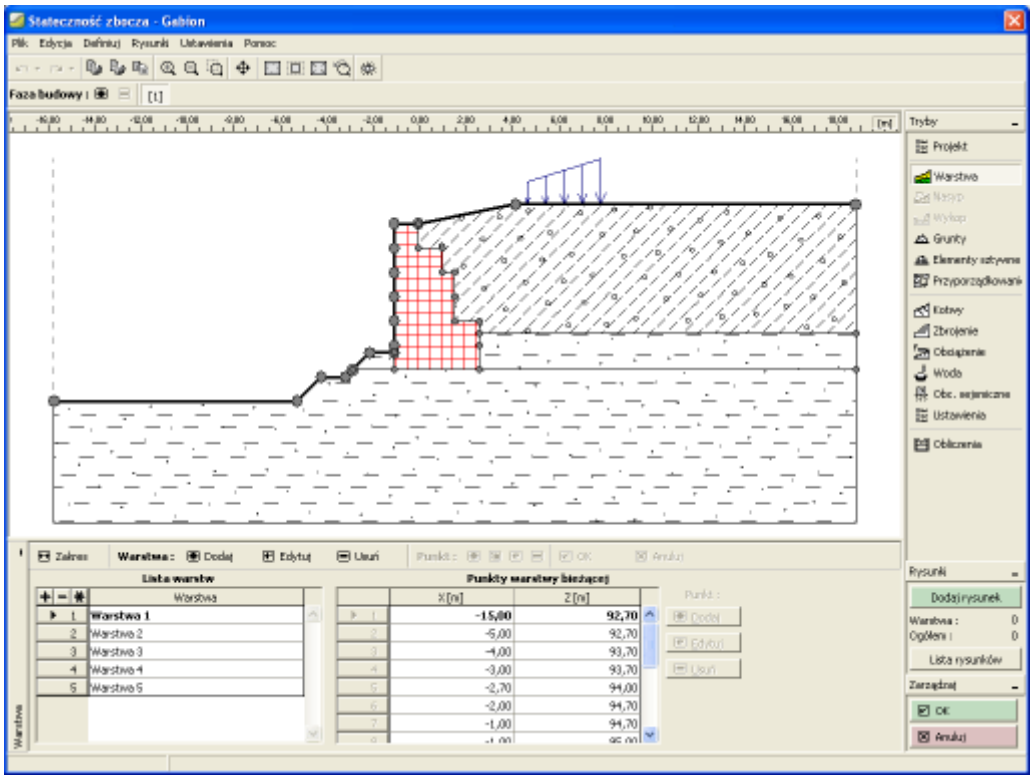


Ramka "Wymiarowanie"

Stateczność

Naciśnięcie przycisku "**Stateczność**" uruchamia program "**Stateczność zbocza**". Program ten umożliwia sprawdzenie ogólnej stateczności analizowanej konstrukcji. Przycisk jest dostępny, jeżeli program "**Stateczność zbocza**" został zainstalowany.

Po zakończeniu obliczeń stateczności w programie Stateczność zbocza należy kliknąć przycisk "**Zakończ i prześlij dane**" aby opuścić program i przekazać wyniki obliczeń do programu "**Gabion**". Wszystkie operacje (dane, obliczenia, dodane rysunki) przeprowadzone w programie Stateczność zbocza będą dostępne w dokumentacji wynikowej projektu w programie "**Gabion**".



Ramka "Stateczność"

Program Przyczółek

Program ten służy do projektowania przyczólków mostowych z uwzględnieniem konstrukcji skrzydeł. Program umożliwia sprawdzenie przyczółku na obrót, przesuw, nośność fundamentu, a także wymiarowanie przekrojów żelbetowych (łącznie ze skrzydłami).

Pomoc w programie "Przyczółek" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

Projekt	Ustawienia	Geometria - przekrój	Skrzydła	Geometria - rzut	Stopnie fundamentu	Materiał
Profil	Grunty	Obciążenie - SO	Przyporządkowanie	Fundament	Nasyp za konstrukcją	Teren
Woda	Obciążenie	Opór na licu	Zdefiniowane siły	Obciążenie sejsmiczne	Ustawienia fazy	Analiza
Nośność	Wymiarowanie	Stateczność				

- Normy i metody obliczeniowe

- Teoria obliczeniowa do programu "**Przyczółek**":

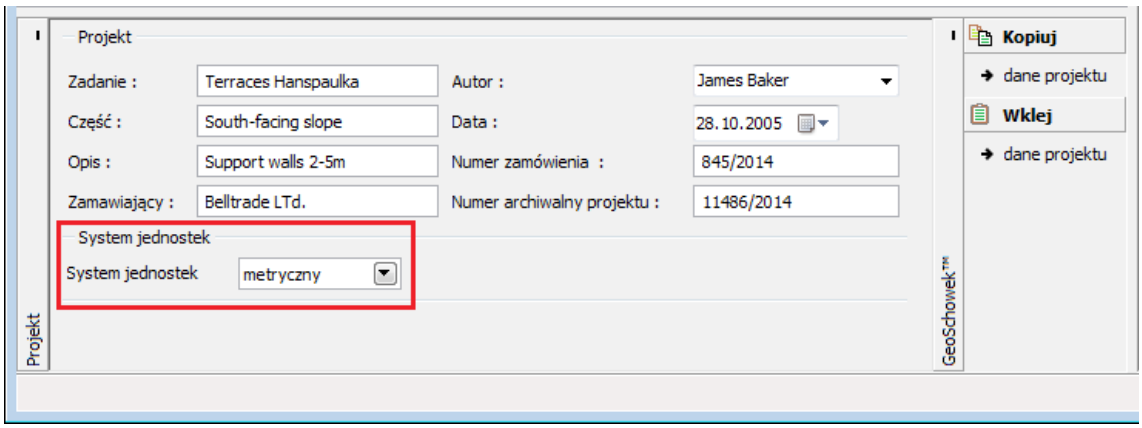
Naprężenia w gruncie | Parcia gruntu | Analiza ścian | Analiza nośności fundamentu | Wymiarowanie konstrukcji betonowych

- Dane wyjściowe
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym

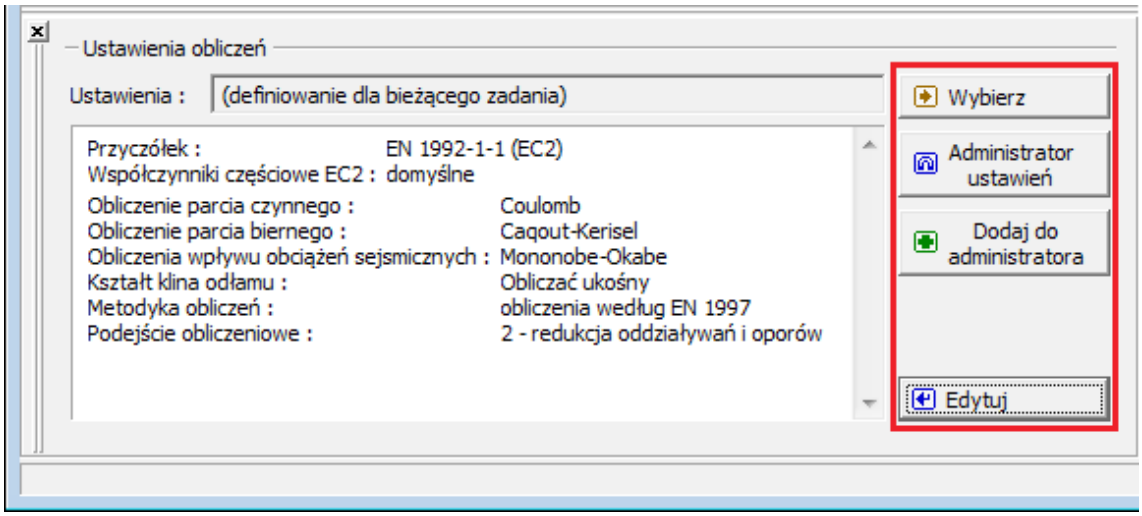
możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładkach "Materiały i normy" oraz "Konstrukcje oporowe".



Ramka "Ustawienia"

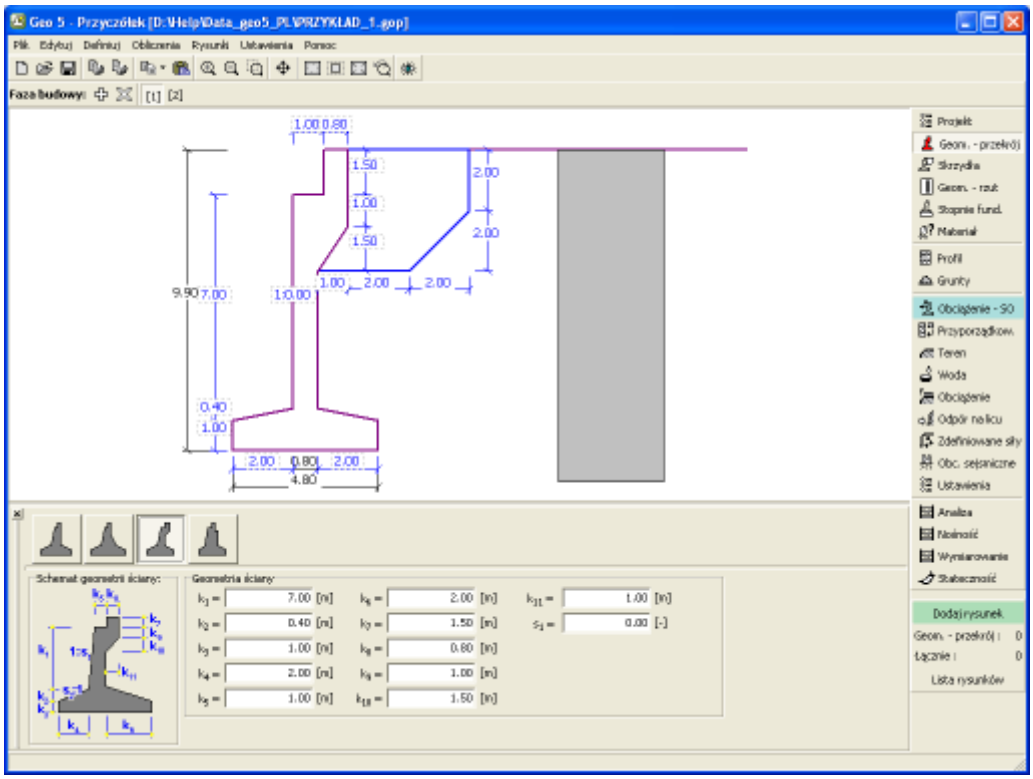
Geometria - przekrój

Ramka "**Geom. - przekrój**" umożliwia wybranie kształtu przyczółku mostu. Wybrany kształt z podpowiedzią graficzną "**Schemat geometrii ściany**" wyświetlany jest w lewej części ramki. Kształt ściany można edytować w ramce poprzez wstawienie wartości do pól danych bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

W przypadku konstrukcji składającej się z pochyłych odcinków, wymagane jest zdefiniowanie stosunku boków pochyłego odcinka $1{:}x$. W takim przypadku **prostą konstrukcję** określa się poprzez wprowadzenie wartości zero.

Ramka "**Geom. - przekrój**" służy do zdefiniowania końcowego kształtu przyczółku łącznie ze ścianą zamykającą. Przyczółek można również sprawdzać dla fazy budowy (bez ściany zamykającej) na podstawie wyboru w ramce "Obciążenie - SO". Długość przyczółku oraz długość fundamentu przyczółku definiuje się w ramce "Geometria - rzut".

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.



Ramka "Geometria - przekrój"

Skrzydła

Ramka "**Skrzydła**" umożliwia zdefiniowanie geometrii skrzydeł mostu. Skrzydła mogą być symetryczne lub niesymetryczne. Skrzydła niesymetryczne wymagają oddzielnego zdefiniowania wymiarów lewego i prawego skrzydła. Aktualnie definiowane skrzydło jest zawsze wyświetlane na ekranie - jedynie lewe skrzydło jest następnie przedstawiane w pozostałych ramkach.

Ramkę "Geometria - rzut" można również wykorzystać do wprowadzenia lub edycji grubości oraz długości skrzydeł.

Przekrój roboczy skrzydło - przyczółek można również sprawdzić w ramce "Wymiarowanie". Obciążenie momentem jest wówczas uwzględniane. Całe skrzydło jest obciążane **parciem czynnym** powstałym za ścianą. W oknie dialogowym "**Wymiarowanie**" można również zdefiniować wartości **obciążenia powierzchni** w celu wyznaczenia parcia skrzydła. W takim przypadku obciążenie zdefiniowane w ramce "Obciążenie" nie jest uwzględniane, a teren za skrzydłem jest uważany za płaski. Powstały moment przykładany do przekroju jest uzyskiwany poprzez pomnożenie wypadkowej wartości parcia gruntu działającego na powierzchnię ściany oraz przez różnicę środków masy parcia i przekroju.

Długość przekroju zastosowanego do wymiarowania uważana jest domyślnie jako wysokość skrzydła - istnieje również możliwość określenia innej długości przekroju skrzydło - przyczółek po wybraniu opcji "**Redukuj do wymiarowania**".

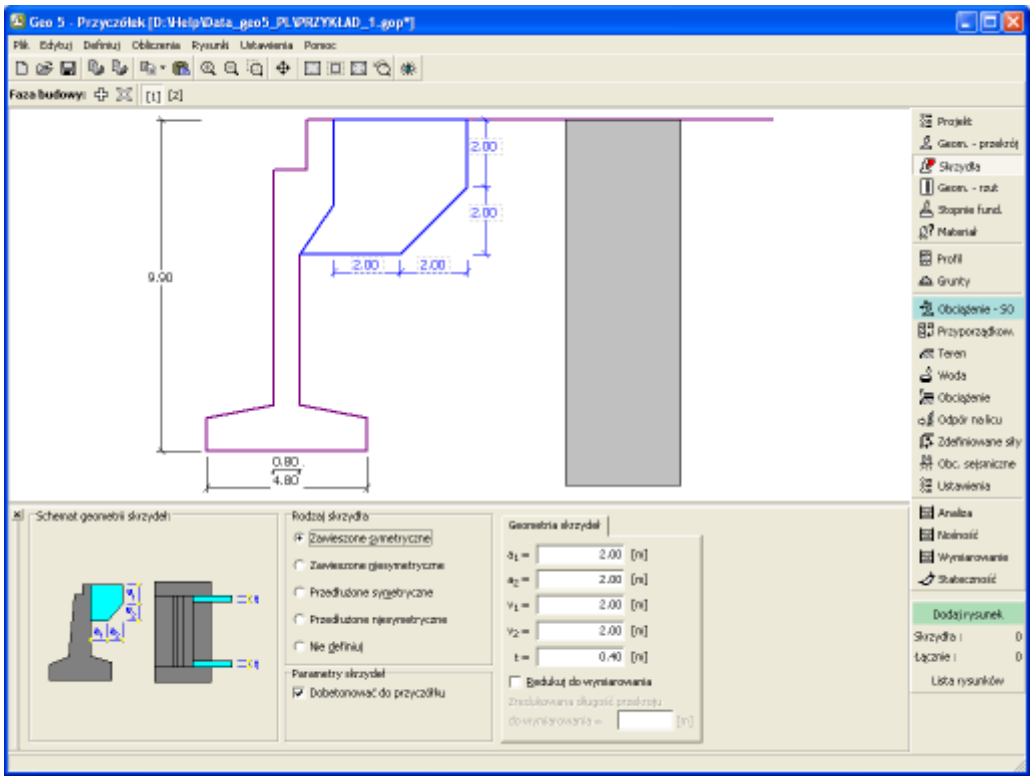
W przypadku stosowania wydłużonych ścian skrzydła, istnieje możliwość zdefiniowania wymiarów fundamentu pod ścianą. Taka odsadzka fundamentu jest odzwierciedlana w analizie poprzez obliczenie fikcyjnej szerokości fundamentu jako:

$$d_{fict} = \frac{A_{tot}}{S}$$

gdzie:

A_{tot}	całkowite pole fundamentu łącznie ze wszystkimi odsadzkami
S	długość fundamentu przyczółku
d_{fict}	fikcyjna szerokość fundamentu do analizy

Fundament jest następnie uważany za prostokątny, co jest uproszczonym, ale raczej konserwatywnym założeniem.



Ramka "Skrzydła"

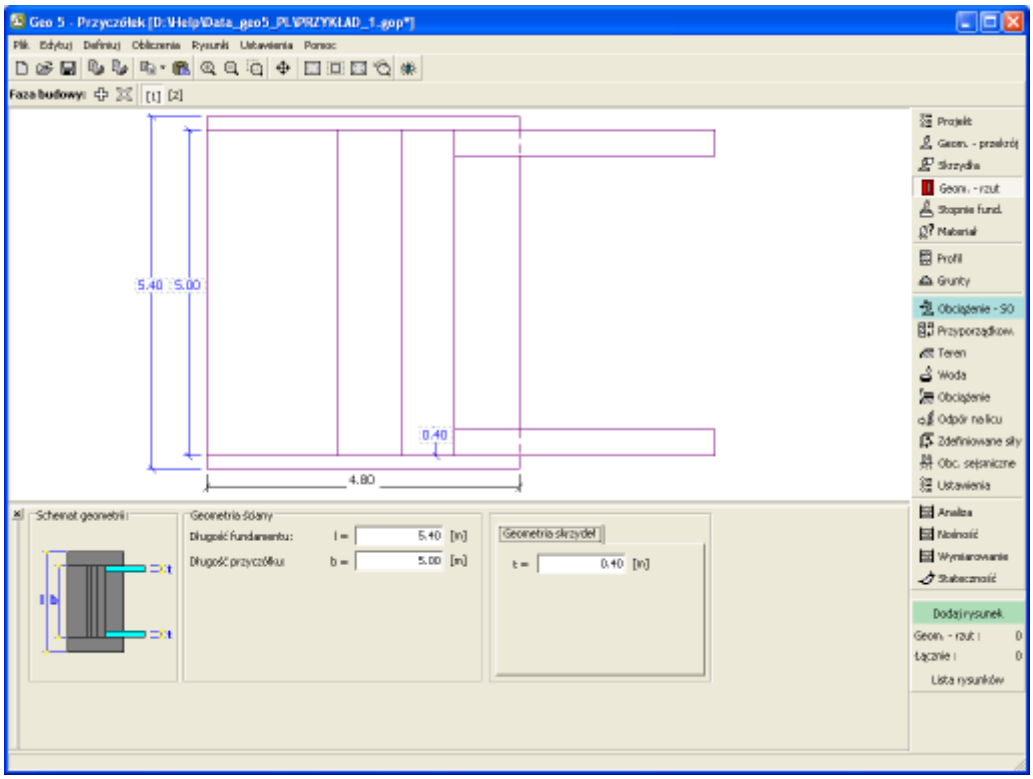
Geometria - rzut

Ramka "**Geometria - rzut**" umożliwia zdefiniowanie długości przyczółku, długości fundamentu przyczółku oraz wymiarów skrzydeł przyczółku.

Wymiary można modyfikować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól danych lub na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Szczegółowe informacje na temat **wpływu wymiarów przyczółku** na wyniki analizy zostały przedstawione w rozdziale "Obliczanie sił przyczółku".

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.

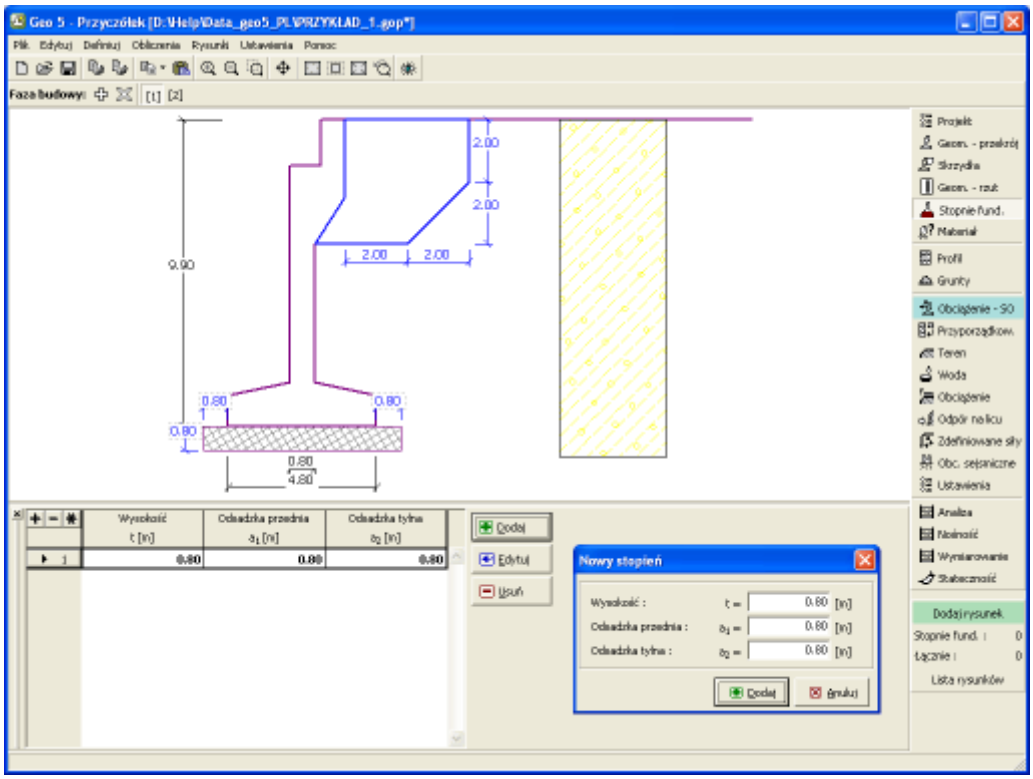


Ramka "Geometria - rzut"

Stopnie fundamentu

Ramka "**Stopnie fundamentu**" służy do definiowania stopni fundamentu pod przyczółkiem. Opcja ta umożliwia zatem zdefiniowanie różnorodnych kształtów przyczółku mostu.

Dodawanie stopni fundamentu odbywa się w oknie dialogowym "**Nowy stopień**". Zdefiniowane stopnie fundamentu można modyfikować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól danych lub na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów lub aktywnych obiektów.



Ramka "Stopnie fundamentu"

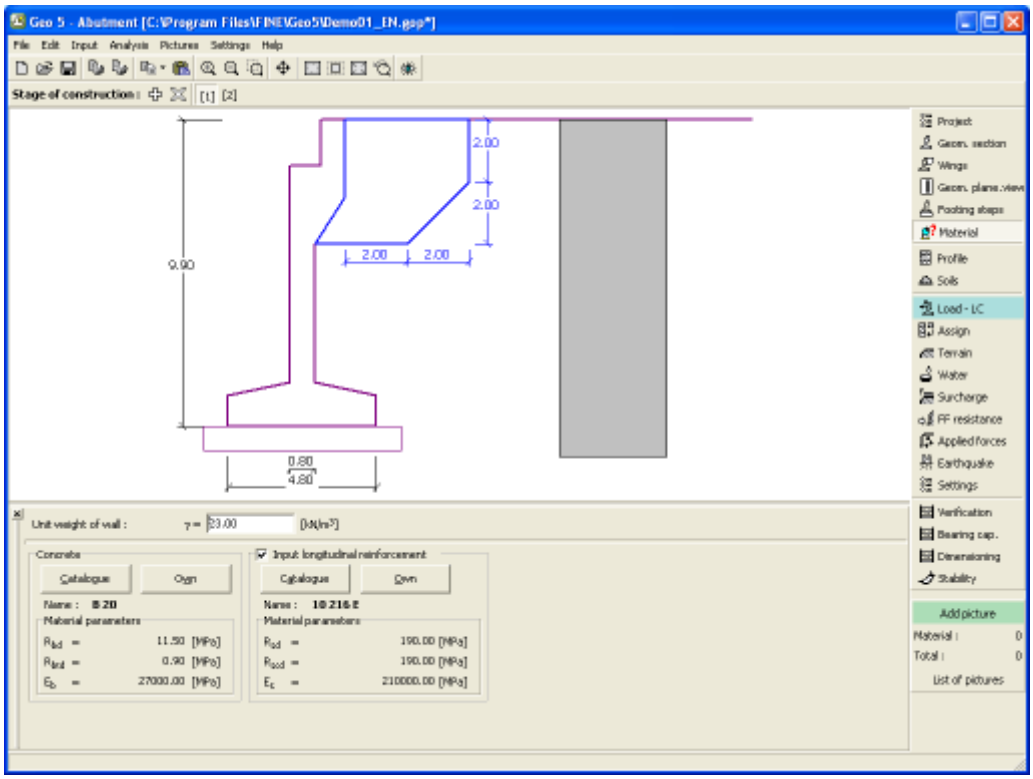
Materiał

Ramka "**Materiał**" umożliwia wybór stosowanych materiałów - betonu oraz stali zbrojeniowej (zbrojenia podłużnego).

W ramce "**Materiał**" dostępne są dwie opcje wyboru rodzaju materiału:

- Przycisk "**Katalog**" otwiera okno dialogowe "**Katalog materiałów**" (dla betonu lub stali zbrojeniowej); z zamieszczonej w nim listy materiałów można dokonać wyboru materiału.
- Przycisk "**Użytkownika**" otwiera okno dialogowe "**Edytor materiału - beton**" (dla betonu) lub okno dialogowe "**Edytor materiału - stal zbrojeniowa**" (dla zbrojenia podłużnego), które umożliwia ręczne określenie parametrów materiału.

Zawartość katalogu zależna jest od wyboru normy do konstrukcji betonowych. Wyboru normy dokonuje się w zakładce "Materiały i normy". Pole danych w górnej części ramki służy do zdefiniowania ciężaru objętościowego ściany.



Ramka "Materiał"

Profil

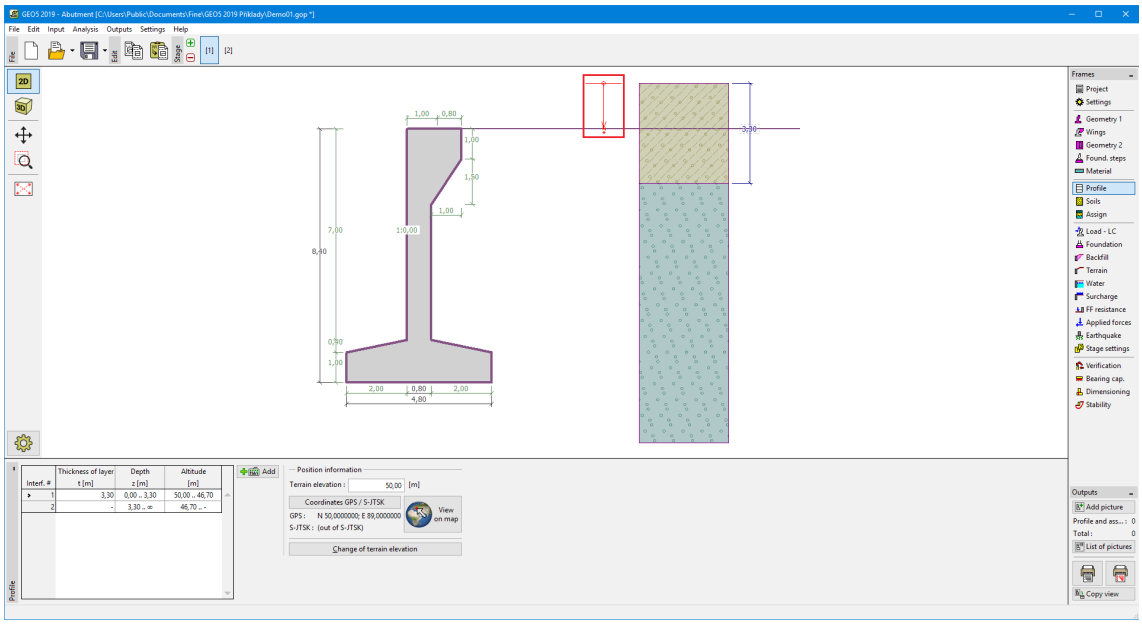
Ramka "**Profil**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych warstw. Po zdefinowaniu poszczególnych warstw można edytować ich miąższość za pomocą aktywnych wymiarów.

Dodawanie warstw wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowa warstwa**". Definiowana jest rzędna z mierzona od górnego punktu konstrukcji (oś-z).

In this frame it is also possible to enter optional information about the structure location:

- **terrain elevation** - an altitude column for the layers is displayed in the table after input of terrain elevation
- **GPS coordinates** - it is possible to show a structure on the Google Maps using "**View on map**" button after input of coordinates.

Program umożliwia obniżenie lub podniesienie górnego punktu konstrukcji w oknie dialogowym "**Zmiana rzędnej terenu**", a zdefiniowane warstwy będą wówczas przesunięte, jednocześnie zachowując swoją miąższość. Funkcja ta jest istotna podczas kopiowania profilu z programu "**Teren**".



Ramka "Profil"

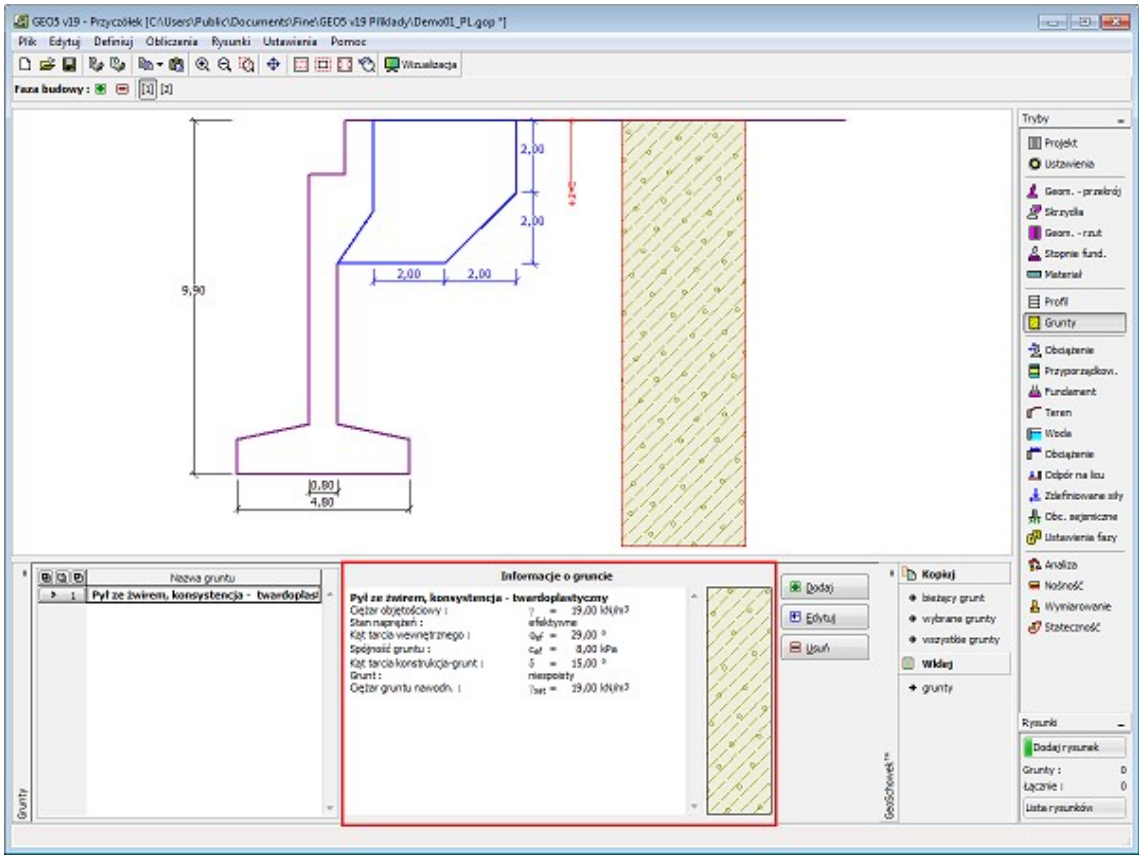
Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Dane podstawowe", "Spoczynkowe parcie gruntu" oraz "Naprężenie geostatyczne, wypór".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

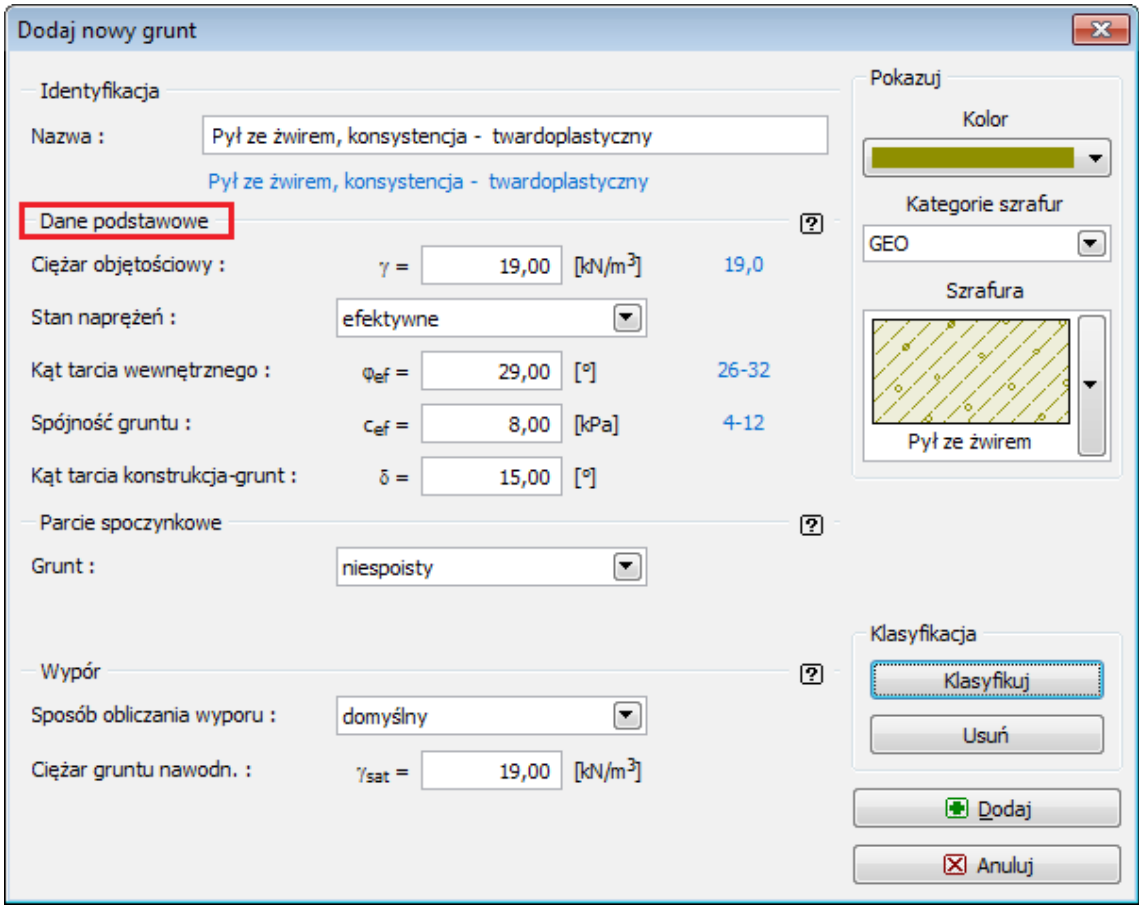
Ta część okna dialogowego służy do definiowania podstawowych parametrów gruntów - **ciężaru objętościowego, kąta tarcia wewnętrznego** oraz **spójności**. Wartości te określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub in-situ dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wartości parametrów gruntów określone na podstawie doświadczenia oraz literatury światowej. Parametry skał nie zostały zawarte w tej bazie, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym.

Istnieje możliwość definiowania wymiennie - parametrów **efektywnych** lub **uogólnionych** kąta tarcia wewnętrznego i spójności w zależności od wybranego ustawienia w liście rozwijanej "**Stan naprężeń**". Decyzja o zastosowaniu parametrów efektywnych czy uogólnionych zależy w szczególności od rodzaju gruntu, rodzaju obciążenia, czasu wykorzystania konstrukcji i warunków wodnych.

W dalszej kolejności, w przypadku naprężeń efektywnych definiuje się kąt tarcia pomiędzy konstrukcją i gruntem, który zależy zarówno od rodzaju gruntu jak i rodzaju konstrukcji. Szacunkowe wartości tego parametru podano w tabeli wartości zalecanych.

W przypadku naprężeń całkowitych natomiast należy zdefiniować adhezję gruntu do lica konstrukcji a.

Podstawy teoretyczne dotyczące omawianego zaganienia opisano w rozdziale "Parcie gruntu".

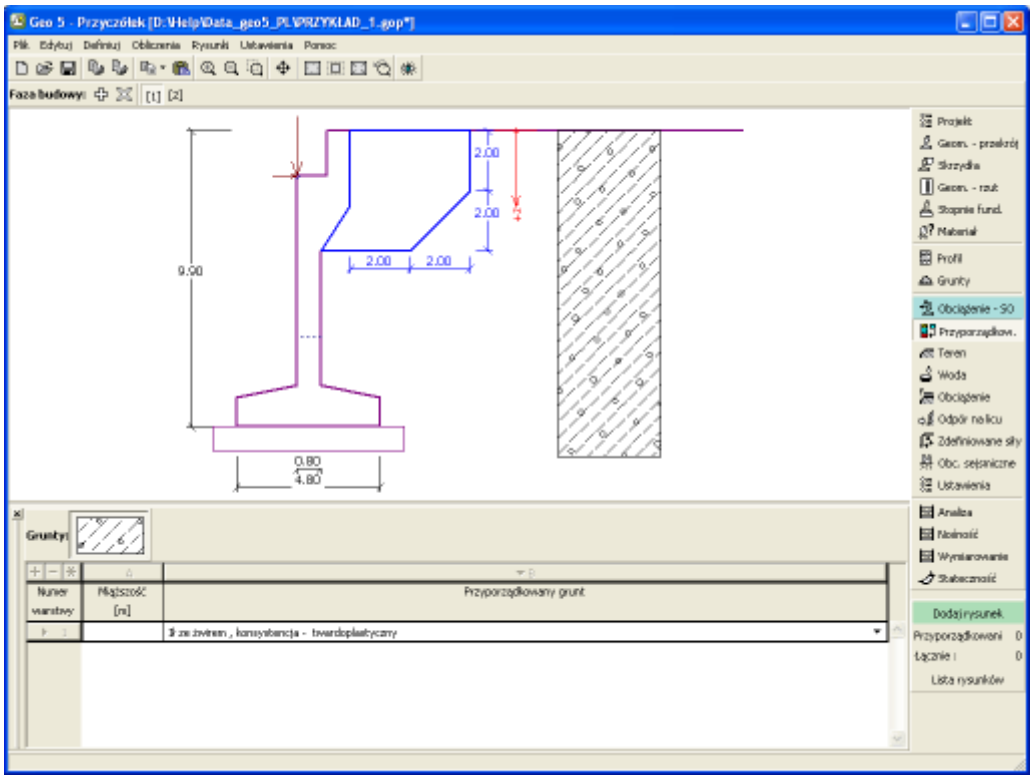


Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów"**.**



Ramka "Przyporządkowanie"

Obciążenie - SO

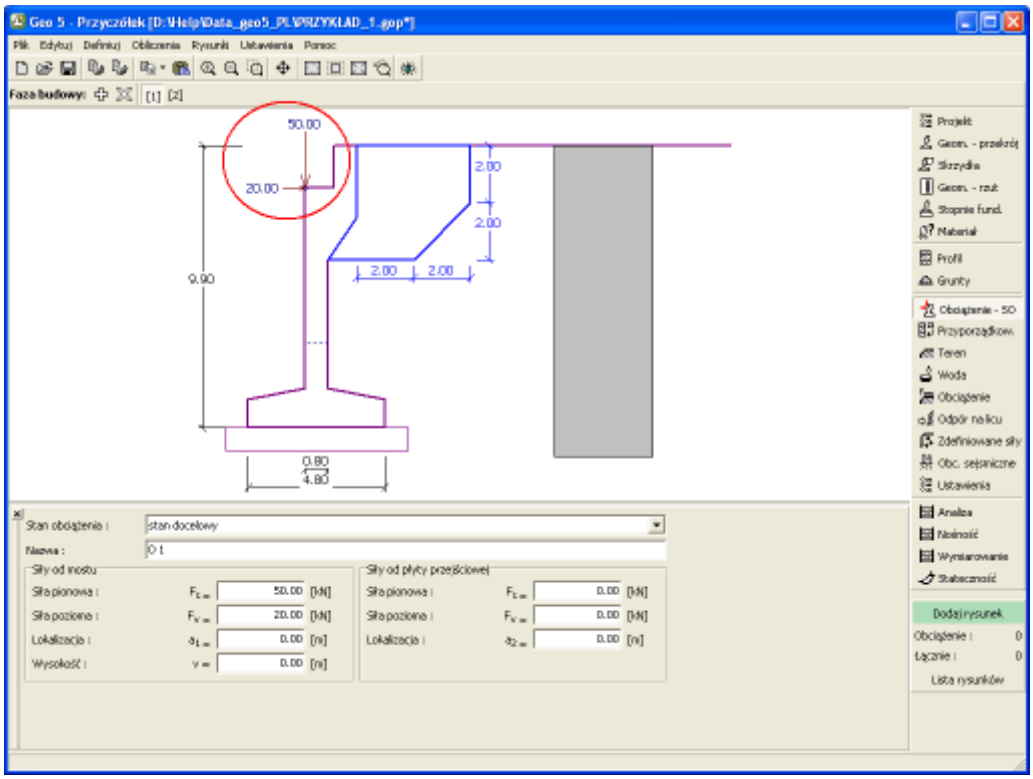
Ramka "**Obciążenie - SO**" służy do definiowania poszczególnych **stanów obciążenia** (tymczasowy, docelowy) oraz obciążenia spowodowanego przez most i płytę przejściową. Analiza obliczeń i wymiarowania całego przyczółku mostu lub jego części przeprowadzana jest zgodnie z określonym rodzajem SO.

Przy wykonywaniu obliczeń według EN1997 lub LRFD definiowane siły **od mostu i płyty przejściowej nie są zwiększane** żadnymi współczynnikami częściowymi. Siły należy definiować jako obliczeniowe **zgodnie** z odpowiednimi normami (EN1990, EN1991).

Nie zdefiniowanie obciążenia w **stanie tymczasowym** powoduje, że przyczółek jest weryfikowany w danym etapie budowy bez ściany zamykającej i skrzydeł mostu.

W przypadku **stanu docelowego**, przyczółek jest obciążany siłą od **mostu** i **płyty przejściowej**, a analizowany jest cały przyczółek.

W celu pełnego policzenia przyczółka, dobrze jest wykorzystać możliwość definiowania wielu faz budowy i definiować w poszczególnych fazach różne stany obciążenia (np. stan tymczasowy, stan docelowy bez obciążenia użytkowego, stan docelowy ze wszystkimi obciążeniami). W poszczególnych fazach można także definiować różne obciążenia, kształty terenu, rodzaje parcia (czynne, spoczynkowe), współczynniki obliczeniowe, itp.



Ramka "Obciążenie - SO"

Fundament

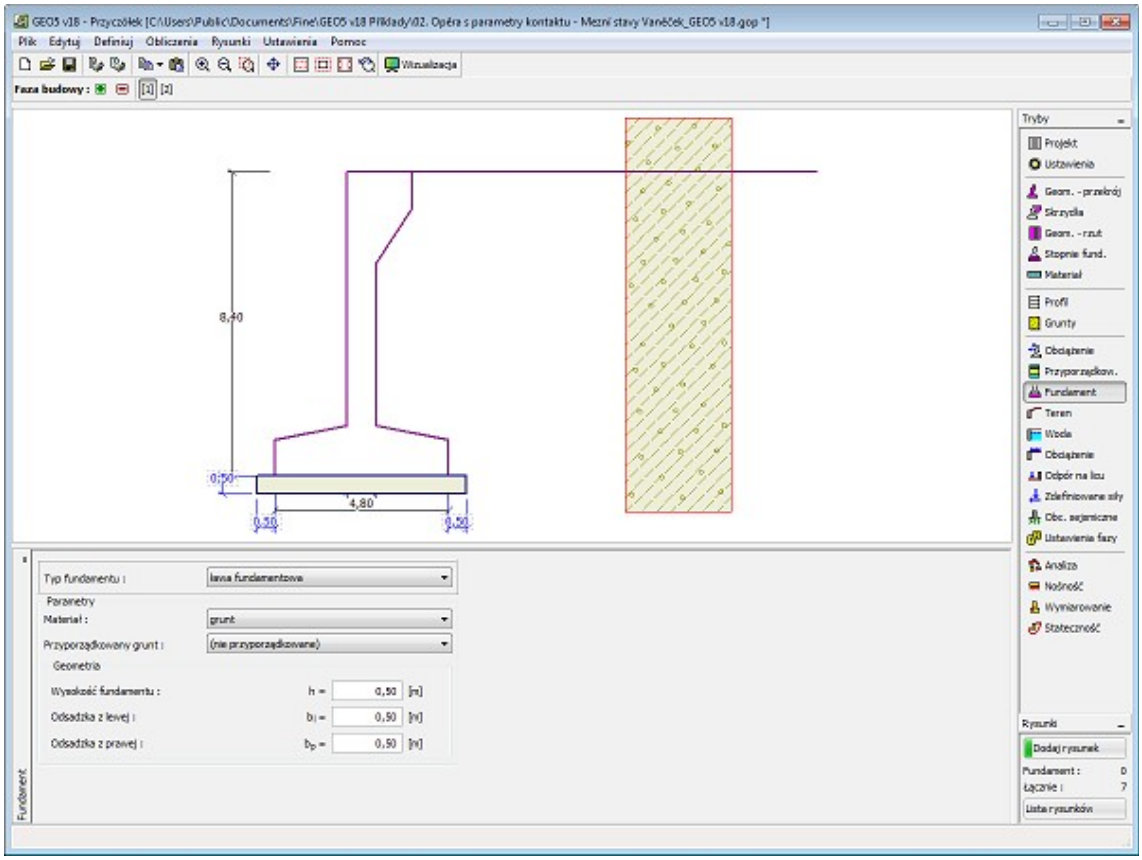
Ramka "**Fundament**" służy do definiowania rodzaju fundamentu ściany (konstrukcji oporowej). Następujące rodzaje fundamentów są dostępne w programie:

- **grunt - z profilu geologicznego** - w tym przypadku ściana posadowiona jest na gruncie przyporządkowanym z profilu geologicznego zdefiniowanego w ramce "Profil".
- **grunt - definiuj parametry kontaktu** - przy wybraniu tej opcji definiowane są parametry kontaktu pomiędzy podłożem fundamentowym a fundamentem. Opcja "**definiuj kąt tarcia fundament-grunt**" wymaga zdefiniowania kąta tarcia ψ [°] pomiędzy fundamentem a gruntem. Opcja "**definiuj współczynnik tarcia**" wymaga natomiast zdefiniowania współczynnika tarcia μ [-]. W obydwu przypadkach natomiast niezbędne jest określenie spójności a [kPa] pomiędzy podstawą fundamentu a gruntem.
- **ława fundamentowa** - materiał ławy fundamentowej może być zdefiniowany w postaci **gruntu** (zdefiniowanego w ramce "Grunty") lub **betonu** - wybór tego typu fundamentu wymaga zdefiniowania **ciężaru objętościowego materiału fundamentu** γ oraz **parametrów kontaktu konstrukcji z gruntem** (współczynnik tarcia f, spójność c, dodatkowy odpór F).
- **fundament palowy** - ściana może być posadowiona odpowiednio na pojedynczym rzędzie pali lub dwóch rzędach pali.

Ławę fundamentową lub **fundament palowy** można zastosować w obliczeniach jedynie w przypadku gdy w zakładce "Geometria" wybrany jest kształt konstrukcji ściany oporowej z **płaską podstawą fundamentu bez odsadzki**. Geometria fundamentu ściany (ława fundamentowa, fundament palowy) może być modyfikowana w ramce poprzez wprowadzanie właściwych wartości w odpowiednich polach definiowania lub na ekranie z wykorzystaniem

aktywnych wymiarów.

Dane wprowadzone w tej ramce wpływają na przebieg analizy ściany (sprawdzenie na przesuw) a także w dalszej kolejności obliczenie nośności podłoża fundamentowego.

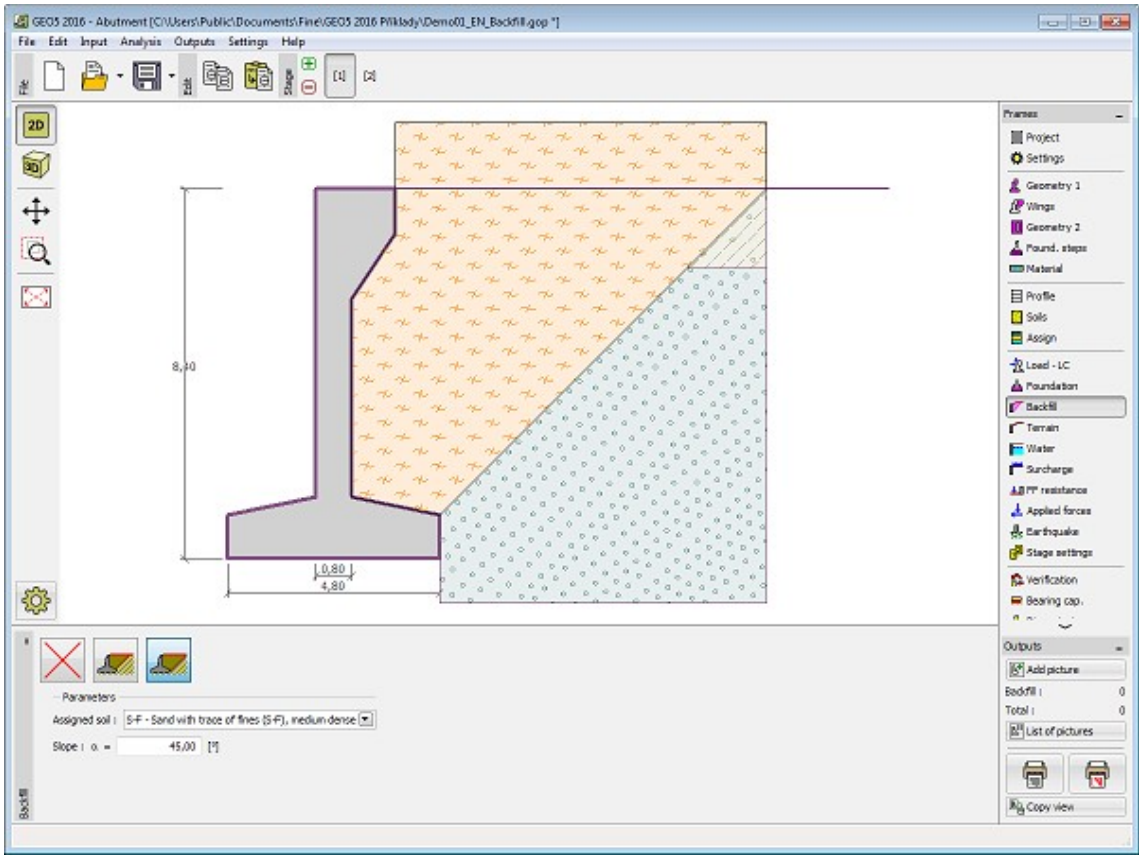


Ramka "Fundament"

Nasyp za konstrukcją

Ramka "**Nasyp**" pozwala na wprowadzenie nasypu gruntowego za konstrukcją.

Grunt przypisany do nasypu należy wybrać z listy rozwijanej w ramce (parametry gruntu definiuje się w ramce "Grunty"). Ponadto, należy zdefiniować kąt nachylenia nasypu za konstrukcją.



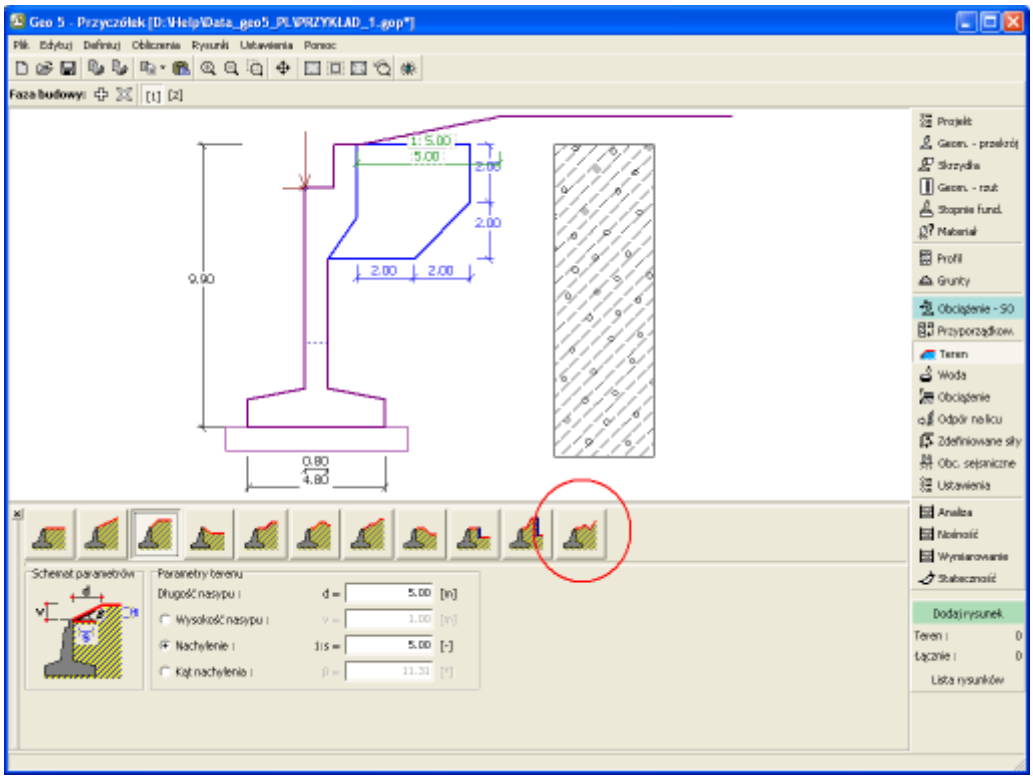
Ramka "Nasyp"

Teren

Ramka "**Teren**" umożliwia określenie ukształtowania terenu za konstrukcją. Wyboru kształtu terenu dokonuje się spośród kształtów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany kształt terenu z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Wymiary wybranego schematu terenu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego kształtu terenu. W takim przypadku, pojawiająca się ramka zawiera tabelę z listą punktów terenu. Pierwszy punkt współrzędnych $[0,0]$ zbiega się z górnym punktem konstrukcji.

Metody analizy parcia gruntu w przypadku terenu pochyłego zostały opisane w teoretycznej części pomocy "Rozkład parć gruntu dla terenu pochyłego"**.**



Ramka "Teren"

Woda

Ramka "**Woda**" umożliwia określenie rodzaju wody gruntowej. Wyboru schematu obciążenia wodą dokonuje się spośród schematów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany schemat z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Parametry (h_1, h_2...) wybranego schematu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

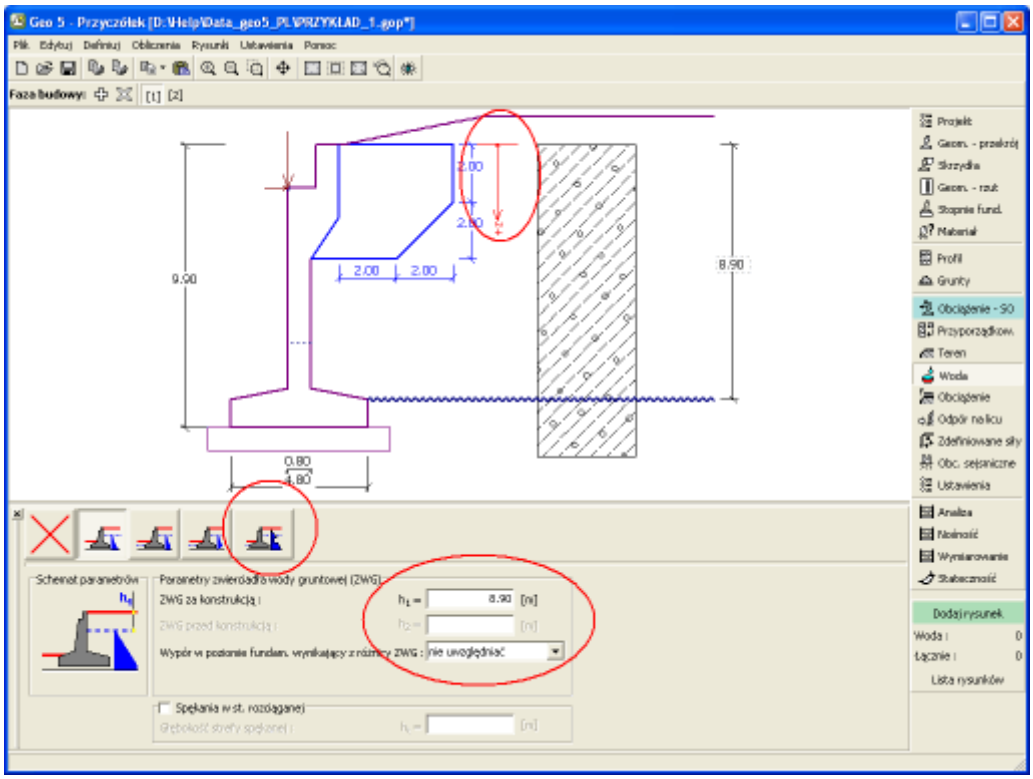
Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego ciśnienia porowego wody w gruncie zarówno przed jak i za konstrukcją. W takim przypadku, pojawiają się dwie zakładki z tabelami "**Przed konstrukcją**" i "**Za konstrukcją**". Tabele te wypełnia się wartościami ciśnienia porowego odpowiednio przed lub za konstrukcją na głębokości "z" (oś-z).

Lista rozwijana w ramce służy do określenia, czy i w jaki sposób uwzględniany jest wypór wody pod fundamentem wynikający z różnicy poziomów ZWG. Wypór może być uwzględniany jako liniowy lub paraboliczny. Przy sprawdzeniu ściany, wypór wody pod fundamentem wynikający z różnicy poziomów ZWG uwzględniany jest w postaci dodatkowej siły.

W programie istnieje również możliwość zdefiniowania zwierciadła wody gruntowej **ponad konstrukcją** lub ponad profilem gruntu - w takim przypadku, poziom wody wprowadza się za pomocą wartości ujemnej.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem wpływu wody zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ wody".

Ponadto, program umożliwia określenie głębokości rys rozciąganych wypełnionych wodą w gruncie za konstrukcją.



Ramka "Woda"

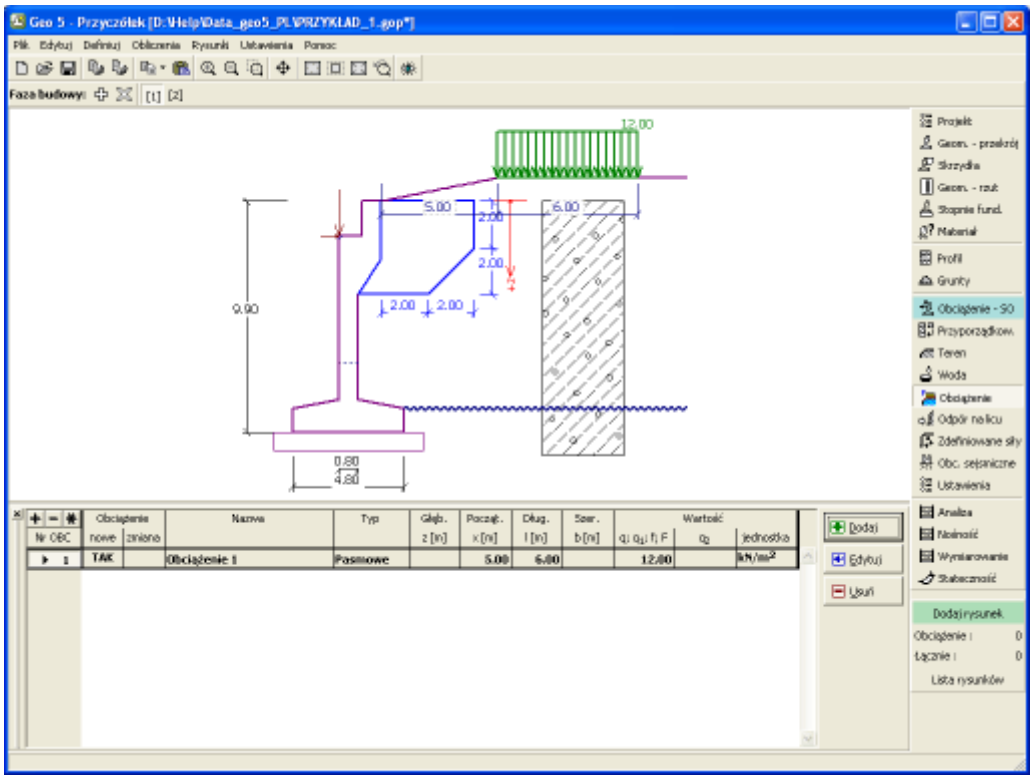
Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych obciążeń. Dodawanie obciążenia wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Zdefiniowane obciążenia można edytować na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów lub aktywnych obiektów.

Przy definiowaniu obciążenia na pewnej głębokości wprowadzana jest rzędna z, mierzona od górnego punktu konstrukcji (kierunek dodatni w dół). W przypadku, gdy obciążenie znajduje się poza terenem, program wyświetla komunikat błędu przed rozpoczęciem obliczeń.

W programie istnieje możliwość zdefiniowania obciążeń **stałych, zmiennych** lub **wyjątkowych**. Wybór rodzaju obciążenia wpływa na dobór stosownego współczynnika obliczeniowego do przemnożenia wynikowych oddziaływań. Obciążenia wyjątkowe oddziałujące w sposób korzystny nie są uwzględniane w obliczeniach.

Obliczenia parć gruntu wywołanych obciążeniami zewnętrznymi zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążenia".



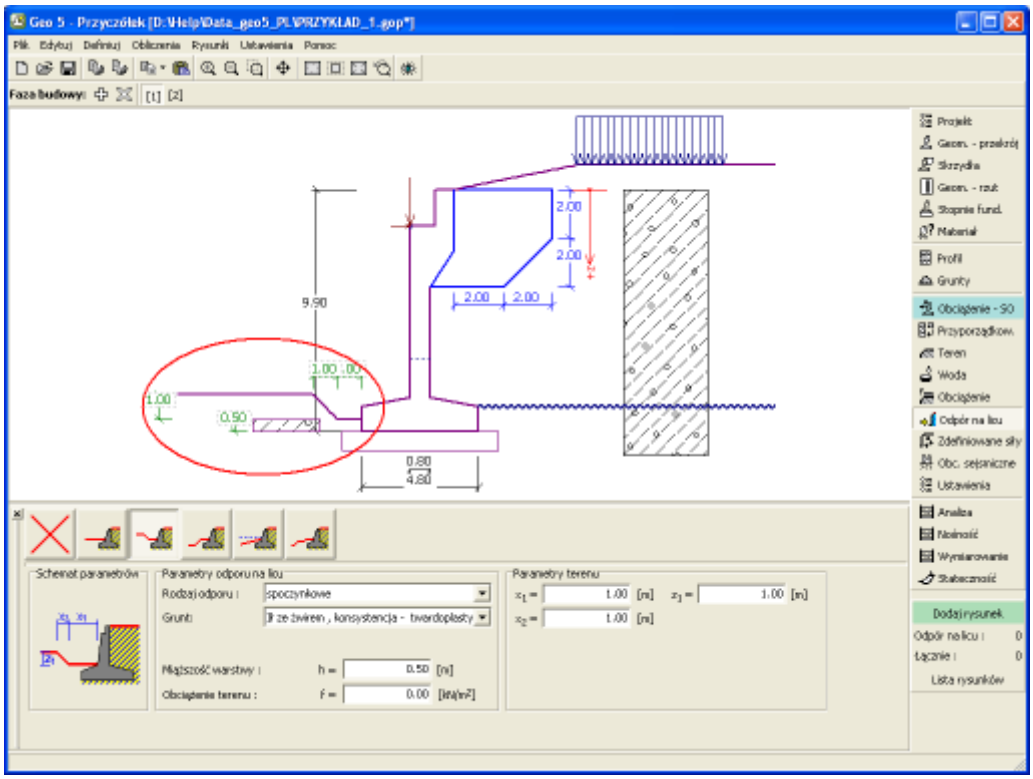
Ramka "Obciążenie"

Odpór na licu

Ramka "**Odpór na licu**" umożliwia określenie ukształtowania terenu oraz parametrów odporu na licu konstrukcji poprzez wybór ikony. Wybrany kształt z podpowiedziami graficznymi ("**Schemat parametrów**") wprowadzonych wartości wyświetlany jest w lewej części ramki. Kształt terenu można edytować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól lub na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Lista rozwijana w ramce "**Odpór na licu**" pozwala wybrać rodzaj odporu oraz grunt (lista rozwijana zawiera grunty wprowadzone w trybie "Grunty"). W ramce tej można również zdefiniować wartość obciążenia terenu przed licem konstrukcji oraz miąższość warstwy ponad najniższym punktem ściany.

Odpór na licu konstrukcji można zdefiniować jako parcie spoczynkowe, parcie bierne bądź zredukowane parcie bierne. Powstała na skutek zredukowanego parcia biernego siła jest określana jako siła wypadkowa parcia biernego pomnożona przez odpowiedni współczynnik, który wynika z rodzaju wybranego zredukowanego parcia biernego.



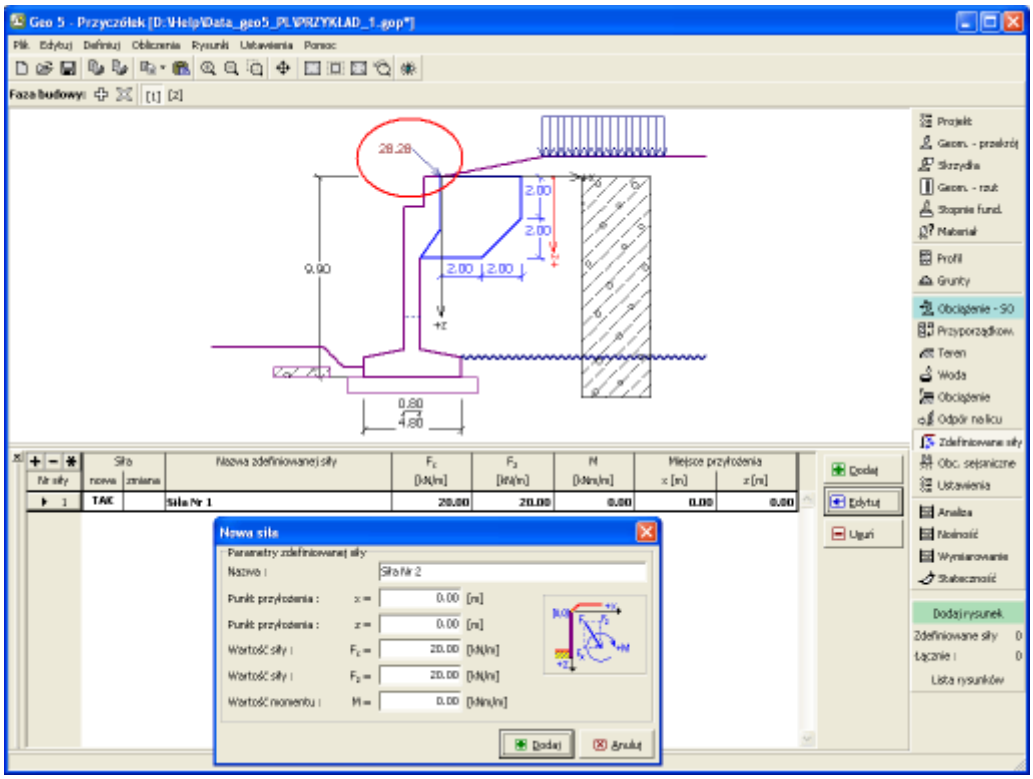
Ramka "Odpór na licu"

Zdefiniowane siły

Ramka "**Zdefiniowane siły**" zawiera tabelę z listą sił działających na konstrukcję. Dodawanie sił odbywa się oknie dialogowym "**Nowa siła**". Zdefiniowane siły można również edytować na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

Zdefiniowane siły reprezentują dodatkowe obciążenia oddziałujące na konstrukcje oporową, ścianę wykopu czy nasyp zbrojony. W ten sposób istniej możliwość modelowania takich elementów jak: obciążenia od bilboardów, ekranów czy barier drogowych. Program nie dostosowuje (nie zmienia) w żaden sposób zdefiniowanych sił w toku obliczeń, za wyjątkiem przemnażania ich przez odpowiednie współczynniki zgodnie z wybranym rodzajem oddziaływania (EN1997, LRFD).

Obciążenia zewnętrzne oddziałujące na naziomie (na powierzchni terenu) należy definiować jako obciążenie.



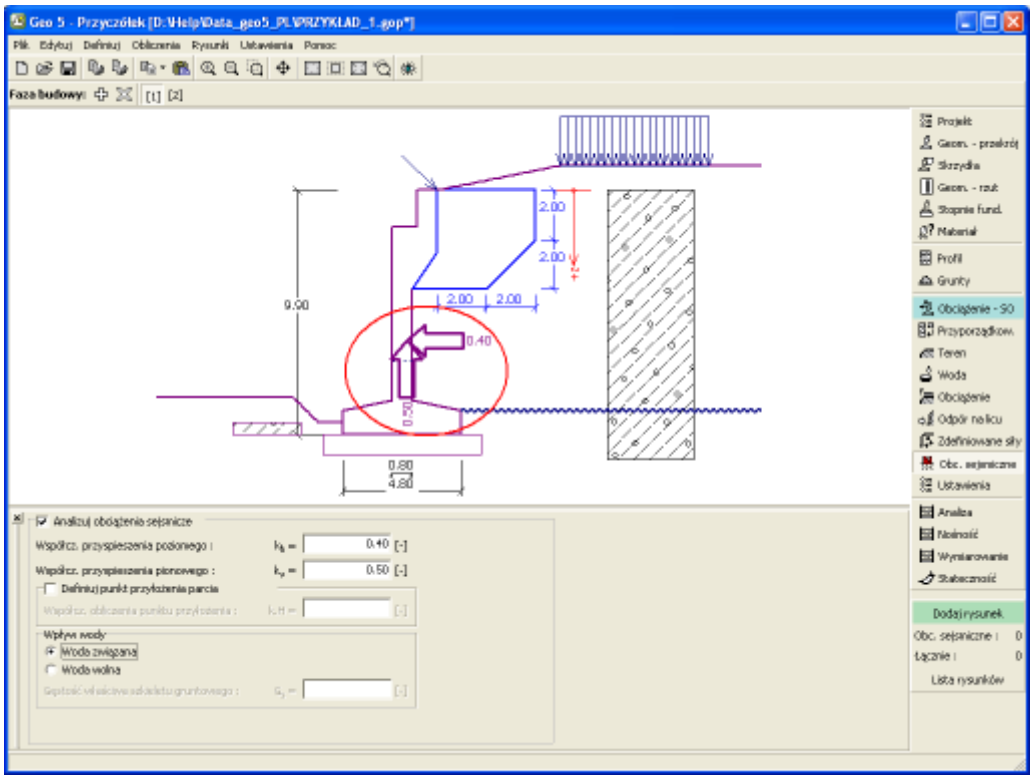
Ramka "Zdefiniowane siły"

Obciążenia sejsmiczne

Ramka "**Obciążenia sejsmiczne**" służy do wprowadzania parametrów obciążeń sejsmicznych. Kierunki skutków obciążeń sejsmicznych są wyświetlane na pulpicie.

Jeśli nie są dostępne wyniki pomiarów współczynniki k_h oraz k_v można wyznaczyć stosując opisane w pomocy podejście z normy EN 1998-5.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem obciążeń sejsmicznych zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążeń sejsmicznych".



Ramka "Obciążenia sejsmiczne"

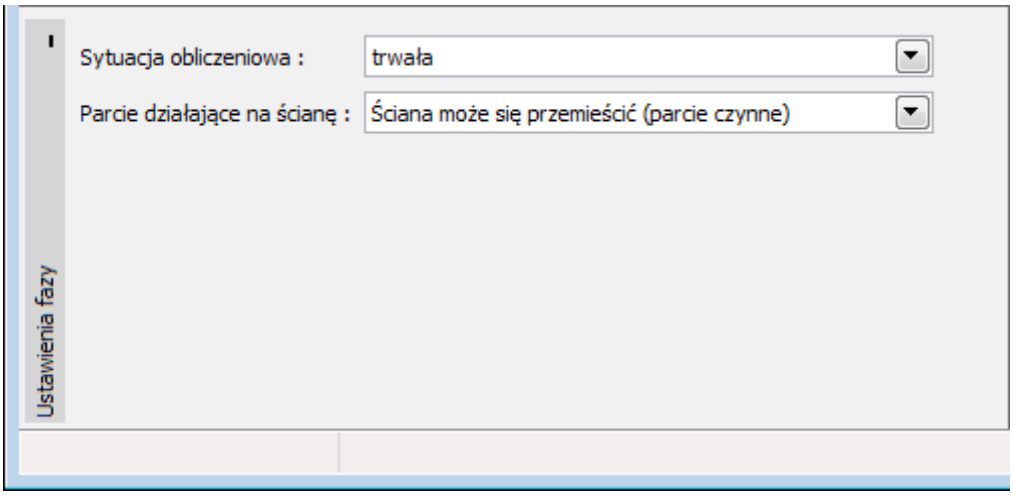
Ustawienia fazy

Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących tylko wybranej fazy obliczeniowej.

Wybrana sytuacja obliczeniowa określa współczynniki bezpieczeństwa, które będą zastosowane w obliczeniach danej fazy budowy.

Wygląd ramki zależy od wybranej metody analizy.

W ramce "**Ustawienia fazy**" można także dokonać wyboru parcia oddziałującego na ścianę z uwzględnieniem dopuszczalnych przemieszczeń konstrukcji. Przy założeniu dopuszczenia do przemieszczeń ściany przyjmuje się parcie czynne, w przeciwnym wypadku zastosowane będzie parcie spoczynkowe. Trzecia opcja umożliwia obciążenie ściany zwiększonym parciem czynnym.



Ramka "Ustawienia fazy"

Analiza

Ramka "**Analiza**" wyświetla wyniki analizy stateczności zbocza. Istnieje możliwość przeprowadzenia dowolnej liczby analiz w obrębie jednego zadania.

Wygląd ramki jest dostosowany do wybranej metodyki obliczeń.

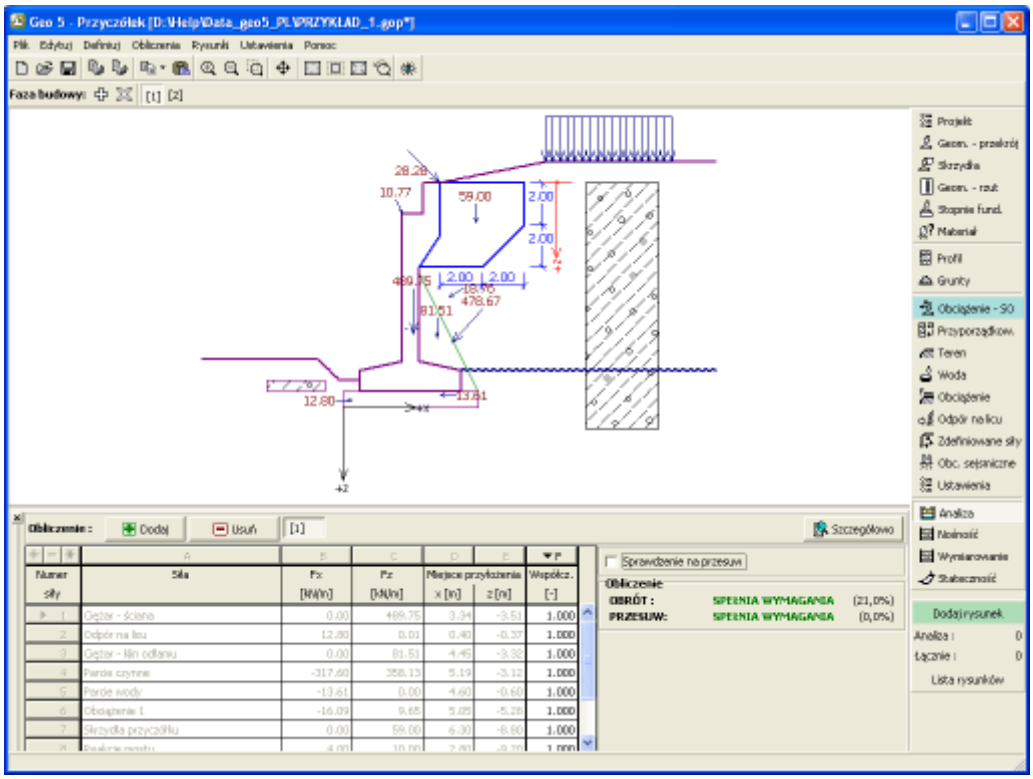
- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa, lub zgodnie z teorią stanów granicznych - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia modyfikację współczynników obliczeniowych, przykładanych do wyznaczonych sił. Wartości tych sił są wyświetlane na ekranie i są automatycznie odświeżane przy każdej zmianie danych projektu lub ustawień w tablicy.
- Obliczenia według EN 1997 - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia zdefiniowanie czy obciążenie oddziałujące na konstrukcje jest uwzględniane jako drugorzędne. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w rozdziale "Kombinacje obciążeń".
- Obliczenia według LRFD - w tym przypadku ostatnia kolumna nie jest wyświetlana.

Ściana jest obciążana parciem cznnym lub parciem spoczynkowym w zależności od danych wprowadzonych w ramce "Ustawienia fazy".

Procedura analizy ściany została opisana w teoretycznej części pomocy.

Wyniki analizy wyświetlane są na pulpicie i natychmiast aktualizowane dla dowolnej zmiany wprowadzonych danych bądź ustawień. Prawa część ramki przedstawia wyniki analizy ściany ze względu na **obrót i przesuw**. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które zawiera szczegółowe zestawienie wyników analizy.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Analiza"

Nośność

Ramka "**Nośność**" wyświetla wyniki analizy nośności podłoża gruntowego. Naprężenie w podstawie fundamentu (założono stałe) uzyskuje się na podstawie wszystkich obliczeń przeprowadzonych w ramce "Analiza". Program "**Fundament bezpośredni**", "**Spread footing CPT**", "**Pile**" and "**Pile group**" traktuje wszystkie obliczenia jako przypadki obciążeń. In the program "**Pile CPT**", just normal load is used.

Ramka "**Nośność**" zawiera następujące opcje analizy:

- **Definiuj nośność podłoża gruntowego**

  W tym przypadku, nośność podłoża gruntowego definiowana jest przez użytkownika. Wyniki analizy fundamentu ze względu na **mimośród** oraz nośność **podłoża** wyświetlane są w prawej części ramki. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które wyświetla szczegółowe wyniki analizy nośności podłoża gruntowego.

- **Wyznacz nośność podłoża gruntowego programem "Fundament bezpośredni"**

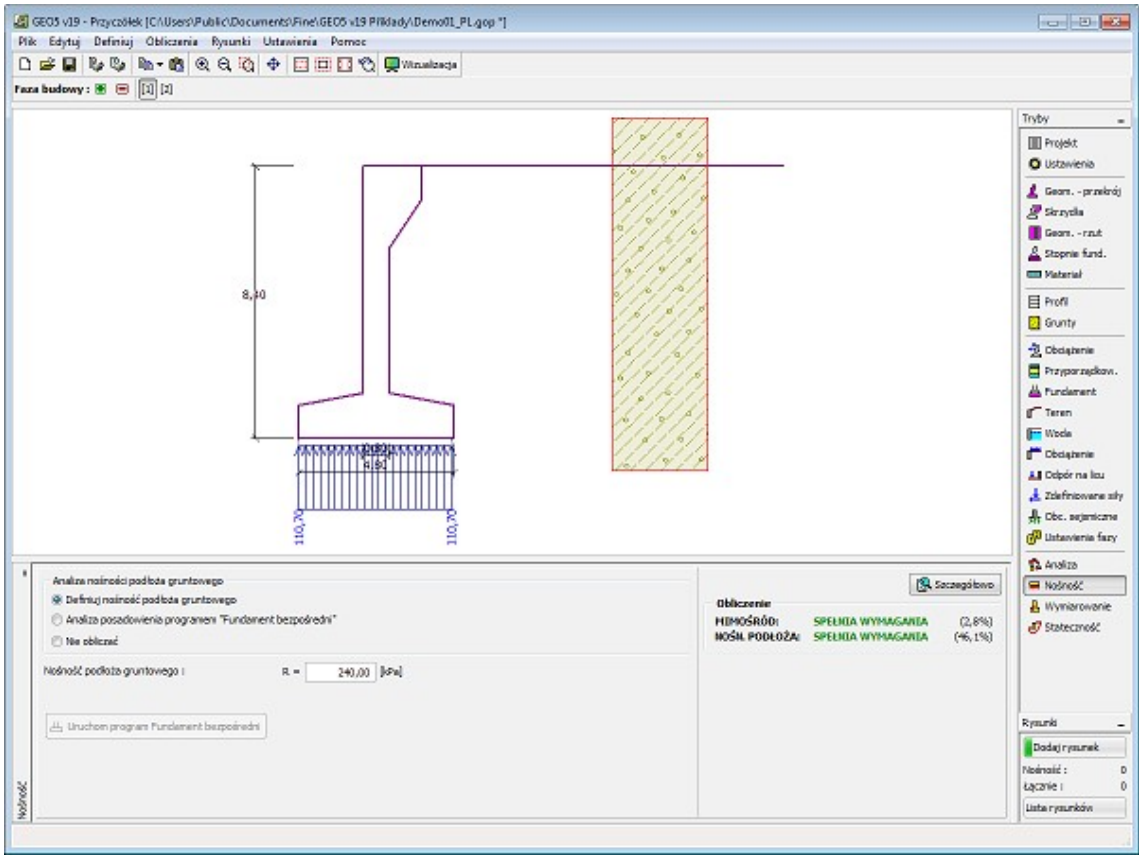
  Naciśnięcie przycisku "**Uruchom program Fundament bezpośredni**" uruchamia program **"Fundament bezpośredni**", który umożliwia obliczenie nośności gruntu lub osiadanie i obrót fundamentu. Naciśnięcie przycisku "**Zakończ i prześlij dane**" zamyka tryb analizy w programie Fundament bezpośredni - wyniki obliczeń i wszystkie rysunki kopiowane są do programu wyjściowego, tj. "**Przyczółek**". Program "**Fundament bezpośredni**" musi być zainstalowany, aby przycisk ten był dostępny. Przy wyborze tej opcji należy zdefiniować całkowitą długość

fundamentu ściany.

- **Analyse bearing capacity by program "Spread footing CPT"** The procedure is identical as if calculating soil bearing capacity by the **"Spread footing**" program.
- **Analiza posadowienia programem "Pal"** W tym przypadku, procedura jest jednakowa jak przy wyznaczaniu nośności podłoża gruntowego za pomocą programu "**Fundament bezpośredni**". Opcja "**Uruchom program Pal**" jest dostępna jedynie w przypadku, gdy ściana ma zdefiniowany (w ramce "Fundament") typ fundamentu jako fundament palowy. Przy wyborze tej opcji konieczne jest zdefiniowanie rozstawu pali s.
- **Analyse bearing capacity by program "Pile CPT"** The procedure is identical as if calculating soil bearing capacity by the "**Pile**" program.
- **Analiza posadowienia programem "Grupa pali"** W tym przypadku, procedura jest jednakowa jak przy wyznaczaniu nośności podłoża gruntowego za pomocą programu "**Fundament bezpośredni**". Opcja "**Uruchom program Grupa pali**" jest dostępna jedynie w przypadku, gdy ściana ma zdefiniowany (w ramce "Fundament") typ fundamentu jako fundament palowy z liczbą pali większą niż jeden. W tej sytuacji nalezy zdefiniować: rozstaw pali s, całkowitą liczbę rzędów pali n oraz długość obciążenia l.
- **Nie obliczaj (fundament na palach)** Nośność podłoża gruntowego nie jest obliczana.

Program umożliwia określenie kształtu naprężenia kontaktowego w podstawie fundamentu.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Nośność"

Wymiarowanie

Ramka "**Wymiarowanie**" służy do projektowania i analizy zbrojenia przekroju przyczółku - przekrój poddany wymiarowaniu wybiera się z rozwijanej listy. W tabeli zestawione są siły przyczółka.

Dostępność przekrojów do wymiarowania zależy od wybranego stanu obciążenia (tymczasowy, docelowy). Następujące przekroje dostępne są dla stanów tymczasowego i docelowego:

- **Analiza trzonu ściany**
- **Analiza przekroju roboczego** - określana jest **głębokość** przekroju roboczego od górnej krawędzi konstrukcji
- **Analiza odsadzki ściany**

Stan docelowy umożliwia również sprawdzenie:

- **Analiza ścianki zamykającej**
- **Analiza skrzydła przyczółku** - wprowadzana jest powierzchnia obciążana terenem, rzeczywista analiza została opisana w rozdziale "Skrzydła"

Wygląd ramki jest dostosowany do wybranej metodyki obliczeń.

- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa, lub zgodnie z teorią stanów granicznych - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia modyfikację współczynników obliczeniowych, przykładanych do wyznaczonych sił. Wartości tych sił są wyświetlane na ekranie i są automatycznie odświeżane przy każdej zmianie danych projektu lub ustawień w tablicy.

- Obliczenia według EN 1997 - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia zdefiniowanie czy obciążenie oddziałujące na konstrukcje jest uwzględniane jako drugorzędne. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w rozdziale "Kombinacje obciążeń".
- Obliczenia według LRFD - w tym przypadku ostatnia kolumna nie jest wyświetlana.

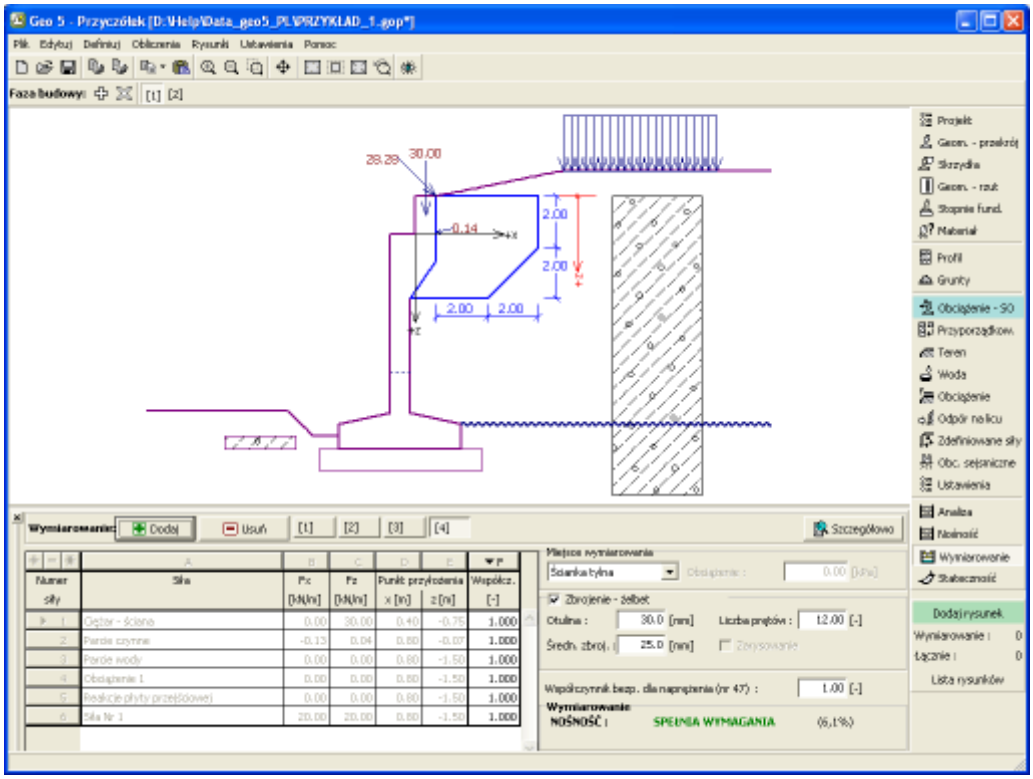
Przyczółek jest obciążany parciem cznnym lub parciem spoczynkowym w zależności od danych wprowadzonych w ramce "Ustawienia fazy" oraz parciem czynnym w przypadku analizy skrzydeł przyczółku.

Metody wyznaczania rozkładu sił wewnętrznych w poszczególnych przekrojach zostały opisane w teoretycznej części pomocy.

Wymiarowanie konstrukcji żelbetowych wykonywane jest zgodnie z normą określoną w zakładce "Materiały i normy". Analiza oparta na normie CSN 73 6206 "**Projektowanie betonowych i żelbetowych konstrukcji mostów**" została opisana poniżej.

Istnieje możliwość przeprowadzenia wielu obliczeń dla różnych przekrojów. Można również określić różne współczynniki obliczeniowe dla poszczególnych sił. Wyniki analizy (wyznaczone siły) wyświetlane są na pulpicie i natychmiast aktualizowane dla dowolnej zmiany wprowadzonych danych bądź ustawień. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które prezentuje szczegółowe wyniki wymiarowania.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".

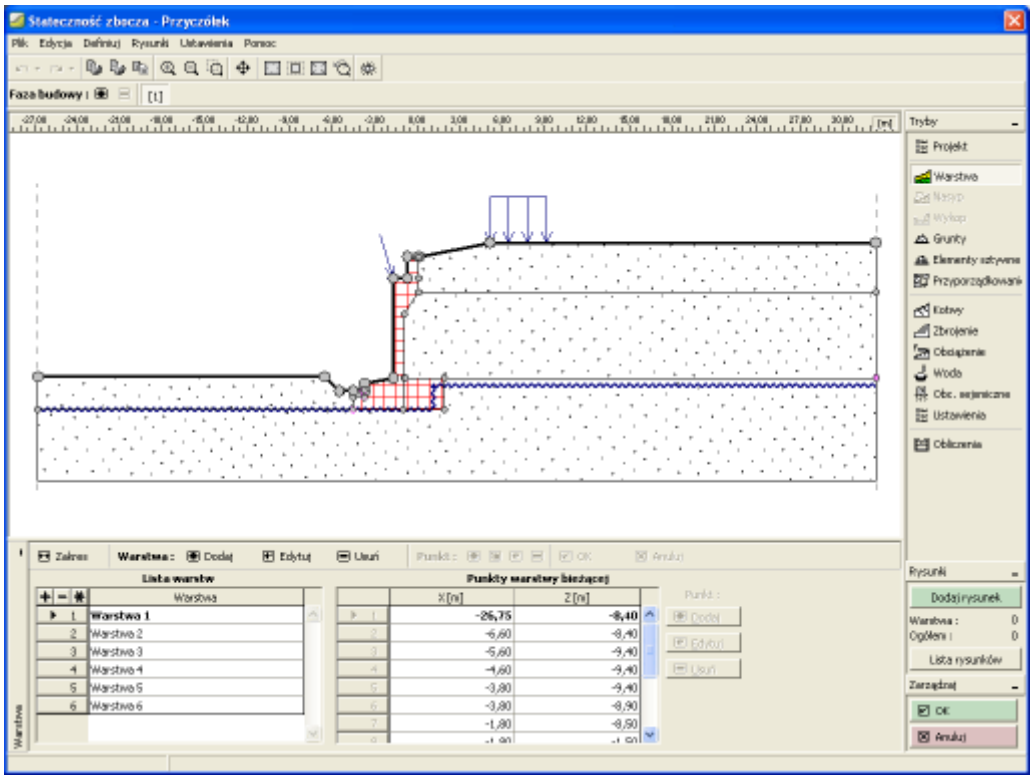


Ramka "Wymiarowanie"

Stateczność

Naciśnięcie przycisku "**Stateczność**" uruchamia program "**Stateczność zbocza**". Program ten umożliwia sprawdzenie ogólnej stateczności analizowanej konstrukcji. Przycisk jest dostępny, jeżeli program "**Stateczność zbocza**" został zainstalowany.

Po zakończeniu obliczeń stateczności w programie Stateczność zbocza należy kliknąć przycisk "**Zakończ i prześlij dane**" aby opuścić program i przekazać wyniki obliczeń do programu "**Przyczółek**". Wszystkie operacje (dane, obliczenia, dodane rysunki) przeprowadzone w programie Stateczność zbocza będą dostępne w dokumentacji wynikowej projektu w programie "**Przyczółek**".



Ramka "Stateczność"

Program Zbocze gwoździowane

Program ten służy do analizy ścian i zboczy gwoździowanych różnorodnych kształtów.

Pomoc w programie "Zbocze gwoździowane" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

Projekt	Ustawienia	Geometria	Typy gwoździ	Geometria gwoździ	Materiał	Profil
Grunty	Przyporządkowanie	Teren	Woda	Obciążenie	Obciążenia sejsmiczne	Ustawienia fazy
Stateczność wewnętrzna	Analiza	Nośność	Wymiarowanie	Stateczność zewnętrzna		

- Normy i metody obliczeniowe

- Teoria obliczeniowa do programu "**Zbocze gwoździowane**":

  Naprężenia w gruncie | Parcia gruntu | Analiza ścian | Zbocze gwoździowane | Wymiarowanie konstrukcji betonowych

- Dane wyjściowe

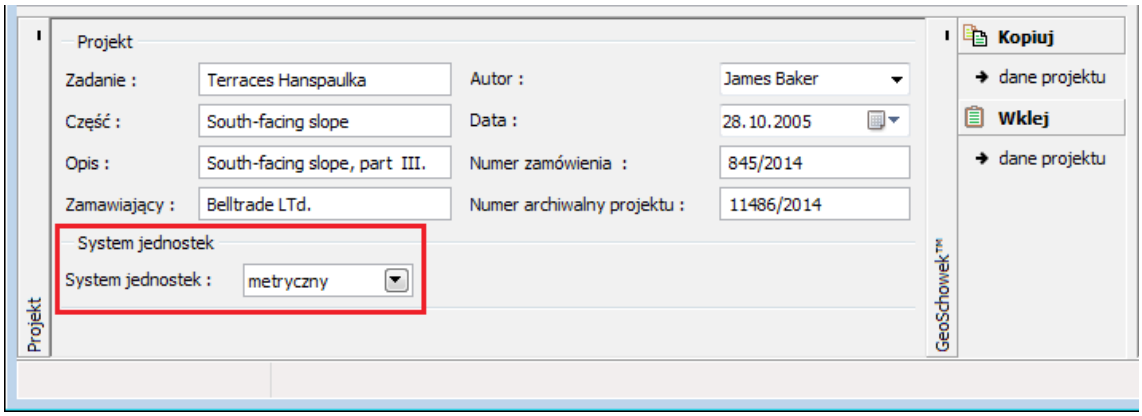
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5

- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

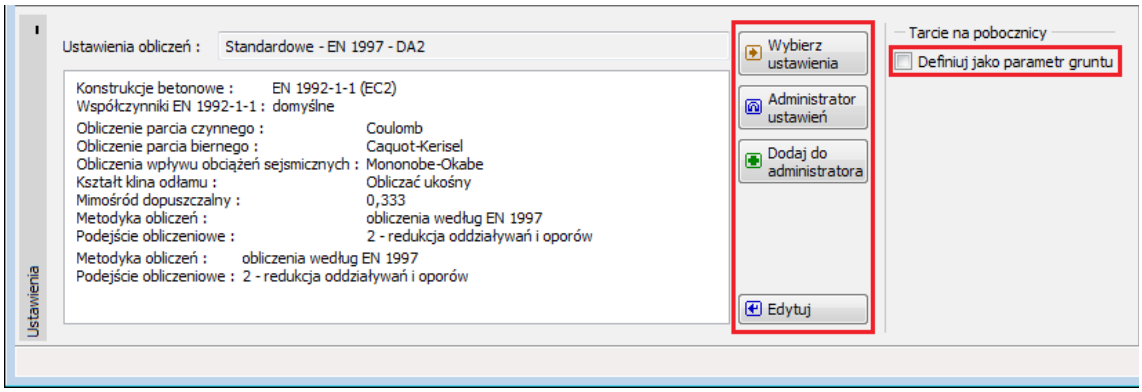
Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładkach "Materiały i normy", "Konstrukcje oporowe" oraz "Analiza stateczności".

Do wyznaczania nośności na wyciąganie gwoździa, tarcie na pobocznicy może być zdefiniowane jako parametr gruntu.



Ramka "Ustawienia"

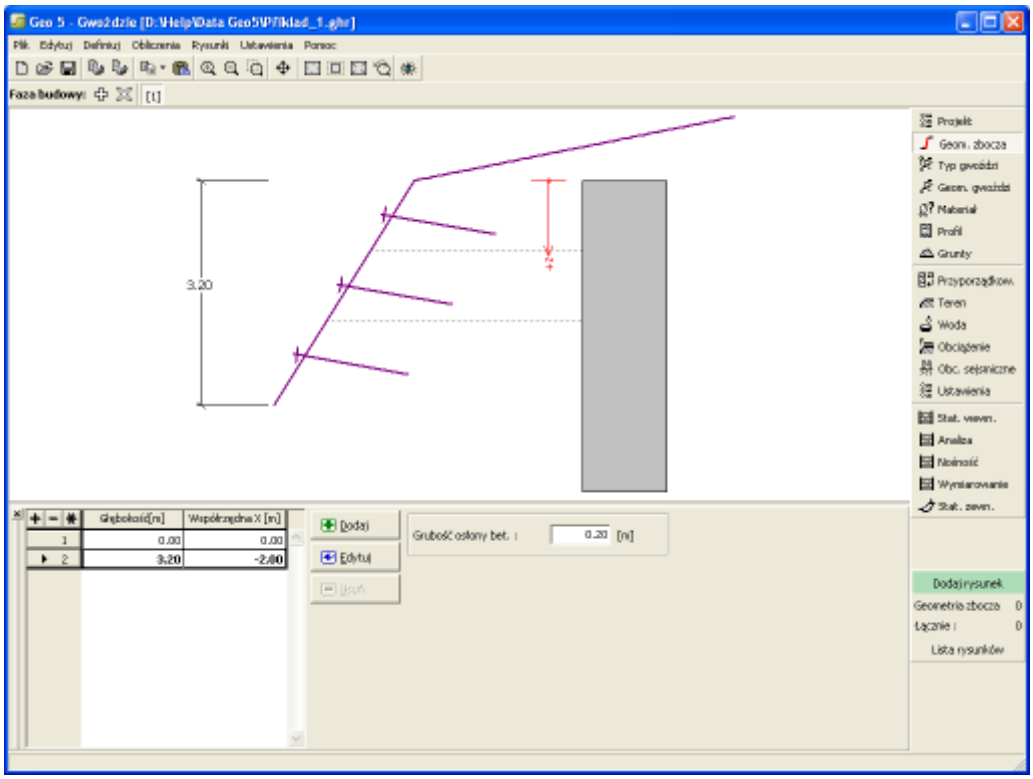
Geometria

Ramka "**Geometria**" zawiera tabelę z lista wprowadzonych punktów lica konstrukcji. Dodawanie punktów odbywa się w oknie dialogowym "**Nowy punkt**".

Wprowadzone punkty można edytować na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów - dwukrotne kliknięcie wprowadzonego punktu otwiera okno dialogowe do jego edycji.

Użytkownik musi zdefiniować głębokość (współrzędna z mierzona od górnego punktu konstrukcji - założono, że kierunek dodatni jest w dół) oraz współrzędną x (założono, że kierunek ujemy jest w lewo, nie dopuszcza się przewieszeń konstrukcji).

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.

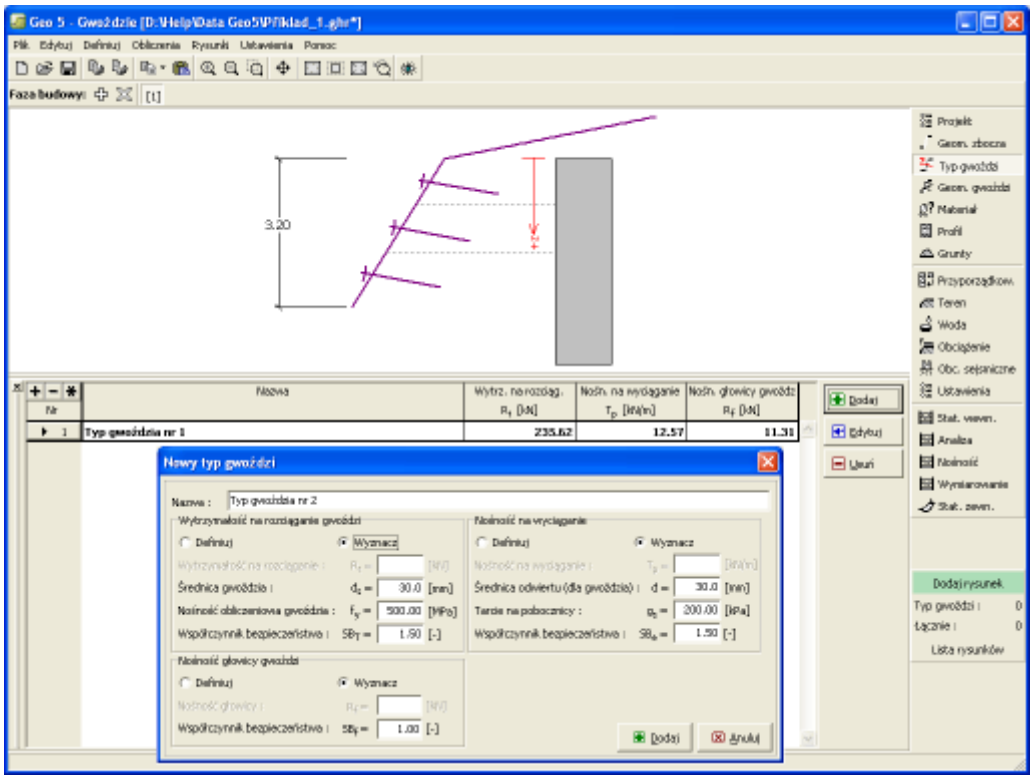


Ramka "Geometria"

Typ gwoździ

Ramka "**Typ gwoździ**" służy do definiowania typu gwoździ specjalnie do tego celu przeznaczonej tabeli. Parametry wytrzymałości gwoździ mogą być **zdefiniowane** bezpośrednio przez użytkownika bądź wyznaczone przez program w zależności od wprowadzonych danych.

Tabela zawiera listę danych, zdefiniowanych lub wyznaczonych - **wytrzymałość na rozciąganie**, **nośność na wyciąganie**, **nośność głowicy gwoździ** na $1\ m$ ($1\ ft$).



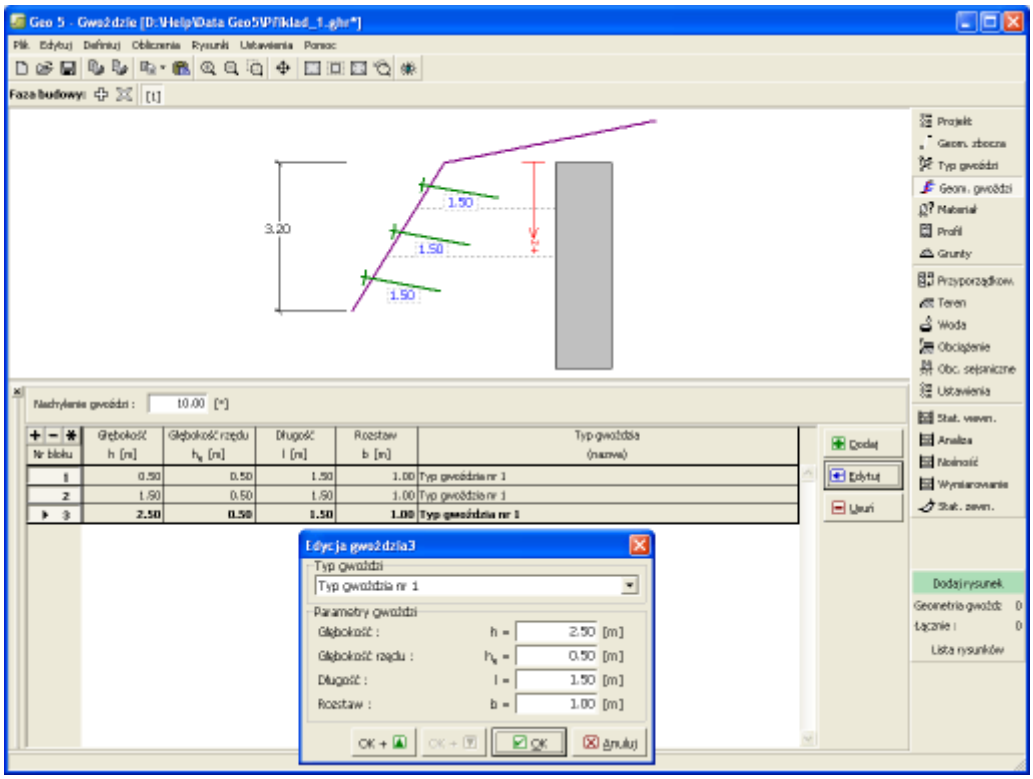
Ramka "Typ gwoździ"

Geometria gwoździ

Ramka "**Geometria gwoździ**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gwoździ. Dodawanie gwoździ odbywa się w oknie dialogowym "**Nowy gwóźdź**". Zdefiniowane gwoździe można również edytować na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

Użytkownik musi określić zagłębienie gwoździ, **głębokość rzędu od danego gwoździa** (następny gwóźdź musi znajdować się poniżej rzędu górnego gwoździa), długość gwoździa, jego średnicę i rozstaw.

Nachylenie gwoździ uwzględniane jest od linii poziomej w kierunku wskazówek zegara I jest stałe dla wszystkich gwoździ.



Ramka "Geometria gwoździ"

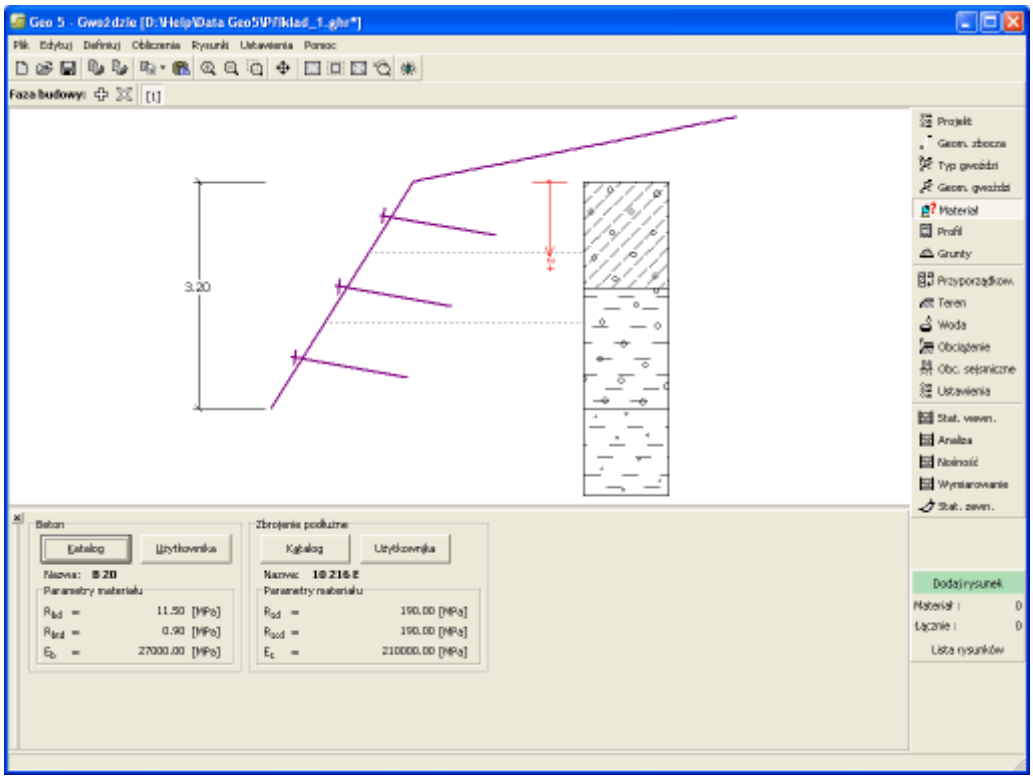
Materiał

Ramka "**Materiał**" umożliwia wybór stosowanych materiałów - betonu oraz stali zbrojeniowej (zbrojenia podłużnego).

W ramce "**Materiał**" dostępne są dwie opcje wyboru rodzaju materiału:

- Przycisk "**Katalog**" otwiera okno dialogowe "**Katalog materiałów**" (dla betonu lub stali zbrojeniowej); z zamieszczonej w nim listy materiałów można dokonać wyboru materiału.
- Przycisk "**Użytkownika**" otwiera okno dialogowe "**Edytor materiału - beton**" (dla betonu) lub okno dialogowe "**Edytor materiału - stal zbrojeniowa**" (dla zbrojenia podłużnego), które umożliwia ręczne określenie parametrów materiału.

Zawartość katalogu zależna jest od wyboru normy do konstrukcji betonowych. Wyboru normy dokonuje się w zakładce "Materiały i normy". Pole danych w górnej części ramki służy do zdefiniowania ciężaru objętościowego ściany.



Ramka "Materiał"

Profil

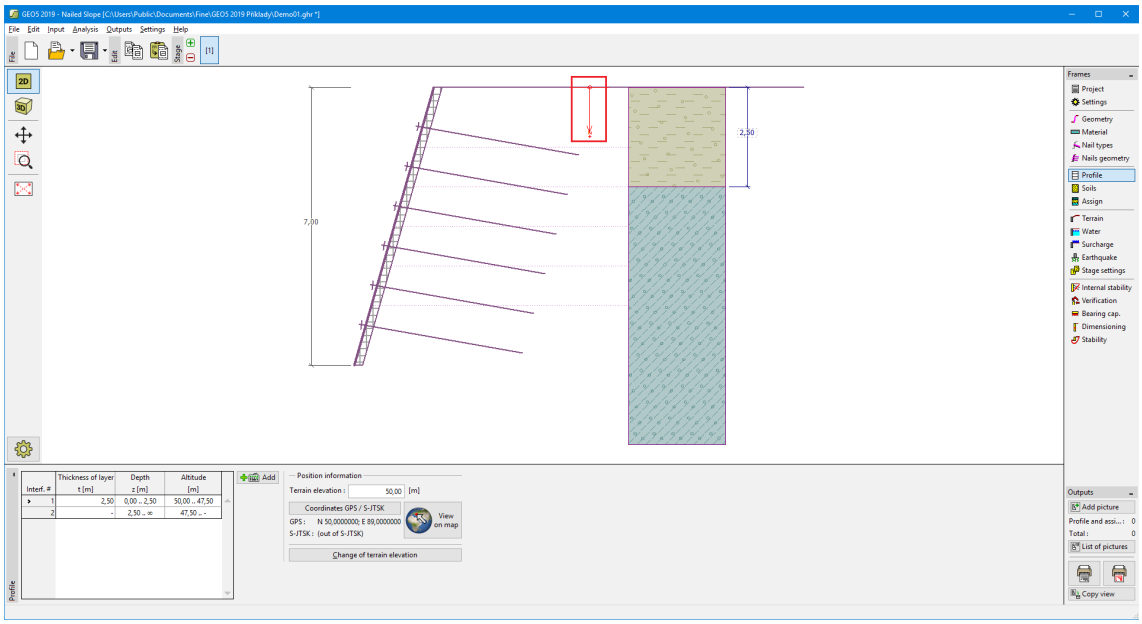
Ramka "**Profil**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych warstw. Po zdefinowaniu poszczególnych warstw można edytować ich miąższość za pomocą aktywnych wymiarów.

Dodawanie warstw wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowa warstwa**". Definiowana jest rzędna z mierzona od górnego punktu konstrukcji (oś-z).

In this frame it is also possible to enter optional information about the structure location:

- **terrain elevation** - an altitude column for the layers is displayed in the table after input of terrain elevation
- **GPS coordinates** - it is possible to show a structure on the Google Maps using "**View on map**" button after input of coordinates.

Program umożliwia obniżenie lub podniesienie górnego punktu konstrukcji w oknie dialogowym "**Zmiana rzędnej terenu**", a zdefiniowane warstwy będą wówczas przesunięte, jednocześnie zachowując swoją miąższość. Funkcja ta jest istotna podczas kopiowania profilu z programu "**Teren**".



Ramka "Profil"

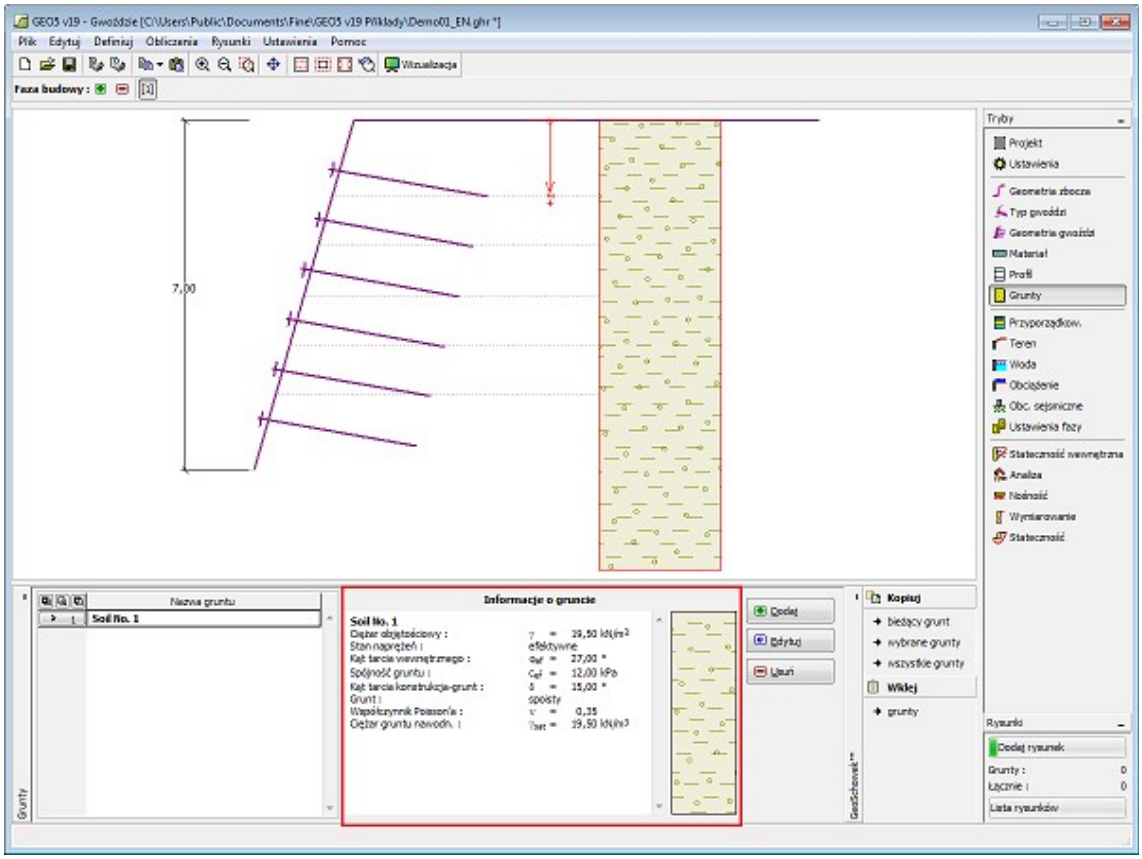
Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie (edycja) gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Dane podstawowe", "Spoczynkowe parcie gruntu", "Naprężenie geostatyczne, wypór" oraz "Tarcie na pobocznicy" (porównaj ramkę "Ustawienia").

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

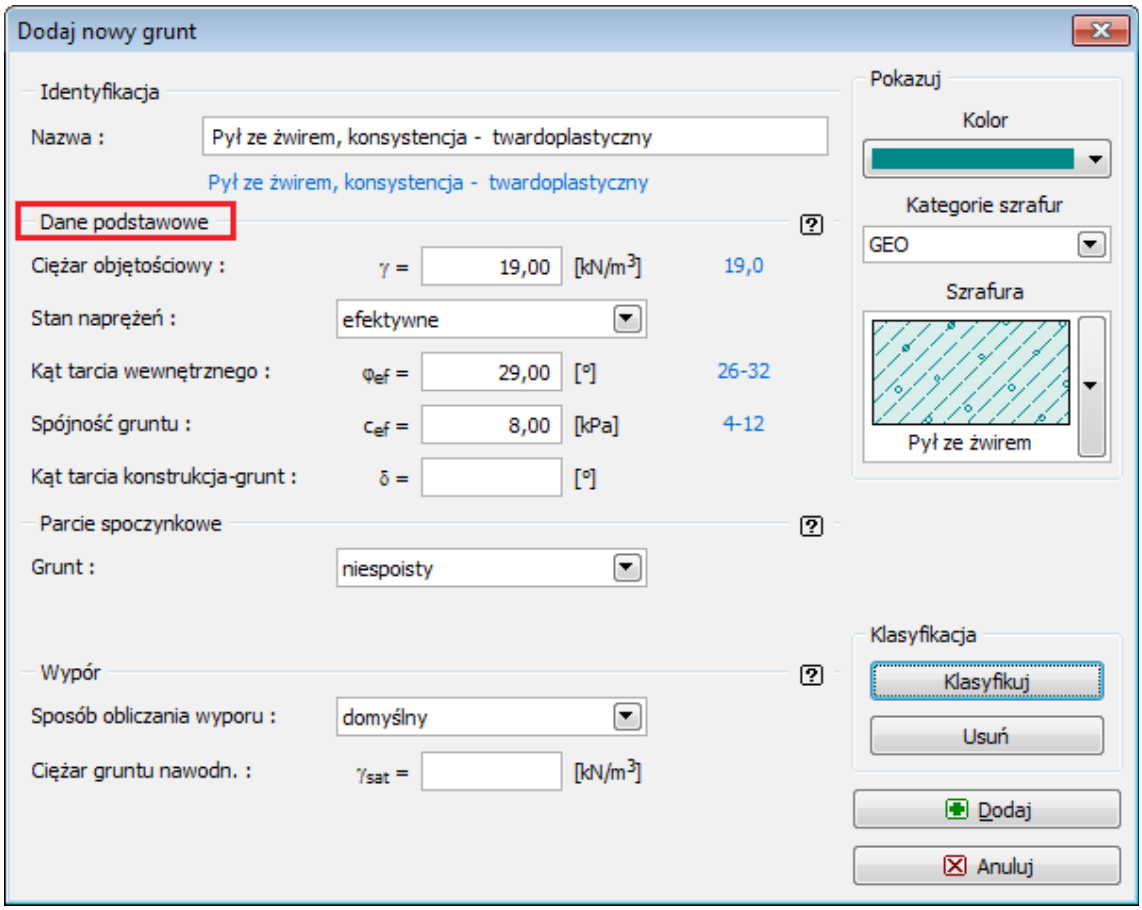
Ta część okna dialogowego służy do definiowania podstawowych parametrów gruntów - **ciężaru objętościowego, kąta tarcia wewnętrznego** oraz **spójności**. Wartości te określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub in-situ dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wartości parametrów gruntów określone na podstawie doświadczenia oraz literatury światowej. Parametry skał nie zostały zawarte w tej bazie, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym.

Istnieje możliwość definiowania wymiennie - parametrów **efektywnych** lub **uogólnionych** kąta tarcia wewnętrznego i spójności w zależności od wybranego ustawienia w liście rozwijanej "**Stan naprężeń**". Decyzja o zastosowaniu parametrów efektywnych czy uogólnionych zależy w szczególności od rodzaju gruntu, rodzaju obciążenia, czasu wykorzystania konstrukcji i warunków wodnych.

W dalszej kolejności, w przypadku naprężeń efektywnych definiuje się kąt tarcia pomiędzy konstrukcją i gruntem, który zależy zarówno od rodzaju gruntu jak i rodzaju konstrukcji. Szacunkowe wartości tego parametru podano w tabeli wartości zalecanych.

W przypadku naprężeń całkowitych natomiast należy zdefiniować adhezję gruntu do lica konstrukcji a.

Podstawy teoretyczne dotyczące omawianego zaganienia opisano w rozdziale "Parcie gruntu".

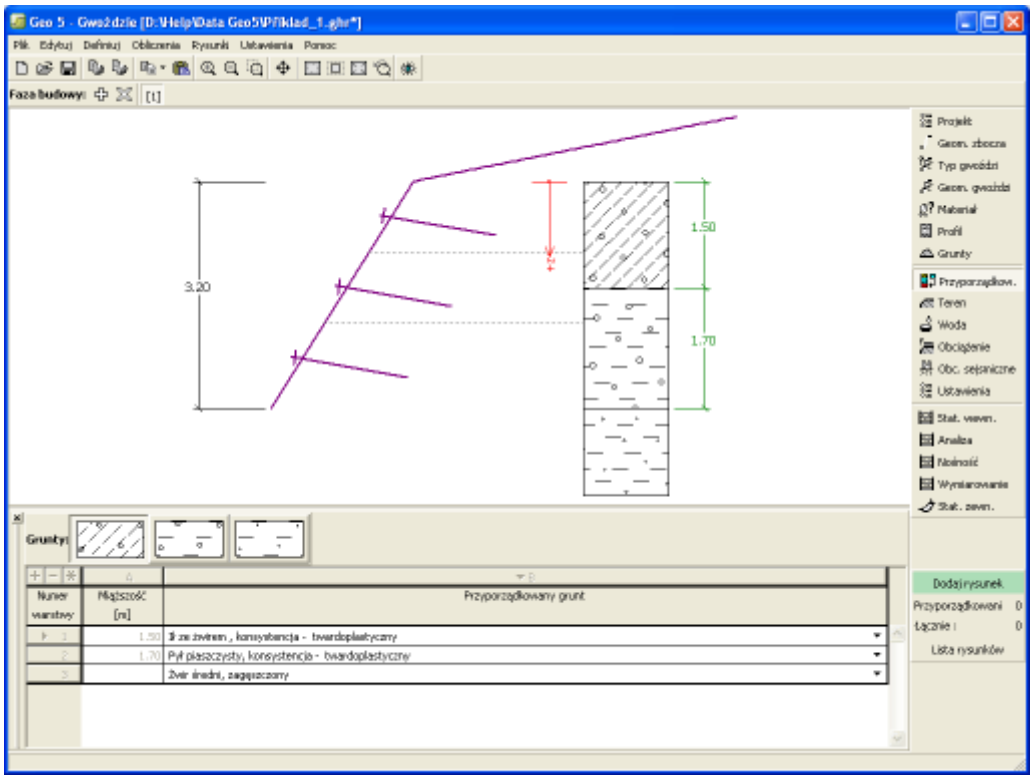


Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów"**.**



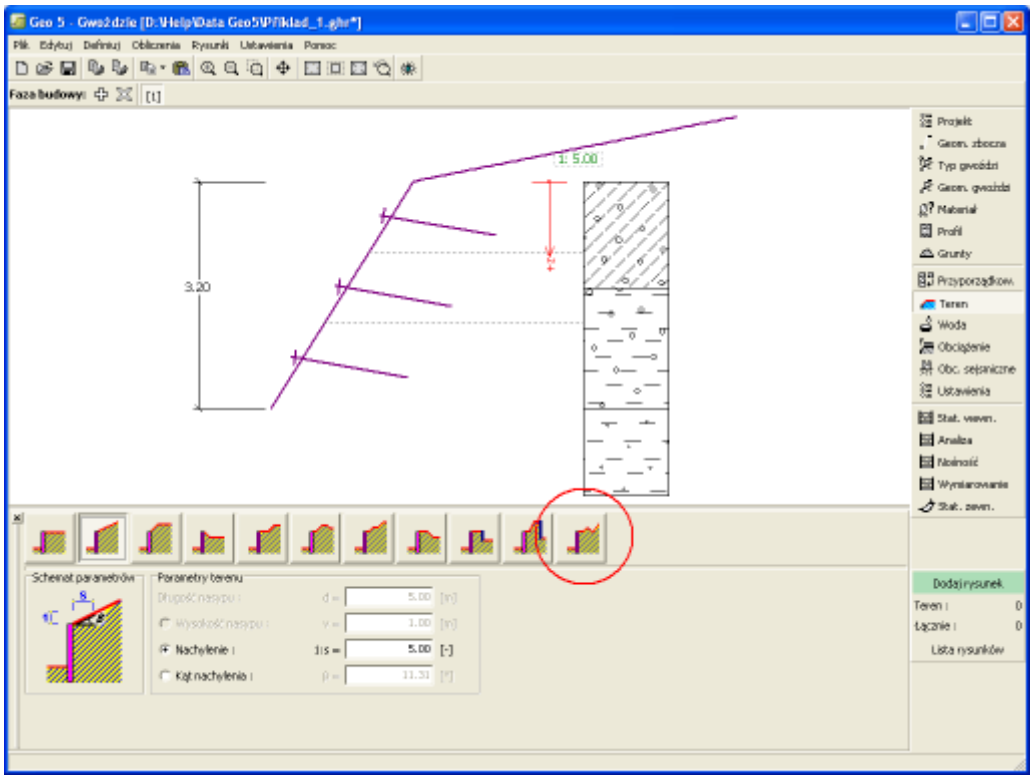
Ramka "Przyporządkowanie"

Teren

Ramka "**Teren**" umożliwia określenie ukształtowania terenu za konstrukcją. Wyboru kształtu terenu dokonuje się spośród kształtów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany kształt terenu z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Wymiary wybranego schematu terenu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego kształtu terenu. W takim przypadku, pojawiająca się ramka zawiera tabelę z listą punktów terenu. Pierwszy punkt współrzędnych [*0,0*] zbiega się z górnym punktem konstrukcji.

Metody analizy parcia gruntu w przypadku terenu pochyłego zostały opisane w teoretycznej części pomocy "Rozkład parć gruntu dla terenu pochyłego"**.**



Ramka "Teren"

Woda

Ramka "**Woda**" umożliwia określenie rodzaju wody gruntowej. Wyboru schematu obciążenia wodą dokonuje się spośród schematów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany schemat z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Parametry (h_1, h_2...) wybranego schematu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

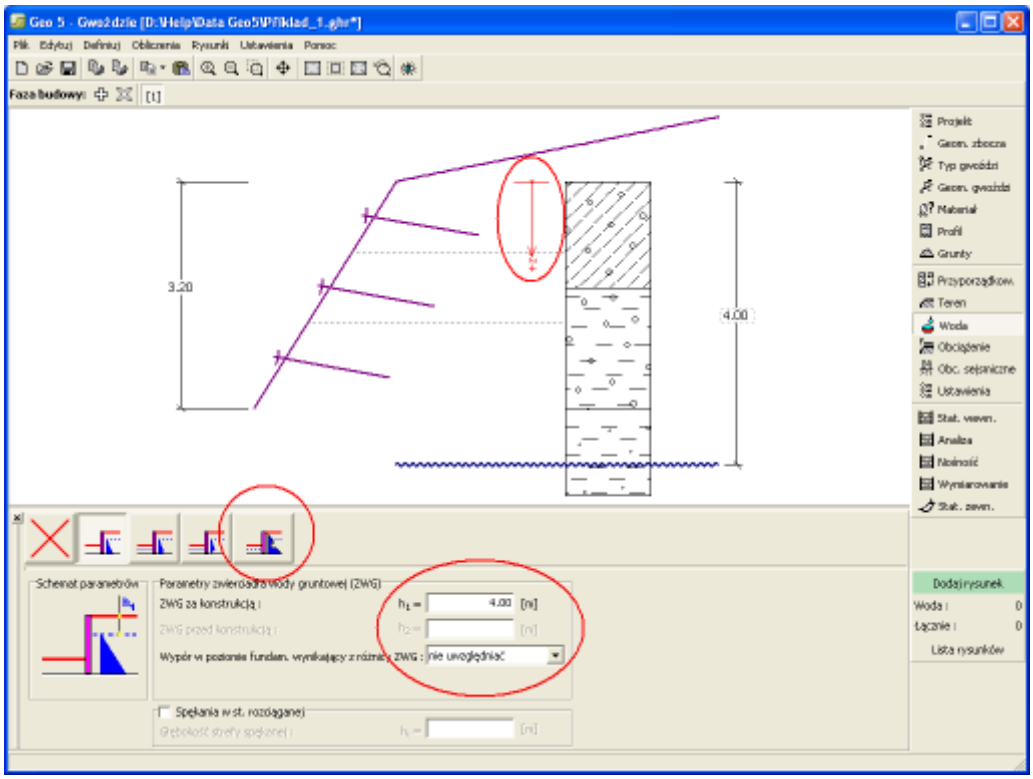
Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego ciśnienia porowego wody w gruncie zarówno przed jak i za konstrukcją. W takim przypadku, pojawiają się dwie zakładki z tabelami "**Przed konstrukcją**" i "**Za konstrukcją**". Tabele te wypełnia się wartościami ciśnienia porowego odpowiednio przed lub za konstrukcją na głębokości "z" (oś-z).

Lista rozwijana w ramce służy do określenia, czy i w jaki sposób uwzględniany jest wypór wody pod fundamentem wynikający z różnicy poziomów ZWG. Wypór może być uwzględniany jako liniowy lub paraboliczny. Przy sprawdzeniu ściany, wypór wody pod fundamentem wynikający z różnicy poziomów ZWG uwzględniany jest w postaci dodatkowej siły.

W programie istnieje również możliwość zdefiniowania zwierciadła wody gruntowej **ponad konstrukcją** lub ponad profilem gruntu - w takim przypadku, poziom wody wprowadza się za pomocą wartości ujemnej.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem wpływu wody zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ wody".

Ponadto, program umożliwia określenie głębokości rys rozciąganych wypełnionych wodą w gruncie za konstrukcją.



Ramka "Woda"

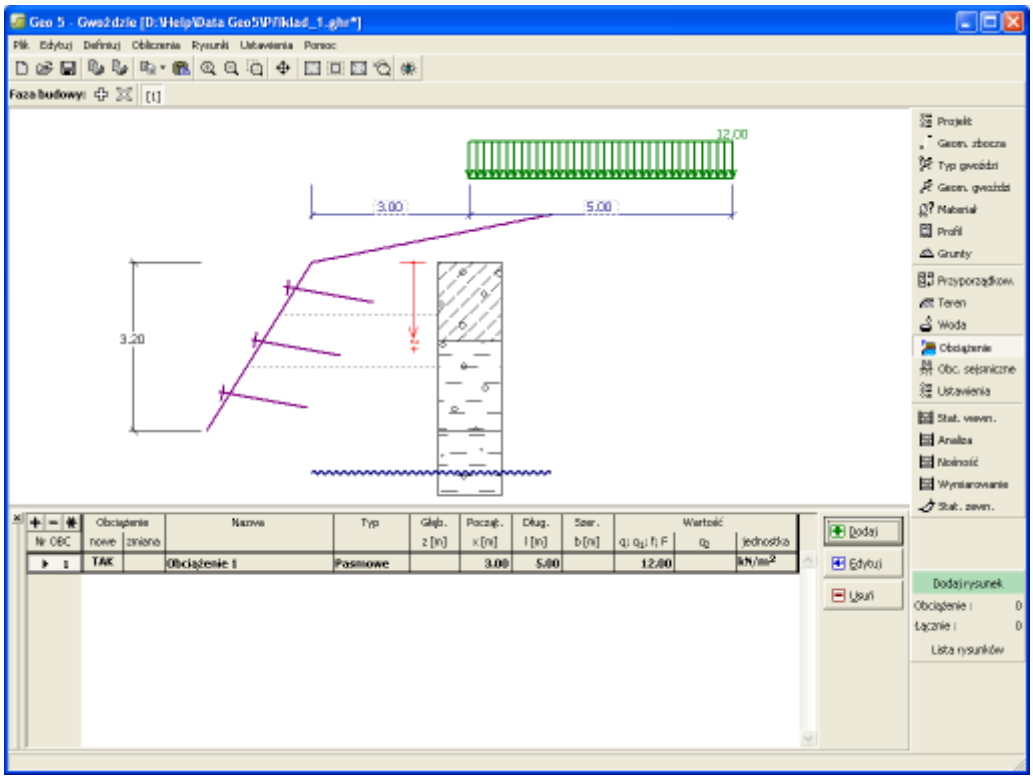
Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych obciążeń. Dodawanie obciążenia wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Zdefiniowane obciążenia można edytować na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów lub aktywnych obiektów.

Przy definiowaniu obciążenia na pewnej głębokości wprowadzana jest rzędna z, mierzona od górnego punktu konstrukcji (kierunek dodatni w dół). W przypadku, gdy obciążenie znajduje się poza terenem, program wyświetla komunikat błędu przed rozpoczęciem obliczeń.

W programie istnieje możliwość zdefiniowania obciążeń **stałych, zmiennych** lub **wyjątkowych**. Wybór rodzaju obciążenia wpływa na dobór stosownego współczynnika obliczeniowego do przemnożenia wynikowych oddziaływań. Obciążenia wyjątkowe oddziałujące w sposób korzystny nie są uwzględniane w obliczeniach.

Obliczenia parć gruntu wywołanych obciążeniami zewnętrznymi zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążenia".



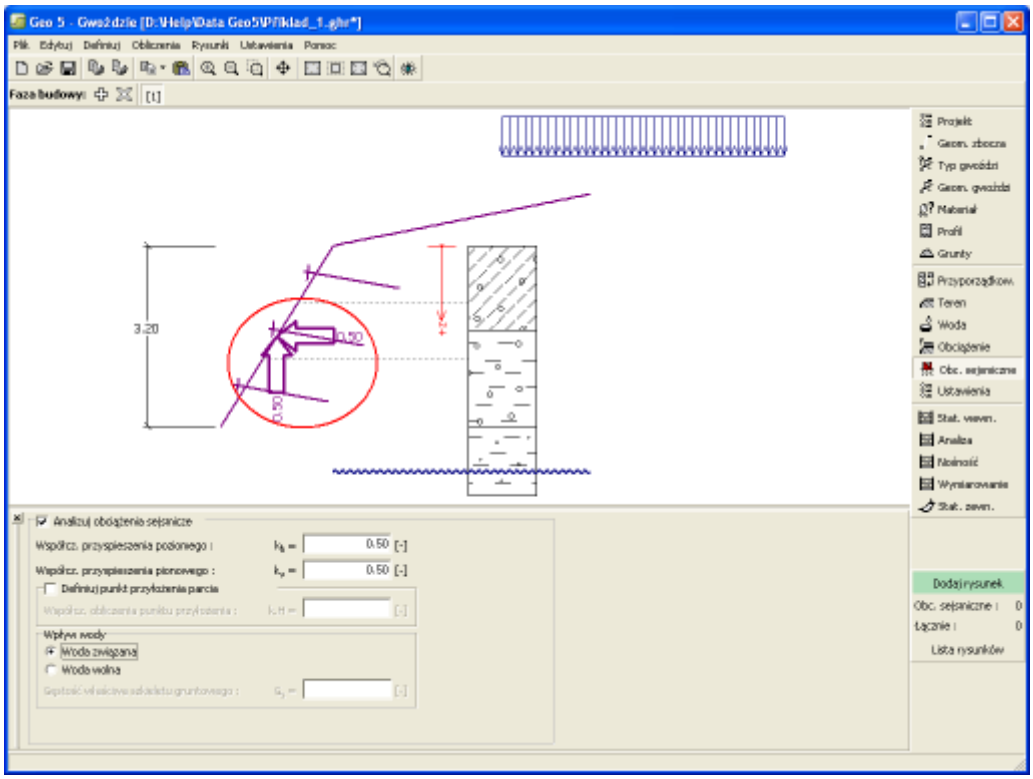
Ramka "Obciążenie"

Obciążenia sejsmiczne

Ramka "**Obciążenia sejsmiczne**" służy do wprowadzania parametrów obciążeń sejsmicznych. Kierunki skutków obciążeń sejsmicznych są wyświetlane na pulpicie.

Jeśli nie są dostępne wyniki pomiarów współczynniki k_h oraz k_v można wyznaczyć stosując opisane w pomocy podejście z normy EN 1998-5.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem obciążeń sejsmicznych zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążeń sejsmicznych".



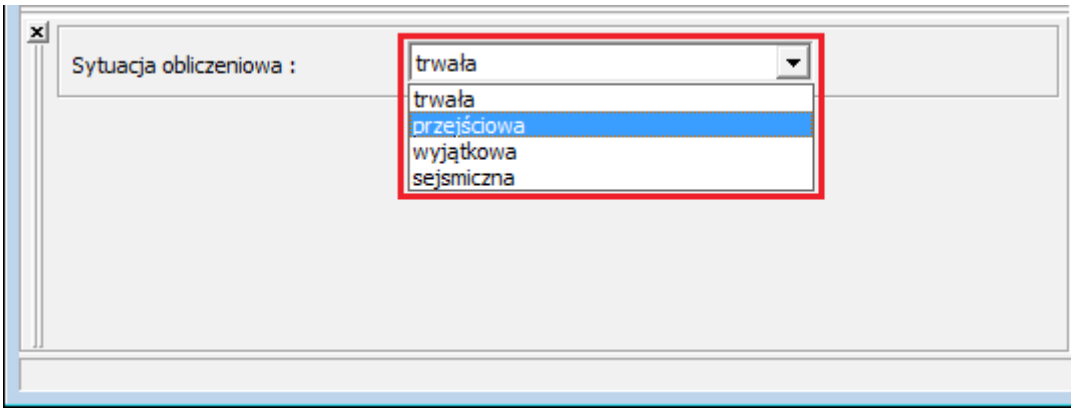
Ramka "Obciążenia sejsmiczne"

Ustawienia fazy

Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących tylko wybranej fazy obliczeniowej.

Wybrana sytuacja obliczeniowa określa współczynniki bezpieczeństwa, które będą zastosowane w obliczeniach danej fazy budowy.

Wygląd ramki zależy od wybranej metody analizy.



Ramka "Ustawienia fazy"

Stateczność wewnętrzna

Ramka ta umożliwia sprawdzenie wewnętrznej stateczności konstrukcji,

zakładając **gładką** bądź **łamaną płaszczyznę poślizgu**.

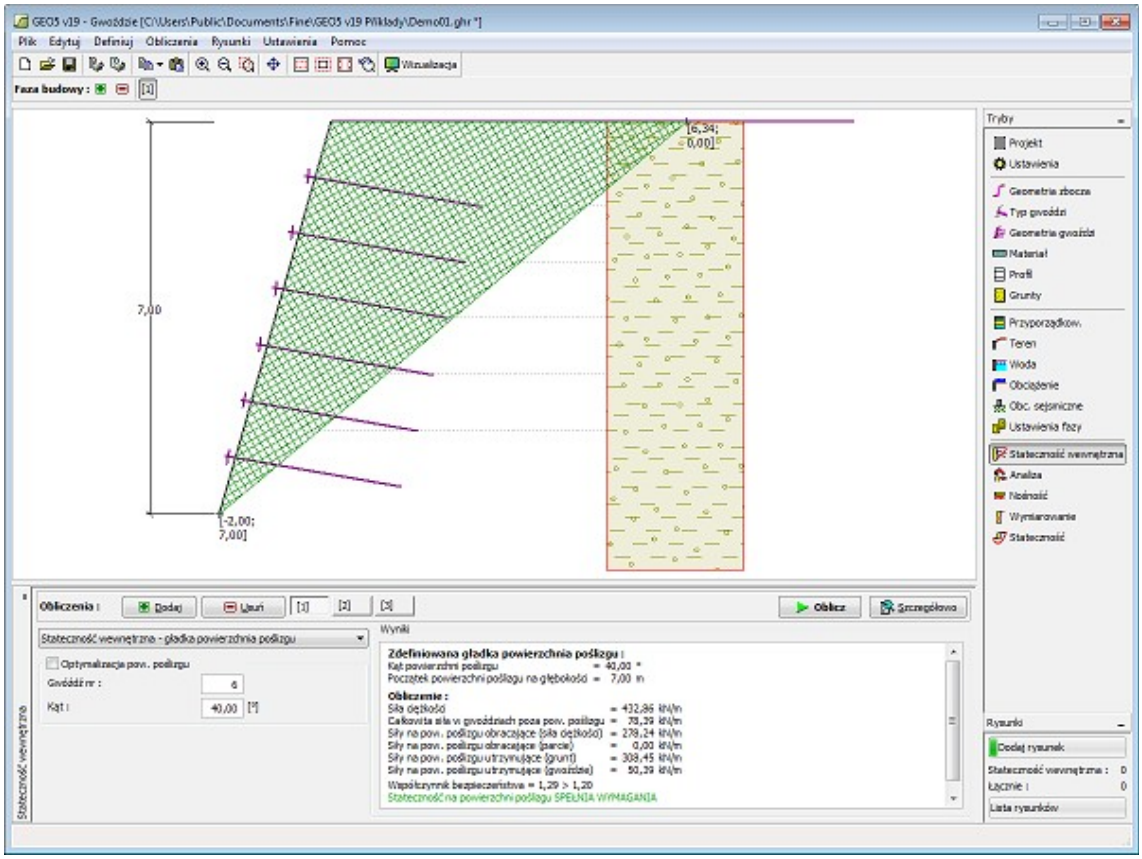
Sprawdzenie stateczności wewnętrznej przeprowadzane jest następująco:

- Według EN 1997 (analiza wykonywana jest z zastosowaniem teorii stanów granicznych).
- Według LRFD (analiza wykonywana jest z zastosowaniem teorii stanów granicznych).
- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa, lub zgodnie z teorią stanów granicznych (analiza wykonywana jest zgodnie z ustawieniami w zakładce "Analiza stateczności").

Poszczególne kroki procedury obliczeniowej opisane zostały szczegółowo w części teoretycznej pomocy.

Ramka ta umożliwia również sprawdzenie nośności gwoździ.

Ponadto, w celu wyznaczenia siły w gwoździu, w ramce tej, definiuje się współczynnik redukcji parcia czynnego k_n.



Ramka "Stateczność wewnętrzna"

Analiza

Ramka "**Analiza**" wyświetla wyniki analizy stateczności zbocza. Istnieje możliwość przeprowadzenia dowolnej liczby analiz w obrębie jednego zadania.

Wygląd ramki jest dostosowany do wybranej metodyki obliczeń.

- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa, lub zgodnie z teorią stanów granicznych - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia modyfikację współczynników obliczeniowych, przykładanych do wyznaczonych sił. Wartości tych sił są wyświetlane na ekranie i są

automatycznie odświeżane przy każdej zmianie danych projektu lub ustawień w tablicy.

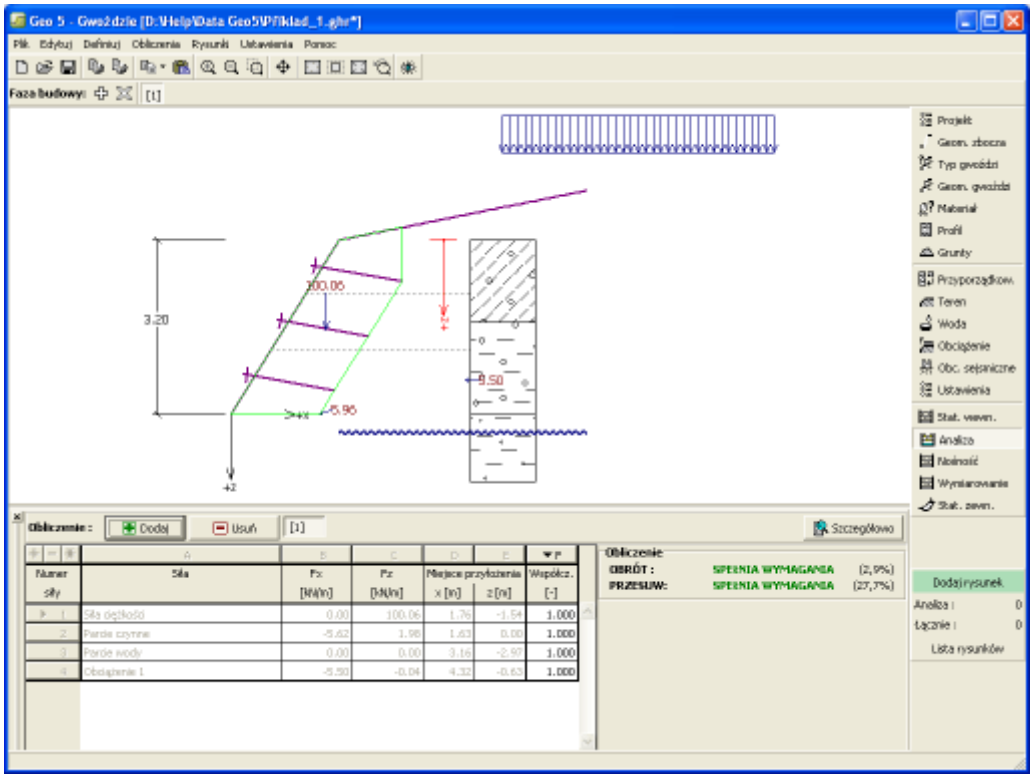
- Obliczenia według EN 1997 - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia zdefiniowanie czy obciążenie oddziałujące na konstrukcje jest uwzględniane jako drugorzędne. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w rozdziale "Kombinacje obciążeń".
- Obliczenia według LRFD - w tym przypadku ostatnia kolumna nie jest wyświetlana.

W celu sprawdzenia stateczności zewnętrznej tworzona jest **fikcyjna konstrukcja** (ściana), która następnie poddawana jest analizie. Fikcyjna ściana składa się z lica konstrukcji, linii łączącej punkty końcowe poszczególnych gwoździ, pionowej linii od punktu końcowego pierwszego gwoździa do głębokości terenu oraz od punktu końcowego ostatniego gwoździa do głębokości konstrukcji (zatem, dolna krawędź fikcyjnej konstrukcji jest zawsze pozioma). Punkty ściany, które powodują wklęsłą krzywiznę tylnej ściany konstrukcji są automatycznie wykluczane przez program. Konstrukcja jest obciążana czynnym parciem gruntu.

Procedura analizy ściany została opisana w teoretycznej części pomocy.

Wyniki analizy wyświetlane są na pulpicie i natychmiast aktualizowane dla dowolnej zmiany wprowadzonych danych bądź ustawień. Prawa część ramki przedstawia wyniki analizy ściany ze względu na **obrót i przesuw**. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które zawiera szczegółowe zestawienie wyników analizy.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Analiza"

Nośność

Ramka "**Nośność**" wyświetla wyniki analizy nośności podłoża gruntowego. Naprężenie na dnie fundamentów (założono stałe) uzyskuje się ze wszystkich analiz wykonywanych w ramce "Analiza". Program "**Fundament bezpośredni**" and "**Spread footing CPT**" traktuje

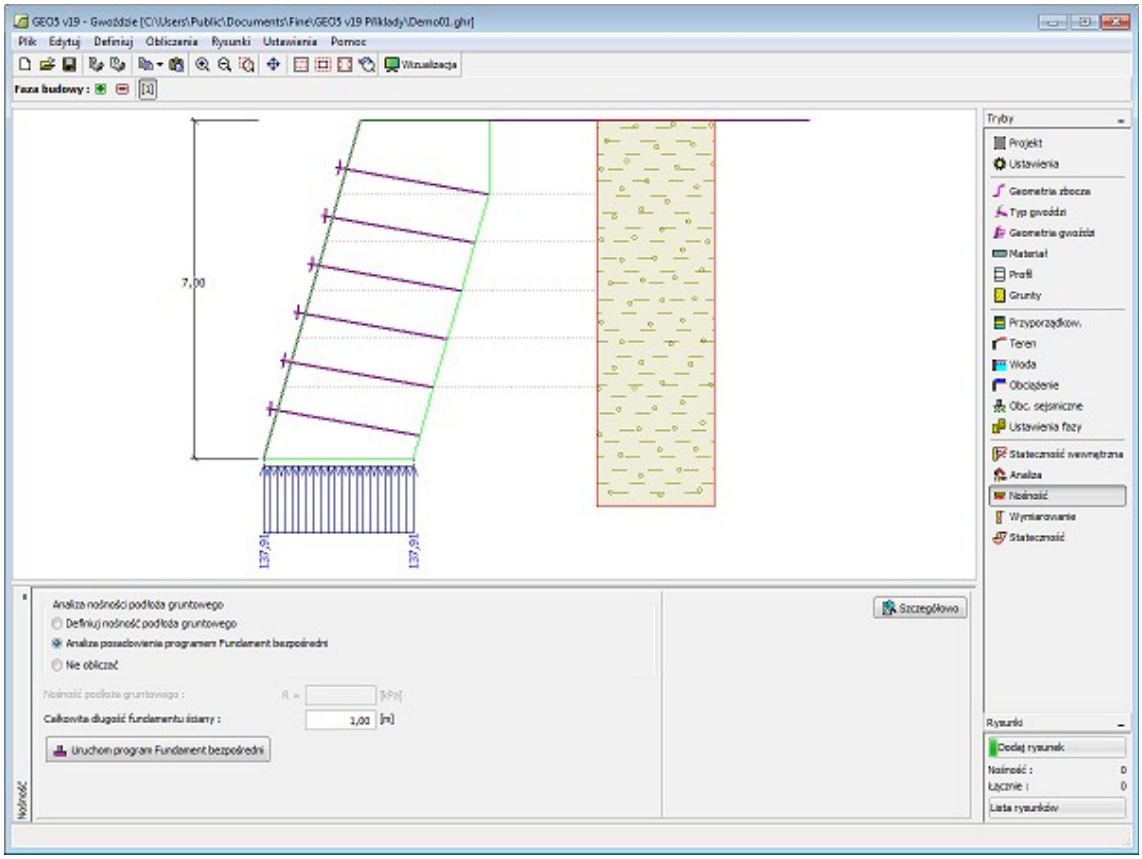
wszystkie obliczenia jako przypadki obciążeń.

W ramce tej dostępne są trzy podstawowe opcje analizy:

- **Definiuj nośność podłoża gruntowego** Pole to służy do określenia nośności podłoża gruntowego. Wyniki analizy fundamentu ze względu na **mimośród** oraz nośność **podłoża** wyświetlane są w prawej części ramki. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które wyświetla szczegółowe wyniki analizy nośności podłoża gruntowego.
- **Wyznacz nośność podłoża gruntowego programem "Fundament bezpośredni"** Naciśnięcie przycisku "**Uruchom program Fundament bezpośredni"** uruchamia program "**Fundament bezpośredni**", który umożliwia obliczenie nośności gruntu lub osiadanie i obrót fundamentu. Naciśnięcie przycisku "**Zakończ i prześlij dane**" zamyka tryb analizy - wyniki obliczeń i wszystkie rysunki kopiowane są do programu wyjściowego, tj. "**Zbocze Gwoździowane**". Program "**Fundament bezpośredni**" musi być zainstalowany, aby przycisk ten był dostępny. Przy wyborze tej opcji należy zdefiniować całkowitą długość fundamentu ściany.
- **Analyse bearing capacity by program "Spread footing CPT"** The procedure is identical as if calculating soil bearing capacity by the **"Spread footing**" program.
- **Nie obliczaj (fundament na palach)** Nośność podłoża gruntowego nie jest obliczana.

Program umożliwia określenie kształtu naprężenia kontaktowego w podstawie fundamentu.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



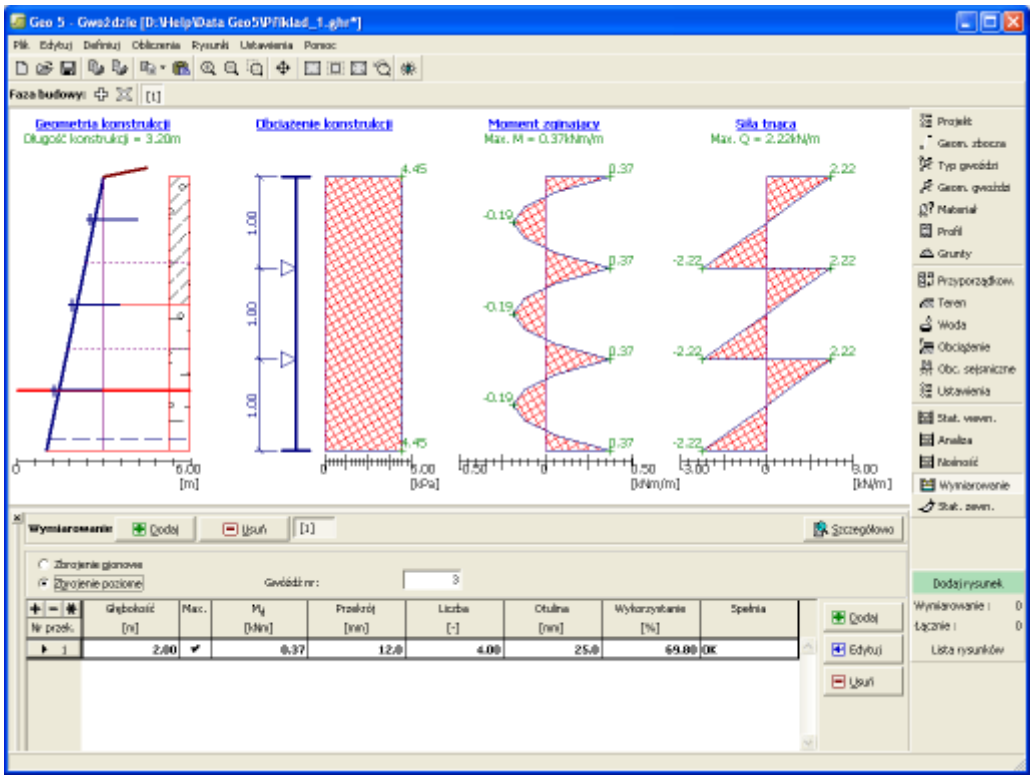
Ramka "Nośność"

Wymiarowanie

Ramka "**Wymiarowanie**" umożliwia projektowanie oraz analizę zbrojenia konstrukcji betonowej. Górna część ramki służy do dokonania wyboru, które zbrojenie oraz jego lokalizacja będzie sprawdzane - **pionowe czy poziome**. Program następnie wyznacza siły wewnętrzne w wybranej sekcji.

Tabela w dole ramki służy do określenia lokalizacji weryfikowanego przekroju. Sprawdzenie zaprojektowanego zbrojenia przeprowadzane jest według wybranej normy wymiarowania konstrukcji żelbetowych (wyboru normy dokonuje się w zakładce "Materiały i normy"). Przekrój obciążany jest momentem zginającym w danym punkcie. W ramce definiuje się również **zbrojenie na rozciąganie**. Jeżeli moment jest ujemny, zaprojektowane zbrojenie umieszczane jest na licu konstrukcji, w przeciwnym razie na tylnej ścianie konstrukcji.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".

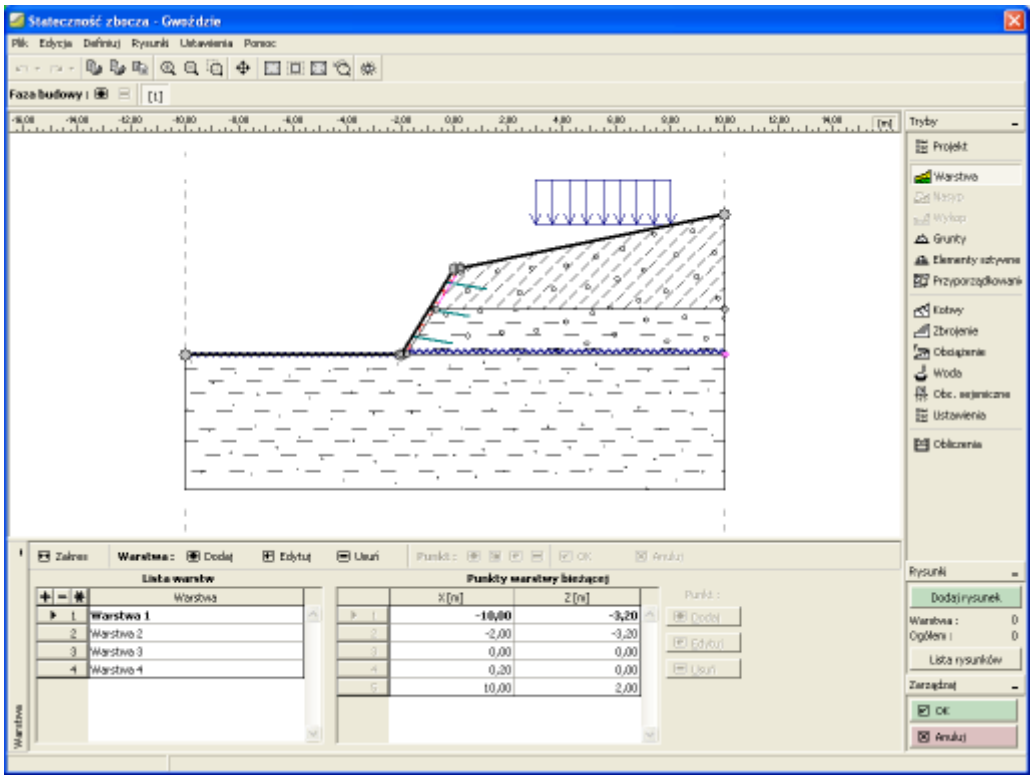


Ramka "Wymiarowanie"

Stateczność

Naciśnięcie przycisku "**Stateczność**" uruchamia program "**Stateczność zbocza**". Program ten umożliwia sprawdzenie ogólnej stateczności analizowanej konstrukcji. Przycisk jest dostępny, jeżeli program "**Stateczność zbocza**" został zainstalowany.

Po zakończeniu obliczeń stateczności w programie Stateczność zbocza należy kliknąć przycisk "**Zakończ i prześlij dane**" aby opuścić program i przekazać wyniki obliczeń do programu "**Gwoździe**".



Ramka "Stateczność"

Program RediRock Wall

This program is used for design and verification of retaining walls, slopes and MSE walls. The structure of wall is made of prefabricated Redi-Rock blocks.

The help in the program "Redi-Rock Wall" includes the folowing topics:

- Input of data into individual frames:

Project	Settings	Blocks	Geometry	Footing	Profile	Soils
Assign	Types of Reinforcements	Reinforcements	Terrain	Water	Surcharge	Front Face Resistance
Applied Forces	Earthquake	Stage Settings				
Analysis - Gravity Wall						
Verification	Dimensioning	Bearing Capacity				

Analysis - MSE Wall

Verification Dimensioning Bearing Capacity Slip on Georeinforcement Internal Stability

Stability

- Standards and analysis methods
- Theory for analysis in the program "**Redi-Rock Wall**":

  Stress in Soil Body Earth Pressures Analysis of Walls Dimensioning of Concrete Structures

- Outputs
- General information about the work in the User Environment of GEO5 programs
- Common input for all programs

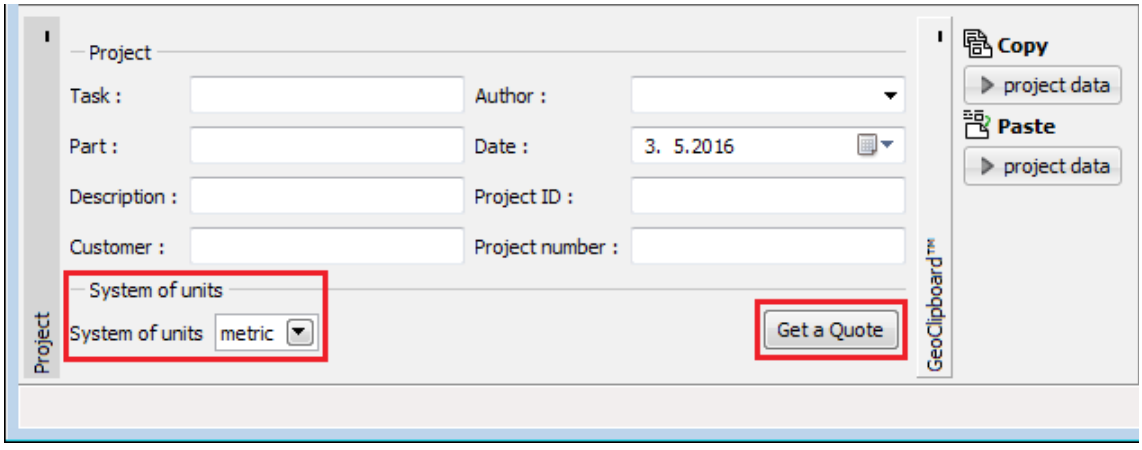
Project

The frame **"Project"** is used to input basic project data and to specify overall settings of the analysis run. The frame contains an input form to introduce the basic data about the analyzed task, i.e. project information, project description, date, etc. This information is further used in text and graphical outputs.

The frame also allows user to switch analysis units (metric / imperial).

The website of manufacturer (https://www.redi-rock.com) can be opened by "Get a Quote" button.

Project data can be copied within all GEO5 programs using "GeoClipboard".



Frame "Project"

Analysis methods

The frame "**Settings**" allows to introduce the basic settings of the program, such as standards and theories of analysis, the way of proving safety of a structure and individual coefficients of the analysis.

The programs not only contain the pre-defined **basic Settings** for individual countries, but also allow the user to create their own **user-defined Settings**, which can be subsequently used in all GEO5 programs.

The "**Select**" button allows to choose an already created setting from the "Settings list".

The "**Settings Administrator**" button opens the "Administrator" dialog window, which allows for viewing and modifying individual Setting. It is also possible to identify the visible settings in the Settings list. Data in the Settings administrator can be also **exported and imported**.

The "**Add to the administrator**" button allows to create user-defined Settings, which are subsequently added to the Settings administrator.

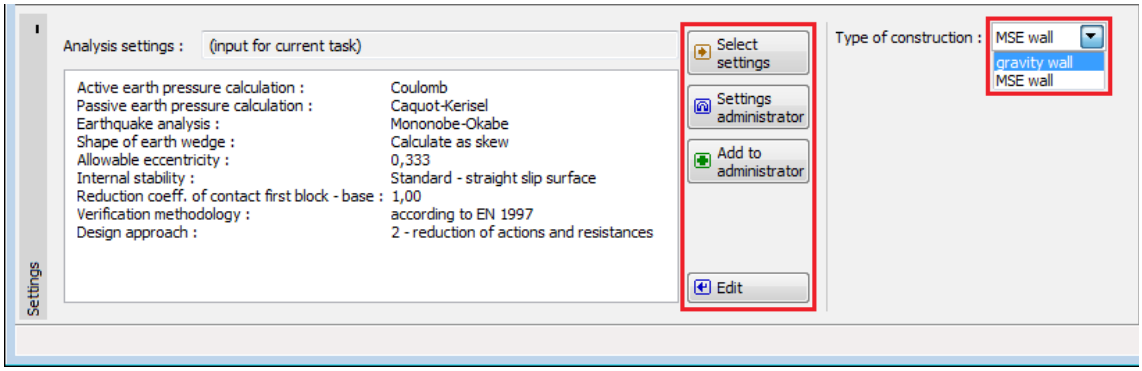
The "**Modify**" button enables a quick visualization and editing of the current Setting in the opened program. Modifying any of the parameters changes the title to "**Input for the current task**". Individual analyses are then performed with this **local setting**. Should we consider this setting as suitable also for other tasks, we add the setting into the "**Settings administrator**" by pressing the "**Add to the administrator**" button.

The "**Input for the current task**" setting is usually created when importing older data.

Settings of analysis parameters are performed in the "Materials and standards" and "Wall analysis" tabs.

The type of structure has to be selected in this frame.

- Gravity Wall
- MSE Wall

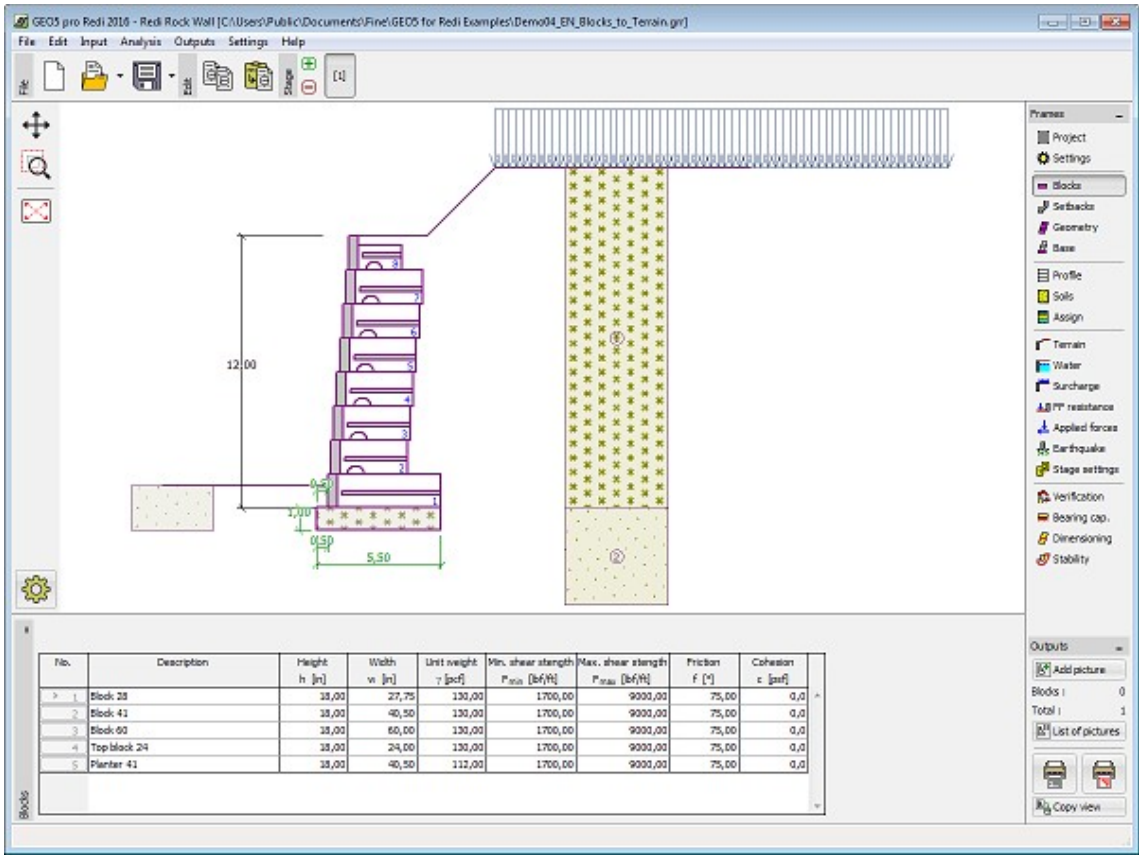


Frame "Settings"

Blocks

In the "**Blocks**" frame, the prefabricated blocks of manufacturer are shown in the table.

Some parameters of blocks (unit weight, minimum and maximum shear strength, friction between blocks) can be edited, the dimensions of blocks cannot be changed.



Frame "Blocks"

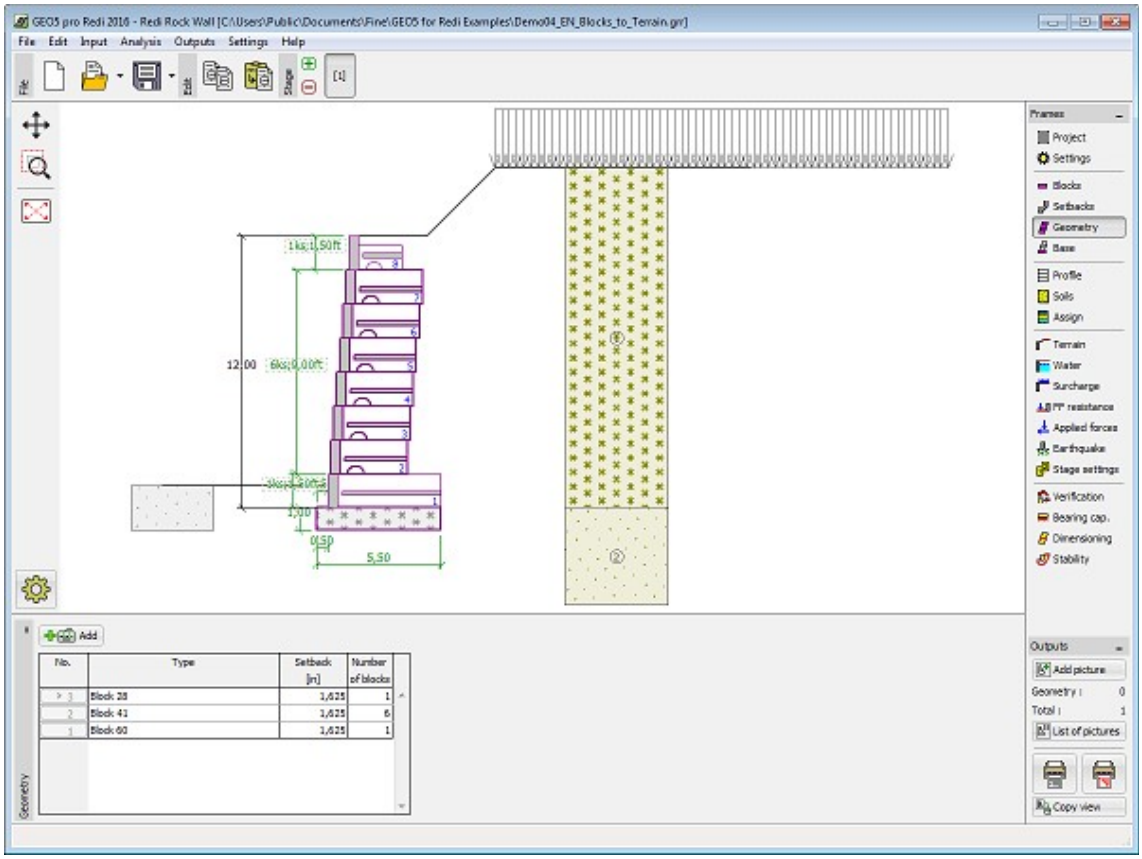
Geometry

The "**Geometry**" frame contains a table with a list of input structural precast units (blocks) of a wall (the lowest block is labeled as No. 1). Adding blocks is performed in the "**New block**" dialog window.

A group of blocks that is defined by a number of blocks and setbacks between them.

The program allows to add (insert) another group between two already existing blocks of a structure. Inserting a new group is performed in the "**Insert**" dialog window that complies with the **"Add"** dialog window. The inserted block is ordered such to proceed the currently selected block of a structure.

The program allows to export the geometry of a structure in the *.DXF format.



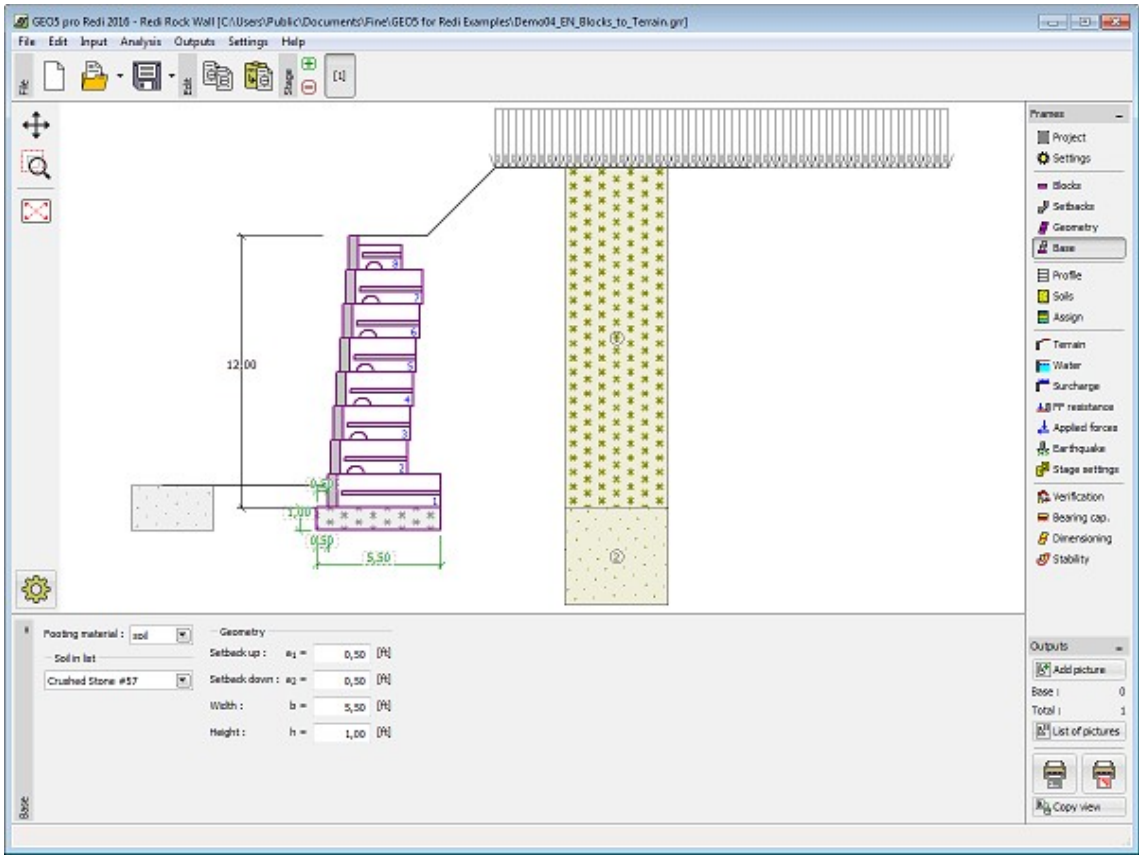
Frame "Geometry"

Footing

In The "**Footing**" frame, it is necessary to select material of footing (soil, concrete) and input its dimensions. In the case of concrete footing, the unit weight, shear cub (key) bearing capacity and friction between a concrete footing and the first block must be also specified.

A restriction according to Fig. 4-4, page 73 of NCMA manual is neither automatically enforced nor checked by the program.

The bearing pad must be introduced into the program such that it complies with the design criteria.



Frame "Footing"

Profile

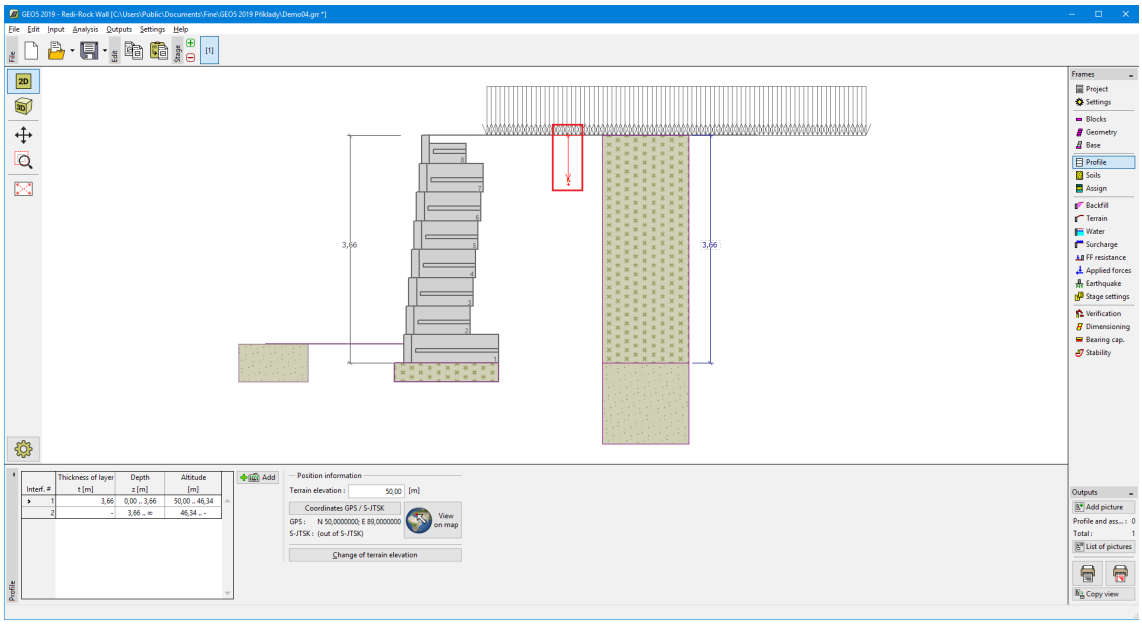
The "**Profile**" frame contains a table with a list of input interfaces. After specification of interfaces, it is possible to edit thicknesses of individual layers with the help of active dimensions.

Adding layer is performed in the "**Add interface**" dialog window. The z-coordinate of interface measured from the top of a structure (z) or thickness of layer (t) is specified.

In this frame it is also possible to enter optional information about the structure location:

- **terrain elevation** - an altitude column for the layers is displayed in the table after input of terrain elevation
- **GPS coordinates** - it is possible to show a structure on the Google Maps using "**View on map**" button after input of coordinates.

The program allows to raise or lower the top point of a structure in the "**Change of terrain elevation**" dialog window so that the whole interface can be translated while keeping the thicknesses of individual layers. This function is important when copying the profile from the program "**Terrain**" or "**Stratigraphy**".



Frame "Profile"

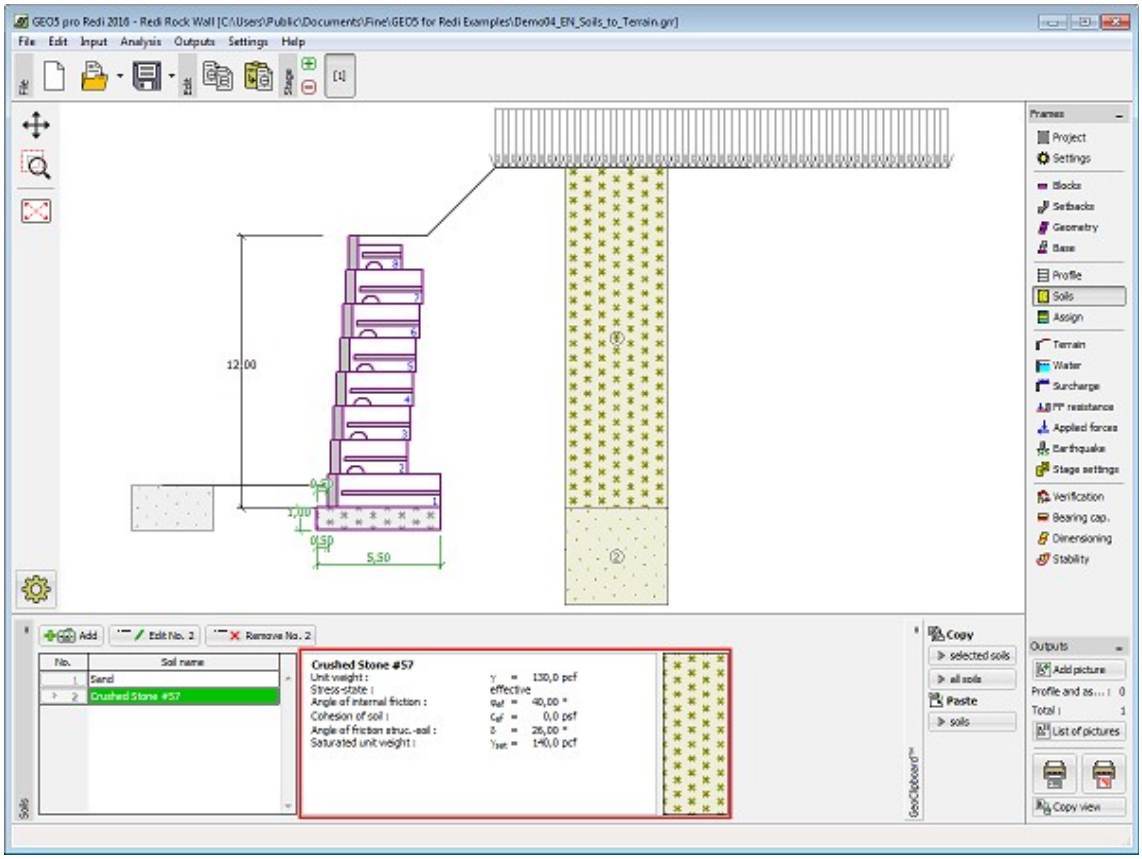
Soils

The "**Soils**" frame contains a table with a list of input soils. The table also provides information about currently selected soil displayed in the right part of the frame.

Adding a soil is performed in the "Add (edit) soil" dialog window.

The soil characteristics needed in the program are further specified in the following chapters: "Basic data", "Earth pressure at rest" and "Uplift pressure".

Data of input soils can be copied within all GEO5 programs using "GeoClipboard".



Frame "Soils"

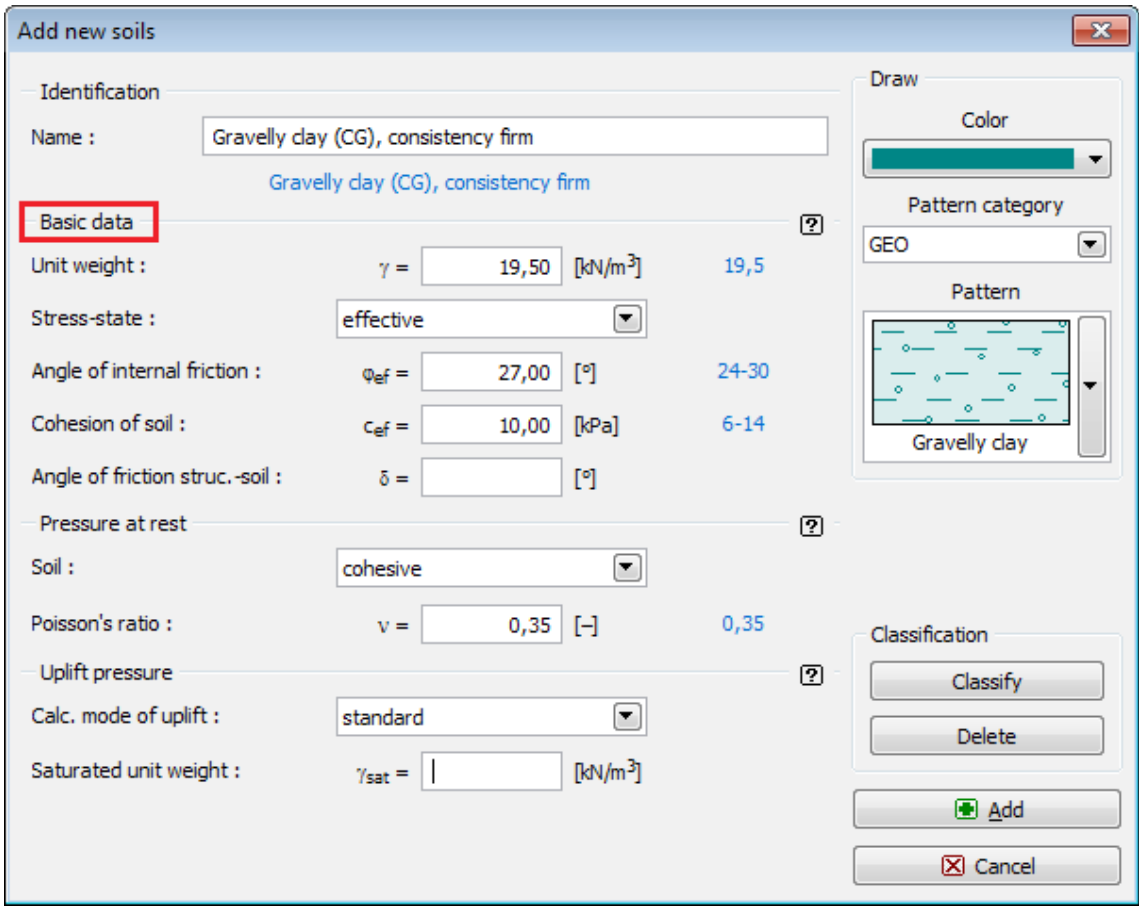
Basic data

This part of the window serves to introduce basic parameters of soils - **unit weight, angle of internal friction and cohesion**. The particular values are obtained from geotechnical survey or from laboratory experiments. If these data are not available, it is possible to exploit built-in database of soils, which contains values of selected characteristics of soils. The characteristics of rocks are not listed in the database built, these parameters must be defined manually. Approximate parameters of rocks are presented in the theoretical part of the Help herein.

Either **effective or total** parameters of the angle of internal friction and cohesion are specified depending on the setting in the "**Stress analysis**" combo list. Whether to use effective or total parameters depends primarily on the type of soil, type of load, structure duration and water conditions.

For effective stress further needs to specify the angle of internal friction between the soil and structure, which depends on the structure material and the type of soil. Possible values of this parameter are listed in the table of recommended values.

The associated theory is described in detail in chapter "Earth pressures".

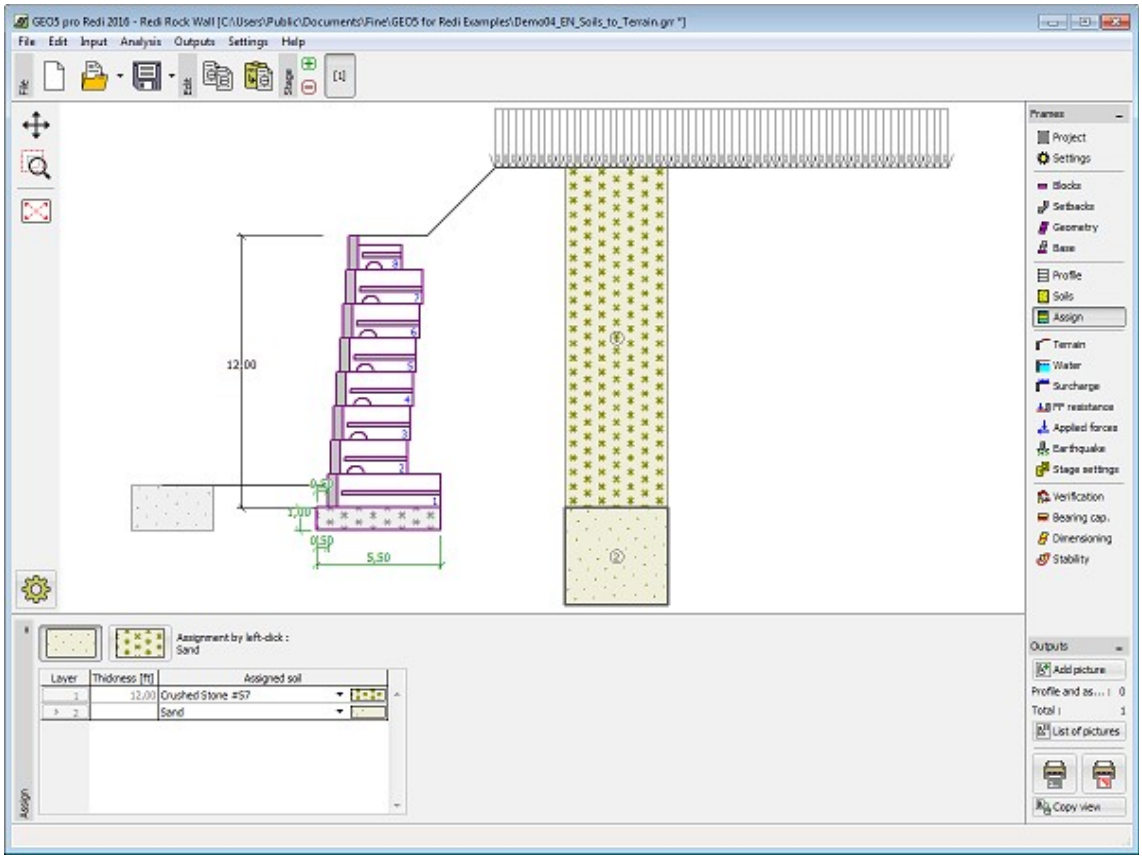


Dialog window "Add new soils" - "Basic data"

Assign

The "**Assign**" frame contains a list of layers of profile and associated soils. The list of soils is graphically represented using buttons in the bar above the table, or is accessible from a combo list for each layer of the profile.

The procedure to assign soil into a layer is described in detail herein.

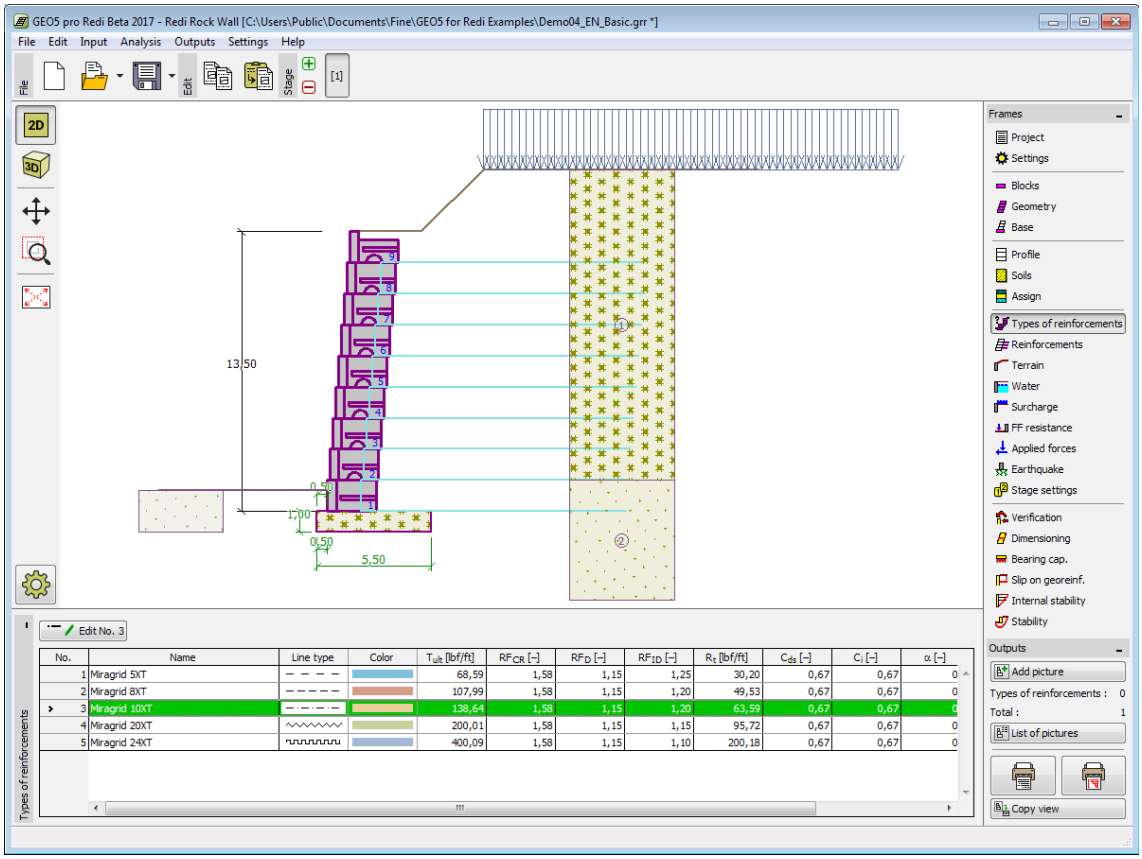


Frame "Assign"

Types of Reinforcements

The "**Types of reinforcements**" frame contains a table with the list of input geo-reinforcements and their parameters (long-term bearing capacity of reinforcements and coefficients of interaction). The geo-reinforcement can be edited by "**Edit**" button.

The "**Types of reinforcements**" frame is available just in the case of MSE Wall calculation. The type of structure is selected in the frame "Settings".



Frame "Types of reinforcements"

Reinforcements

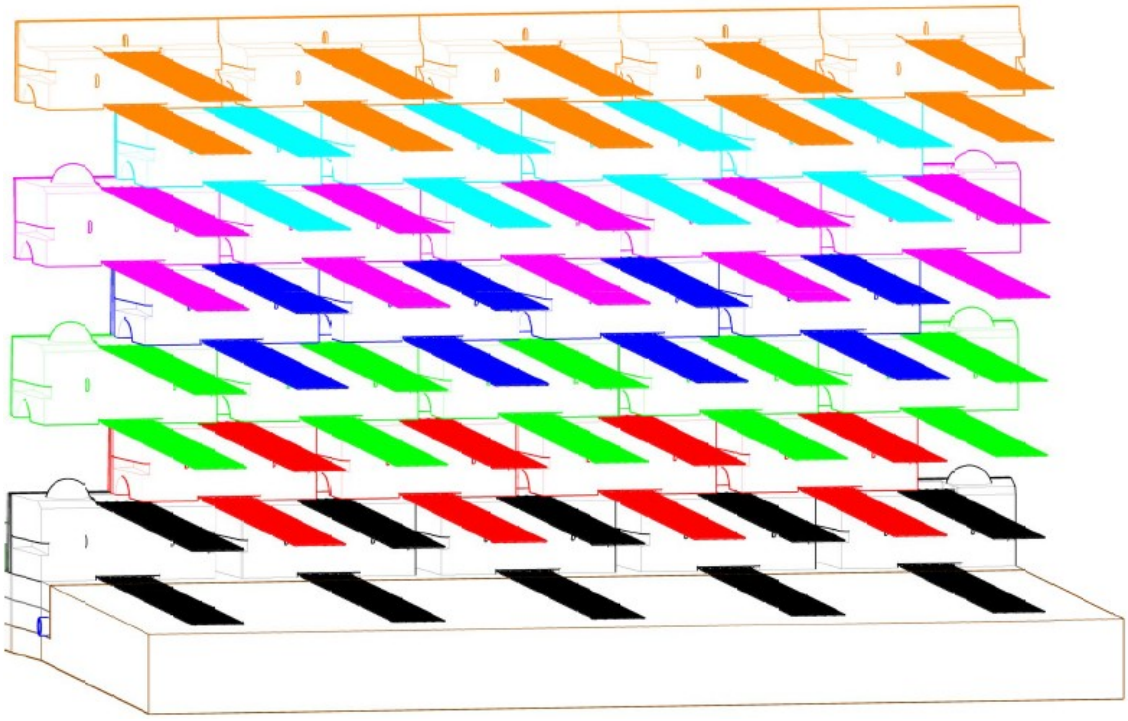
In the "**Reinforcement**" frame, parameters of reinforcement are specified.

Input mode

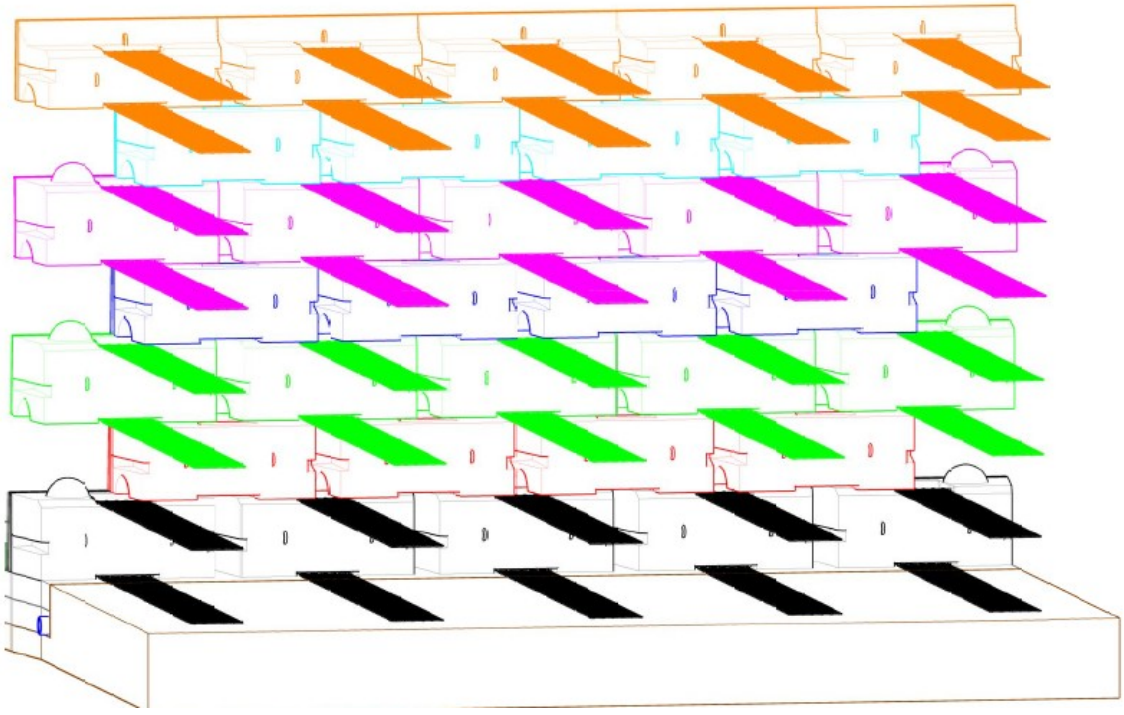
- 1 reinforcement type - the wall is reinforced by one type of reinforcement. The type of reinforcement is selected in the combo list. The reinforcements are generated from the bottom row of blocks to the row, which is selected in the combo list.
- 2 reinforcement type - the wall is reinforced by two types of geo-reinforcement. There is different reinforcement in the upper and bottom part of wall. The input is same as in the case of one type of reinforcement.
- table of reinforcements - the reinforcements are specified for each row of blocks

Reinf. installation

- in every row of blocks (50%) - the reinforcements are placed in every block

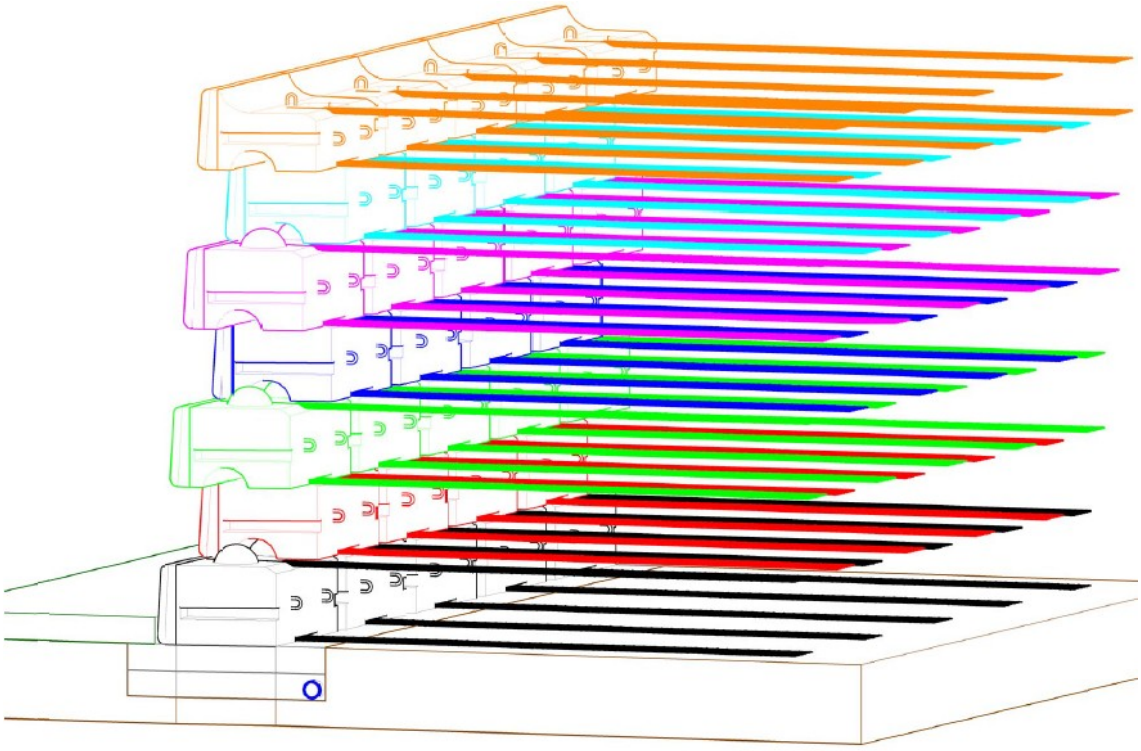


- in every other row of blocks (25%) - the reinforcements are placed in every other block

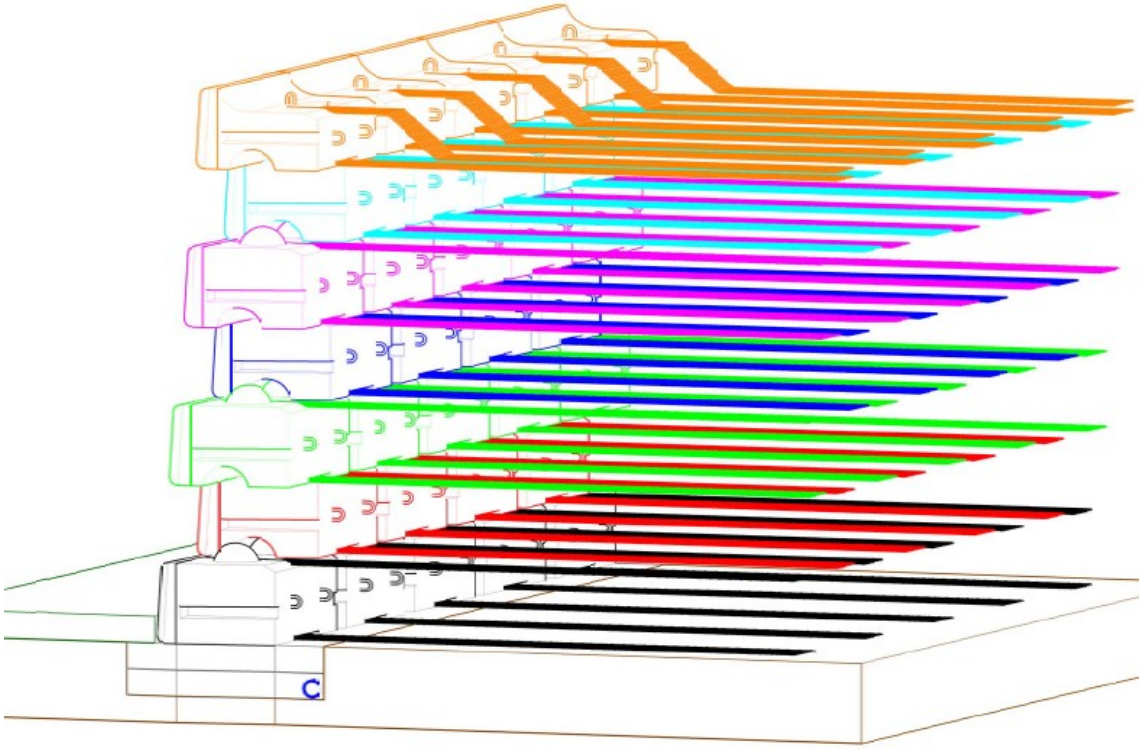


Top reinforcement

- straight (25%) - the reinforcements in upper row are placed in every other block



- anchored tail - upper part of reinforcements in upper row of blocks is directed in the angle to its bottom

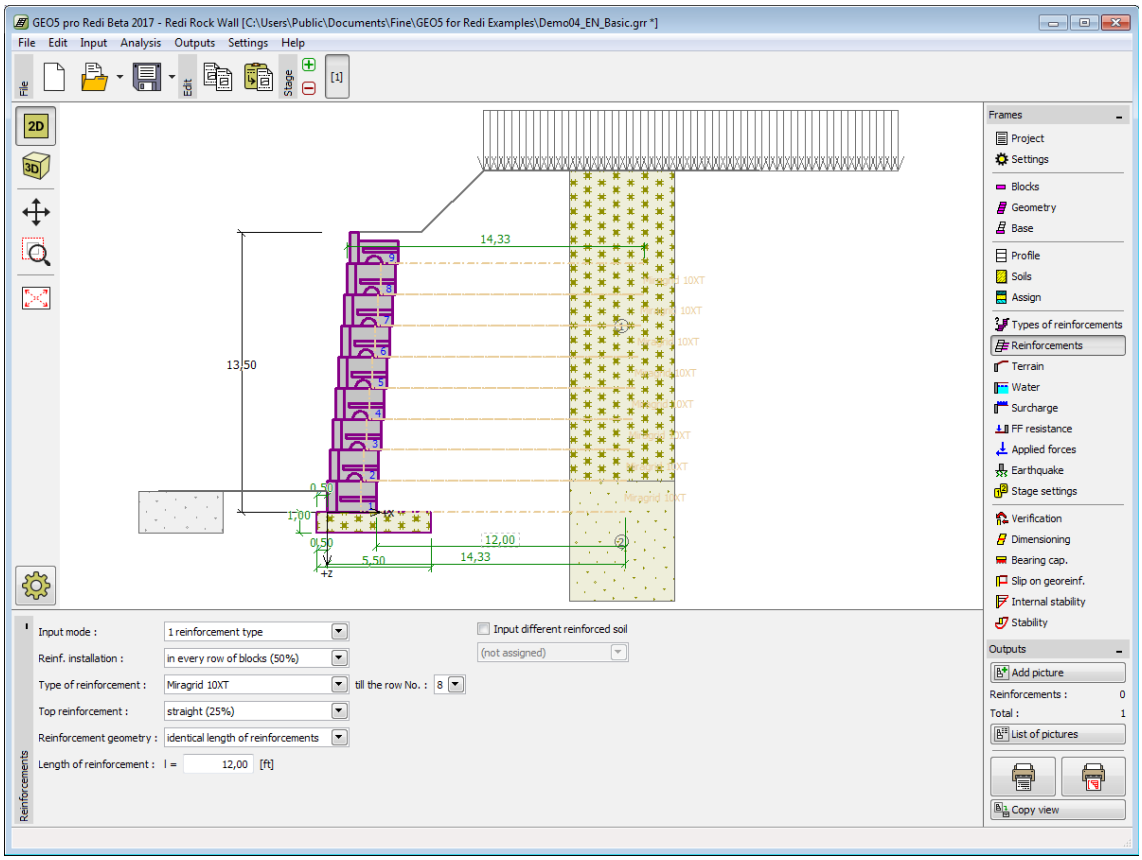


Reinforcement geometry

- identical length of reinforcements - all reinforcements have same length l
- identical ending of reinforcements - all reinforcements end in the same distance from the wall l_k

If the soil between the reinforcements is different than soil assigned to geological profile, then program allows to specify this soil by checking the option "**Input different reinforced soil**". Subsequently, in combo list user selects the type of soil (the combo list contains soils introduced in the frame "Soils").

The "**Types of reinforcements**" frame is available just in the case of MSE Wall calculation. The type of structure is selected in the frame "Settings".



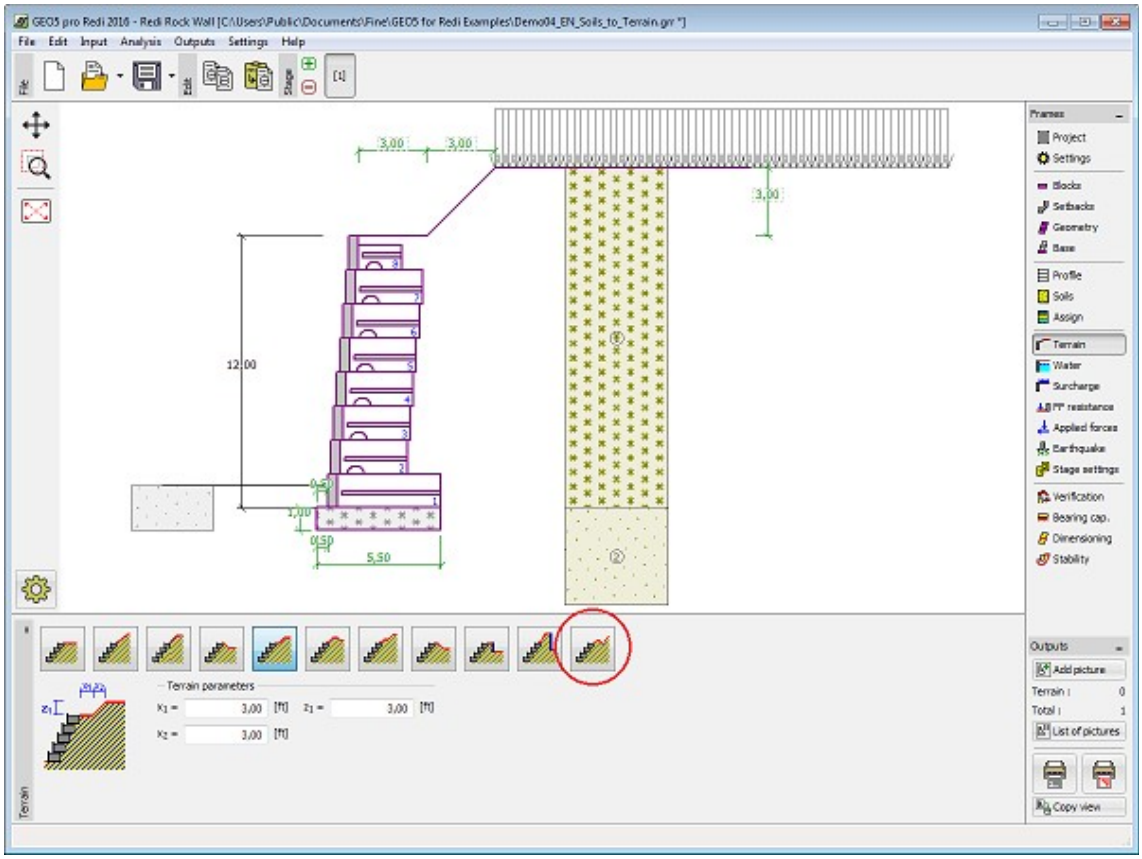
Frame "Reinforcement"

Terrain

The "**Terrain**" frame allows, by pressing the button, to specify the terrain shape. The selected shape with graphic hint ("**Chart of parameters**") of input values is displayed in the left part of the frame. The terrain shape can be edited either in the frame by inserting values into input fields, or on the desktop with the help of active dimensions.

The last option to choose from is a general shape of a terrain. In this case the frame contains a table with a list of terrain points. The first point with coordinates [0,0] coincides with the top point of a structure.

Analysis of earth pressures in case of inclined terrain is described in the theoretical part of the help, chapter "Distribution of earth pressures for broken terrain".



Frame "Terrain"

Woda

The "**Water**" frame allows, by pressing the button, for selecting the type of water. The selected type together with a graphic hint ("**Chart of parameters**") of input values is displayed in the left part of the frame. Water parameters (h_1, h_2...) can be edited either in the frame by inserting values into input fields, or on the desktop with the help of active dimensions.

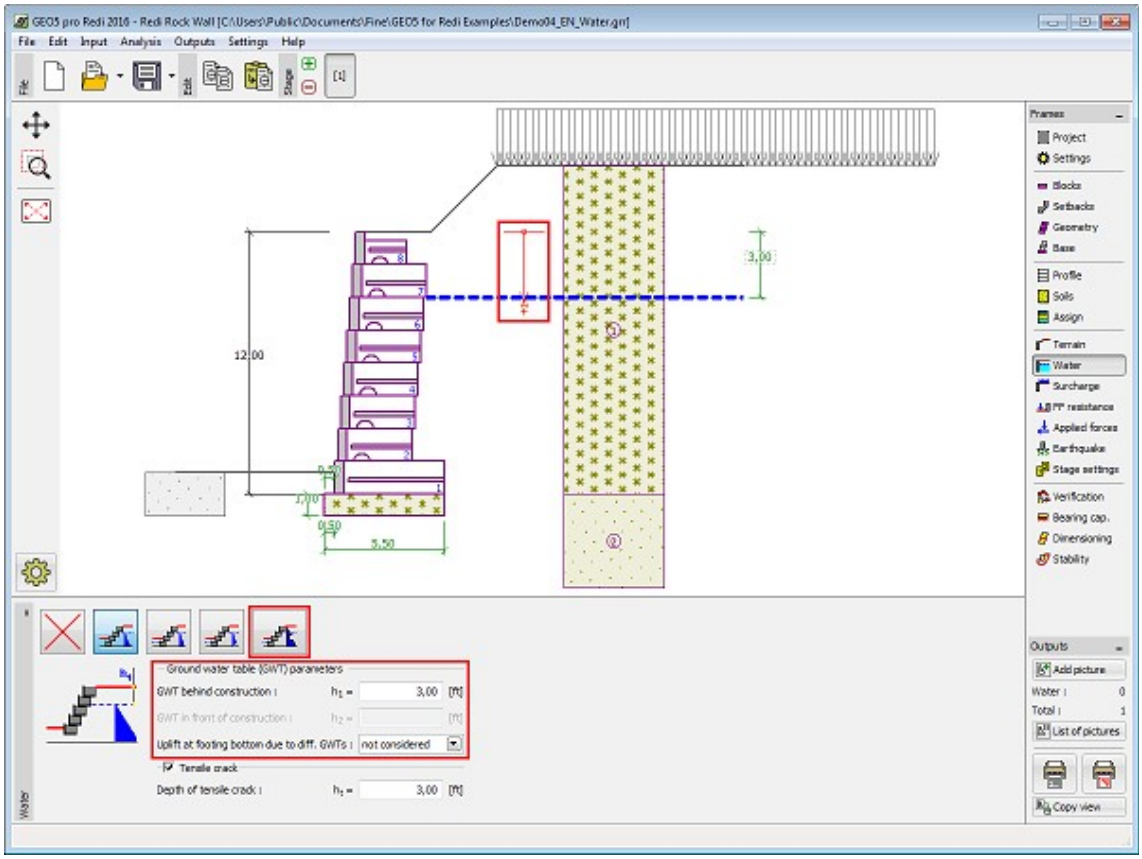
The combo list serves to specify whether the influence of uplift pressure of water due to different tables at the foundation joint is considered. The uplift pressure can be assumed to be linear, parabolic or it may not be considered at all. When verifying the wall, the uplift pressure in foundation joint due to different water tables is introduced in terms of a special force.

The last option is a manual input of pore pressure both in front and behind the structure. Two tabs "**In front of structure**" and "**Behind structure**" appear with tables. The table is filled with values of pore pressure in front, or behind the structure at a depth of "z" (z-axis).

The ground water table can also be specified **above the structure** or earth profile, respectively - in such a case the depth of water is input with a negative value.

Analysis of earth pressures with influence of water is described in the theoretical part of the help, chapter "Influence of water".

The program further allows for specifying a depth of tensile cracks filled with water.



Frame "Water"

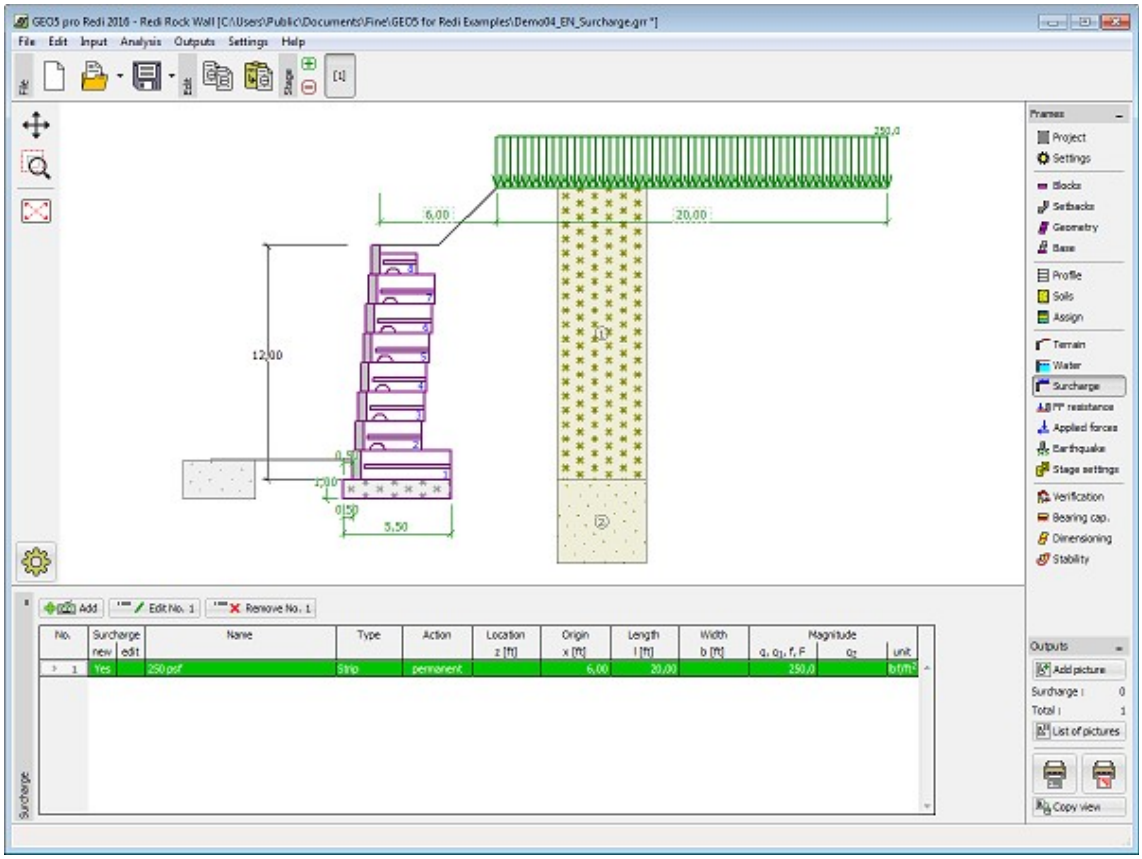
Obciążenie

The "**Surcharge**" frame contains a table with a list of input surcharges. Adding surcharge is performed in the "**New surcharge**" dialog window. The input surcharges can be edited on the desktop with the help of active dimensions or by active objects.

The z-coordinate measured from the top point of a structure is specified (positive direction downwards) when inputting the surcharge at a certain depth. In case when the surcharge is found out off the terrain the program prompts an error message before calculation.

Either **permanent**, **variable** or **accidental** surcharge can be specified. Selecting the particular type of surcharge also renders the corresponding design coefficient to multiply the resulting load action. Accidental surcharge with favorable effect is not considered in the analysis.

Analysis of earth pressures due to surcharges is described in the theoretical part of the help, chapter "Influence of surcharge".



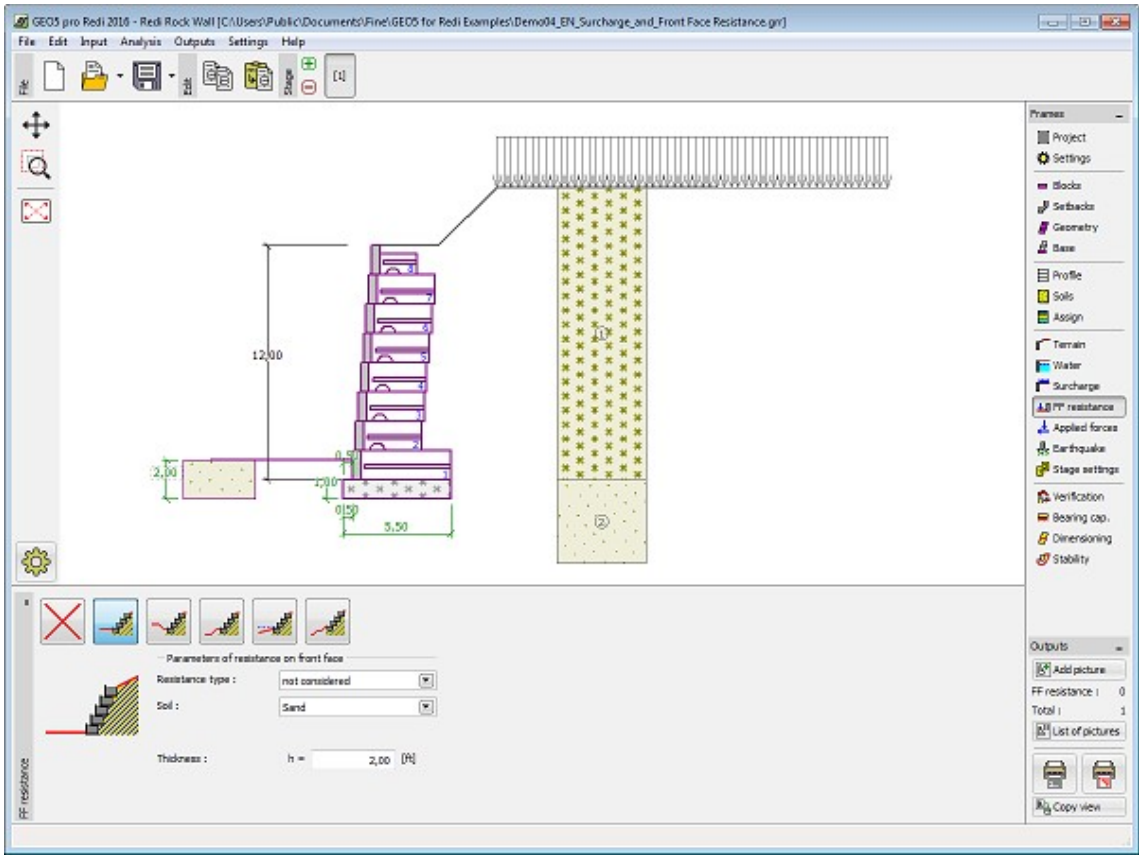
Frame "Surcharge"

Odpór na licu

The "**Front face resistance**" frame allows by pressing the button for specifying the terrain shape and parameters of front face resistance. The selected shape with a graphic hint ("**Chart of parameters**") of input values is displayed in the left part of the frame. The terrain shape can be edited either in the frame by inserting values into input fields, or on the desktop with the help of active dimensions.

Combo lists in the frame allows the user to select the type of resistance and a soil (the combo list contains soils introduced in the frame "Soils"). The magnitude of terrain surcharge in front of the wall or soil thickness above the wall lowest points can also be specified in the frame.

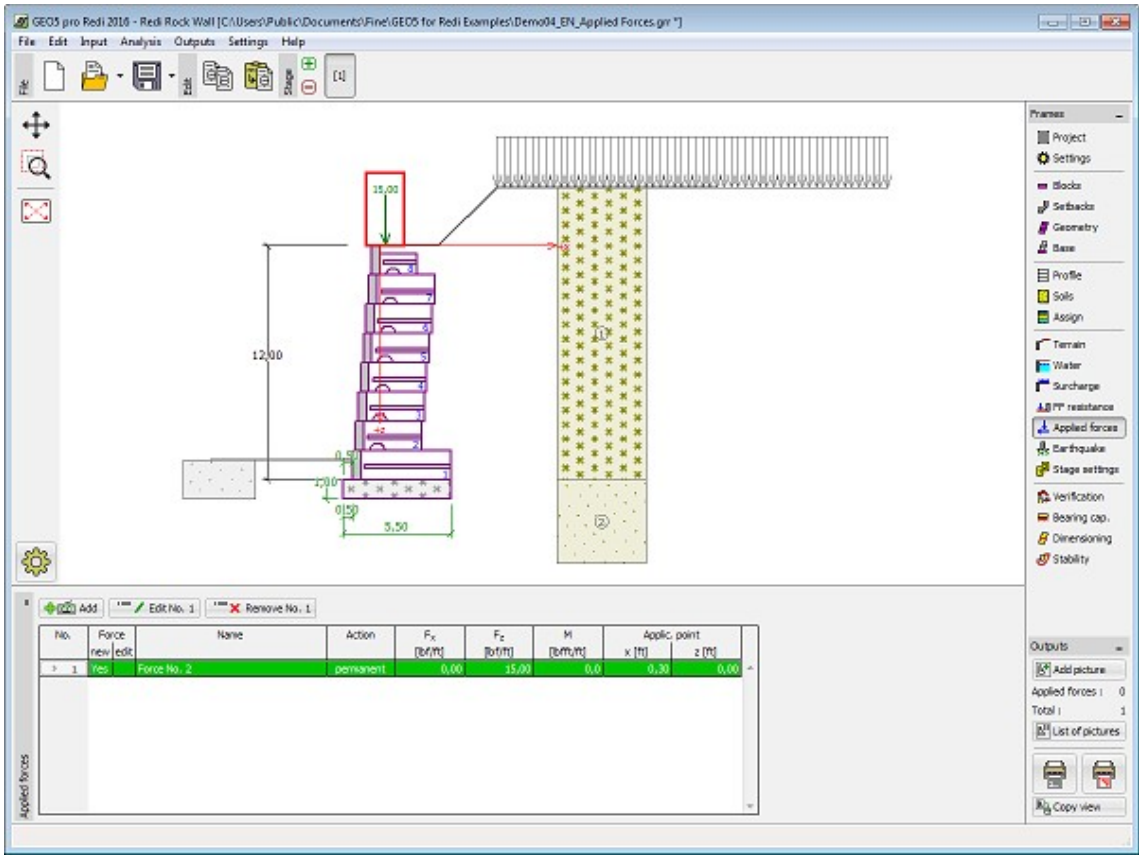
The resistance on a structure front face can be specified as a pressure at rest, passive pressure or reduced passive earth pressure. The resulting force due to reduced passive pressure is found as a resultant force caused by passive pressure multiplied by a corresponding coefficient, which follows from the input type of reduced passive pressure.



Frame "Front face resistance"

Zdefiniowane siły

The "**Applied forces**" frame contains a table with a list of forces acting on a structure. Adding forces is performed in the "**New force**" dialog window. The input forces can also be edited on the desktop with the help of active objects.



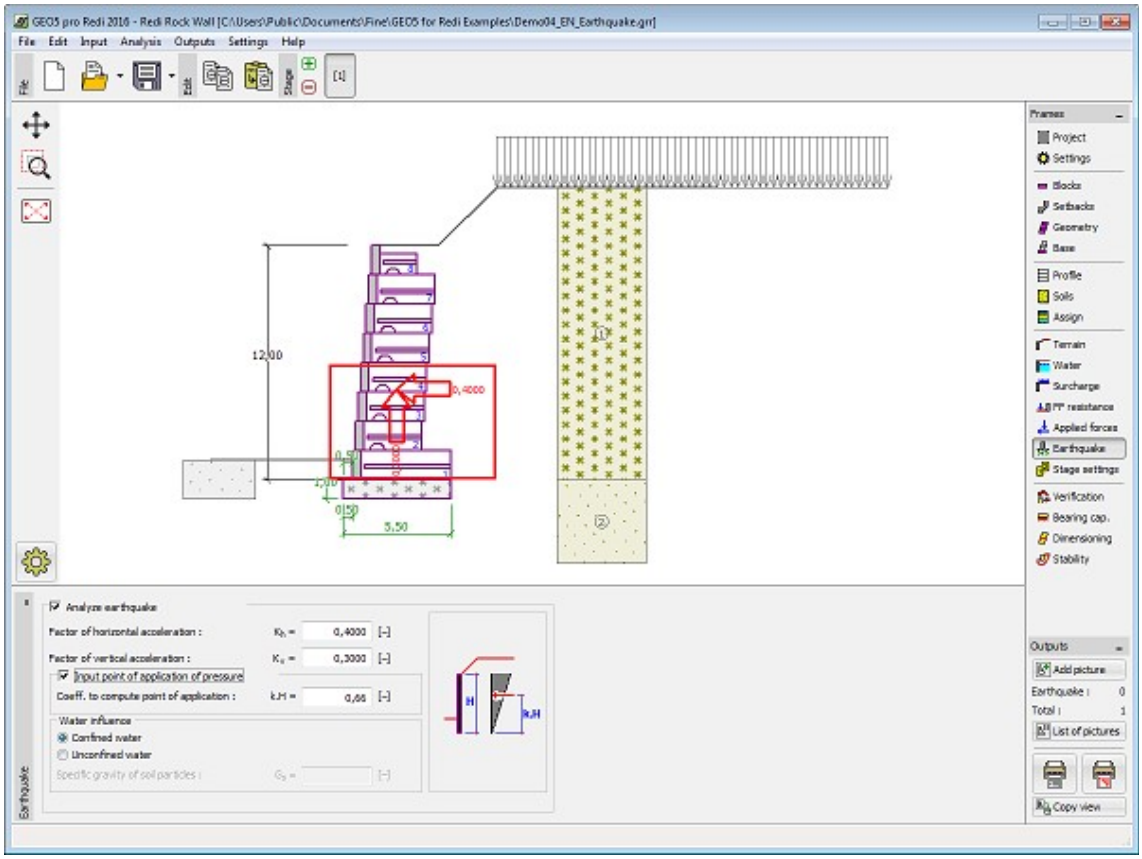
Frame "Applied forces"

Obciążenia sejsmiczne

The "**Earthquake**" frame serves to input earthquake parameters. Directions of input earthquake effects are displayed on the desktop.

If not provided by measurements the coefficients k_h and k_v can be calculated following the approach adopted from EN 1998-5.

Analysis of earth pressures while accounting for earthquake is described in the theoretical part of the help, chapter "Influence earthquake".



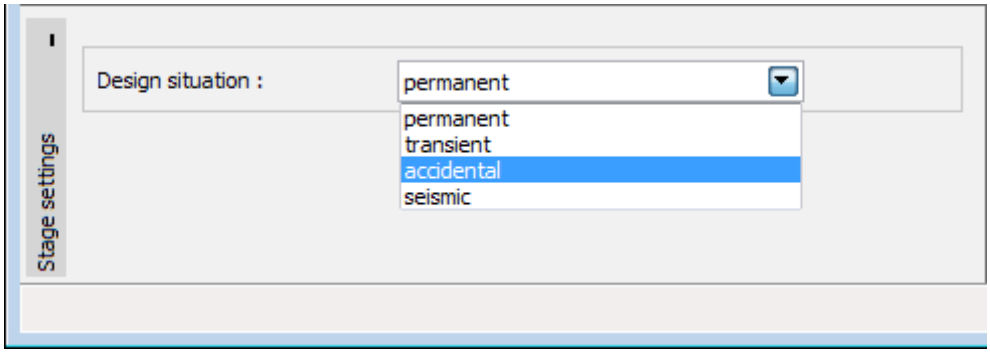
Frame "Earthquake"

Stage Settings

The frame "**Stage settings**" serves to input settings valid for a given construction stage.

Selected design situation determines the safety coefficients to be used in the analysis of a given construction stage.

The frame view depends on the selected verification methodology.

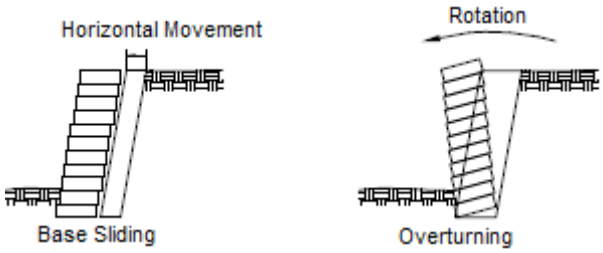


Frame "Stage settings"

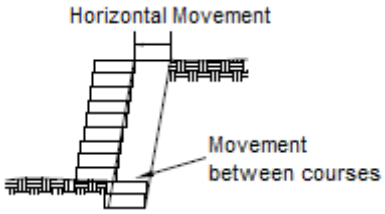
Analysis - Gravity Wall

Verification of **Gravity wall** made of RediRock blocks is performed in these frames:

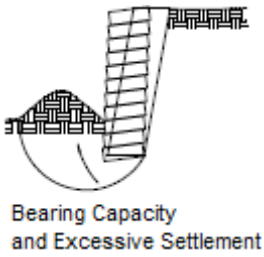
- Verification - verification of a wall against **overturning** and **slip**



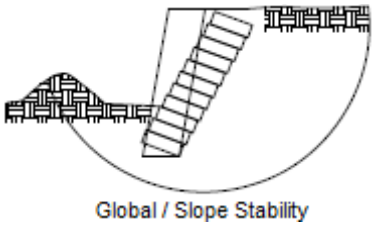
- Dimensioning - verification of joints between individual blocks of a wall against **overturning** and **slip**



- Bearing capacity - verification of the foundation soil bearing capacity



- Stability - verification of the overall stability of the analyzed structure



Pictures from: *Design Manual for Segmental Retaining Walls (NCMA, 3rd Edition)*

Verification

The frame "**Verification**" shows the analysis results. Several computations can be carried out for a single task.

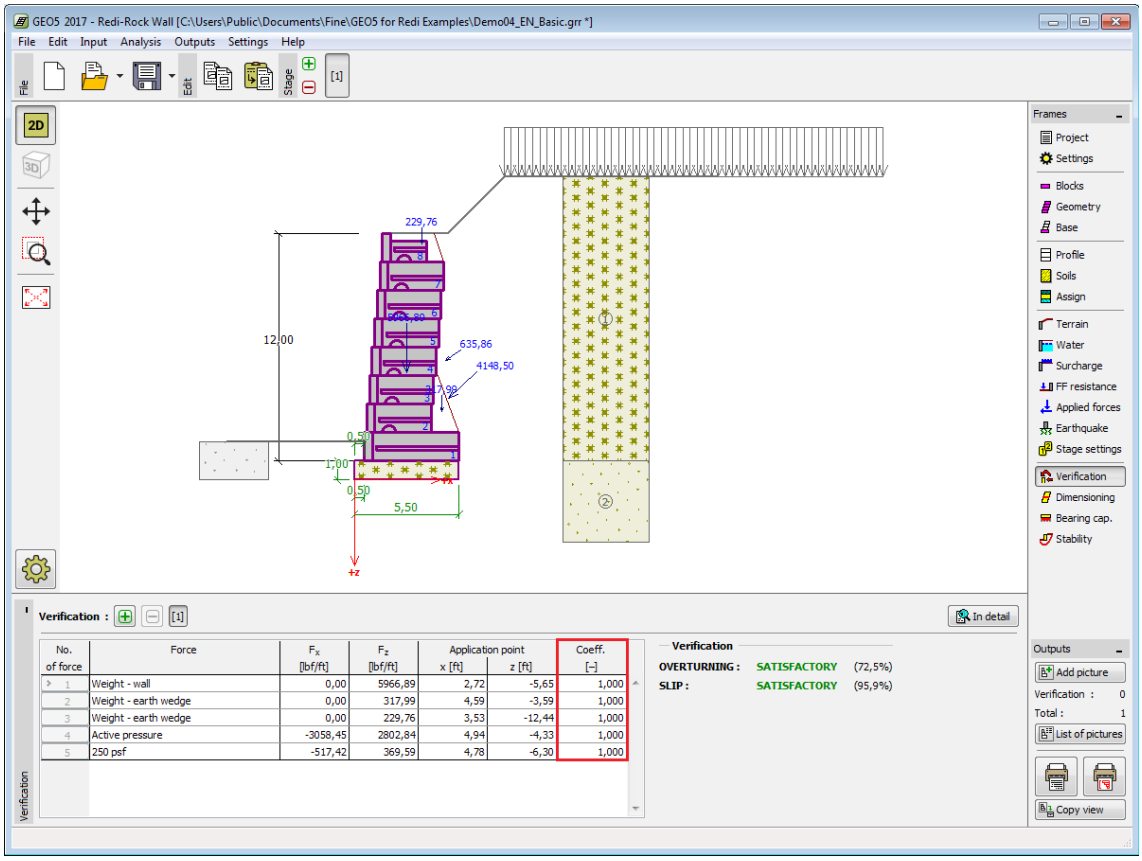
The frame appearance is adjusted based on the selected verification methodology.

- Verification according to the factor of safety, or the theory of limit states - the last column in the table allows for inputting the design coefficients, which multiply the calculated forces. These forces are displayed on the desktop and are updated for every change of data and setting in the frame.
- Analysis according to EN 1997 - the last column in the table allows for specifying whether the load acting on a structure is considered as secondary one. This is explained in more detail in section "Load combinations".
- Analysis according to LRFD - in the case the last column is not displayed.

The procedure for wall verification is described in the theoretical part of the help.

The computed forces are displayed on the desktop and are automatically updated with every change of input data and setting. The right part of the frame shows the result of verification of a wall against **overturning** and **translation**. The "**In detail**" button opens the dialog window, which contains detailed listing of the results of verification analysis.

Visualization of results can be adjusted in the "Drawing Settings" frame.



Frame "Verification"

Dimensioning

The "**Dimensioning**" frame allows to verify joints between individual blocks of a wall against **overturning** and **slip**. The "**Automatic verification**" checks the most critical joint above the block or it is possible to perform verification for each joint.

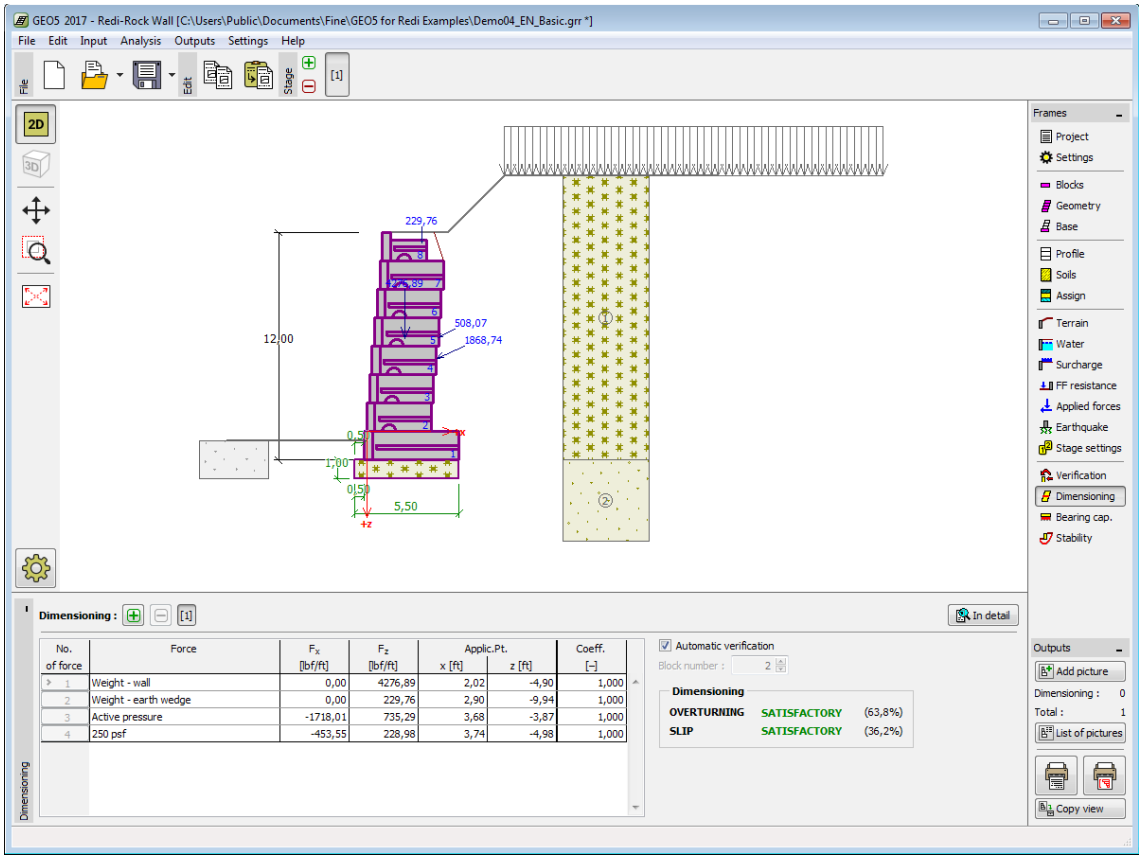
The frame appearance is adjusted based on the selected verification methodology.

- Verification according to the factor of safety, or the theory of limit states - the last column in the table allows to input the design coefficients, which multiply the calculated forces. These forces are displayed on the desktop and are updated for every change of data and setting in the frame.
- Analysis according to EN 1997 - the last column in the table allows to specify whether the load acting on a structure is considered as secondary one. This is explained in more detail in section "Load combinations".
- Analysis according to LRFD - in this case the last column is not displayed.

Several computations for various cross-sections can be carried out. Various design coefficients

of individual forces can also be specified. The resulting forces are displayed on the desktop and are updated with an arbitrary change in data or setting specified in the frame. The "**In detail**" button opens a dialog window that contains detailed listing of the dimensioning results.

Visualization of results can be adjusted in the "Drawing Settings" frame.



Frame "Dimensioning"

Bearing capacity

The "**Bearing capacity**" frame displays the results from the analysis of foundation soil bearing capacity. The stress in the footing bottom (assumed constant) is derived from all verifications performed in the frame "Verification". The programs "**Spread footing**" and "**Spread footing CPT**" then considers all verifications as load cases.

A restriction according to Fig. 4-4, page 73 of NCMA manual is neither automatically enforced nor checked by the program. The bearing pad must be introduced into the program so it complies with the design criteria.

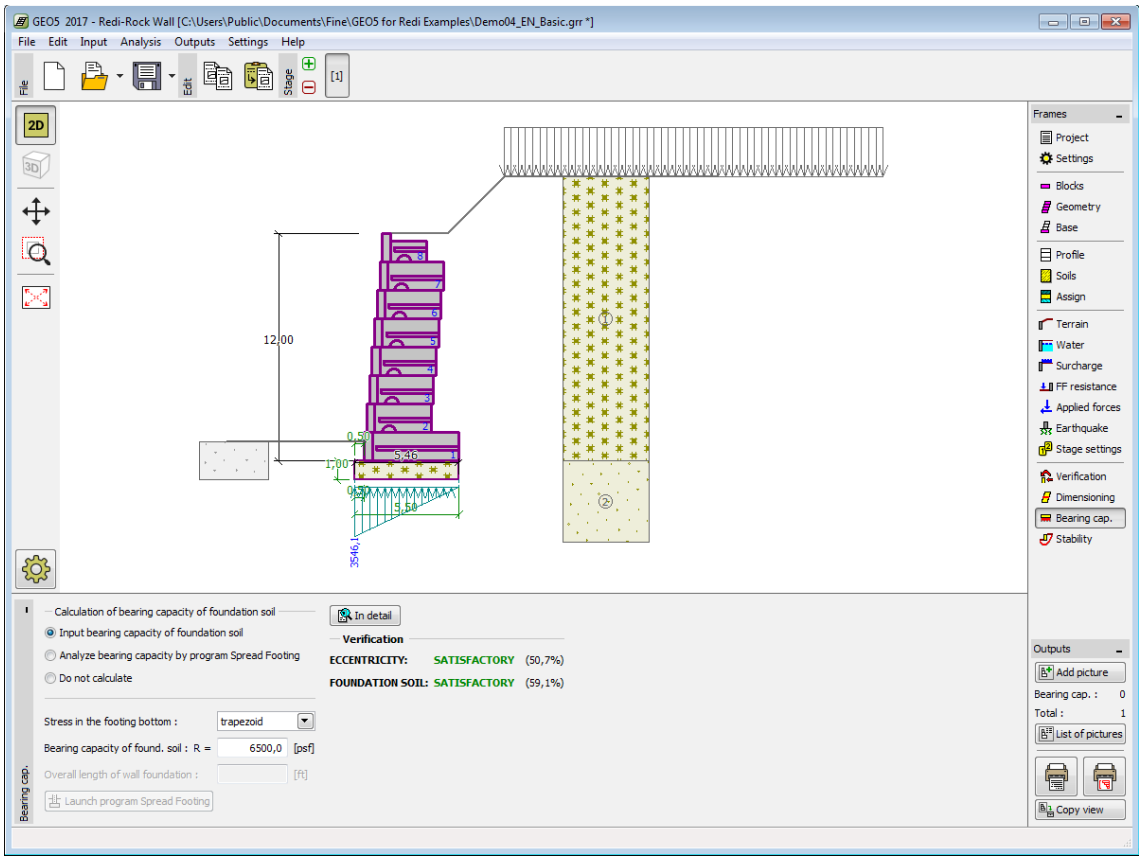
Three basic analysis options are available in the frame:

- **Input the foundation soil bearing capacity** — The input field allows to specify the foundation soil bearing capacity. The results of verification analysis of a soil for **eccentricity** and bearing capacity are displayed in the right part of the frame. The "**In detail**" button opens the dialog window that displays detailed listing of the results of verification analysis of foundation soil bearing capacity.
- **Compute the foundation soil bearing capacity using** — Pressing the "**Run Spread footing**" button starts the program "**Spread footing**" that allows for computing the

the program "Spread footing"	soil bearing capacity or settlement and rotation of a footing. Pressing the "**OK**" button leaves the analysis regime - the results and all plots are copied to the program "**Redi Rock wall**". The program "**Spread footing**" must be installed for the button to be active. Overall length of wall foundation is input.
• **Analyse bearing capacity by program "Spread footing CPT"**	The procedure is identical as if calculating soil bearing capacity by the "**Spread footing**" program.
• **Do not compute (pile footing)**	The foundation soil bearing capacity is not computed.

The program allows to specify a shape of stress in the footing bottom.

Visualization of results can be adjusted in the "Drawing Settings" frame.

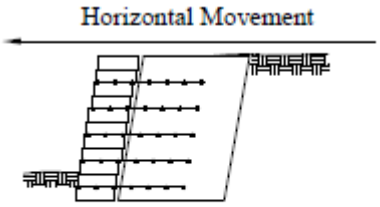


Frame "Bearing capacity"

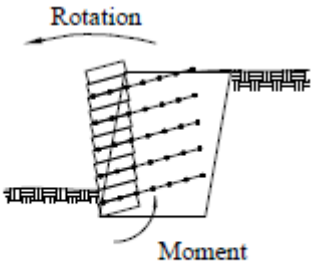
Analysis - MSE Wall

Verification of retaining **MSE Wall** made of Redi-Rock blocks and Mirafi reinforcements is performed in following frames:

- Verification - verification of a wall against **overturning** and **slip**

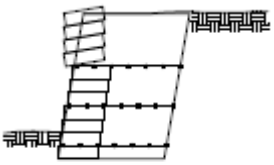


Base Sliding



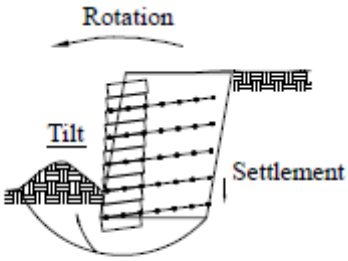
Overturning

- Dimensioning - verification of joints between individual blocks of a wall against **overturning** and **slip**



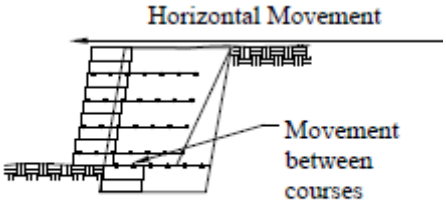
Crest Toppling

- Bearing capacity - verification of the foundation soil bearing capacity



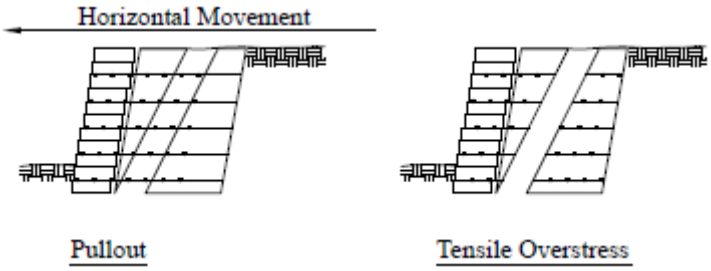
Bearing Capacity
and Excessive Settlement

- Slip on georeinforcement - slip verification of reinforced soil block along a geo-reinforcement

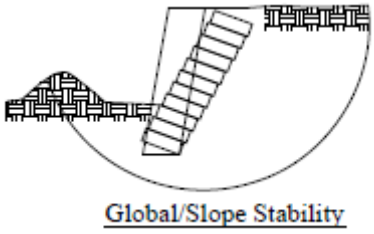


Internal Sliding

- Internal stability - verification of tensile and pull-out resistance of geo-reinforcement



- Stability - verification of the overall stability of the analyzed structure



Pictures from: *Design Manual for Segmental Retaining Walls (NCMA, 3rd Edition)*

Verification

The frame "**Verification**" shows the analysis results. Several computations can be carried out for a single task.

The frame appearance is adjusted based on the selected verification methodology.

- Verification according to the factor of safety, or the theory of limit states - the last column in the table allows for inputting the design coefficients, which multiply the calculated forces. These forces are displayed on the desktop and are updated for every change of data and setting in the frame.
- Analysis according to EN 1997 - the last column in the table allows for specifying whether the load acting on a structure is considered as secondary one. This is explained in more detail in section "Load combinations".
- Analysis according to LRFD - in the case the last column is not displayed.

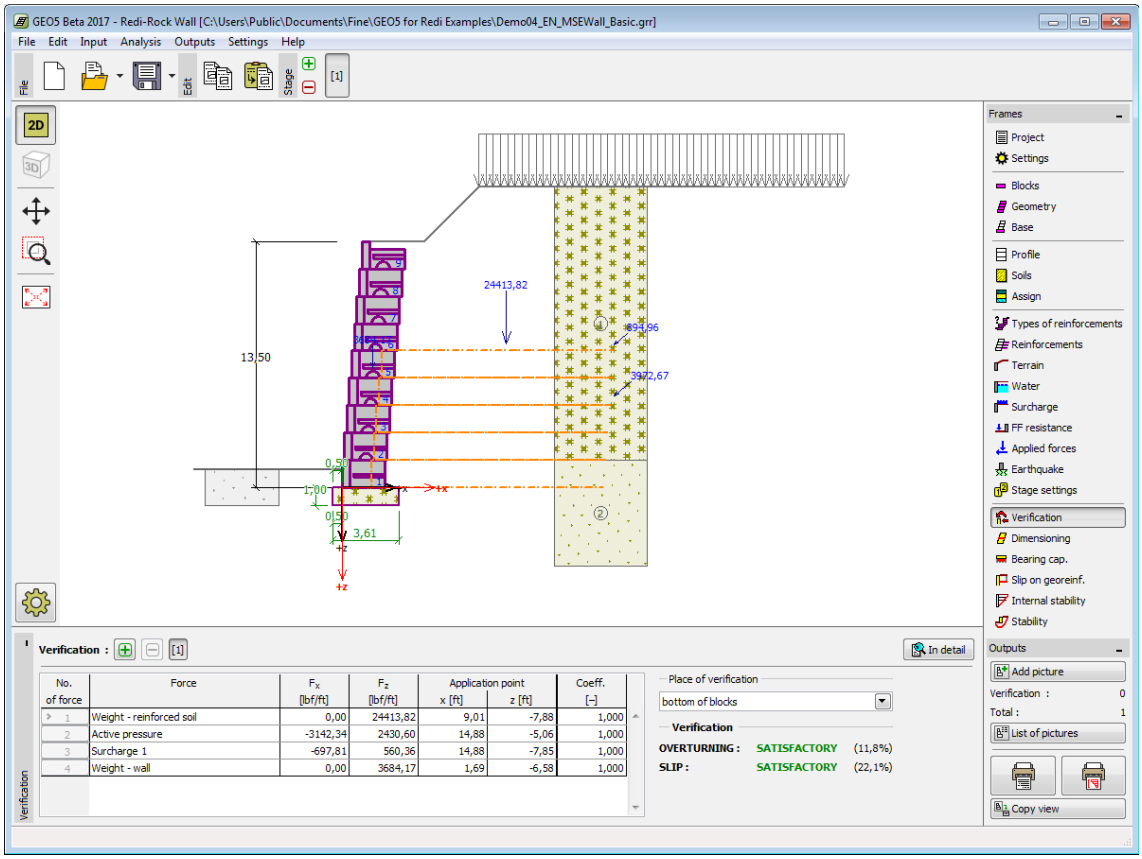
The procedure for wall verification is described in the theoretical part of the help.

The computed forces are displayed on the desktop and are automatically updated with every change of input data and setting. The right part of the frame shows the result of verification of a wall against **overturning** and **translation**. The "**In detail**" button opens the dialog window, which contains detailed listing of the results of verification analysis.

Verification can be performed in the place:

- bottom of leveling pad
- bottom of blocks

Visualization of results can be adjusted in the "Drawing Settings" frame.



Frame "Verification"

Dimensioning

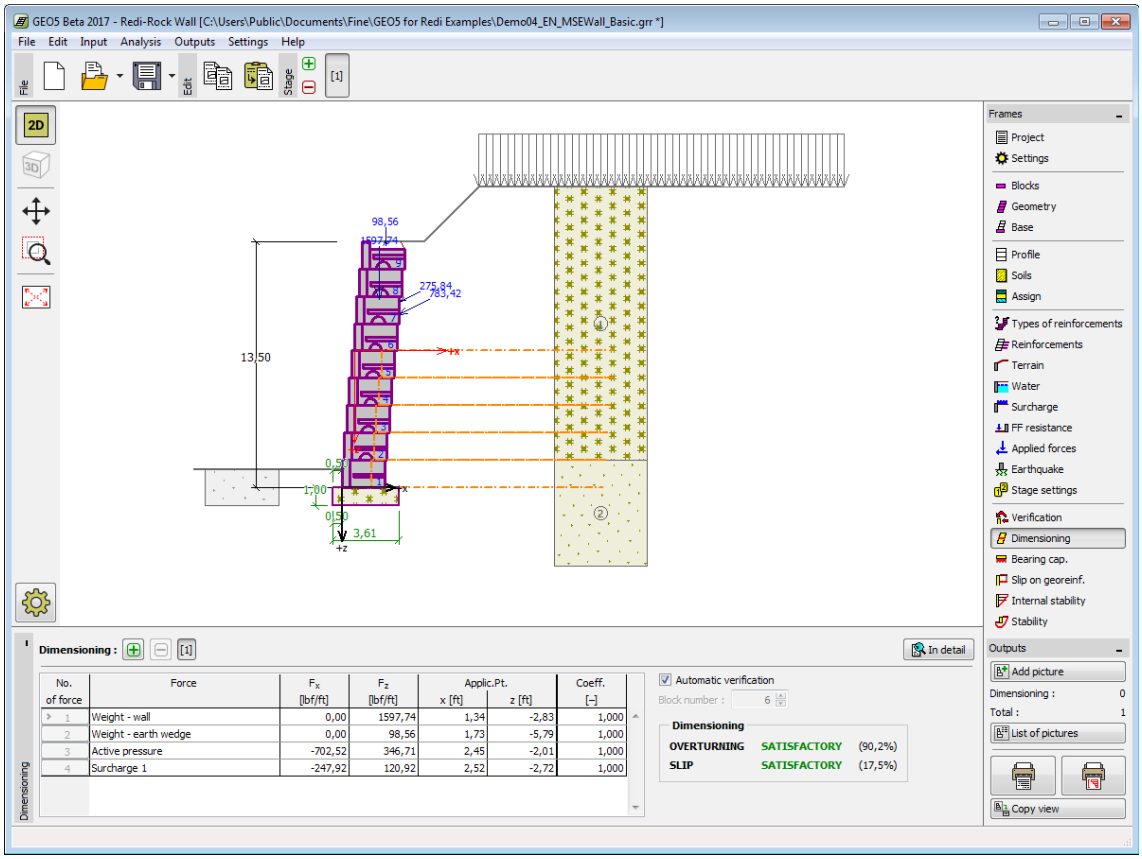
The "**Dimensioning**" frame allows to verify joints between individual blocks of a wall against **overturning** and **slip**. Only the joints which are not reinforced by geo-reinforcements can be verified. The "**Automatic verification**" checks the most critical joint above the block or it is possible to perform verification for each joint.

The frame appearance is adjusted based on the selected verification methodology.

- Verification according to the factor of safety, or the theory of limit states - the last column in the table allows to input the design coefficients, which multiply the calculated forces. These forces are displayed on the desktop and are updated for every change of data and setting in the frame.
- Analysis according to EN 1997 - the last column in the table allows to specify whether the load acting on a structure is considered as secondary one. This is explained in more detail in section "Load combinations".
- Analysis according to LRFD - in this case the last column is not displayed.

Several computations for various cross-sections can be carried out. Various design coefficients of individual forces can also be specified. The resulting forces are displayed on the desktop and are updated with an arbitrary change in data or setting specified in the frame. The "**In detail**" button opens a dialog window that contains detailed listing of the dimensioning results.

Visualization of results can be adjusted in the "Drawing Settings" frame.



Frame "Dimensioning"

Bearing Capacity

The "**Bearing capacity**" frame displays the results from the analysis of foundation soil bearing capacity. The stress in the footing bottom (assumed constant) is derived from all verifications performed in the frame "Verification". The programs "**Spread footing**" and "**Spread footing CPT**" then considers all verifications as load cases.

A restriction according to Fig. 4-4, page 73 of NCMA manual is neither automatically enforced nor checked by the program. The bearing pad must be introduced into the program so it complies with the design criteria.

Three basic analysis options are available in the frame:

- **Input the foundation soil bearing capacity** — The input field allows to specify the foundation soil bearing capacity. The results of verification analysis of a soil for **eccentricity** and bearing capacity are displayed in the right part of the frame. The "**In detail**" button opens the dialog window that displays detailed listing of the results of verification analysis of foundation soil bearing capacity.
- **Compute the foundation soil bearing capacity using the program "Spread footing"** — Pressing the "**Run Spread footing**" button starts the program "**Spread footing**" that allows for computing the soil bearing capacity or settlement and rotation of a footing. Pressing the "**OK**" button leaves the analysis regime - the results and all plots are copied to the program "**Redi Rock wall**". The program "**Spread footing**" must be installed for

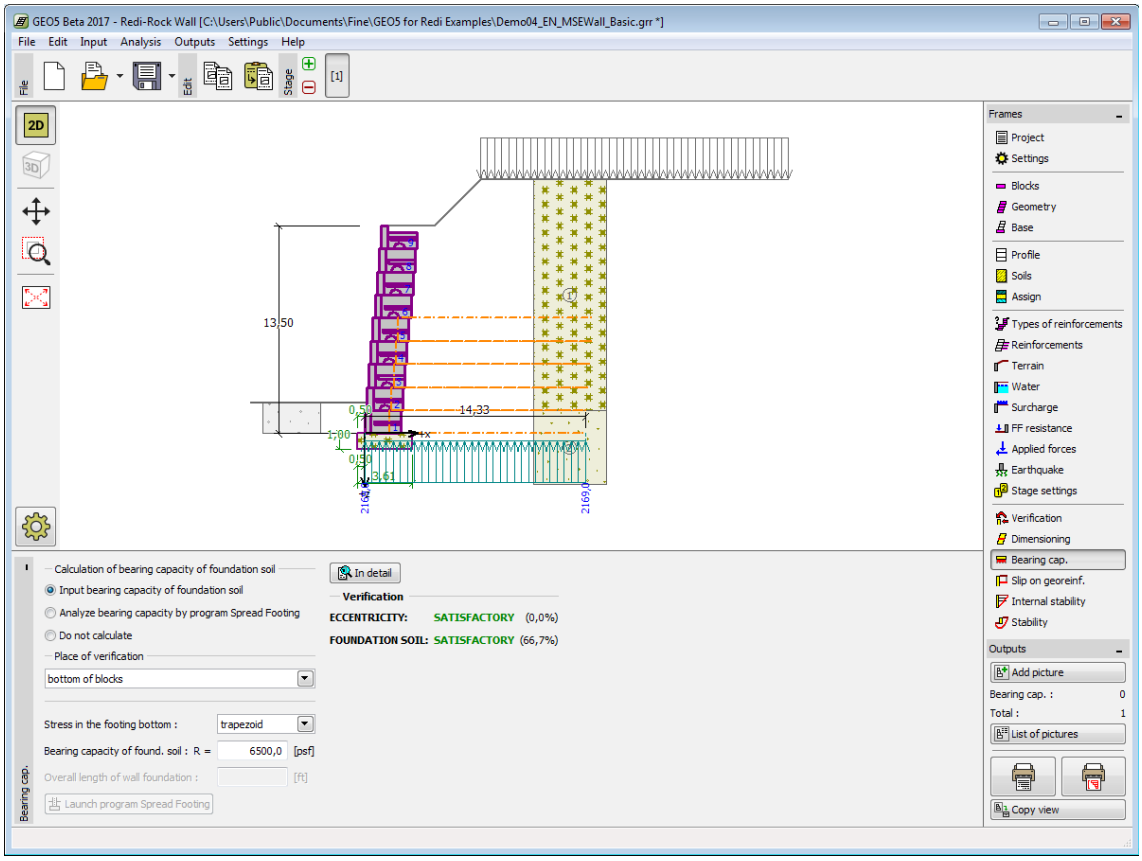
	the button to be active. Overall length of wall foundation is input.
• **Analyse bearing capacity by program "Spread footing CPT"**	The procedure is identical as if calculating soil bearing capacity by the "**Spread footing**" program.
• **Do not compute (pile footing)**	The foundation soil bearing capacity is not computed.

The program allows to specify a shape of stress in the footing bottom.

Verification can be performed in the place:

- bottom of leveling pad
- bottom of blocks

Visualization of results can be adjusted in the "Drawing Settings" frame.



Frame "Bearing capacity"

Slip on Georeinforcement

The "**Slip on georeinforcement**" frame enables to verify a slip of the reinforced soil block along a geo-reinforcement checking the field "**Reinforcement number**". Selecting the option "**Automatic verification**" provides verification of the most critical reinforcement. The **reinforced soil block** is bounded by the wall front face, the checked geo-reinforcement, a vertical line passing through the geo-reinforcement end point and terrain. The reinforced soil block is loaded by an active earth pressure and by stabilizing forces due to geo-reinforcements

exceeding the boundary of the reinforced block.

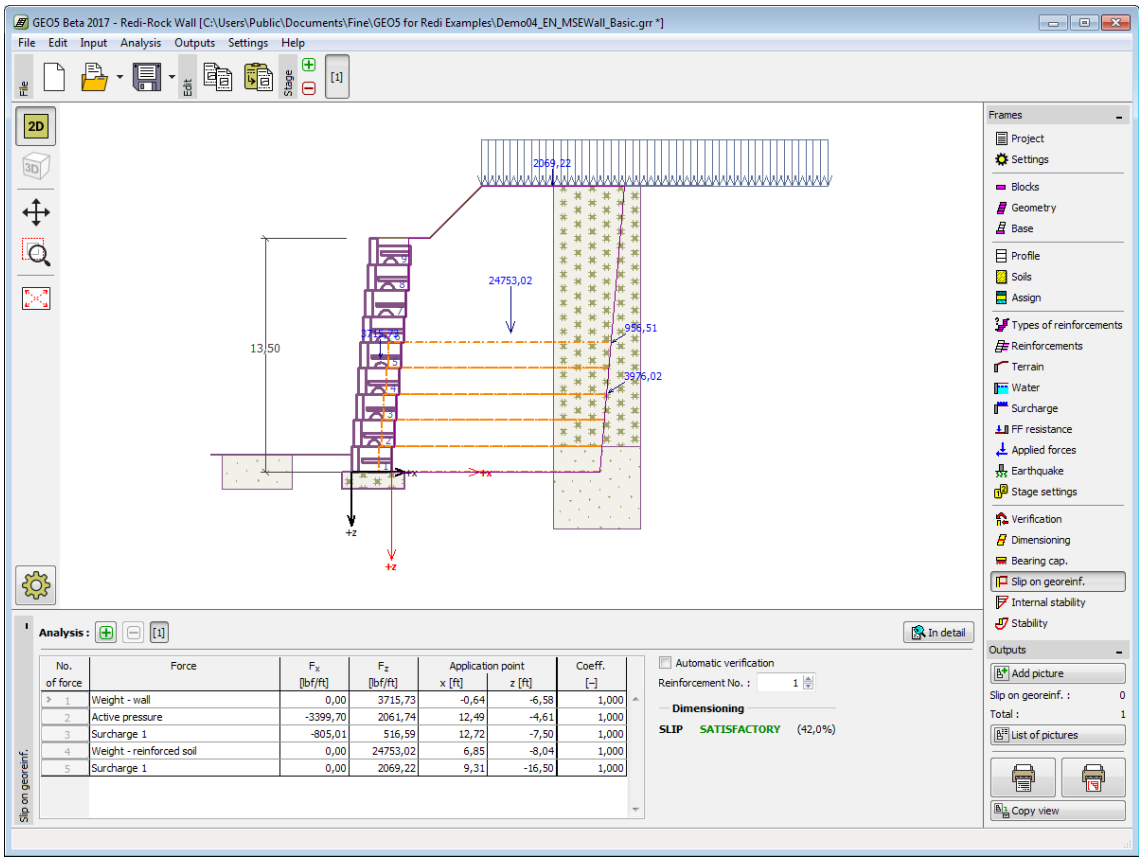
The solution procedure of slip on georeinforcement is described in the theoretical part of the help.

The frame appearance is adjusted based on the selected verification methodology:

- Verification according to the factor of safety, or the theory of limit states - the last column in the table allows for inputting the design coefficients, which multiply the calculated forces.
- Analysis according to EN 1997 - the last column in the table allows for specifying whether the load acting on a structure is considered as secondary one. This is explained in more detail in section "Load combinations".
- Analysis according to LRFD - in the case the last column is not displayed.

The frame enables to perform more verification analyses of individual geo-reinforcements. Various design coefficients of individual forces can also be specified. The resulting forces are displayed on the desktop and are updated with an arbitrary change in data or setting specified in the frame. The "**In detail**" button opens the dialog window, which contains a detailed listing of the results of internal stability.

Visualization of results can be adjusted in the frame "Drawing Settings".



No. of force	Force	F_x [lbf/ft]	F_z [lbf/ft]	Application point x [ft]	Application point z [ft]	Coeff. [–]
1	Weight - wall	0,00	3715,73	-0,64	-6,58	1,000
2	Active pressure	-3399,70	2061,74	12,49	-4,61	1,000
3	Surcharge 1	-805,01	516,59	12,72	-7,50	1,000
4	Weight - reinforced soil	0,00	24753,02	6,85	-8,04	1,000
5	Surcharge 1	0,00	2069,22	9,31	-16,50	1,000

Frame "Slip on georeinforcement"

Internal Stability

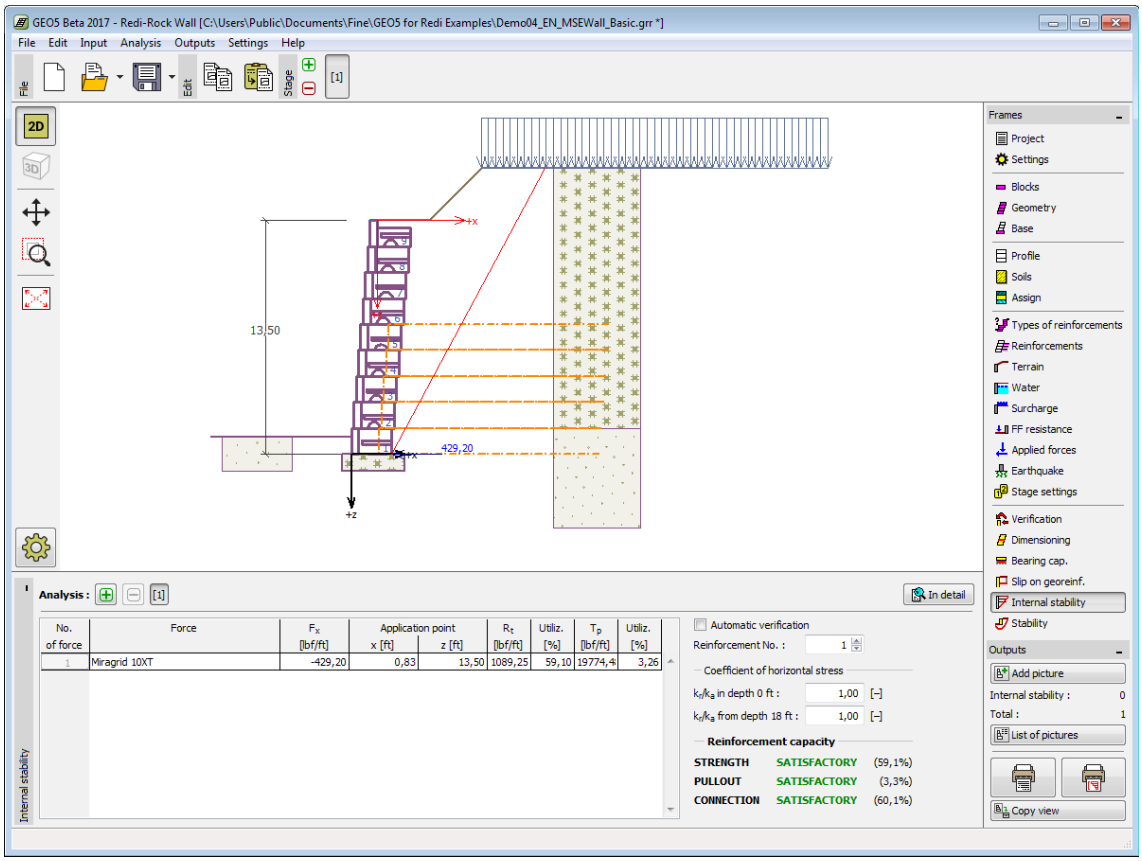
The "**Internal stability**" frame enables to check a strength of geo-reinforcement, bearing capacity for **pull-out** from the earth body and strength of connections. Checking the field

"**Reinforcement number**" yields verification for individual reinforcements only. Selecting the option "**Automatic verification**" provides verification of all reinforcements. The result for the most critical reinforcement is displayed on the right part of the desktop. The solution procedure of internal stability is described in the theoretical part of the help.

In the table,forces caused by an active earth pressure acting on the front face of the wall in individual geo-reinforcements and points of application of these forces are shown. Further, bearing capacity of geo-reinforcements for **tensile strength** R_t, **pull-out resistance** T_p, connection bearing capacity R_{con} and resulting utilization is shown for each geo-reinforcement.

The frame enables to perform more analyses of individual geo-reinforcements. The calculated forces are displayed on the desktop are automatically updated with every change of input data. The "**In detail**" button opens the dialog window, which contains a detailed listing of the results of reinforcement bearing capacity.

Visualization of results can be adjusted in the frame "Drawing Settings".

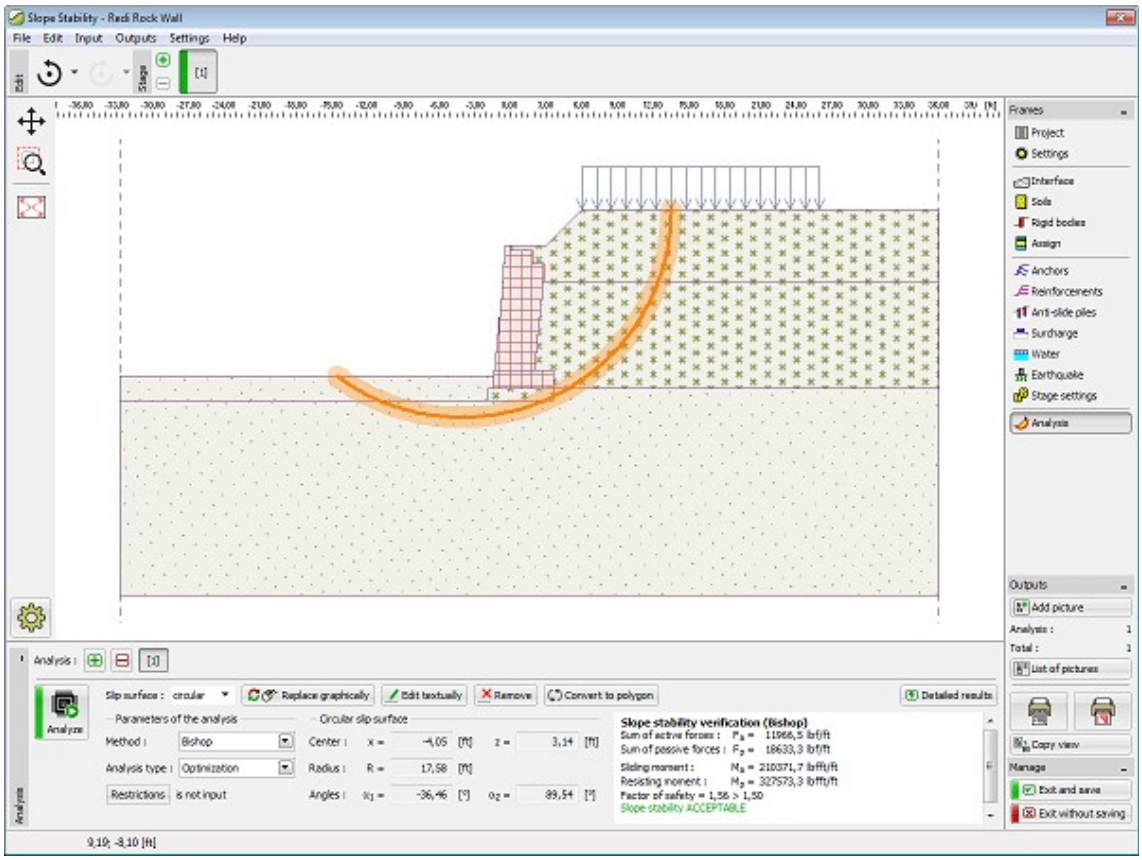


Frame "Internal stability"

Stability

Pressing the "**Stability**" button launches the "**Slope stability**" program. This program then allows to check the overall stability of the analyzed structure. The button is available only if the program "**Slope stability**" is installed.

After completing all analyses press the "**OK**" button to leave the program - all data are then carried over to the analysis protocol of the "**Redi Rock wall**" program.



Frame "Stability"

Program Ściana projekt

Program ten służy do szybkiego projektowania niekotwionych i wstępnego projektowania kotwionych obudów wykopów. W wyniku obliczeń otrzymuje się wymagane zagłębienie ściany poniżej dna wykopu, siły wewnętrzne w konstrukcji oraz siły w kotwach. Program "**Ściana projekt**" umożliwia wykonanie jedynie projektu wstępnego.

Docelową analizę ścian wielokrotnie kotwionych należy wykonać w programie "Ściana analiza" (sprężysto-plastyczna metoda nieliniowa).

Pomoc w programie "Ściana projekt" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

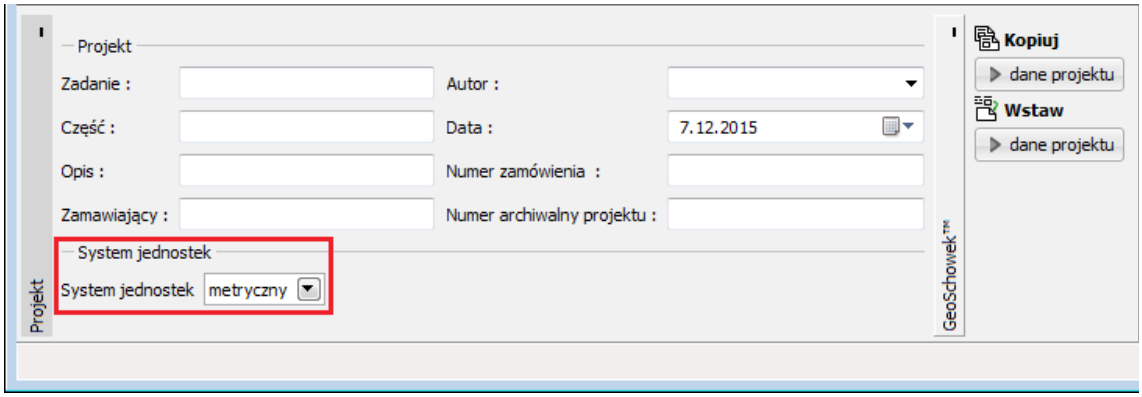
Projekt	Ustawienia	Profil	Grunty	Przyporządkowanie	Geometria	Materiał
Kotwy	Rozpory	Podpory	Definicja parcia	Teren	Woda	Obciążenie
Zdefiniowane siły	Obciążenia sejsmiczne	Ustawienia fazy	Obliczenia	Wymiarowanie	Stateczność	

- Normy i metody obliczeniowe
- Teoria obliczeniowa do programu "**Ściana projekt**":
  Naprężenia w gruncie Parcia gruntu Ściana projekt Ściana berlińska
- Dane wyjściowe
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "Ustawienia" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

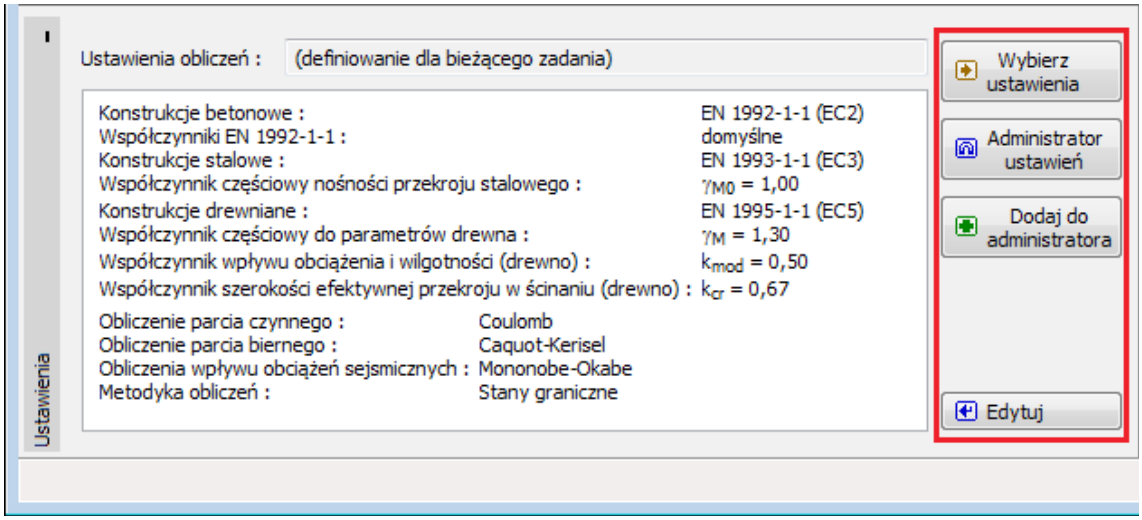
Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładkach "Materiały i normy" oraz "Analiza parć".



Ramka "Ustawienia"

Profil

Ramka "**Profil**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych warstw. Po zdefinowaniu poszczególnych warstw można edytować ich miąższość za pomocą aktywnych wymiarów.

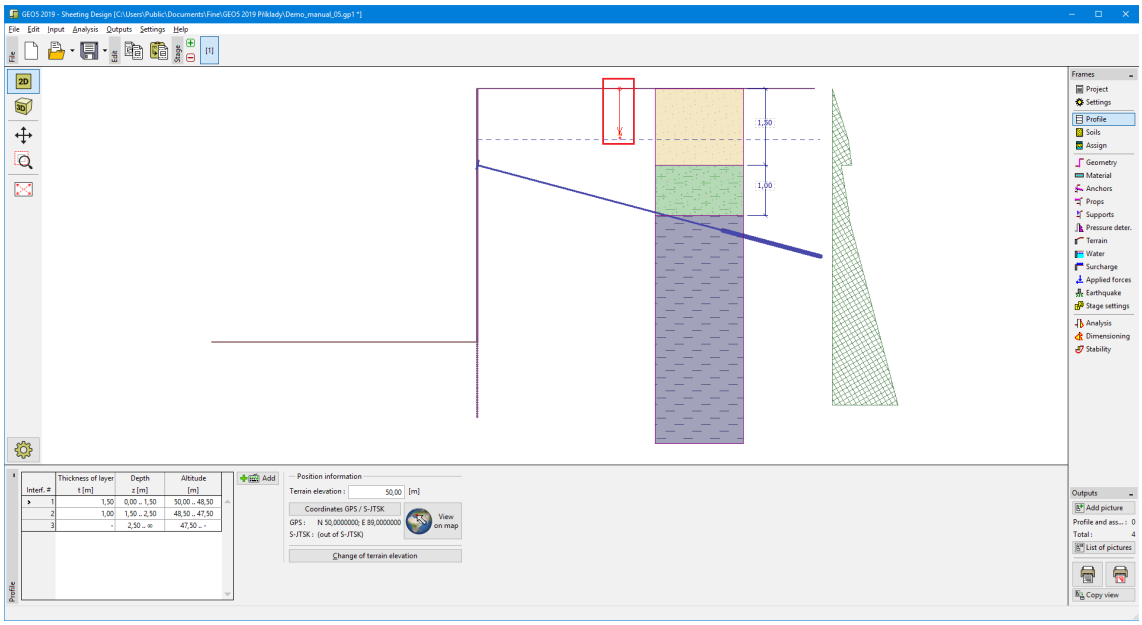
Dodawanie warstw wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowa warstwa**". Definiowana jest rzędna z mierzona od górnego punktu konstrukcji (oś-z).

In this frame it is also possible to enter optional information about the structure location:

- **terrain elevation** - an altitude column for the layers is displayed in the table after input of terrain elevation
- **GPS coordinates** - it is possible to show a structure on the Google Maps using "**View on map**" button after input of coordinates.

Program umożliwia obniżenie lub podniesienie górnego punktu konstrukcji w oknie dialogowym "**Zmiana rzędnej terenu**", a zdefiniowane warstwy będą wówczas przesunięte, jednocześnie zachowując swoją miąższość. Funkcja ta jest istotna podczas kopiowania profilu z programu

"**Teren**".



Ramka "Profil"

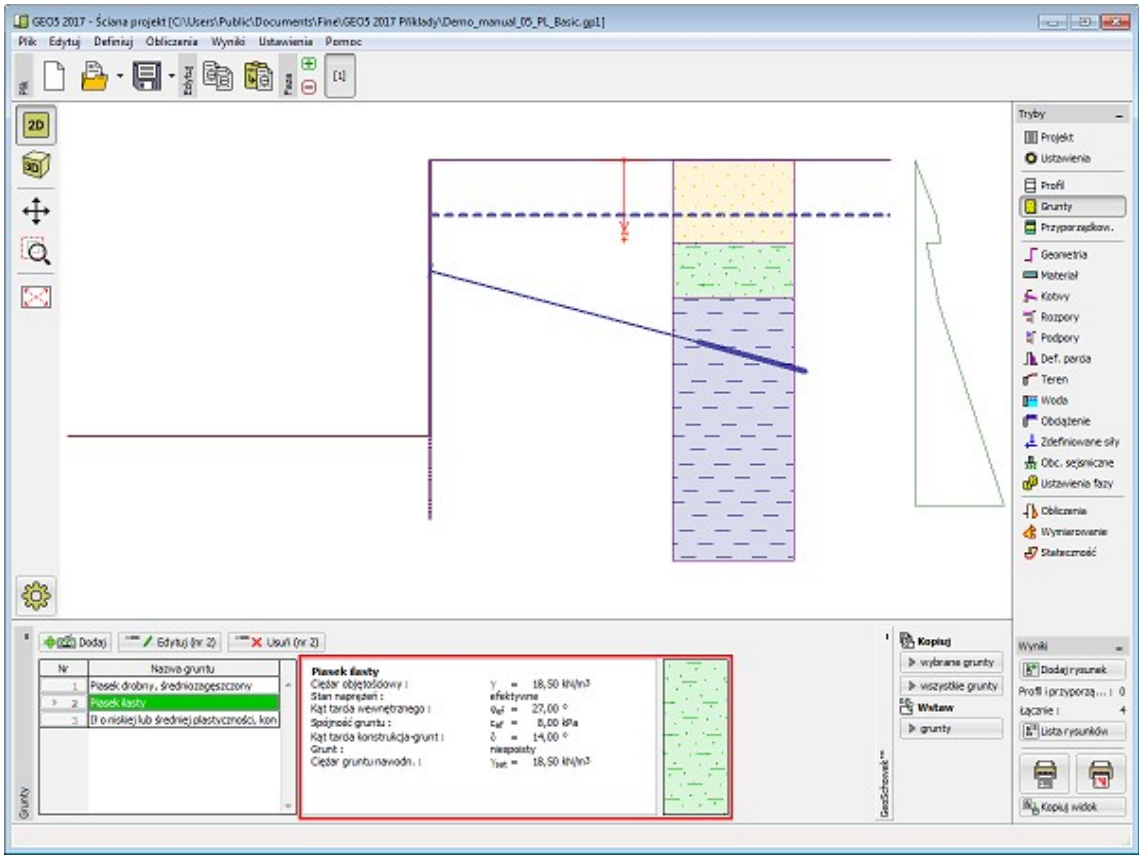
Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie (edycja) gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Dane podstawowe", "Spoczynkowe parcie gruntu" oraz "Naprężenie geostatyczne, wypór".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

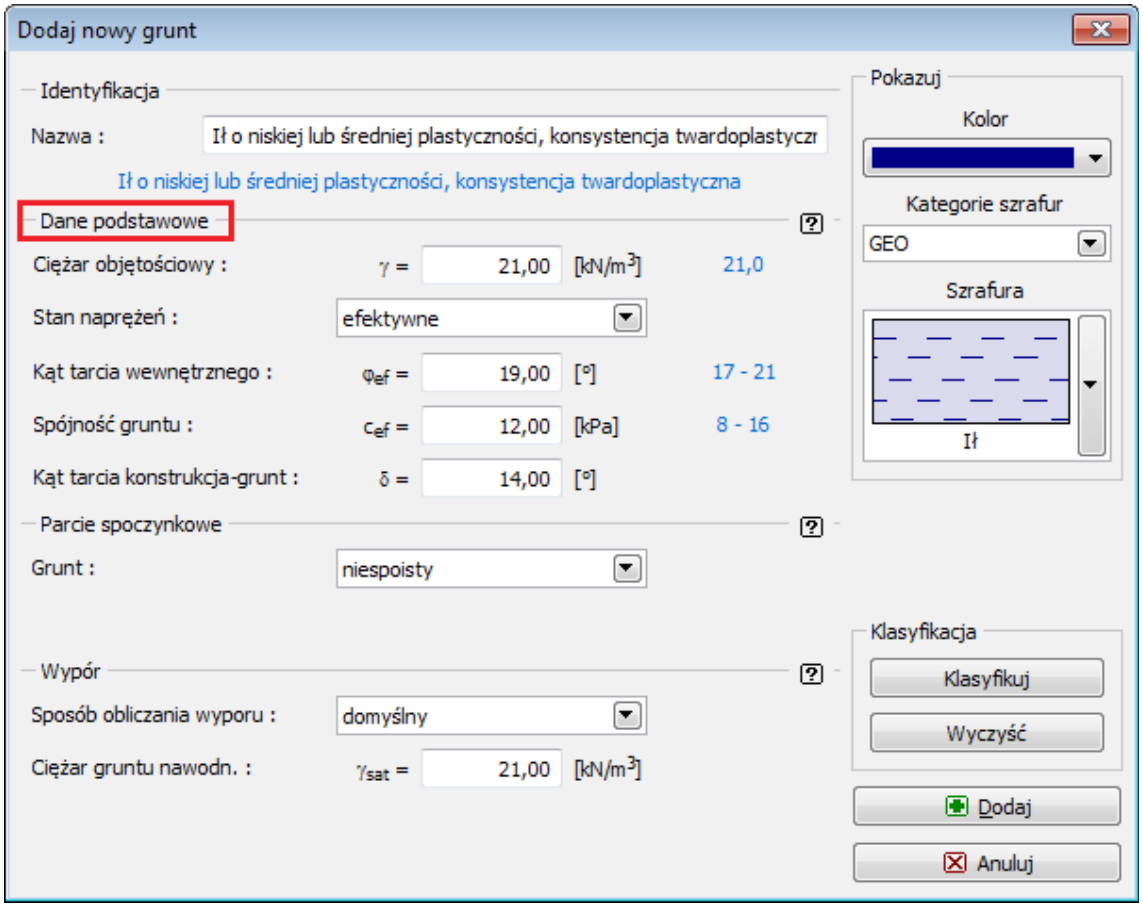
Ta część okna dialogowego służy do definiowania podstawowych parametrów gruntów - **ciężaru objętościowego, kąta tarcia wewnętrznego** oraz **spójności**. Wartości te określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub in-situ dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wartości parametrów gruntów określone na podstawie doświadczenia oraz literatury światowej. Parametry skał nie zostały zawarte w tej bazie, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym.

Istnieje możliwość definiowania wymiennie - parametrów **efektywnych** lub **uogólnionych** kąta tarcia wewnętrznego i spójności w zależności od wybranego ustawienia w liście rozwijanej "**Stan naprężeń**". Decyzja o zastosowaniu parametrów efektywnych czy uogólnionych zależy w szczególności od rodzaju gruntu, rodzaju obciążenia, czasu wykorzystania konstrukcji i warunków wodnych.

W dalszej kolejności, w przypadku naprężeń efektywnych definiuje się kąt tarcia pomiędzy konstrukcją i gruntem, który zależy zarówno od rodzaju gruntu jak i rodzaju konstrukcji. Szacunkowe wartości tego parametru podano w tabeli wartości zalecanych.

W przypadku naprężeń całkowitych natomiast należy zdefiniować adhezję gruntu do lica konstrukcji a.

Podstawy teoretyczne dotyczące omawianego zaganienia opisano w rozdziale "Parcie gruntu".

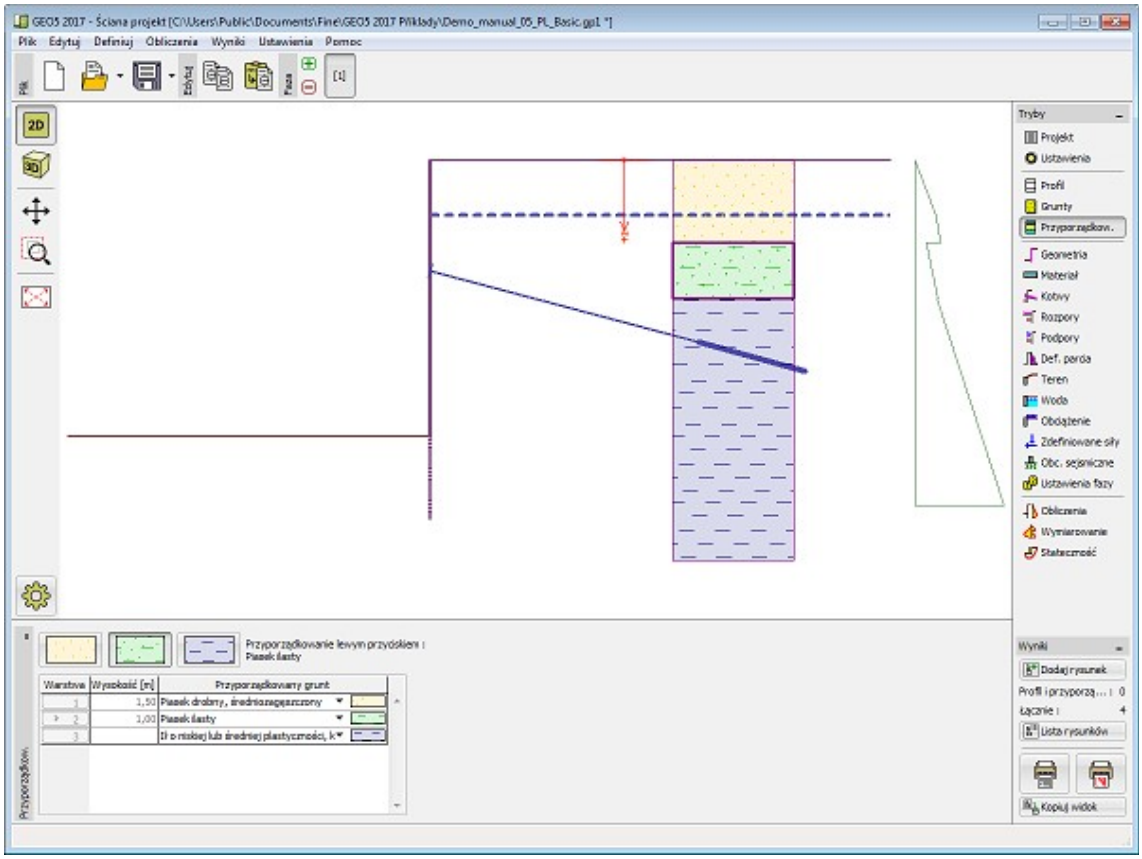


Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów"**.**



Ramka "Przyporządkowanie"

Geometria

Ramka "**Geometria**" używana jest do określenia głębokości wykopu oraz do wyboru kształtu dna wykopu (wybór ikony). Wybrany kształt z podpowiedzią graficzną ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Wymiary konstrukcji można edytować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól lub na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

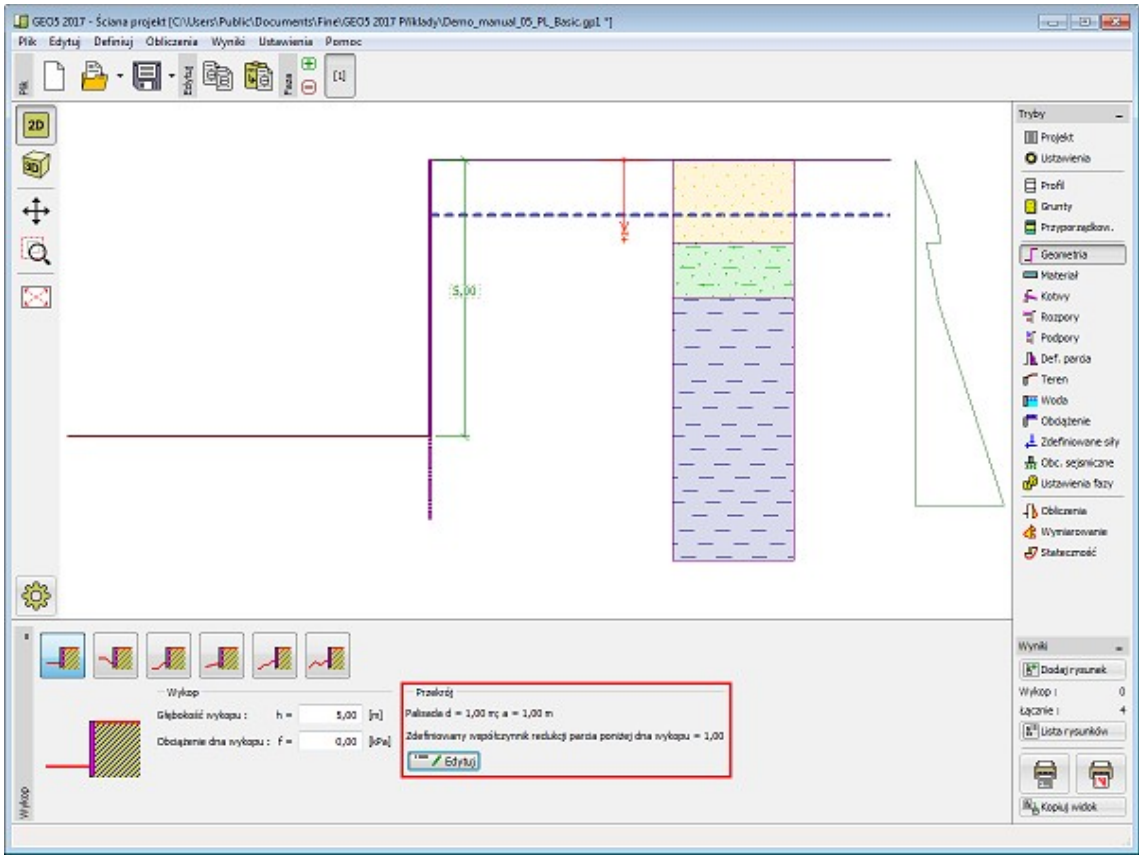
W ramce tej można również zdefiniować obciążenie dna wykopu, a także dokonać wyboru rodzaju przekroju ściany.

W przypadku wgrywania danych ze starszych wersji programu "Ściana projekt" wówczas w ramce definiowania przekroju pojawia się informacja "nie zdefiniowano". Edytowanie przekroju możliwe jest za pomocą przycisku "**Edytuj**".

Wybór przekroju nie wpływa na obliczenia sił wewnętrznych.

Wyniki wymiarowania przekroju wyświetlane są w ramce "Wymiarowanie".

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.



Ramka "Geometria"

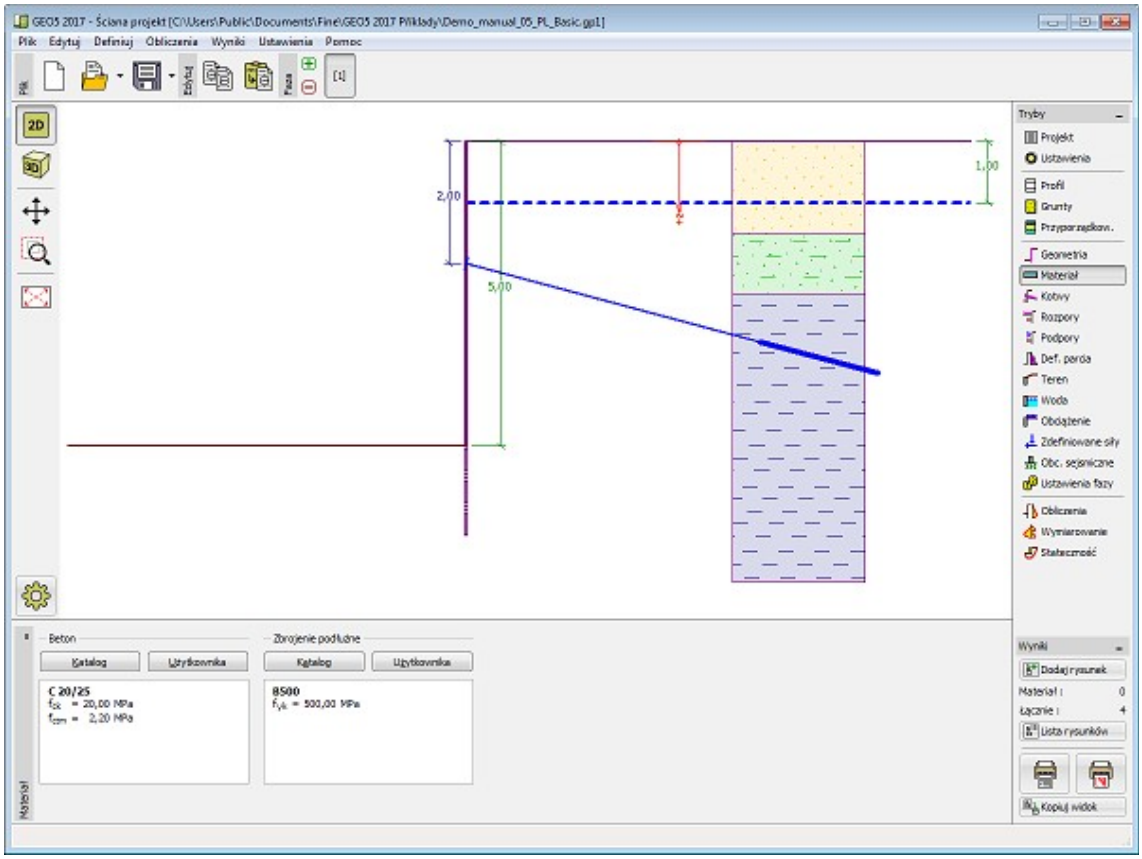
Materiał

Ramka **"Materiał"** pozwala na definiowanie parametrów zastosowanego materiału. Wygląd ramki jest różny w zależności od materiału wybranego (**beton, stal, drewno, plastik**) w ramce "Geometria".

Dostępne są dwie opcje wyboru rodzaju materiału:

- Przycisk "**Katalog**" otwiera okno dialogowe "**Katalog materiałów**"; z zamieszczonej w nim listy materiałów można dokonać wyboru materiału.
- Przycisk "**Użytkownika**" otwiera okno dialogowe "**Edytor materiału**", które umożliwia ręczne określenie parametrów materiału.

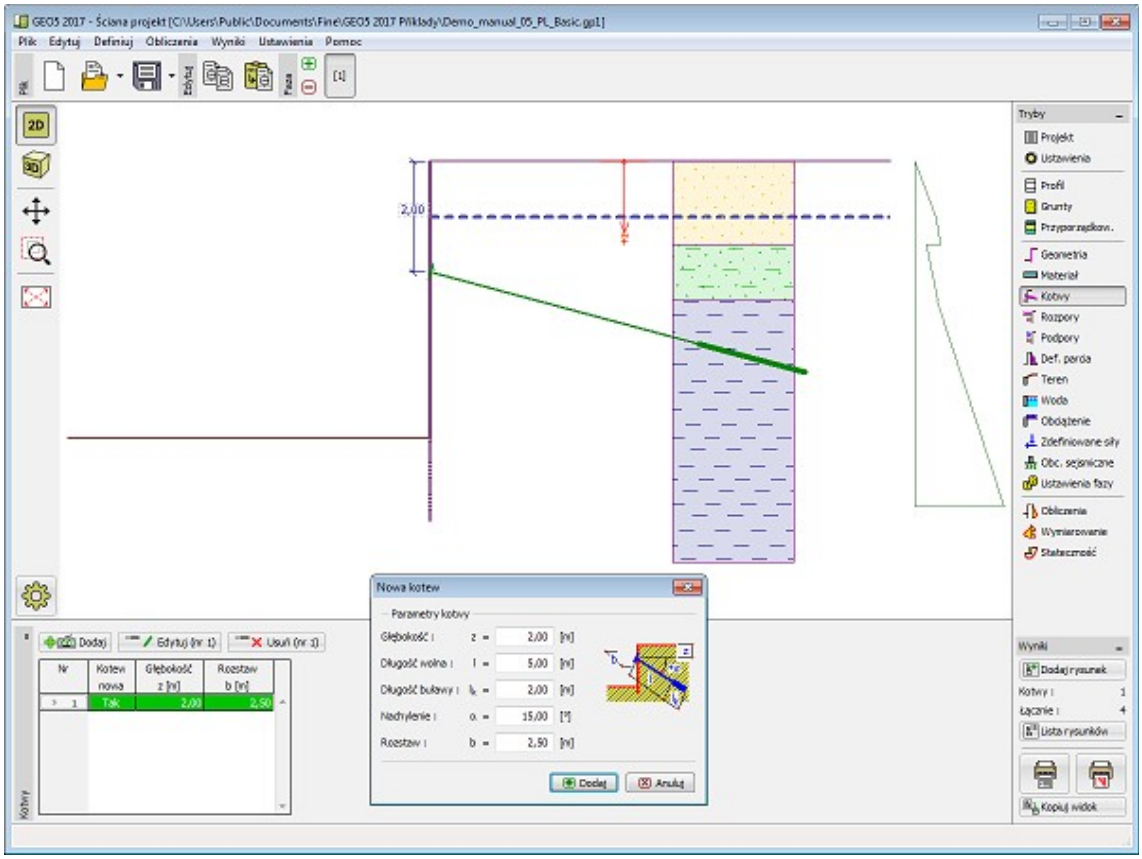
Zawartość katalogów zależna jest od wyboru normy do wymiarowania konstrukcji betonowych, stalowych, drewnianych lub plastikowych dokonanego w zakładce "Materiały i normy".



Ramka "Materiał"

Kotwy

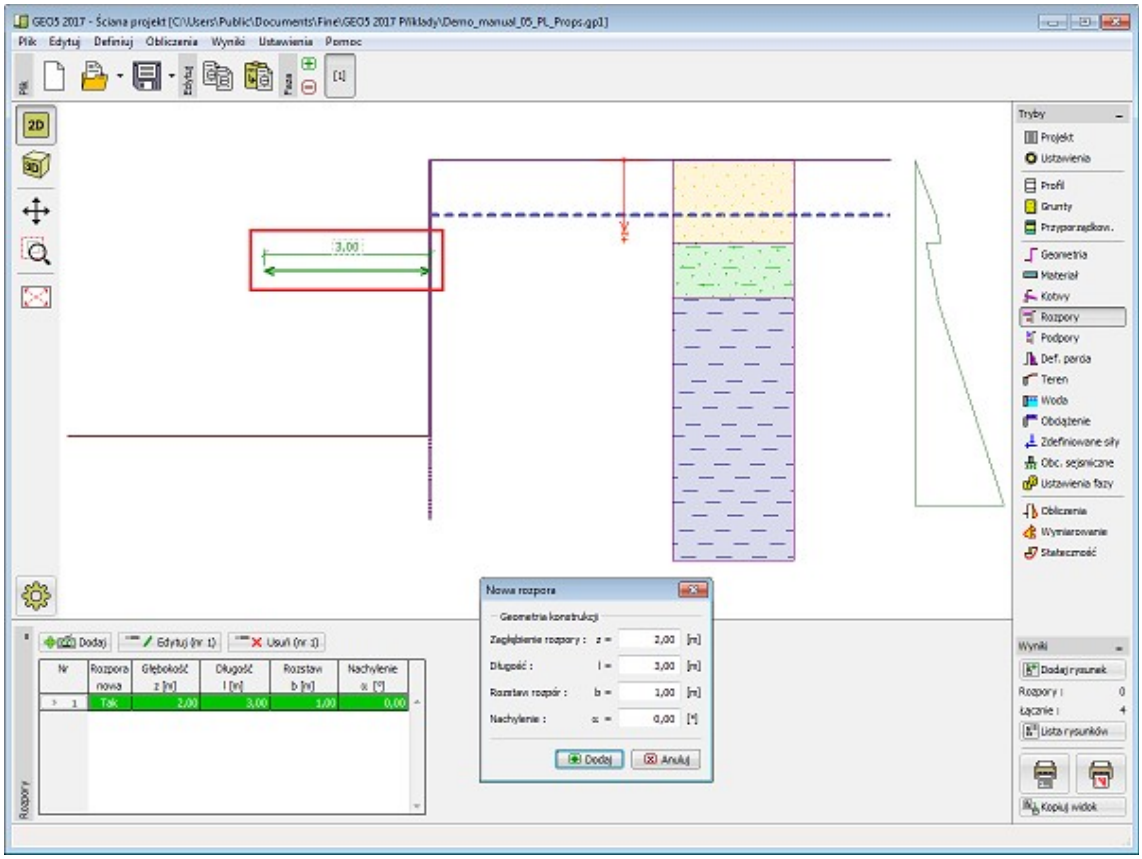
Ramka "**Kotwy**" zawiera tabelę z listą definiowanych kotew. Dodawanie kotew wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowa kotew**". Istnieje także możliwość edycji zdefiniowanych kotew na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.



Ramka "Kotwy"

Rozpory

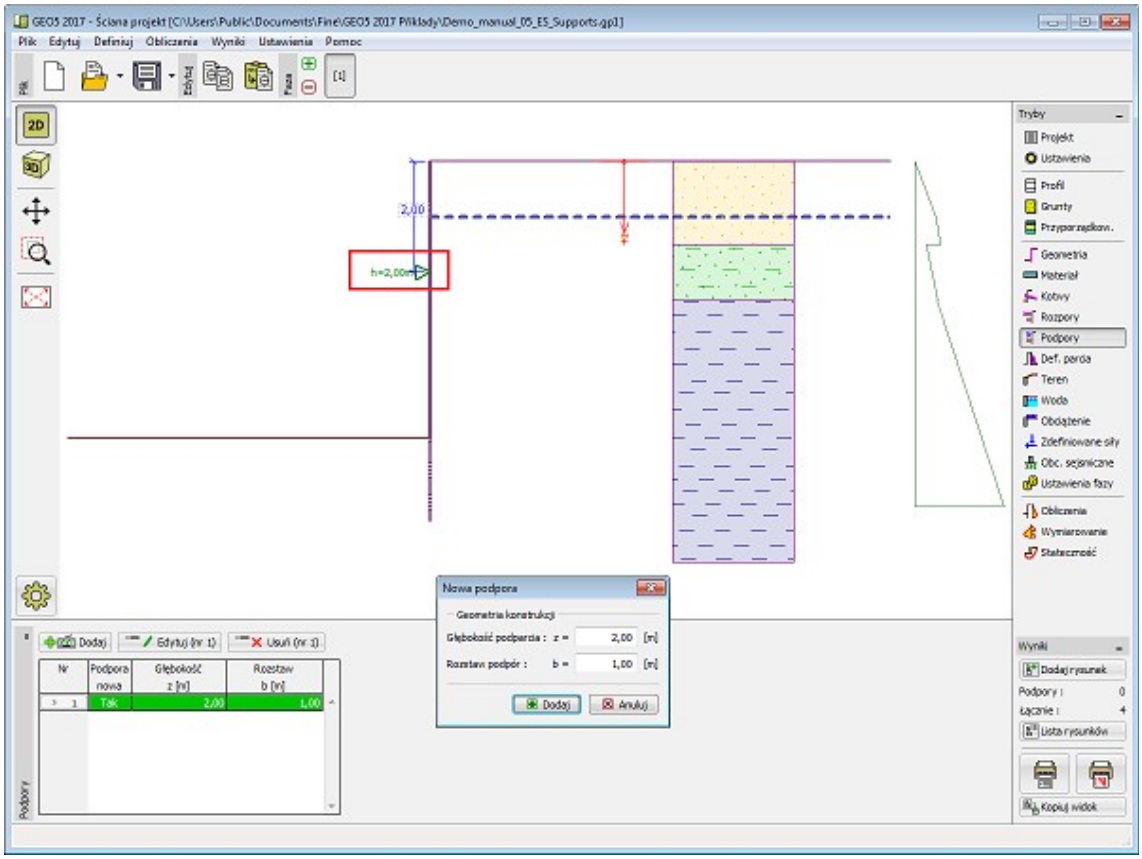
Ramka "**Rozpory**" zawiera tabelę z listą definiowanych rozpór. Dodawanie rozpór wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowa rozpora**". Istnieje także możliwość edycji zdefiniowanych rozpór na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów lub aktywnych wymiarów.



Ramka "Rozpory"

Podpory

Ramka "**Podpory**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych podpór. Dodawanie podpór wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowa podpora**". Istnieje także możliwość edycji zdefiniowanych podpór na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów lub aktywnych wymiarów.

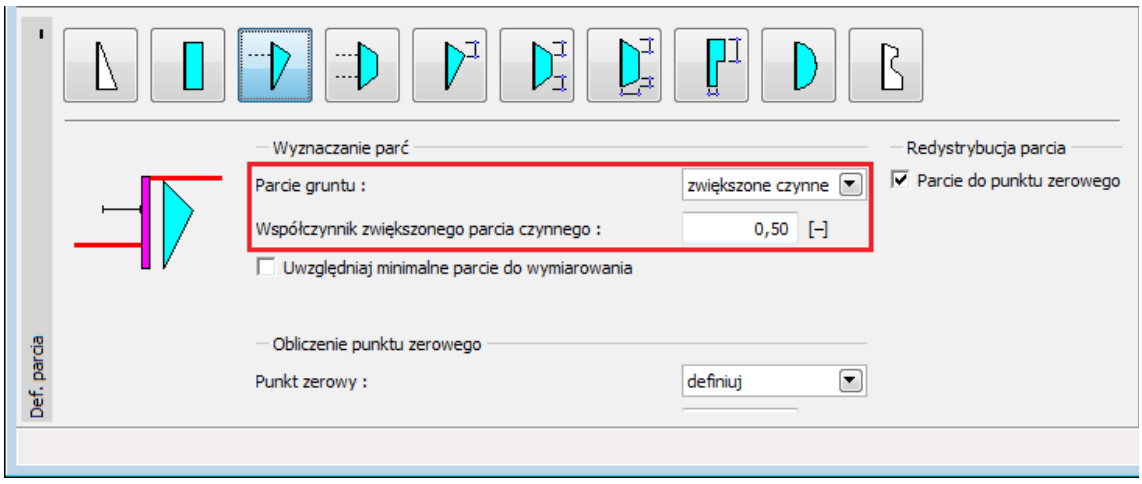


Ramka "Podpory"

Definiowanie parcia

Ramka "**Definiowanie parcia**" służy do definiowania parcia gruntu oddziałującego na ścianę.

Istnieje możliwość wyboru rodzaju parcia oddziałującego na ścianę w zależności od dopuszczalnego odkształcenia ściany. Parcie możne być zdefiniowane jako **czynne**, **spoczynkowe** lub **zwiększone czynne**. Można także określić wymagane przez wiele norm minimalne parcie do wymiarowania.



Definiowanie zwiększonego parcia czynnego

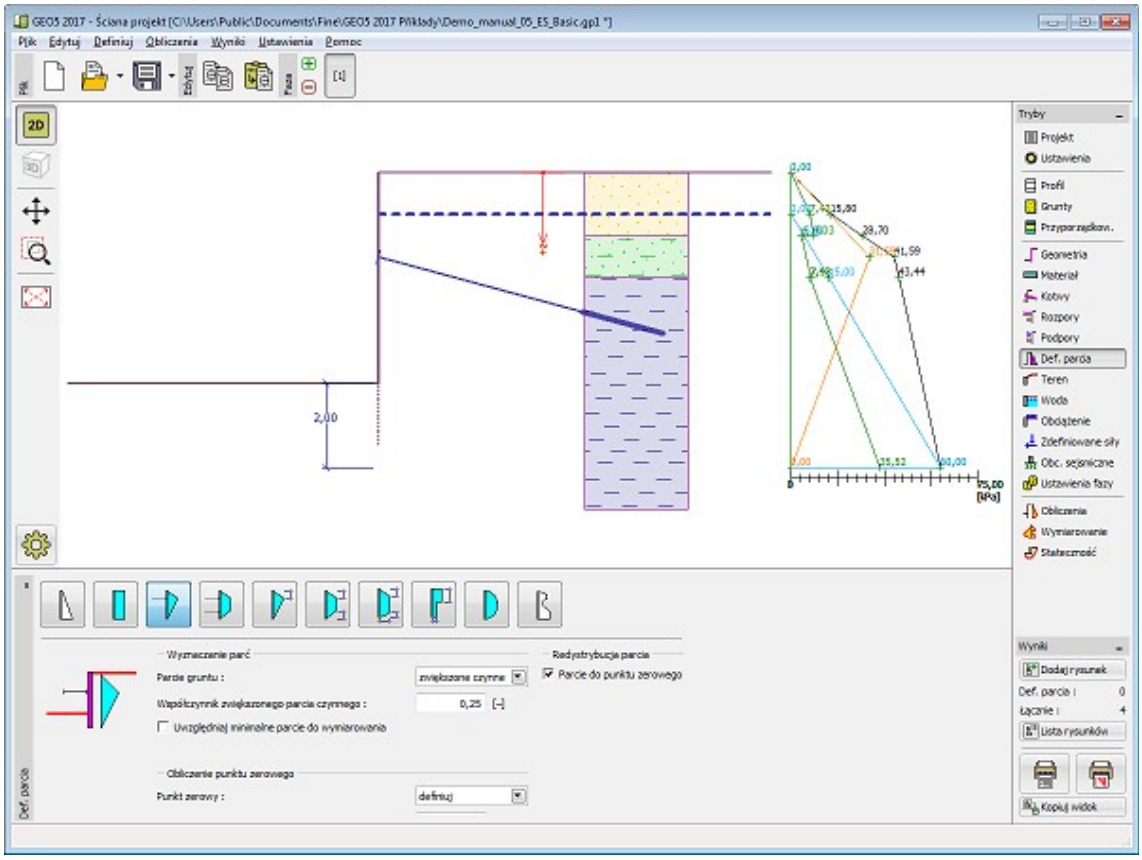
Górny pasek narzędzi umożliwia określenie sposobu redystrybucji parcia gruntu.

Schemat 1 stosowany jest w przypadku **ścian pracujących wspornikowo** () - w takim przypadku nie ma redystrybucji parcia.

W przypadku ścian kotwionych i rozpieranych zaleca się stosowanie **redystrybucji parcia gruntu**. Kolejne przyciski służą do wyboru różnych schematów redystrybucji parcia.

Schemat ostatni () umożliwia ręczne **zdefiniowanie dowolnej redystrybucji** ostatecznego parcia gruntu - parcie zdefiniowane w ten sposób nie jest zależne od wprowadzonego profilu geotechnicznego gruntu.

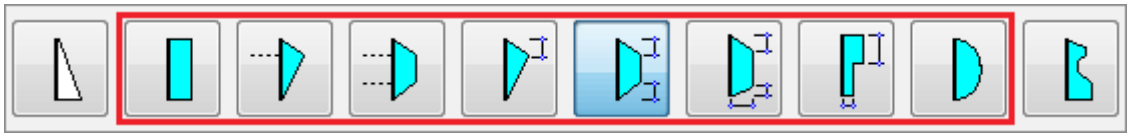
Program pozwala również na określenie lokalizacji **punktu zerowego**, zaleca się jednak automatyczne wyznaczanie tego punktu.



Ramka "Definiowanie parcia"

Redystrybucja parcia gruntu

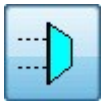
Program umożliwia wybór spośród wielu **schematów redystrybucji parcia**.

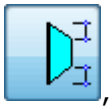
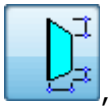


Wybór schematu redystrybucji parcia

Stosowane na świecie zasady dotyczące sposobu redystrybucji parć bardzo się różnią. Z tego względu program zawiera zarówno klasyczne schematy redystrybucji, jak i inne według norm EAB, AASHTO.

Program opracowano w sposób całkowicie uniwersalny, tak aby użytkownik mógł zastosować dowolną, preferowaną przez siebie redystrybucję parcia.

Dla schematów  ,  program wyznacza automatycznie lokalizację punktu parcia maksymalnego w nawiązaniu do lokalizacji kotew (rozpór). Wariant taki jest prostszy w definiowaniu i rekomendowany przez twórców oprogramowania.

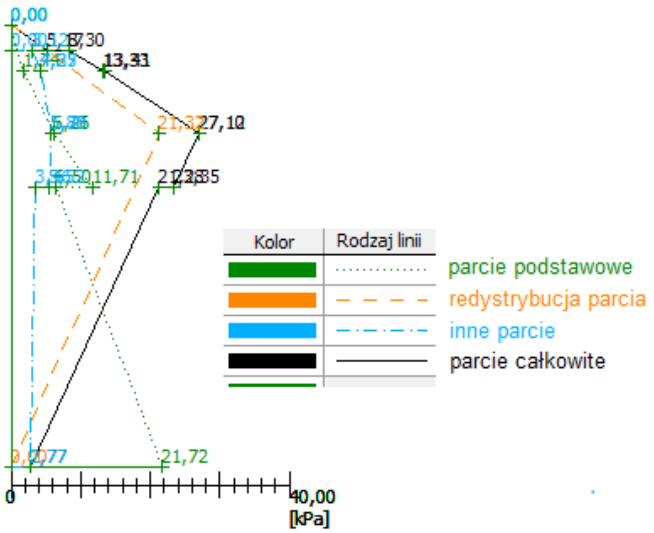
W przypadku schematów  ,  ,  ,  konieczne jest zdefiniowanie współczynników (x_1 do x_6), które określają ostateczny kształt schematu redystrybucji parcia.

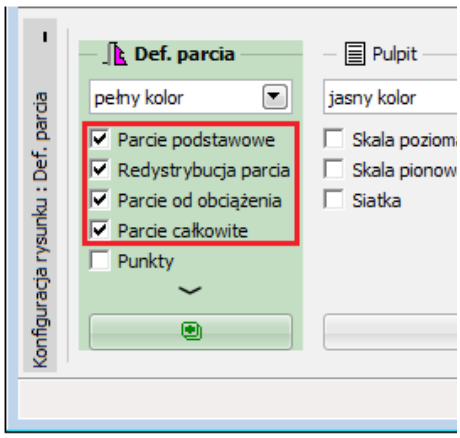
Użytkownik ma także możliwość wyboru zasięgu parcia po redystrybucji - do **punktu zerowego** (procedura standardowa) lub do dna wykopu (EAB).

Procedura wyznaczania parcia oddziałującego na konstrukcję jest następująca:

- w pierwszej kolejności wyznaczana jest lokalizacja **punktu zerowego** (wartość parcia biernego przed konstrukcją jest równa wartości parcia za ścianą - suma parć jest w tym punkcie równa zero)
- wyznaczane jest **podstawowe parcie** gruntu za ścianą (czynne, spoczynkowe, **zwiększone czynne**) do głębokości punktu zerowego. Istnieje możliwość uwzględnienia minimalnego parcia do wymiarowania.
- wyznaczane jest **parcie po redystrybucji,** o takiej samej powierzchni jak powierzchnia parcia podstawowego. Redystrybucji podlega wyłącznie parcie podstawowe (wyznaczane z profilu geologicznego). Parcia wynikające z oddziaływania wody oraz innych obciążeń nie podelgają redystrybucji.
- parcia pochodzące od obciążeń dodatkowych, wody czy obciążeń sejsmicznych dodawane są do wyznaczonego schematu parcia po redystrybucji (**parcie całkowite**)

Wszystkie rodzaje parć wykreślane są na pulpicie:





Graficzna prezentacja parć

Wizualizację graficzną parć można aktywować w ramce "Konfiguracja rysunku". Ustawienia kolorów oraz typów llinii można edytować w oknie dialogowym "Administrator stylów rysunku".

Literatura:

EAB - 2012 Ernst & Sohn A Wiley Company, 5.Auflage, Empfehlungen des Arbeitskreises "Baugruben".

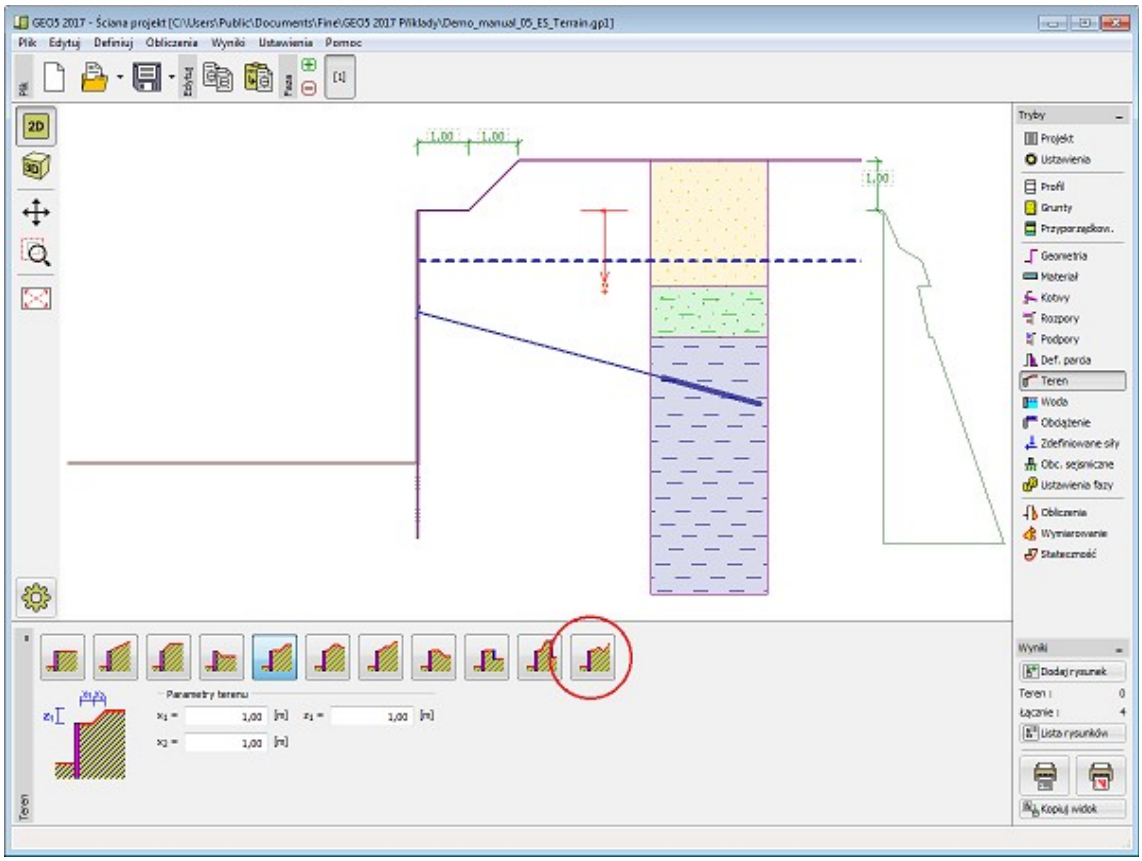
AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Seventh Edition, 2014.

Teren

Ramka "**Teren**" umożliwia określenie ukształtowania terenu za konstrukcją. Wyboru kształtu terenu dokonuje się spośród kształtów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany kształt terenu z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Wymiary wybranego schematu terenu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego kształtu terenu. W takim przypadku, pojawiająca się ramka zawiera tabelę z listą punktów terenu. Pierwszy punkt współrzędnych [0,0] zbiega się z górnym punktem konstrukcji.

Metody analizy parcia gruntu w przypadku terenu pochyłego zostały opisane w teoretycznej części pomocy "Rozkład parć gruntu w przypadku terenu załamanego".



Ramka "Teren"

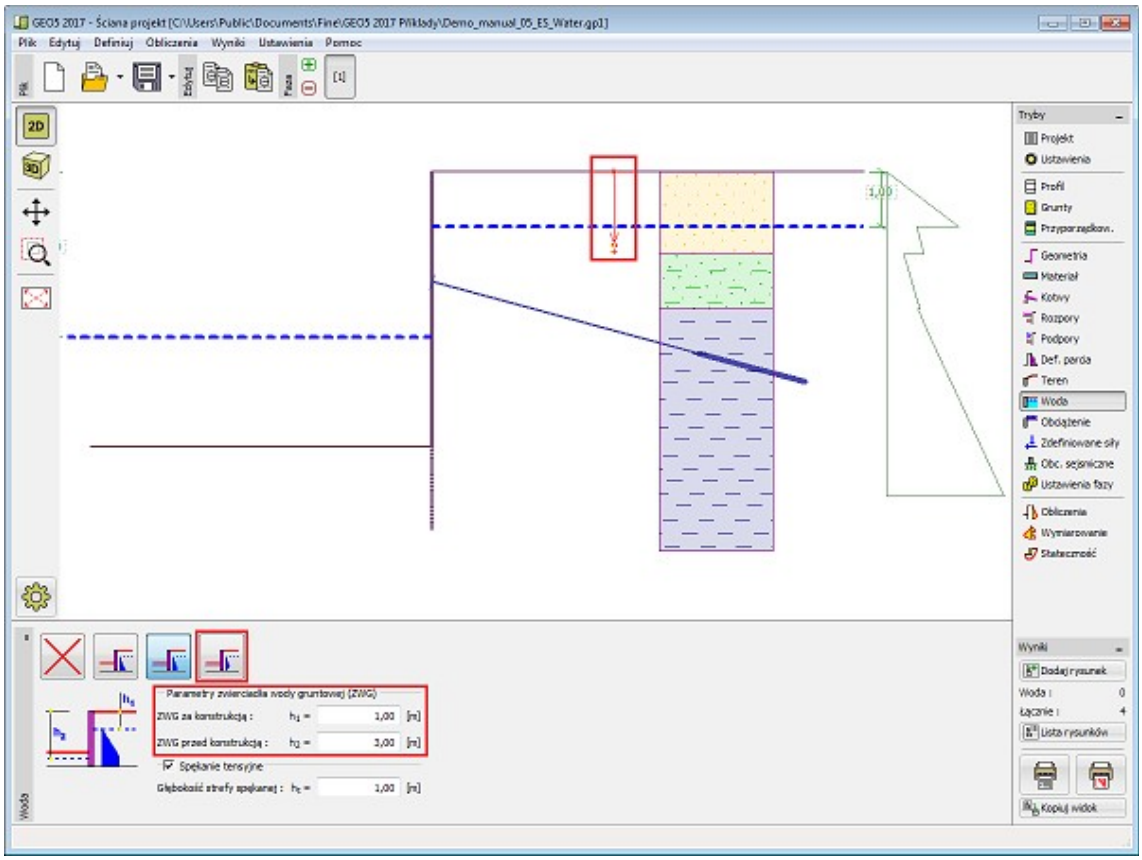
Woda

Ramka "**Woda**" umożliwia określenie rodzaju wody gruntowej. Wyboru schematu obciążenia wodą dokonuje się spośród schematów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany schemat z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Parametry (h_1, h_2...) wybranego schematu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

W programie istnieje również możliwość zdefiniowania zwierciadła wody gruntowej **ponad konstrukcją** lub ponad profilem gruntu - w takim przypadku, poziom wody wprowadza się za pomocą wartości ujemnej.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem wpływu wody zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ wody".

Ponadto, program umożliwia określenie głębokości rys rozciąganych wypełnionych wodą w gruncie za konstrukcją.



Ramka "Woda"

Obciążenie

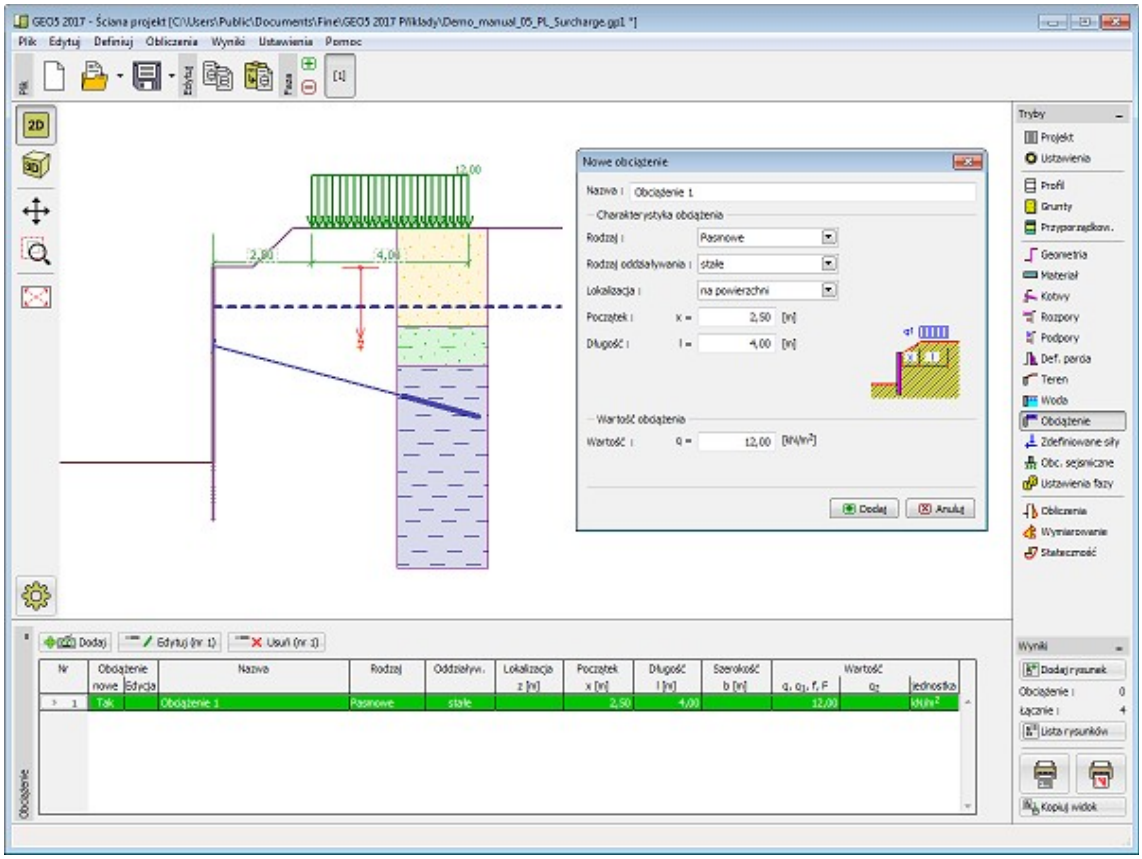
Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych obciążeń. Dodawanie obciążenia wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Zdefiniowane obciążenia można edytować na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów lub aktywnych obiektów.

Przy definiowaniu obciążenia na pewnej głębokości wprowadzana jest rzędna z, mierzona od górnego punktu konstrukcji (kierunek dodatni w dół). W przypadku, gdy obciążenie znajduje

się poza terenem, program wyświetla komunikat błędu przed rozpoczęciem obliczeń.

W programie istnieje możliwość zdefiniowania obciążeń **stałych, zmiennych** lub **wyjątkowych**. Wybór rodzaju obciążenia wpływa na dobór stosownego współczynnika obliczeniowego do przemnożenia wynikowych oddziaływań. Obciążenia wyjątkowe oddziałujące w sposób korzystny nie są uwzględniane w obliczeniach.

Obliczenia parć gruntu wywołanych obciążeniami zewnętrznymi zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążenia".



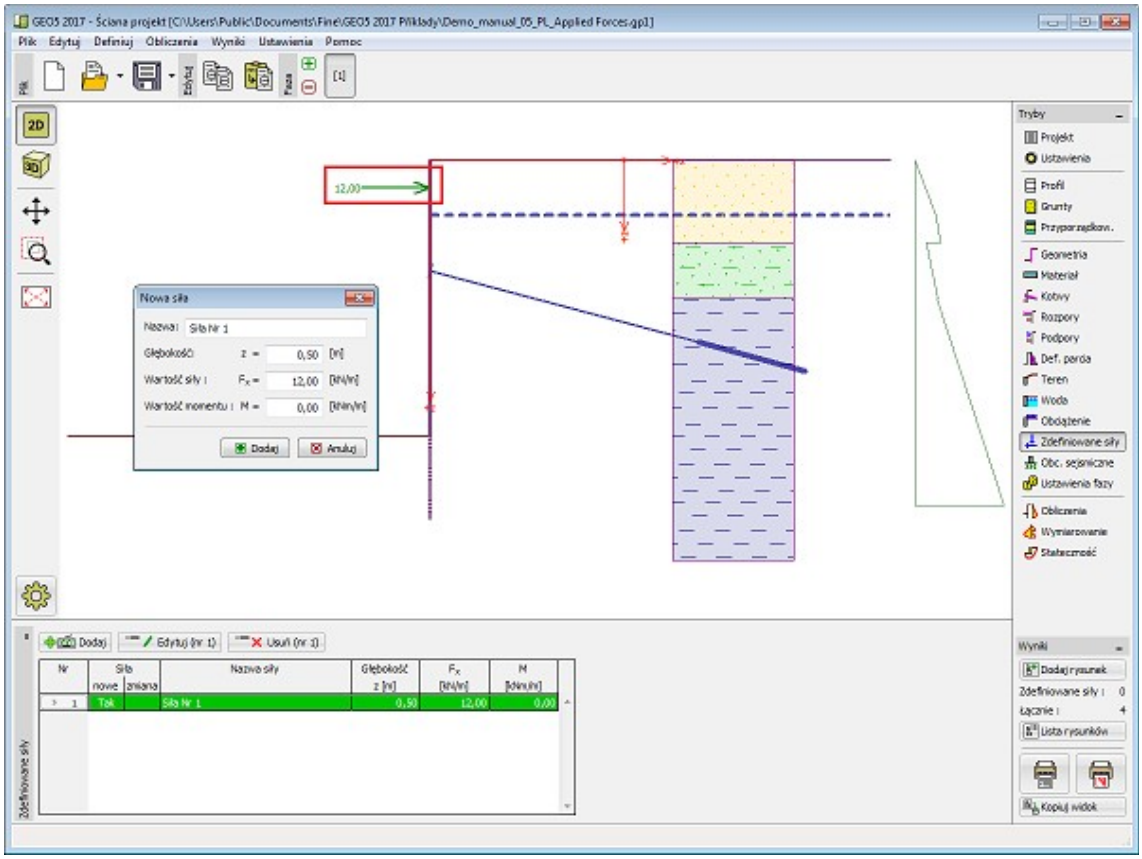
Ramka "Obciążenie"

Zdefiniowane siły

Ramka "**Zdefiniowane siły**" zawiera tabelę z listą definiowanych sił oddziałujących na konstrukcję. Dodawanie sił wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowa siła**". Istnieje także możliwość edycji zdefiniowanych sił na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

Zdefiniowane siły reprezentują dodatkowe obciążenia oddziałujące na konstrukcje oporową, ścianę wykopu czy nasyp zbrojony. W ten sposób istniej możliwość modelowania takich elementów jak: obciążenia od bilboardów, ekranów czy barier drogowych. Program nie dostosowuje (nie zmienia) w żaden sposób zdefiniowanych sił w toku obliczeń, za wyjątkiem przemnażania ich przez odpowiednie współczynniki zgodnie z wybranym rodzajem oddziaływania (EN1997, LRFD).

Obciążenia zewnętrzne oddziałujące na naziomie (na powierzchni terenu) należy definiować jako Obciążenie.



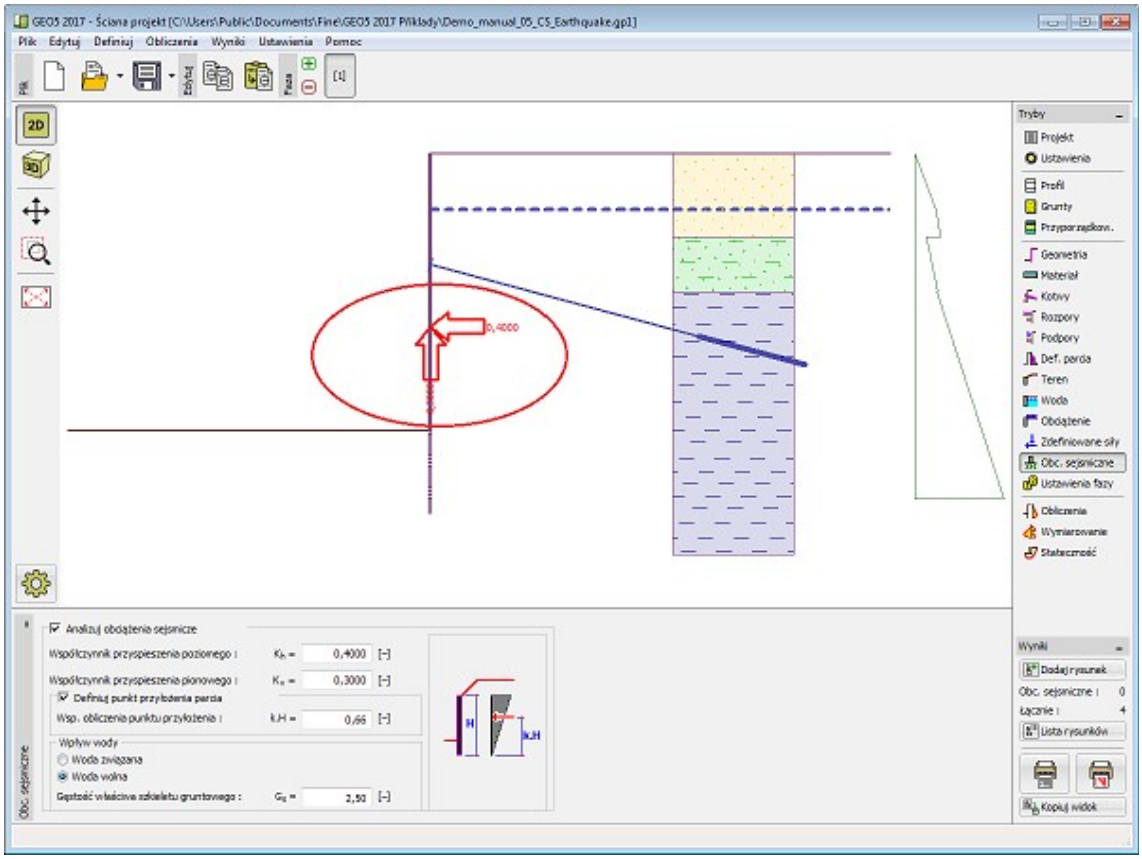
Ramka "Zdefiniowane siły"

Obciążenia sejsmiczne

Ramka "**Obciążenia sejsmiczne**" służy do wprowadzania parametrów obciążeń sejsmicznych. Kierunki zdefiniowanych skutków obciążeń sejsmicznych są wyświetlane na pulpicie.

Jeśli nie są dostępne wyniki pomiarów współczynniki k_h oraz k_v można wyznaczyć stosując opisane w pomocy podejście z normy EN 1998-5.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem obciążeń sejsmicznych zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążeń sejsmicznych".



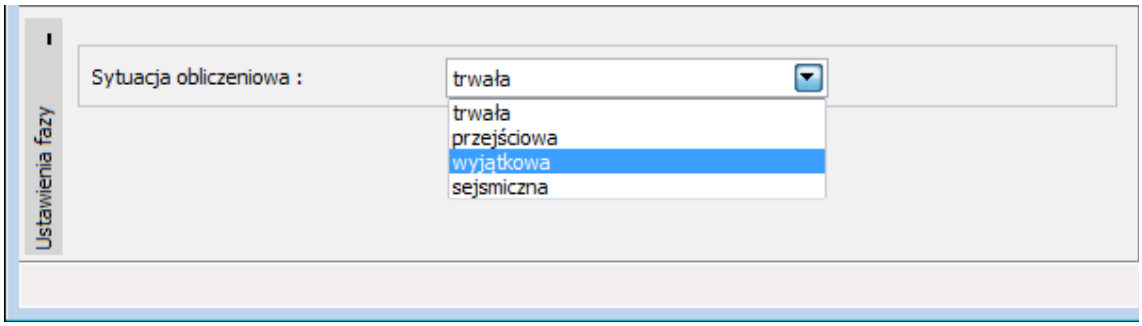
Ramka "Obciążenia sejsmiczne"

Ustawienia fazy

Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących danej fazy obliczeniowej.

Wybrana sytuacja obliczeniowa określa współczynniki bezpieczeństwa, które będą zastosowane w obliczeniach danej fazy budowy.

Wygląd ramki zależy od wybranej metody analizy.



Ramka "Ustawienia fazy"

Obliczenia

Ramka "**Obliczenia**" wyświetla wyniki analizy.

Istnieją dwa warianty wyglądu tej ramki. Pierwszy wariant dotyczy ścian pracujących wspornikowo, a drugi ścian rozpieranych (lub kotwionych).

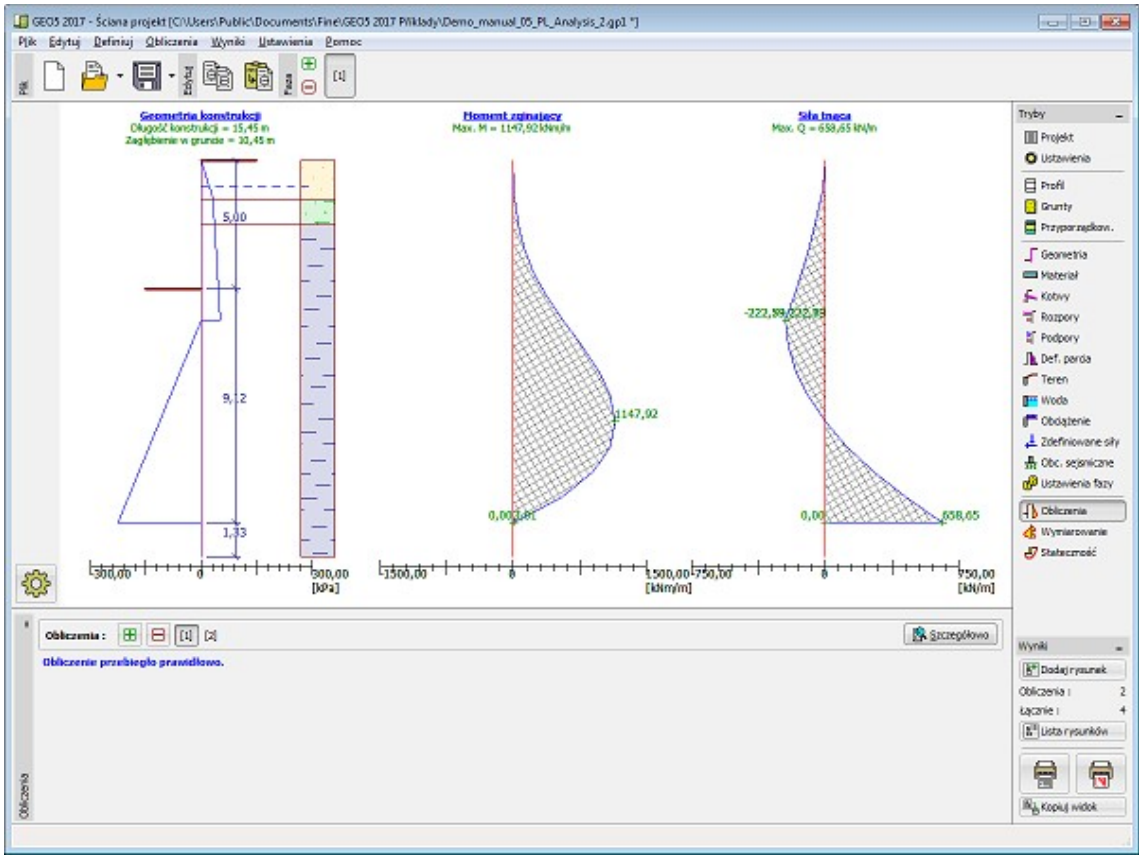
Dla obydwu wariantów istnieje możliwość zdefiniowania współczynnika redukcji parcia biernego.

Przy zastosowaniu metodologii obliczeń według stanów granicznych lub współczynnika bezpieczeństwa, w przypadku konstrukcji pracujących wspornikowo istnieje możliwość zdefiniowania współczynnika bezpieczeństwa.

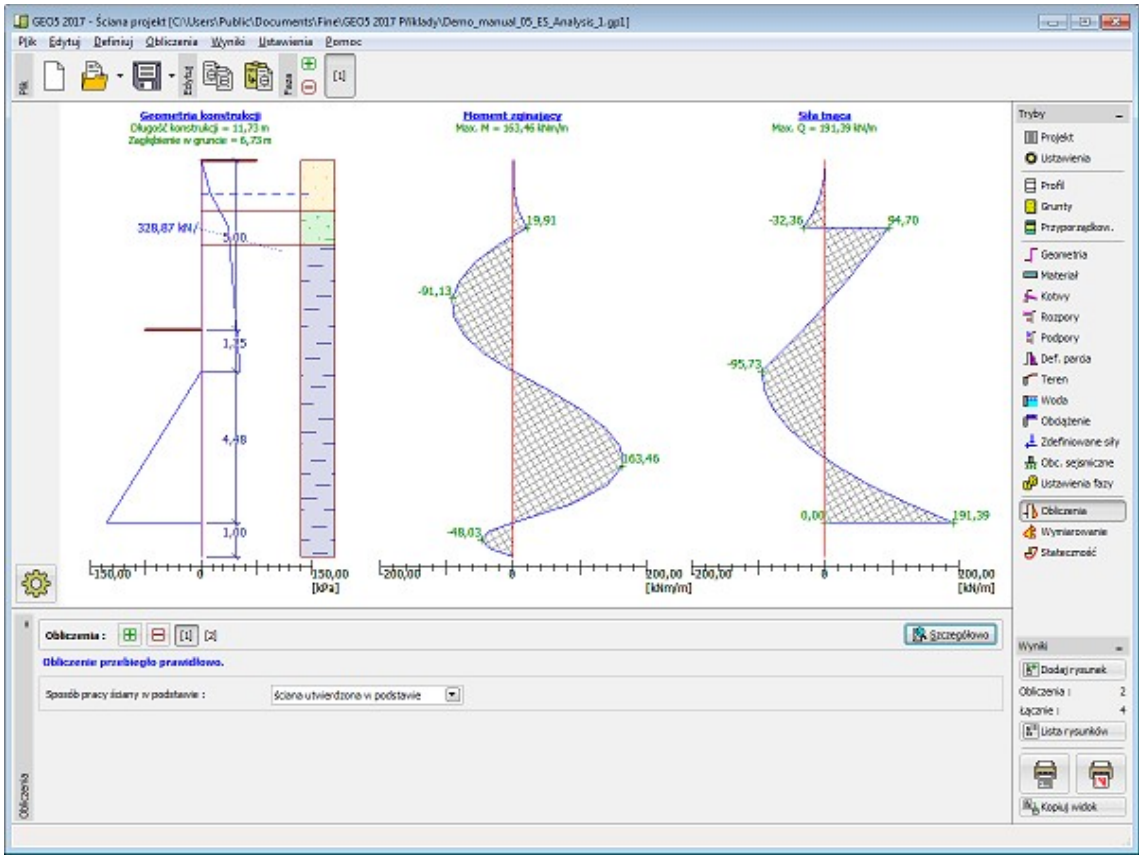
Dla konstrukcji **kotwionych (rozpieranych)** należy dokonać wyboru sposobu pracy ściany w podstawie - utwierdzona lub swobodna.

Przy obliczeniach z zastosowaniem EN 1997 lub LRFD współczynniki częściowe definiuje się w zakładce "Analiza Parć". Jeśli obliczenia wykonuje się z zastosowaniem "Podejścia obliczeniowego 1", należy także wybrać numer kombinacji.

Wyniki analizy wyświetlane są na pulpicie. Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Obliczenia" - ściana pracująca wspornikowo



Ramka "Obliczenia" - ściana kotwiona

Wymiarowanie

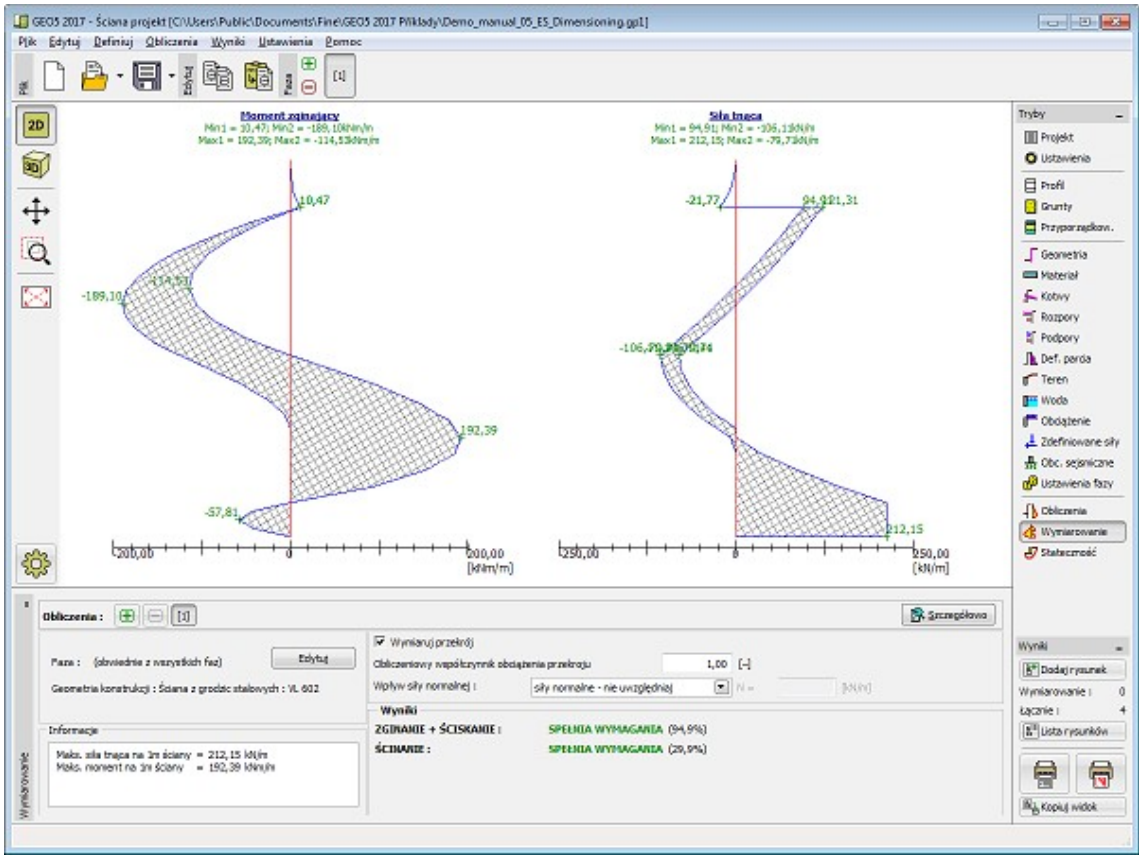
Ramka "**Wymiarowanie**" umożliwia wyświetlenie obwiedni sił wewnętrznych i przemieszczeń ze wszystkich analiz (faz budowy). Domyślnie, obwiednia tworzona jest z wyników wszystkich faz budowy. Istnieje jednak możliwość utworzenia obwiedni tylko z **wybranych faz.** Przycisk "**Edytuj**" otwiera okno dialogowe "**Wybór fazy budowy**". W oknie tym można dokonać wyboru faz budowy, które będą wykorzystane do wygenerowania obwiedni (poprzez naciśnięcie odpowiednich przycisków).

Maksymalne wartości wyznaczonych sił wewnętrznych (momentów zginających i sił tnących) wyświetlane są w dolnej części ramki.

Program umożliwia wymiarowanie przekrojów żelbetowych, stalowych, drewnianych lub plastikowych (przy wybraniu opcji "**Wymiaruj przekrój**").

Podczas wymiarowania przekroju istnieje możliwość zdefiniowania **współczynnika redukcji nośności** przekroju, który redukuje całkowitą nośność przekroju. Podczas wymiarowania przekrojów stalowych, dostępne są następujące opcje uwzględnienia **wpływu siły normalnej**:

- **siły normalne - nie uwzględniaj**: program nie uwzględnia wpływu siły normalnej.
- **siły normalne - definiuj**: wartość siły normalnej definiowana jest przez Użytkownika N [kN/m, lbf/ft]



Ramka "Wymiarowanie"

Stateczność

Ramka "**Stateczność**" służy do przesyłania danych do innych programów - "**Stateczność zbocza**" (sprawdzenie stateczności globalnej) oraz "**Ściana analiza**" (modelowanie rzeczywistej pracy konstrukcji, wyznaczanie przemieszczeń, analiza systemu kotwienia i wymiarowanie kotew).

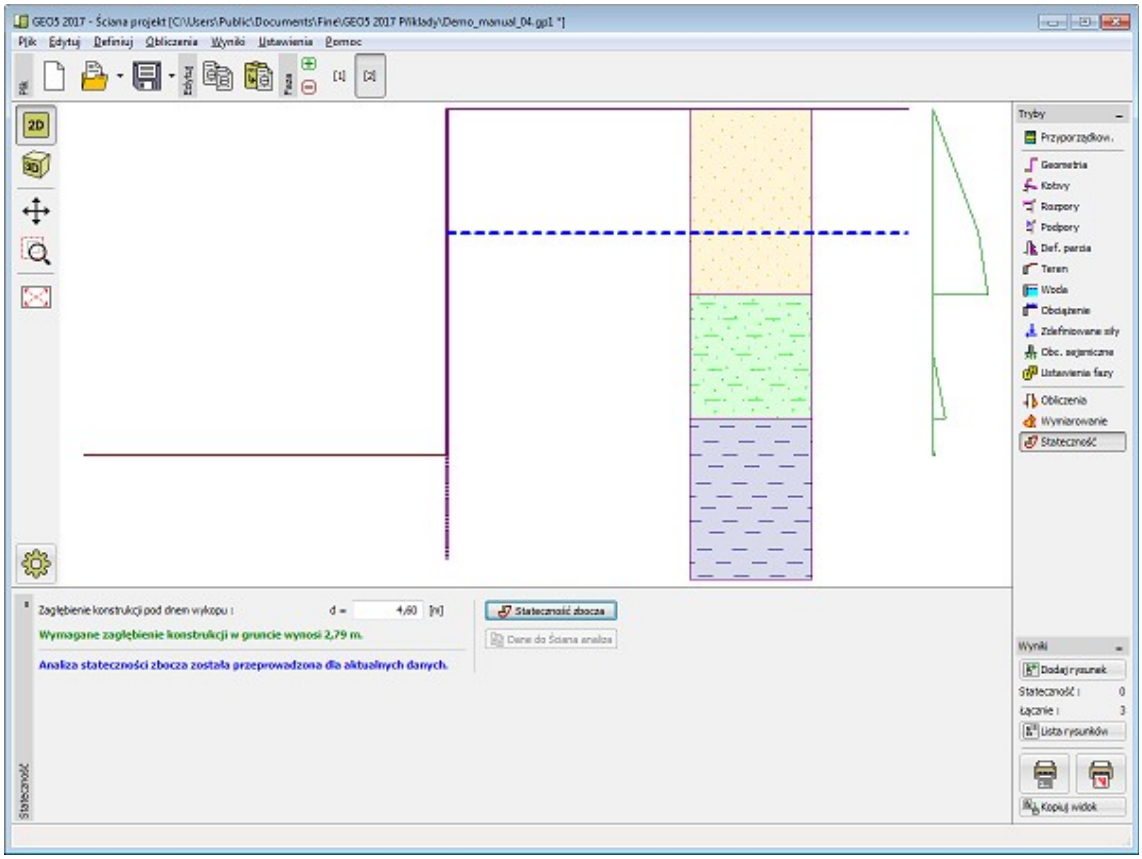
W ramce tej definiuje się **Zagłębienie konstrukcji pod dnem wykopu**, jednakowe dla wszystkich faz budowy. W przypadku ścian kotwionych należy również zdefiniować odpowiednią "**Siłę w kotwie**".

Program wyświetla **wymagane zagłębienie konstrukcji w gruncie** - jest to zagłębienie wyznaczone na podstawie wszystkich obliczeń, z wszystkich faz budowy. Jeśli wartość zdefiniowana zagłębienia jest większa od zagłębienia wymaganego, informacja wyświetlana jest na zielono, w przeciwnym przypadku - na czerwono.

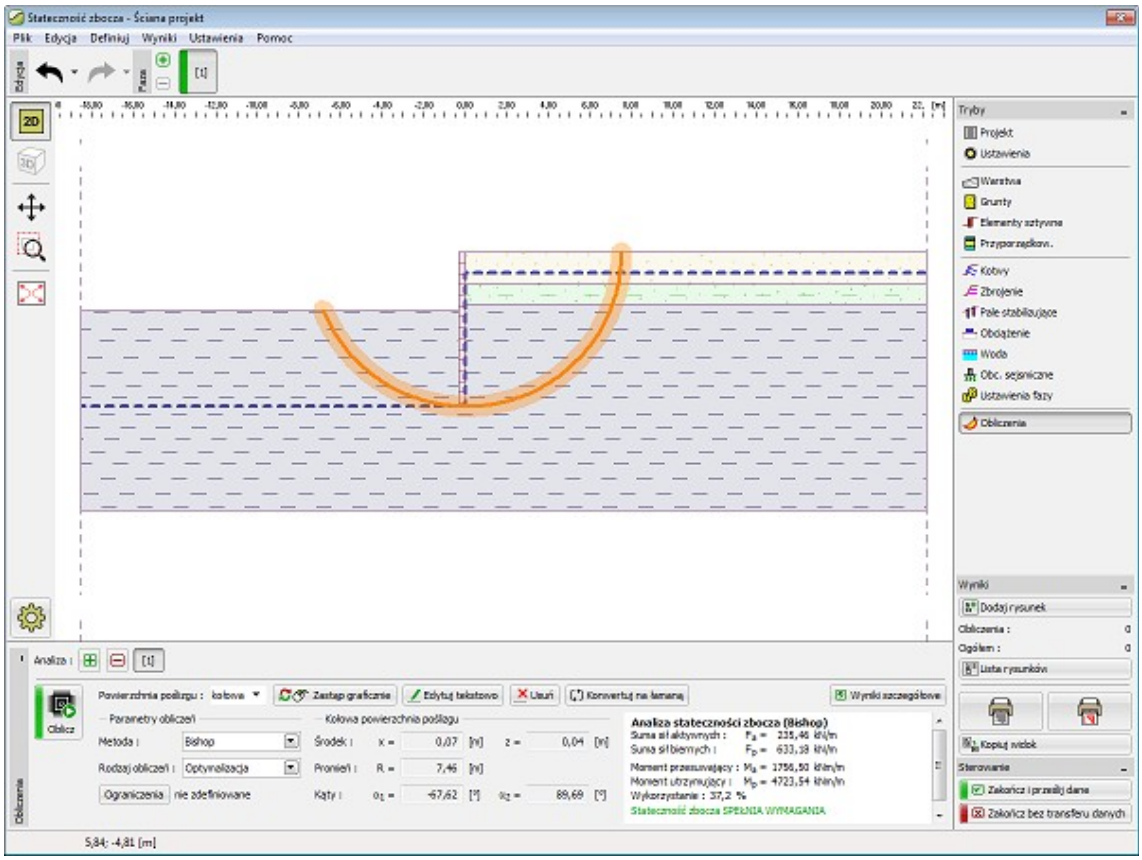
Naciśnięcie przycisku "**Stateczność zewnętrzna**" uruchamia program "**Stateczność zbocza**" i przesyła do niego wszystkie niezbędne dane. Program ten umożliwia sprawdzenie ogólnej stateczności analizowanej konstrukcji. Przycisk ten jest dostępny, jeżeli program "**Stateczność zbocza**" jest zainstalowany.

Po zakończeniu obliczeń stateczności należy kliknąć przycisk "**Zakończ i prześlij dane**" aby opuścić program i przekazać wyniki obliczeń do raportu z obliczeń stworzonego w programie "**Ściana projekt**".

Przycisk "**Dane do Ściana analiza**" kopiuje wszystkie dane do schowka. Dane te można następnie wstawić jako nowy projekt w programie "**Ściana analiza**".



Ramka "Stateczność"



Program "Stateczność zbocza"

Program Ściana analiza

Program ten służy do analizy głębokich wykopów i ich obudów sprężysto-plastyczną metodą nieliniową, w której wartość parcia oddziałującego na konstrukcję zależy od jej deformacji. Metoda ta pozwala zamodelować rzeczywistą pracę konstrukcji z uwzględnieniem faz budowy oraz wyznaczyć siły wewnętrzne i przemieszczenia konstrukcji.

Wstępny projekt konstrukcji, w tym wyznaczenie wymiarów ściany, sił wewnętrznych i sił w kotwch można wykonać w programie "Ściana Projekt".

Pomoc w programie "Ściana analiza" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

Projekt	Ustawienia	Profil	Moduł Kh	Badania presjometryczne (PMT)	Badania dylatometryczne (DMT)	Grunty
Geometria	Materiał	Definiowanie parcia	Przyporządkowanie	Wykop	Teren	Woda
Obciążenia	Zdefiniowane siły	Kotwy	Rozpory	Podpory	Obciążenia sejsmiczne	Ustawienia fazy

Obliczenia | Stateczność wewnętrzna | Stateczność zewnętrzna | Stateczność dna wykopu | Wymiarowanie | Wymiarowanie kotew

- Normy i metody obliczeniowe
- Teoria obliczeniowa do programu "**Ściana analiza**":

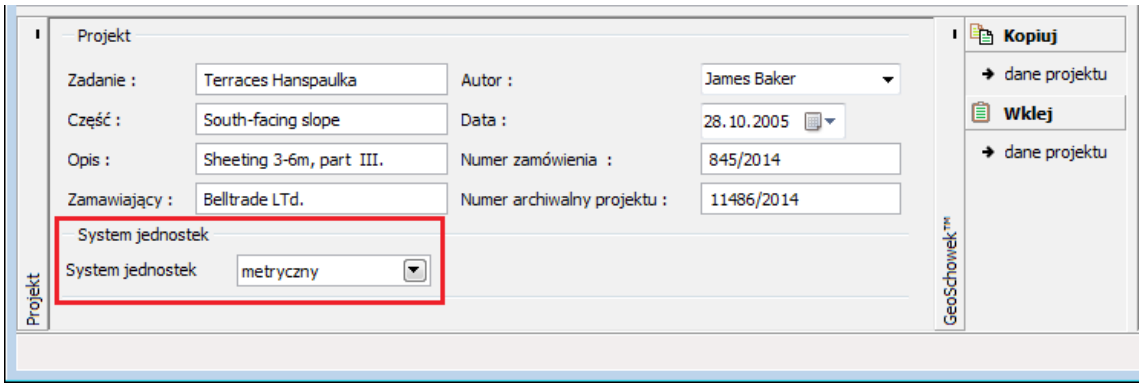
  Naprężenia w gruncie | Parcia gruntu | Ściana analiza | Wymiarowanie konstrukcji betonowych | Wymiarowanie przekrojów sStalowych

- Dane wyjściowe
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

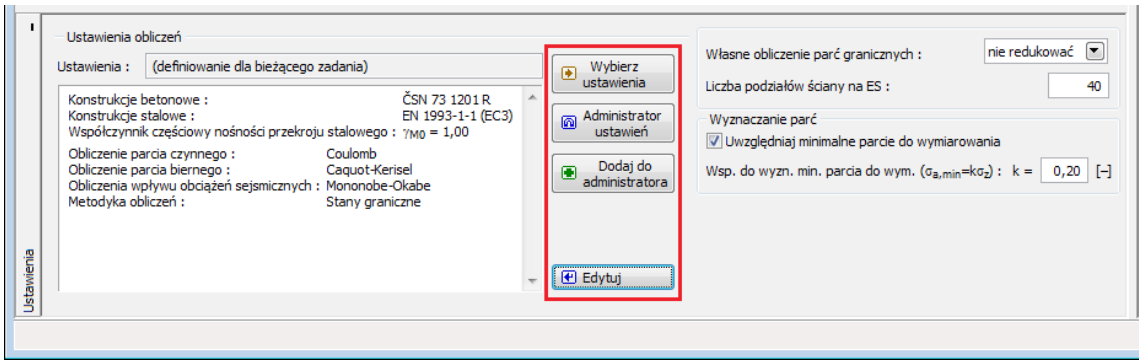
Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładkach "Materiały i normy" oraz "Analiza parć".

W przypadku wykonywania obliczeń według EN 1997 według teorii stanów granicznych program umożliwia dokonanie wyboru czy parametry materiałowe gruntów będą redukowane w obliczeniach parć granicznych czy nie. W przypadku modelowania rzeczywistej pracy konstrukcji zaleca się zrezygnowanie z redukcji parć.

Ramka Ustawienia umożliwia także użytkownikowi określenie podziału ściany na elementy skończone (domyślna liczba elementów wynosi *40*) oraz zdecydowanie czy konstrukcja będzie obciążona minimalnym parciem do wymiarowania.



Ramka "Ustawienia"

Profil

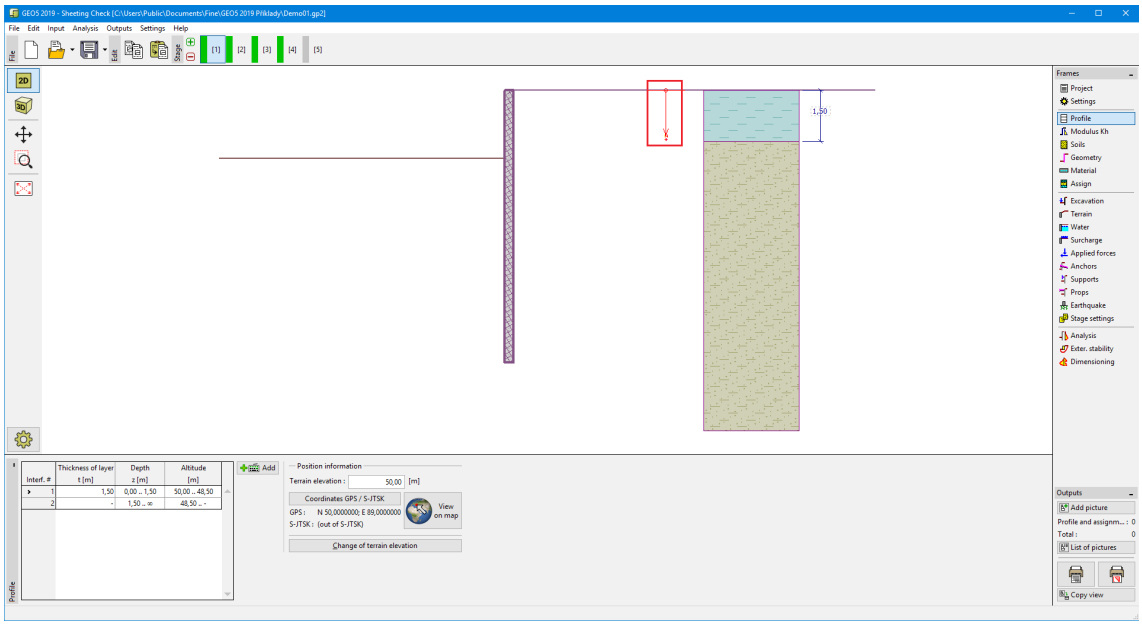
Ramka "**Profil**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych warstw. Po zdefinowaniu poszczególnych warstw można edytować ich miąższość za pomocą aktywnych wymiarów.

Dodawanie warstw wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowa warstwa**". Definiowana jest rzędna z mierzona od górnego punktu konstrukcji (oś-z).

In this frame it is also possible to enter optional information about the structure location:

- **terrain elevation** - an altitude column for the layers is displayed in the table after input of terrain elevation
- **GPS coordinates** - it is possible to show a structure on the Google Maps using "**View on map**" button after input of coordinates.

Program umożliwia obniżenie lub podniesienie górnego punktu konstrukcji w oknie dialogowym "**Zmiana rzędnej terenu**", a zdefiniowane warstwy będą wówczas przesunięte, jednocześnie zachowując swoją miąższość. Funkcja ta jest istotna podczas kopiowania profilu z programu "**Teren**".



Ramka "Profil"

Moduł Kh

Ramka ta służy do określenia sposobu wyznaczania modułu reakcji podłoża, który jest istotnym parametrem wejściowym podczas analizy konstrukcji obudowy wykopu za pomocą metody parć zależnych.

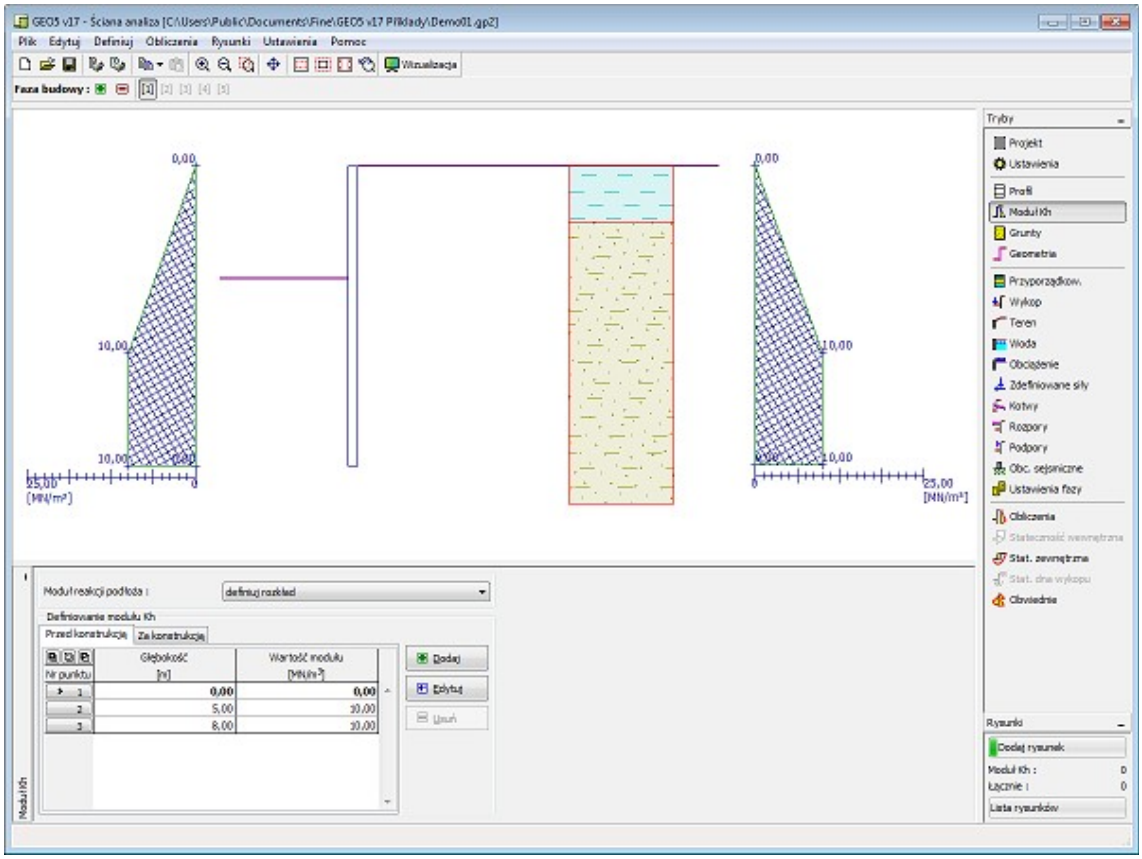
Wyboru sposobu wyznaczania modułu reakcji podłoża k_h można dokonać w ramce "Ustawienia" (w oknie dialogowym "**Edycja ustawień bieżących**" w zakładce "Analiza Parć").

Ramka przyjmuje różną formę w zależności od wybranej metody wyznaczania modułu:

- **domyślnie** (opcje: "wyznacz – Schmitt", "wyznacz – Chadeisson", "iteracja manualna" lub "iteracja automatyczna")
- **definiuj** (wybór opcji "**Definiuj rozkład**" otwiera w ramce tabelę, która umożliwia zdefiniowanie wartości modułu reakcji podłoża k_h zarówno przed jak i za konstrukcją. W przypadku wyboru opcji "**Definiuj jako parametr gruntu**" moduł k_h definiowany jest w ramce "Grunty", w której moduł reakcji podłoża może byc definiowany jako **liniowy**, lub jako **nieliniowy - krzywa**)
- **presiometr PMT** (moduł reakcji podłoża k_h może być definiowany zarowno za pomocą badania presjometrycznego, lub jako parametr gruntu w ramce "Grunty". Istnieje także możliwość wyboru metody wyznaczania modułu - według NF P 94-282 lub według

Menarda)

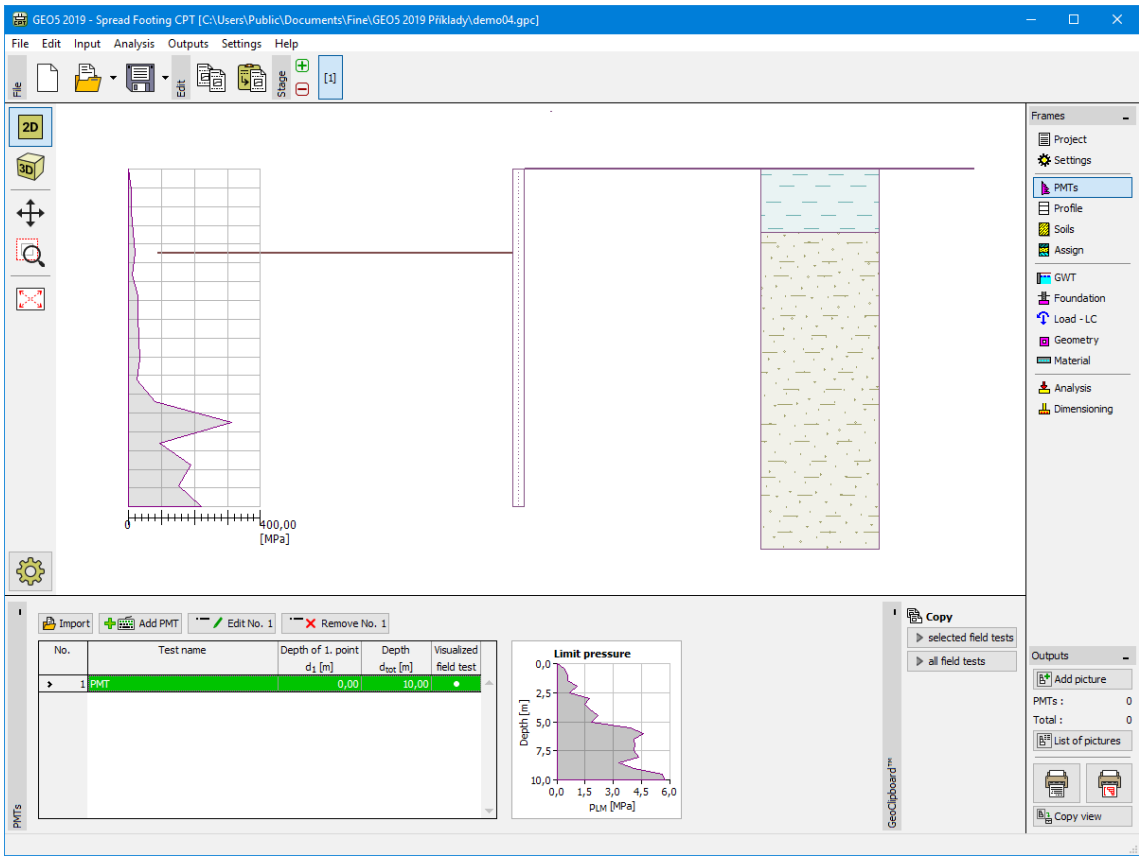
- **normy chińskie** (w przypadku wyboru metody "m" definiuje się przemieszczenie poziome w dnie wykopu v_b $[mm]$ oraz wartość modułu A $[MN/m^3]$, w przypadku opcji definiuj jako parametr gruntu – można wybrać jedną spośród trzech metod: metody "c", "k" lub "m")



Ramka "Moduł k_h"

Badania presjometryczne (PMT)

Ramka "**Badanie presjometryczne**" zawiera tabelę z listą badań presjometrycznych (PMT).



Ramka "Badanie presjometryczne"

Wyniki badań presjometrycznych (PMT) można importować do programu wstawiając pliki różnorodnych formatów (np. ***.TXT, *.CSV, *.XLSX, *.ODS**).

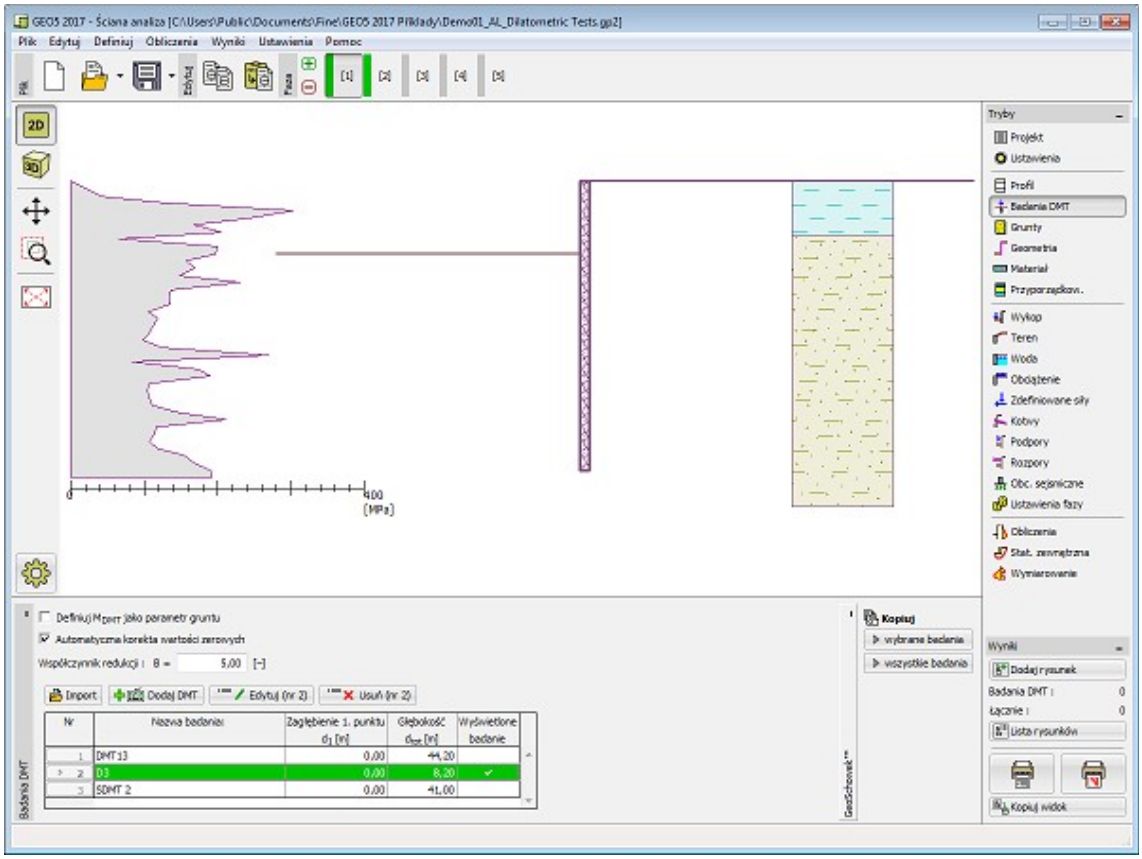
Dane z sondowań presjometrycznych można kopiować pomiędzy programami "**Mikropal**", "**Ściana analiza**", "**Pal stabilizujący**" i "**Stratygrafia 3D**" wykorzystując "GeoSchowek".

Uwaga: Ramka ta jest dostępna jedynie w przypadku, gdy w ramce "Ustawienia" do wyznaczania modułu reakcji podłoża wybrana jest opcja "**presjometr PMT**" (zakładka "Analiza Parć").

Badanie dylatometryczne (DMT)

Ramka "**Badania DMT**" służy do definiowania metody wprowadzania modułu dylatometrycznego do programu. Do wyboru są dwie możliwości - albo jako parametr gruntu (poprzez wybór opcji "**Definiuj M_{DMT} jako parametr gruntu**"), lub poprzez import wyników badania dylatometrycznego (DMT).

Ramka zawiera tabelę z listą zdefiniowanych badań dylatometrycznych (DMT).



Ramka "Badanie dylatometryczne (DMT)"

W przypadku, gdy podczas badania dylatometrycznego zmierzona zostanie zerowa wartość modułu dylatometrycznego M_{DMT}, program umożliwia automatyczną korektę błędnych pomiarów - zamiast wartości zero, w obliczeniach przyjmowana jest średnia arytmetyczna najbliższej górnej i najbliższej dolnej niezerowej wartości modułu M_{DMT}.

W ramce tej należy również zdefiniować współczynnik redukcji B.

Wyniki badań dylatometrycznych (DMT) można importować do programu wstawiając pliki w formacie **UNI** (***.uni**).

Dane badań dylatometrycznych DMT można kopiować pomiędzy programami "**Fundamenty bezpośrednie**", "**Ściana analiza**", "**Pal stabilizujący**" oraz "**Stratygrafia 3D**" poprzez "GeoSchowek".

Uwaga: Ramka ta jest dostępna jedynie w przypadku, gdy w ramce "Ustawienia", do wyznaczania modułu reakcji podłoża wybrana jest opcja "**dylatometr DMT**" (zakładka "Analiza parć").

Grunty

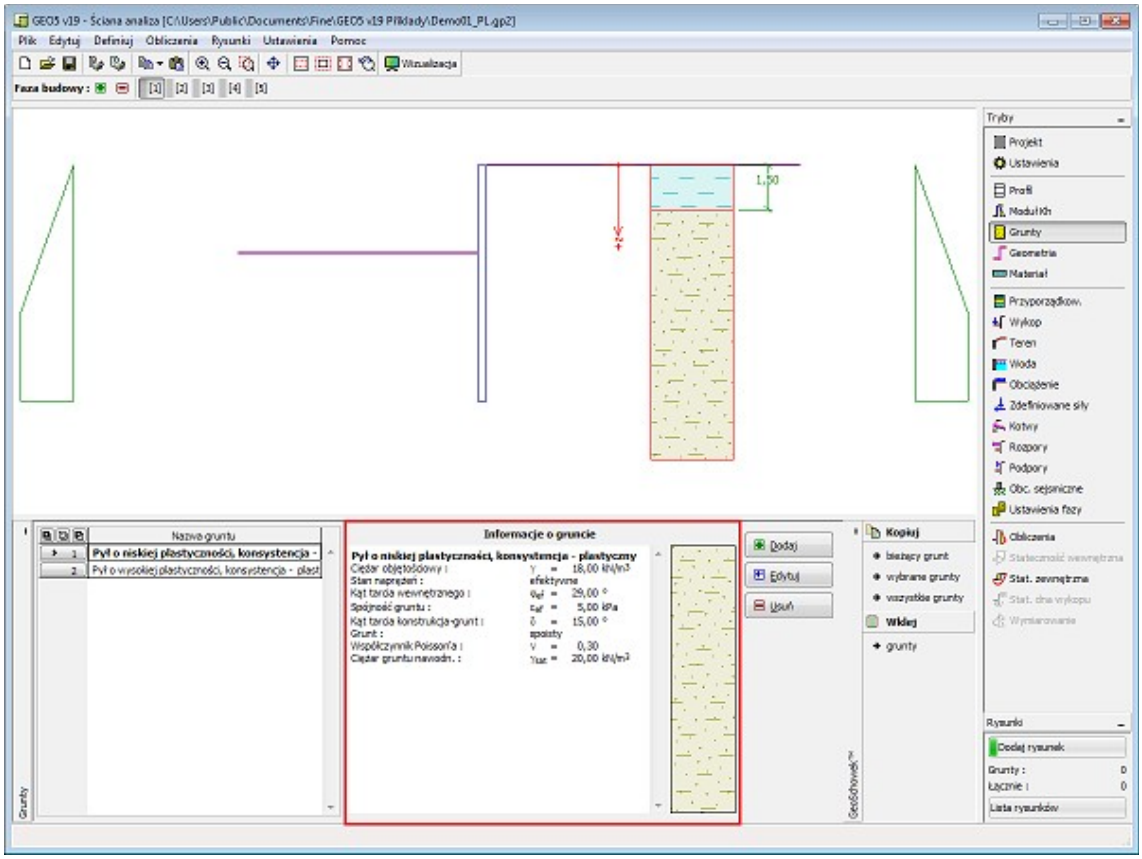
Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących

rozdziałach: "Dane podstawowe", "Spoczynkowe parcie gruntu" oraz "Naprężenie geostatyczne, wypór", "Moduł reakcji podłoża".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

Ta część okna dialogowego służy do definiowania podstawowych parametrów gruntów - **ciężaru objętościowego, kąta tarcia wewnętrznego** oraz **spójności**. Wartości te określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub in-situ dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wartości parametrów gruntów określone na podstawie doświadczenia oraz literatury światowej. Parametry skał nie zostały zawarte w tej bazie, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym.

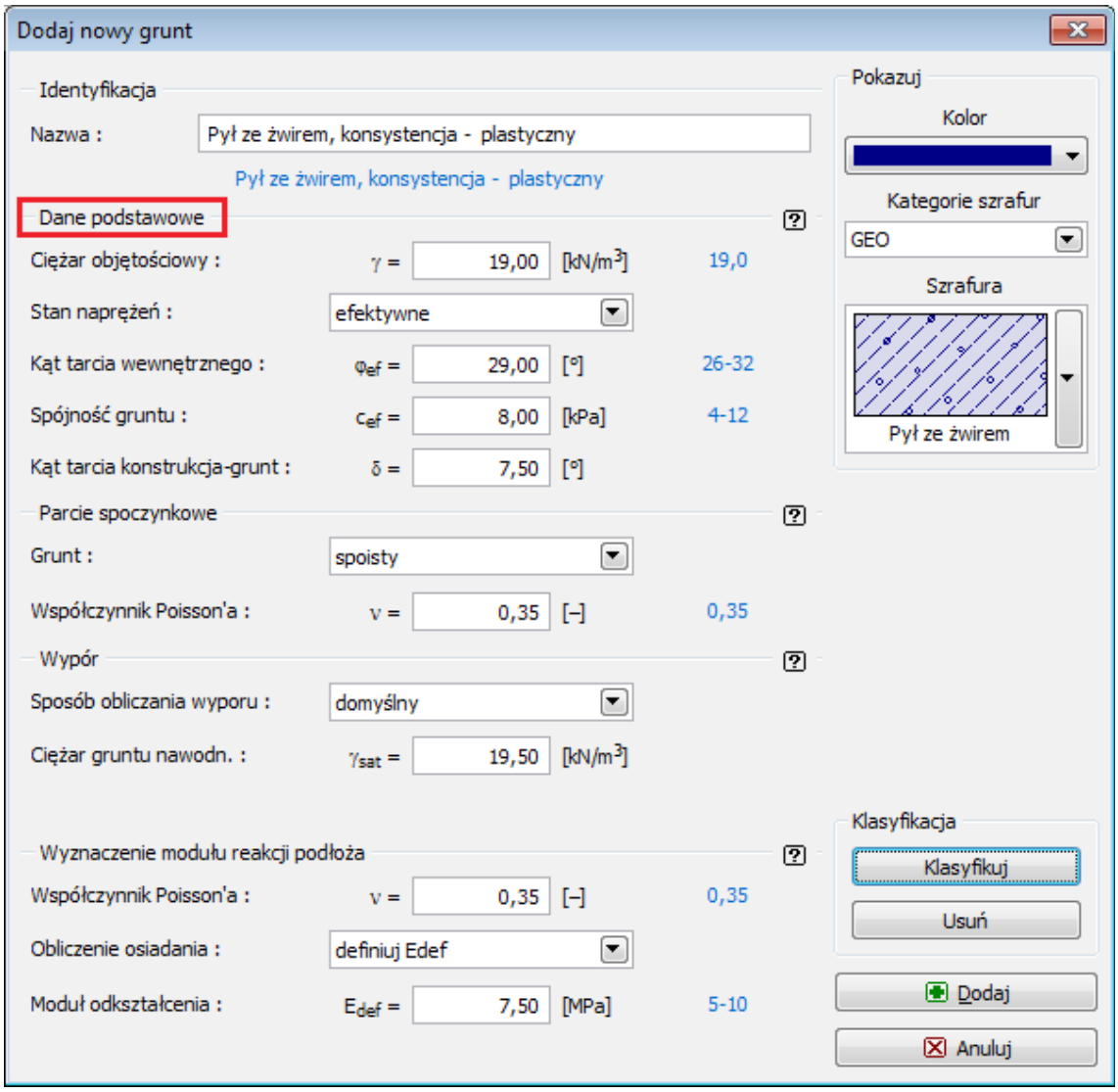
Istnieje możliwość definiowania wymiennie - parametrów **efektywnych** lub **uogólnionych** kąta tarcia wewnętrznego i spójności w zależności od wybranego ustawienia w liście rozwijanej "**Stan naprężeń**". Decyzja o zastosowaniu parametrów efektywnych czy uogólnionych zależy w szczególności od rodzaju gruntu, rodzaju obciążenia, czasu wykorzystania konstrukcji i warunków wodnych.

W dalszej kolejności, w przypadku naprężeń efektywnych definiuje się kąt tarcia pomiędzy konstrukcją i gruntem, który zależy zarówno od rodzaju gruntu jak i rodzaju konstrukcji. Szacunkowe wartości tego parametru podano w tabeli wartości zalecanych.

W przypadku naprężeń całkowitych natomiast należy zdefiniować adhezję gruntu do lica

konstrukcji a.

Podstawy teoretyczne dotyczące omawianego zaganienia opisano w rozdziale "Parcie gruntu".



Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

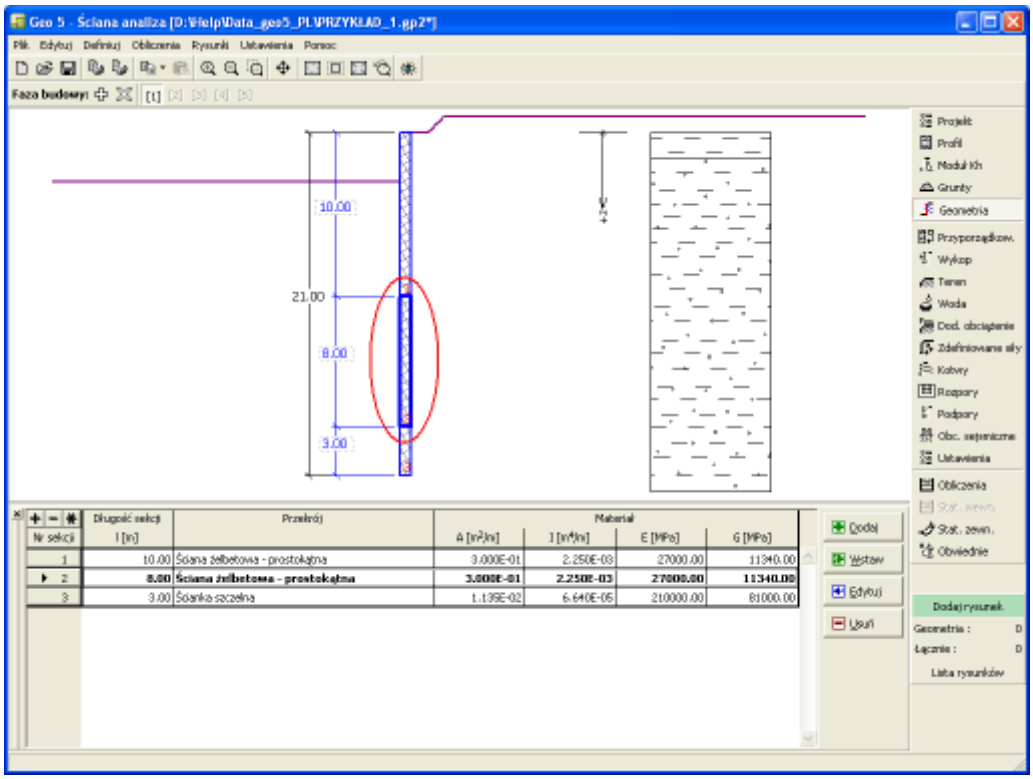
Geometria

Ramka "**Geometria**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych odcinków konstrukcji tworzących konstrukcję ściany. Dla każdego odcinka tabela zawiera parametry przekroju poprzecznego (A - pole przekroju, I - moment bezwładności, podawane zawsze na 1 m bieżący konstrukcji) oraz parametry materiałowe (E - moduł sprężystości, G - moduł sprężystości poprzecznej).

Dodawanie lub edycję odcinków wykonuje się w oknie dialogowym "Nowy odcinek".

Istnieje możliwość dalszej edycji zdefiniowanych odcinków ściany na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów - dwukrotne kliknięcie na konstrukcji otwiera okno dialogowe z danym odcinkiem.

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.



Ramka "Geometria"

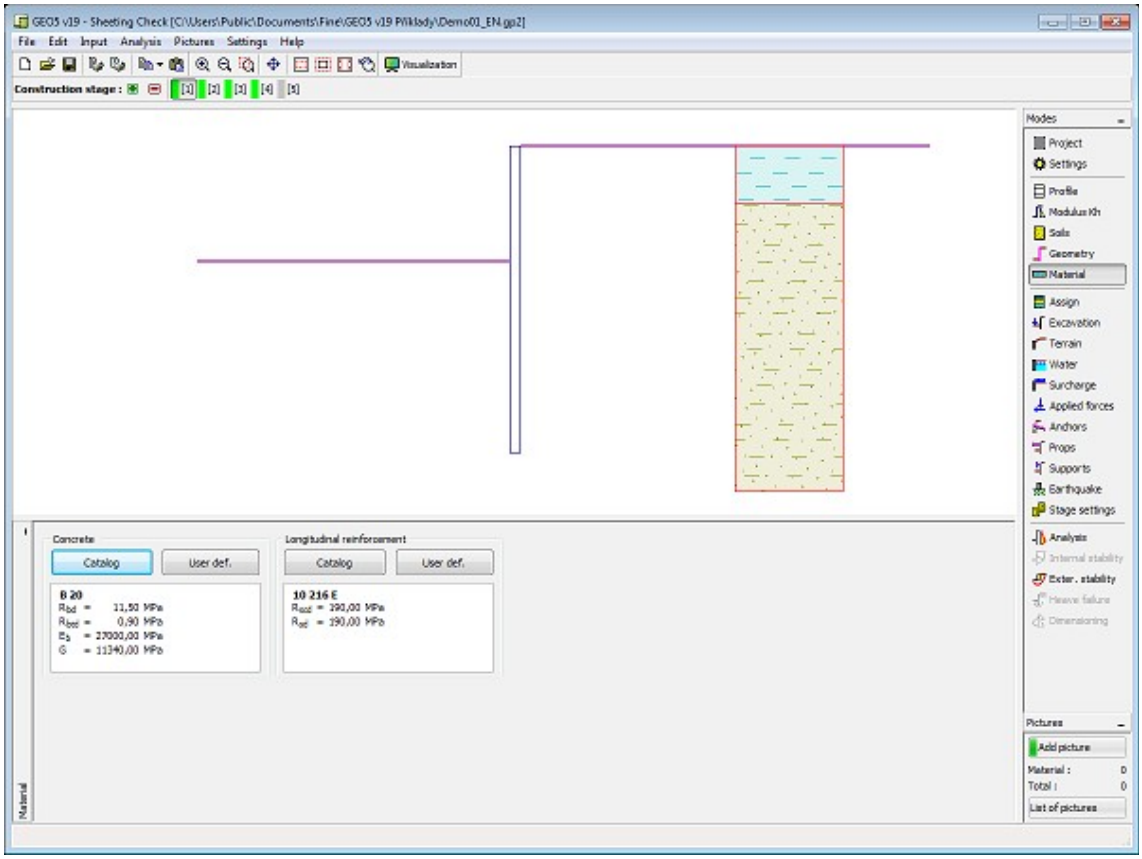
Materiał

Ramka "**Materiał**" umożliwia wybór parametrów stosowanych materiałów. Wygląd ramki jest różny w zależności od materiału wybranego (**beton, stal, drewno, plastik**) w ramce "Geometria".

Dostępne są dwie opcje wyboru rodzaju materiału:

- Przycisk "**Katalog**" otwiera okno dialogowe "**Katalog materiałów**"; z zamieszczonej w nim listy materiałów można dokonać wyboru materiału.
- Przycisk "**Użytkownika**" otwiera okno dialogowe "**Edytor materiału**", które umożliwia ręczne określenie parametrów materiału.

Zawartość katalogów zależna jest od wyboru normy do wymiarowania konstrukcji betonowych, stalowych, drewnianych lub plastikowych dokonanego w zakładce "Materiały i normy".



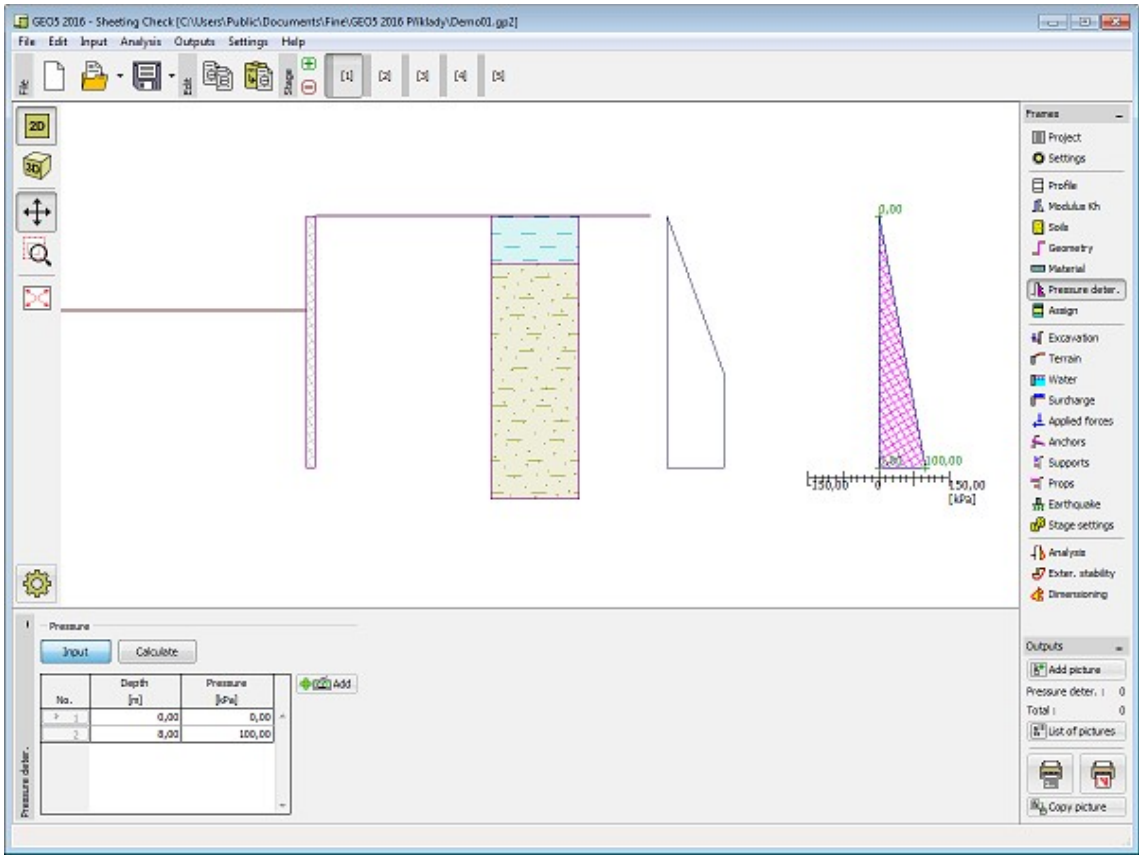
Ramka "Materiał"

Definiowanie parcia

Ramka "**Definiowanie parcia**" umożliwia ręczne definiowanie wartości rzędnych parcia za konstrukcją ściany (poprzez wciśnięcie przycisku "**Definiuj**"). Ramka dostępna jest tylko w przypadku, gdy w ramce "Ustawienia" wybrana jest opcja "**JGJ 120-2012**" (zakładka "Analiza Parć").

Ramka zawiera tabelę z listą zdefiniowanych wartości parcia gruntu. Dodawanie tych wartości może być wykonywana w oknie dialogowym "**Nowy punkt**". W oknie tym podane są zagłębienie punktu $[m]$ oraz odpowiadająca mu wartość parcia gruntu $[kPa]$.

Istnieje także możliwość automatycznego wyznaczenia wartości czynnego parcia gruntu lub spoczynkowego parcia gruntu (poprzez wciśnięcie przycisku "**Oblicz**").

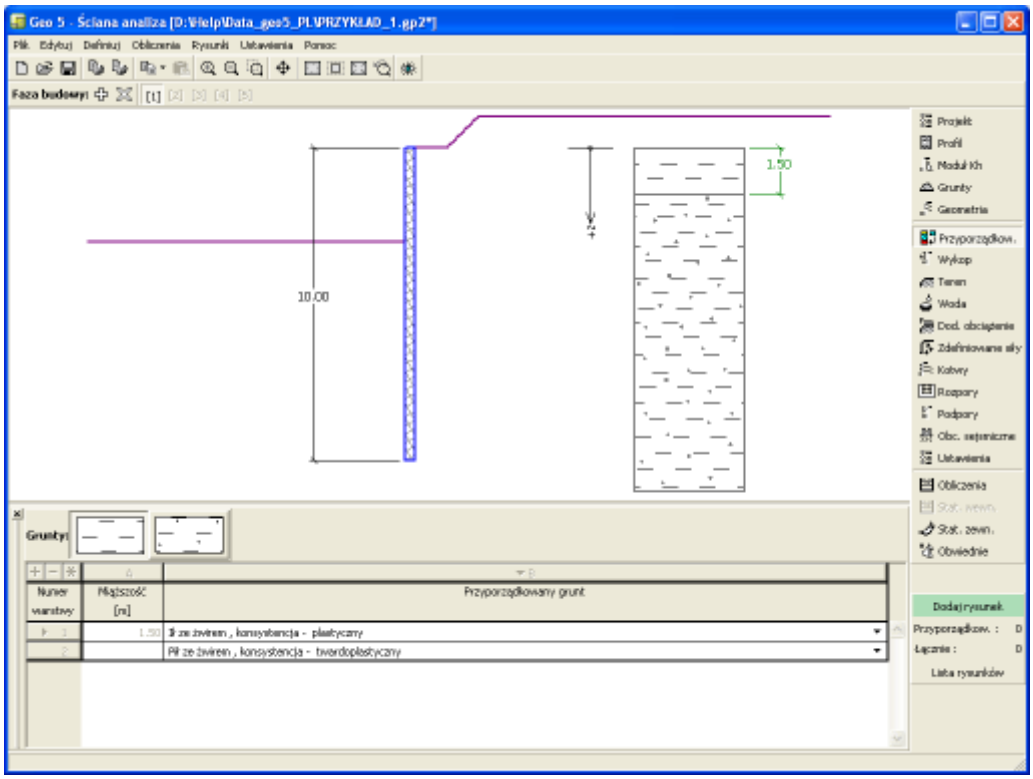


Ramka "Definiowanie parcia"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów"**.**



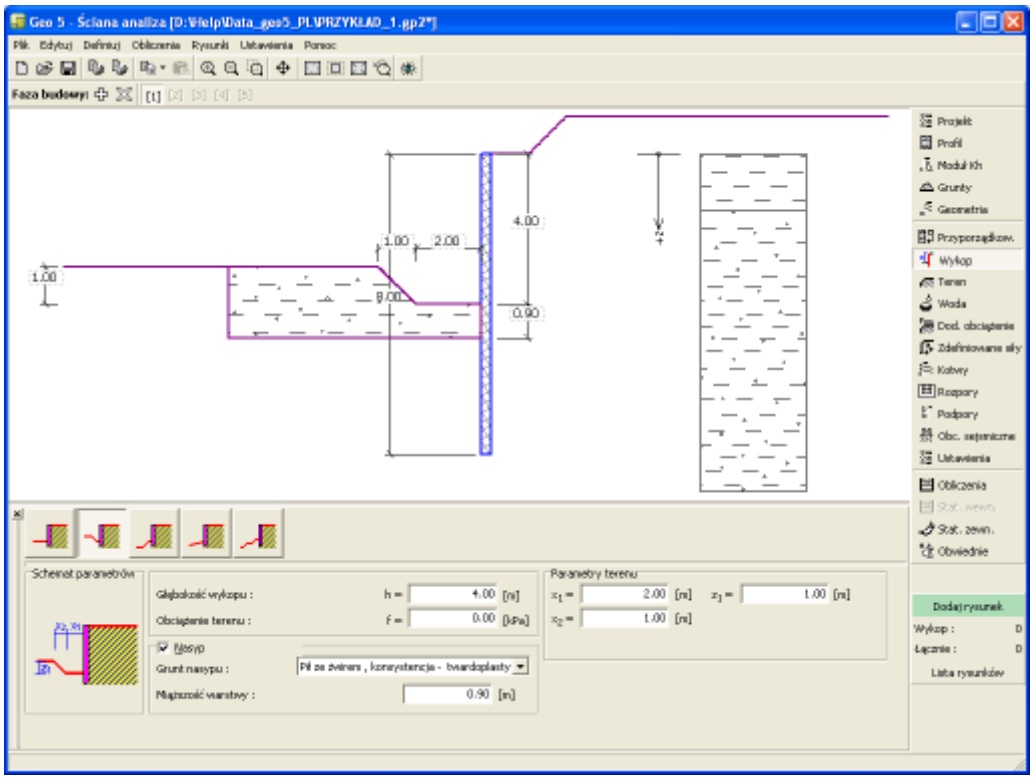
Ramka "Przyporządkowanie"

Wykop

Ramka "**Wykop**" służy do definiowania głębokości wykopu h $[m]$ oraz wyboru kształtu dna wykopu od frontu konstrukcji ściany poprzez wciśnięcie odpowiedniego przycisku. Wybrany kształt terenu z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Wymiary wybranego kształtu dna wykopu i jego głębokość można edytować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Ramka umożliwia również zdefiniowanie obciążenia dna wykopu lub miąższości warstwy nasypu poniżej dna wykopu (grunt nasypu należy wybrać z listy rozwijanej zawierającej grunty wprowadzone w ramce "Grunty"). Przy definiowaniu nasypu, w przypadku ściany berlińskiej zakłada się, że ściana jest ciągła w miejscu nasypu, tzn. parcia działają na całą szerokość konstrukcji, jak w przypadku konstrukcji powyżej dna wykopu.

W ramce tej istnieje także możliwość zdefiniowania **wzmocnienia gruntu** w podstawie konstrukcji ściany. Szczegółowe informacje na temat metody obliczania wzmocnienia zawarto następującym rozdziale.



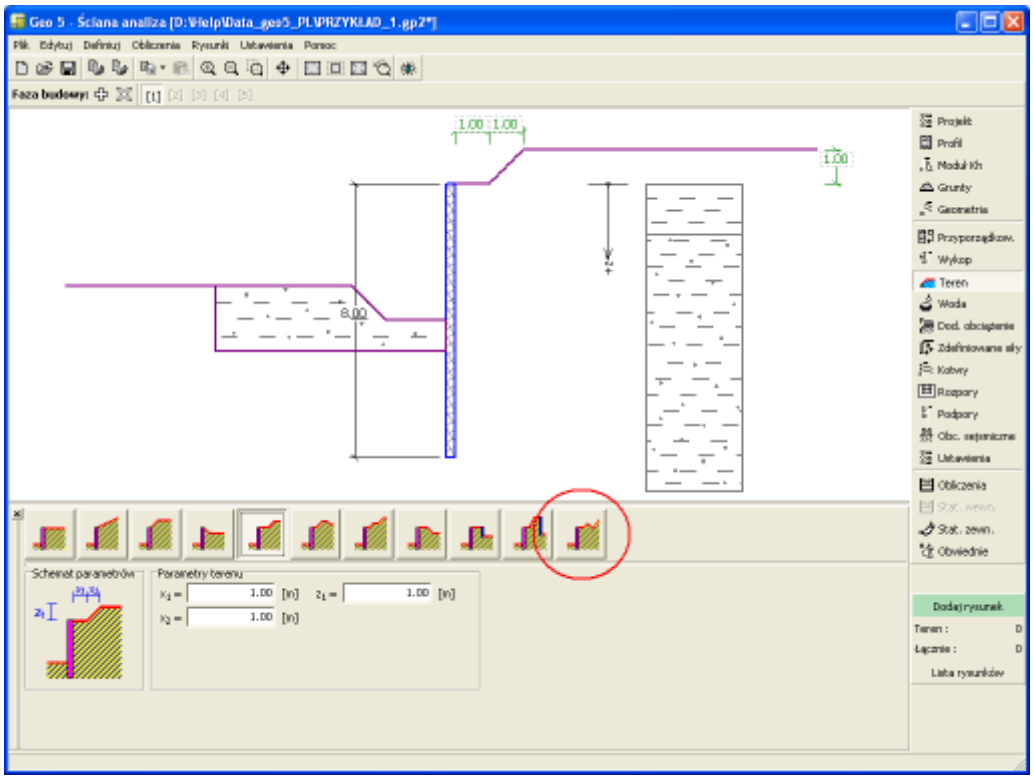
Ramka "Wykop"

Teren

Ramka "**Teren**" umożliwia określenie ukształtowania terenu za konstrukcją przy pomocy jednego z dostępnych przycisków. Wybrany kształt terenu z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Wymiary wybranego schematu terenu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego kształtu terenu. W takim przypadku, pojawiająca się ramka zawiera tabelę z listą punktów terenu. Pierwszy punkt o współrzędnych [*0,0*] zbiega się z górnym punktem konstrukcji.

Metody analizy parcia gruntu w przypadku terenu pochyłego zostały opisane w teoretycznej części pomocy "Rozkład parć gruntu dla terenu załamanego"**.**



Ramka "Teren"

Woda

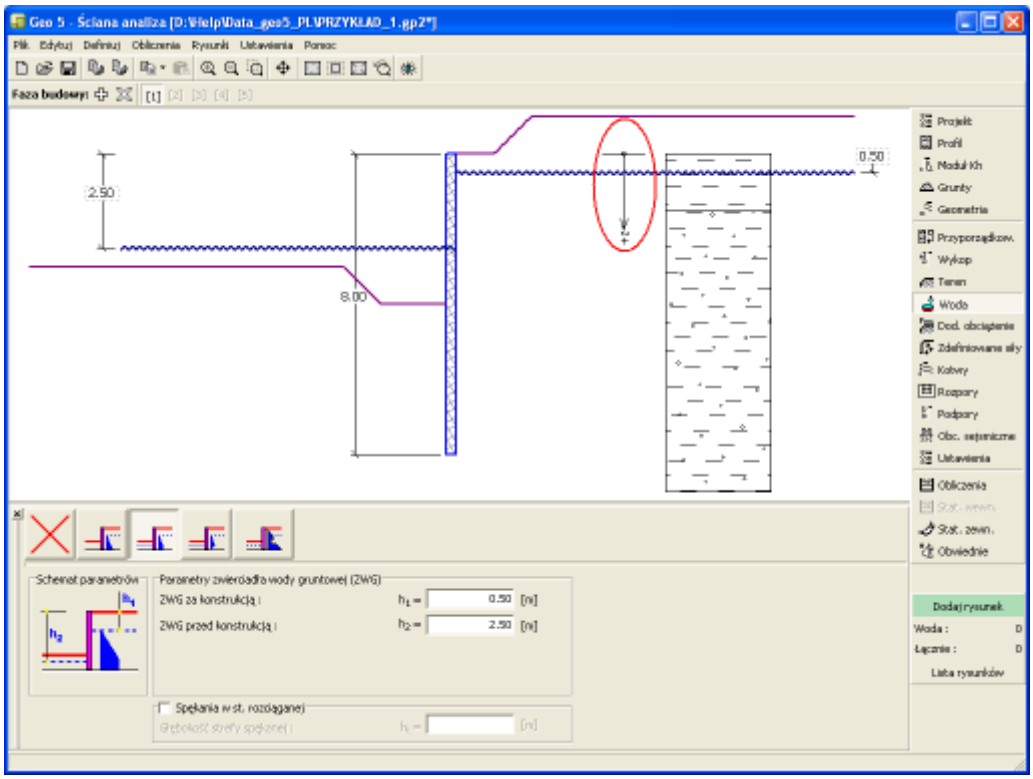
Ramka "**Woda**" umożliwia określenie rodzaju wody gruntowej przy pomocy jednego z dostępnych przycisków. Wybrany schemat z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Parametry wody (h_1, h_2...) wybranego schematu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego ciśnienia porowego wody w gruncie zarówno przed jak i za konstrukcją. W takim przypadku, pojawiają się dwie zakładki z tabelami "**Przed konstrukcją**" i "**Za konstrukcją**". Tabele te wypełnia się wartościami ciśnienia porowego odpowiednio przed lub za konstrukcją na głębokości "z" (oś z).

W programie istnieje również możliwość zdefiniowania zwierciadła wody gruntowej (ZWG) **ponad konstrukcją** lub ponad profilem gruntu - w takim przypadku, poziom wody wprowadza się za pomocą wartości ujemnej.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem wpływu wody zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ wody".

Ponadto, program umożliwia zdefiniowanie głębokości rys rozciąganych h_t wypełnionych wodą.



Ramka "Woda"

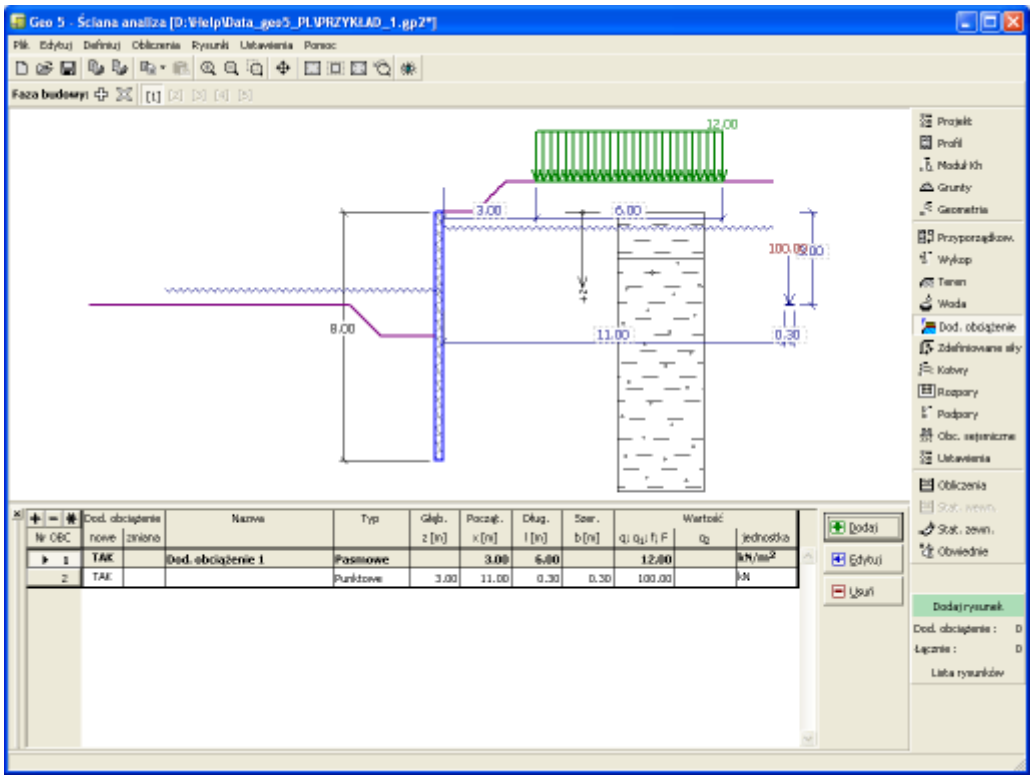
Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych obciążeń. Dodawanie obciążenia wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Zdefiniowane obciążenia można edytować na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów lub aktywnych obiektów.

Przy definiowaniu obciążenia na pewnej głębokości wprowadzana jest rzędna z, mierzona od górnego punktu konstrukcji (kierunek dodatni w dół). W przypadku, gdy obciążenie znajduje się poza terenem, program wyświetla komunikat błędu przed rozpoczęciem obliczeń.

W programie istnieje możliwość zdefiniowania obciążeń **stałych, zmiennych** lub **wyjątkowych**. Wybór rodzaju obciążenia wpływa na dobór stosownego współczynnika obliczeniowego do przemnożenia wynikowych oddziaływań. Obciążenia wyjątkowe oddziałujące w sposób korzystny nie są uwzględniane w obliczeniach.

Obliczenia parć gruntu wywołanych obciążeniami zewnętrznymi zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążenia".



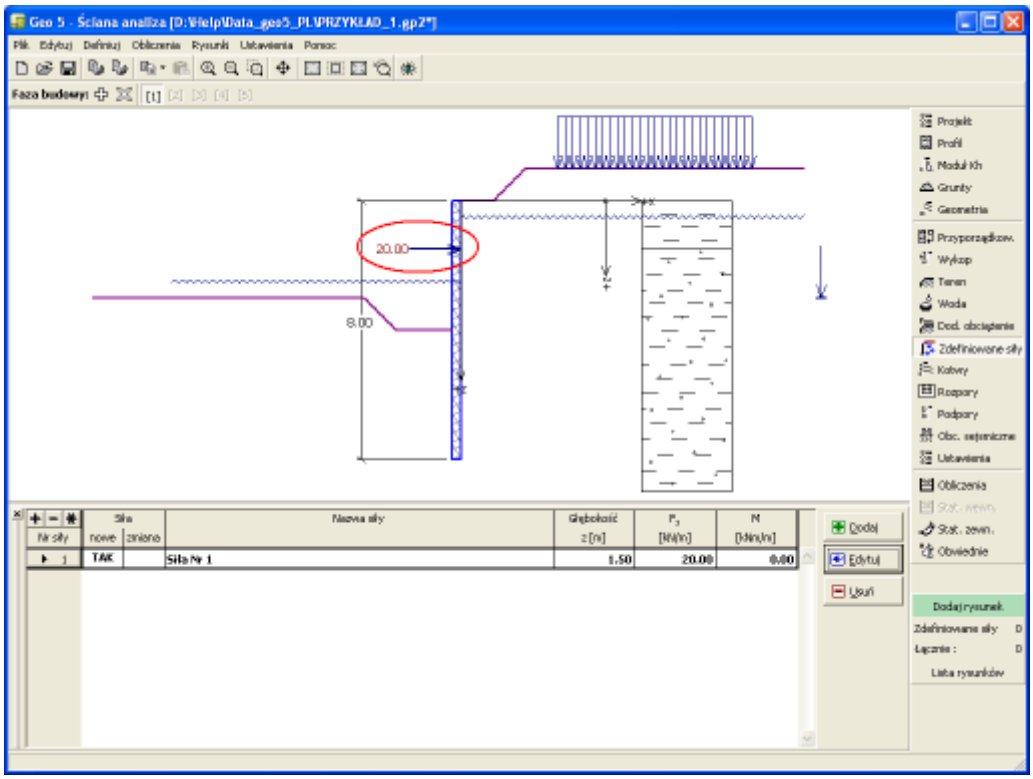
Ramka "Obciążenie"

Zdefiniowane siły

Ramka "**Zdefiniowane siły**" zawiera tabelę z listą definiowanych sił oddziałujących na konstrukcję. Dodawanie sił wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowa siła**". Istnieje także możliwość edycji zdefiniowanych sił na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

Zdefiniowane siły reprezentują dodatkowe obciążenia oddziałujące na konstrukcje oporową, ścianę wykopu czy nasyp zbrojony. W ten sposób istniej możliwość modelowania takich elementów jak: obciążenia od bilboardów, ekranów czy barier drogowych. Program nie dostosowuje (nie zmienia) w żaden sposób zdefiniowanych sił w toku obliczeń, za wyjątkiem przemnażania ich przez odpowiednie współczynniki zgodnie z wybranym rodzajem oddziaływania (EN1997, LRFD).

Obciążenia zewnętrzne oddziałujące na naziomie (na powierzchni terenu) należy definiować jako obciążenie.



Ramka "Zdefiniowane siły"

Kotwy

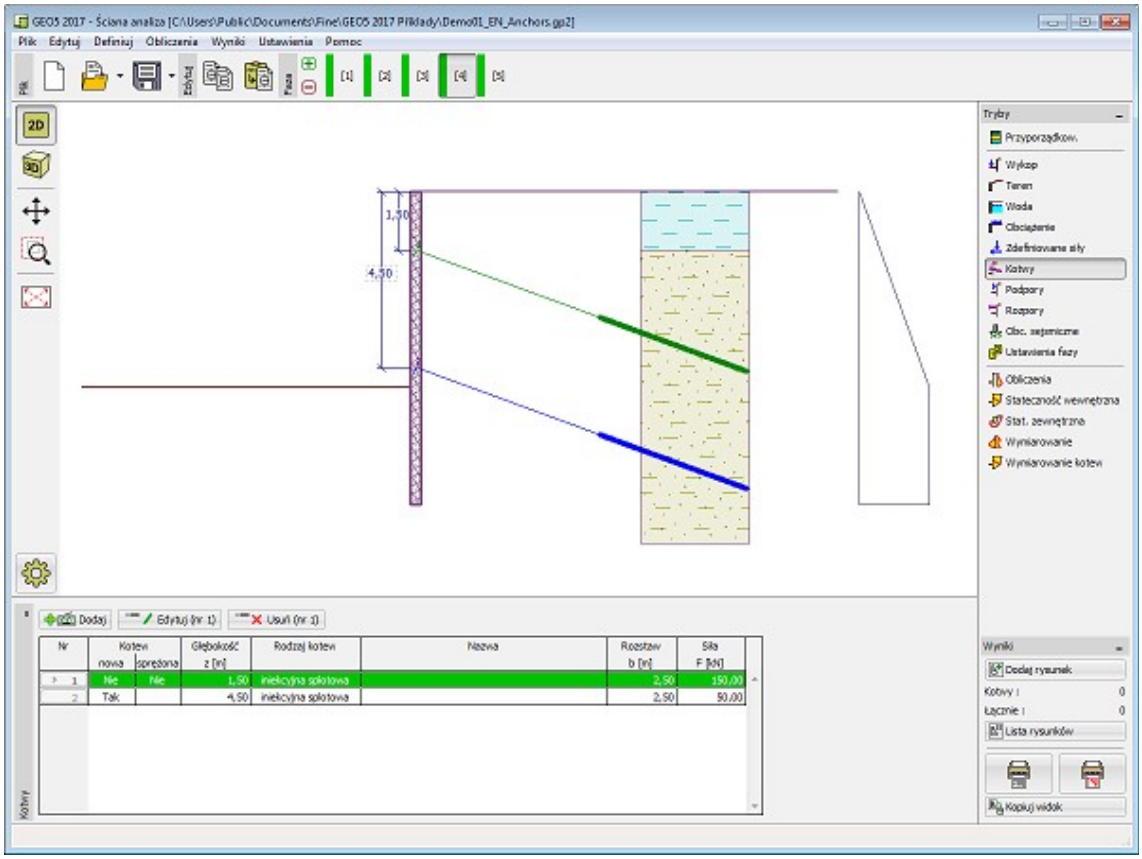
Ramka "**Kotwy**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych kotew. Dodawanie kotew wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowa kotew**". Istnieje także możliwość edycji zdefiniowanych kotew na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

Kotew jest automatycznie umieszczana na **odkształconej wcześniej konstrukcji** (przemieszczenie uzyskiwane jest z poprzednej fazy budowy).

Kotwy mogą być zdefiniowane jako iniekcyjne (nie zdefiniowane, prętowe, splotowe) oraz bierne (śrubowe, prętowe, z płytą kotwiącą). **Sztywność kotew iniekcyjnych** przejawia się w ich obliczeniach w kolejnych fazach budowy.

Sztywność kotew iniekcyjnych mobilizuje się w następnych fazach budowy. Dalsze odkształcenie konstrukcji ściany powoduje zmianę sił normalnych w kotwach.

W **kolejnych fazach** nie można edytować kotew, istnieje jedynie możliwość zmiany siły sprężającej w kotwie.



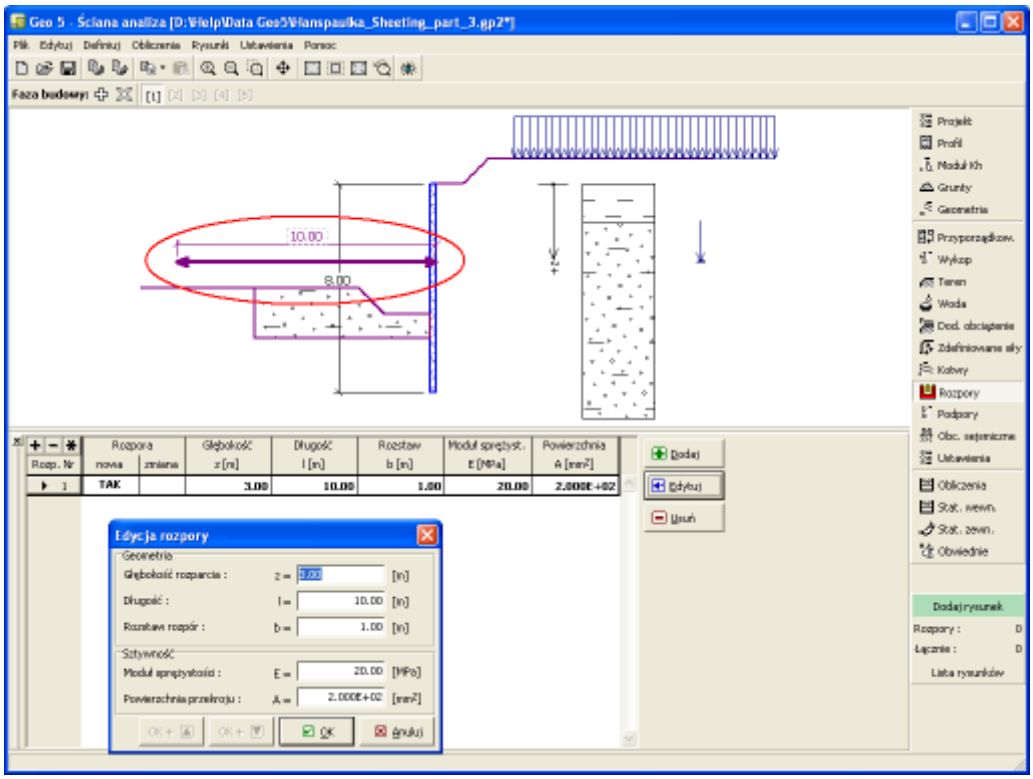
Ramka "Kotwy"

Rozpory

Ramka "**Rozpory**" zawiera tabelę z listą definiowanych rozpór. Dodawanie rozpór wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowa rozpora**". Istnieje także możliwość edycji zdefiniowanych rozpór na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów lub za pomocą aktywnych wymiarów.

Rozpory są automatycznie umieszczane na wcześniej **odkształconej konstrukcji** (przemieszczenie uzyskiwane jest z poprzednich faz budowy). W następnych fazach nie można już edytować rozpór, istnieje jedynie możliwość zmiany sztywności rozpory. W obliczeniach rozpory modelowane są podobnie jak kotwy, lecz z założeniem zerowej siły początkowej.

Uwaga: Program nie sprawdza nośności rozpór na ściskanie i wyboczenie.

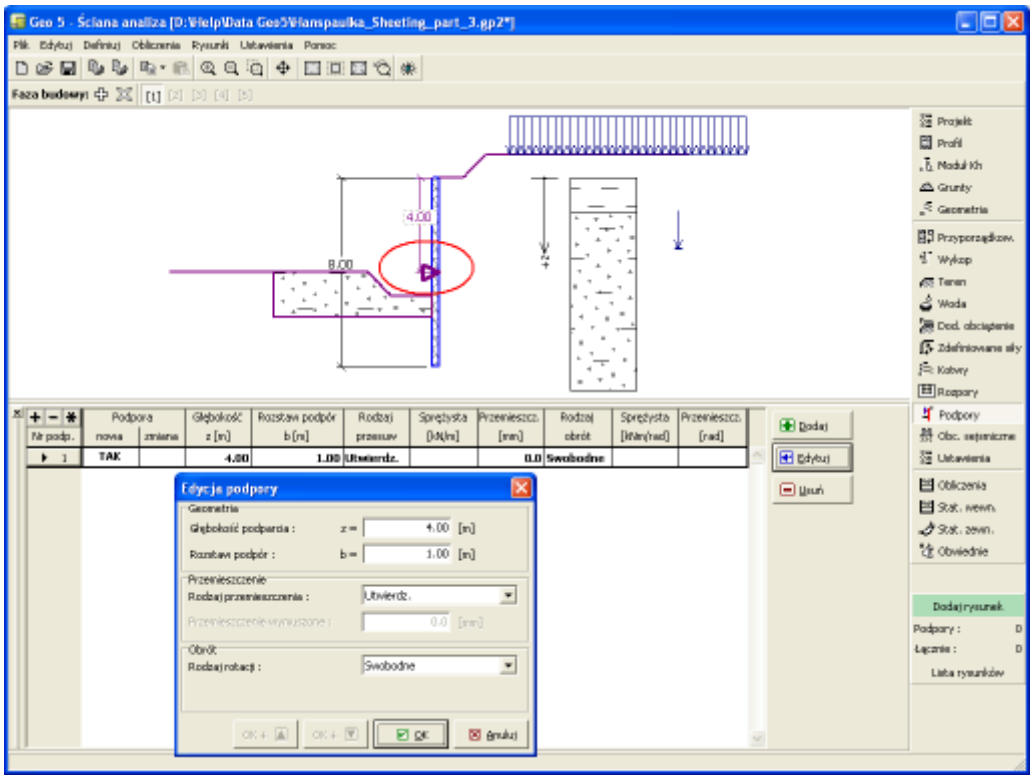


Ramka "Rozpory"

Podpory

Ramka "**Podpory**" zawiera tabelę z listą definiowanych podpór. Dodawanie podpór wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowa podpora**". Istnieje także możliwość edycji zdefiniowanych podpór na pulpicie za pomocą odpowiednio aktywnych obiektów lub aktywnych wymiarów.

Podpory są automatycznie umieszczane na odkształconej wcześniej konstrukcji (przemieszczenia wyznaczane są z poprzednich faz budowy). W następnych fazach, podpory nie mogą być edytowane. Istnieje jedynie możliwość zdefiniowania wymuszonego przemieszczenia podpory.



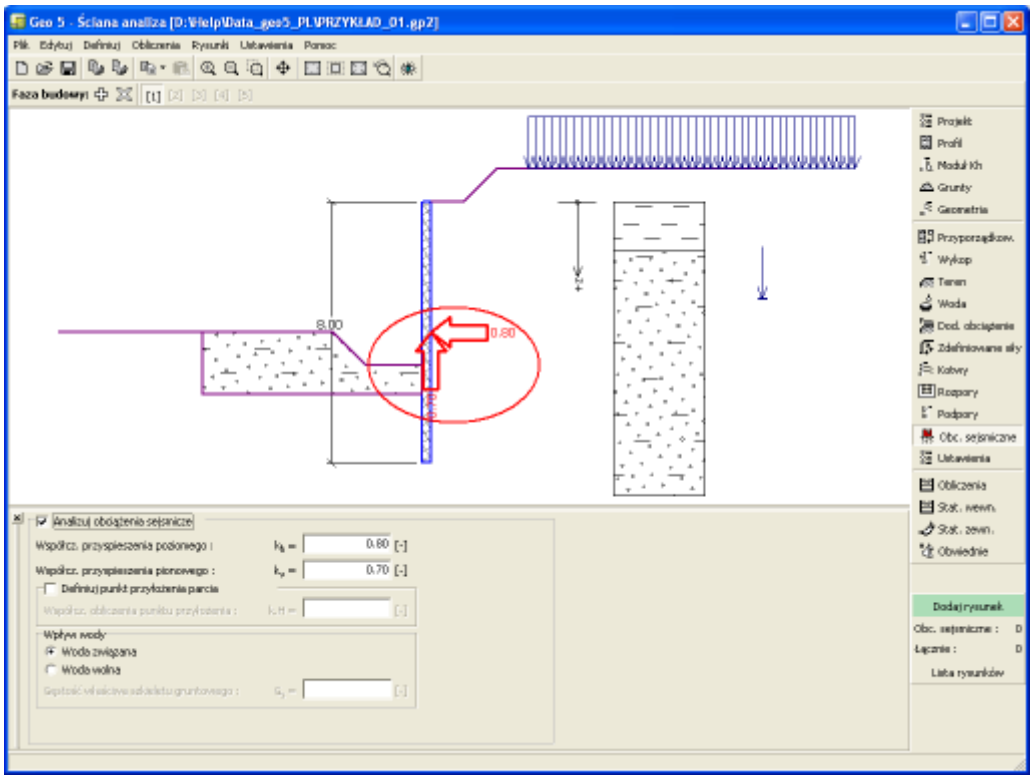
Ramka "Podpory"

Obciążenia sejsmiczne

Ramka "**Obciążenia sejsmiczne**" służy do wprowadzania parametrów obciążeń sejsmicznych. Kierunki skutków obciążeń sejsmicznych są wyświetlane na pulpicie.

Jeśli nie są dostępne wyniki pomiarów współczynniki k_h oraz k_v można wyznaczyć stosując opisane w pomocy podejście z normy EN 1998-5.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem obciążeń sejsmicznych zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążeń sejsmicznych".



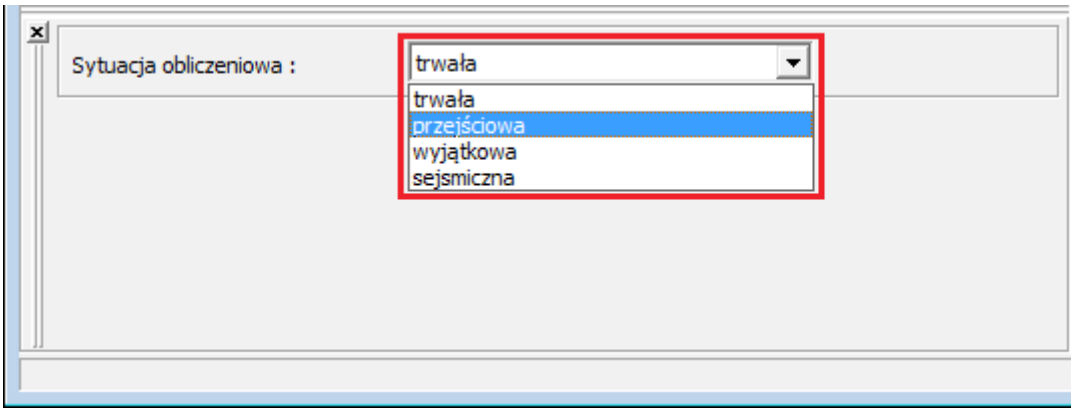
Ramka "Obciążenia sejsmiczne"

Ustawienia fazy

Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących tylko wybranej fazy obliczeniowej.

Wybrana sytuacja obliczeniowa określa współczynniki bezpieczeństwa, które będą zastosowane w obliczeniach danej fazy budowy.

Wygląd ramki zależy od wybranej metody analizy.



Ramka "Ustawienia fazy"

Obliczenia

Ramka "**Obliczenia**" wyświetla wyniki analizy danej fazy budowy. Przełączenie do tego trybu

automatycznie przeprowadza analizę. Ramka zawiera cztery przyciski, które służą do wyświetlania wyników analizy:

K_h + parcia

Wykres wartości modułu reakcji podłoża wyświetlany jest w lewej części pulpitu (domyślnie niebieskim kolorem kreskowania). W odniesieniu do metody parć zależnych, niektóre "sprężynki" (wartości modułu reakcji podłoża) są usuwane z analizy (sztywność sprężynki wynosi zero). Obliczenie **może nie zbiegać się** w przypadku osiągnięcia stanu granicznego przed i za konstrukcją oraz niewystarczającego podparcia konstrukcji (kotwy, podpory). Program nie znajduje wówczas rozwiązania. W dolnej części ramki wyświetlany jest komunikat błędu - przypadek taki wymaga **modyfikacji wprowadzonych danych** - np. dodania kotwy lub rozpory, zmiany głębokości wykopu, zmiany parametrów gruntu, itp.

W niektórych fazach budowy wyświetlana jest (domyślnie żółtą przerywaną linią) deformacja w momencie mobilizacji spoczynkowego parcia gruntu - jest to dodatkowa informacja pokazująca deformację plastyczną konstrukcji.

Rozkład parć granicznych (domyślnie linie zielone - ciągła i przerywane) przedstawiony jest w prawej części okna (parcie bierne, parcie spoczynkowe i parcie czynne). **Rzeczywiste parcie działające na konstrukcję** rysowane jest ciągłą niebieską linią.

Odkształcona (domyślnie ciągła czerwona linia) i nieodkształcona konstrukcja pokazane są w prawej części pulpitu. Siły w kotwach, podporach i rozporach są również pokazane w tym oknie.

Siły wewnętrzne

Rysunek konstrukcji z siłami działającymi w kotwach, podporach i rozporach wyświetlany jest w lewej części pulpitu. Rozkłady momentów zginających oraz sił tnących rysowane są po prawej stronie pulpitu.

Przemieszczenie + Naprężenia

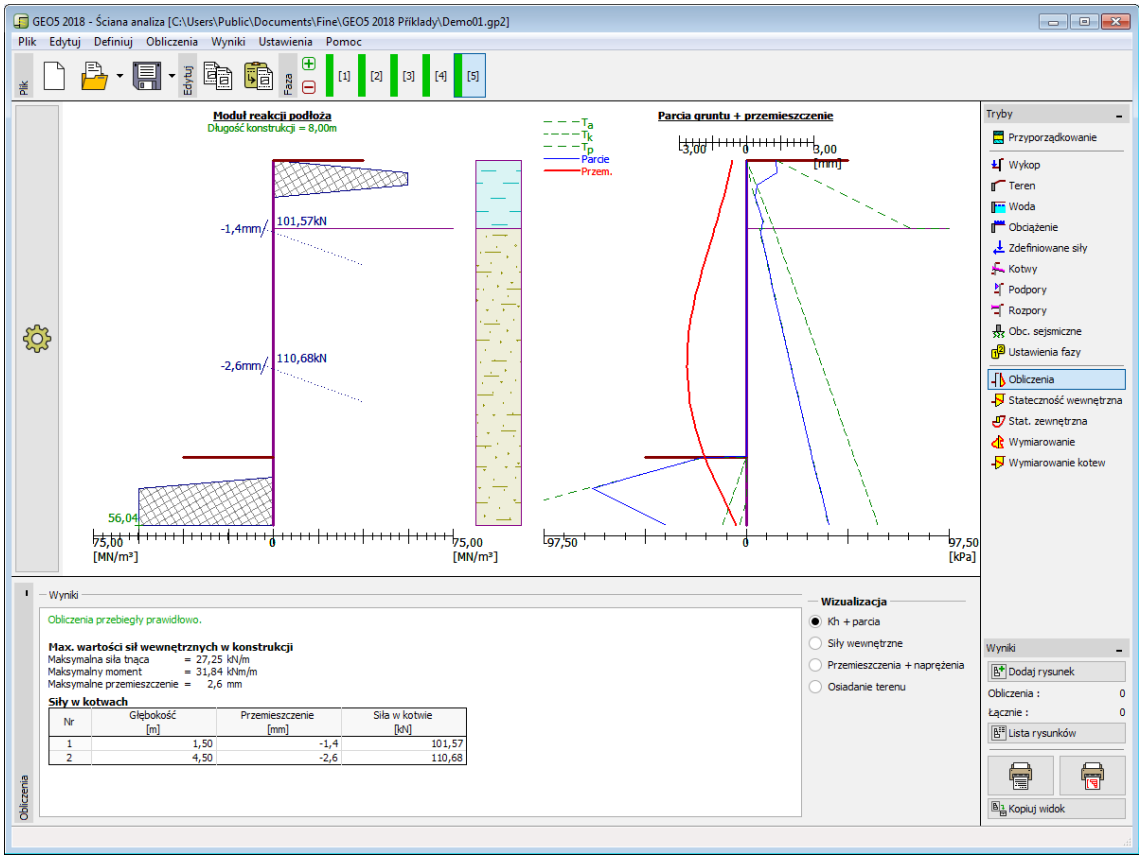
Rysunek konstrukcji z siłami działającymi w kotwach, podporach i rozporach wyświetlany jest w lewej części pulpitu. Wyznaczone teoretyczne przemieszczenia konstrukcji oraz wypadkowe parcie działające na konstrukcję ściany wyświetlane są po prawej stronie ekranu.

Osiadanie terenu

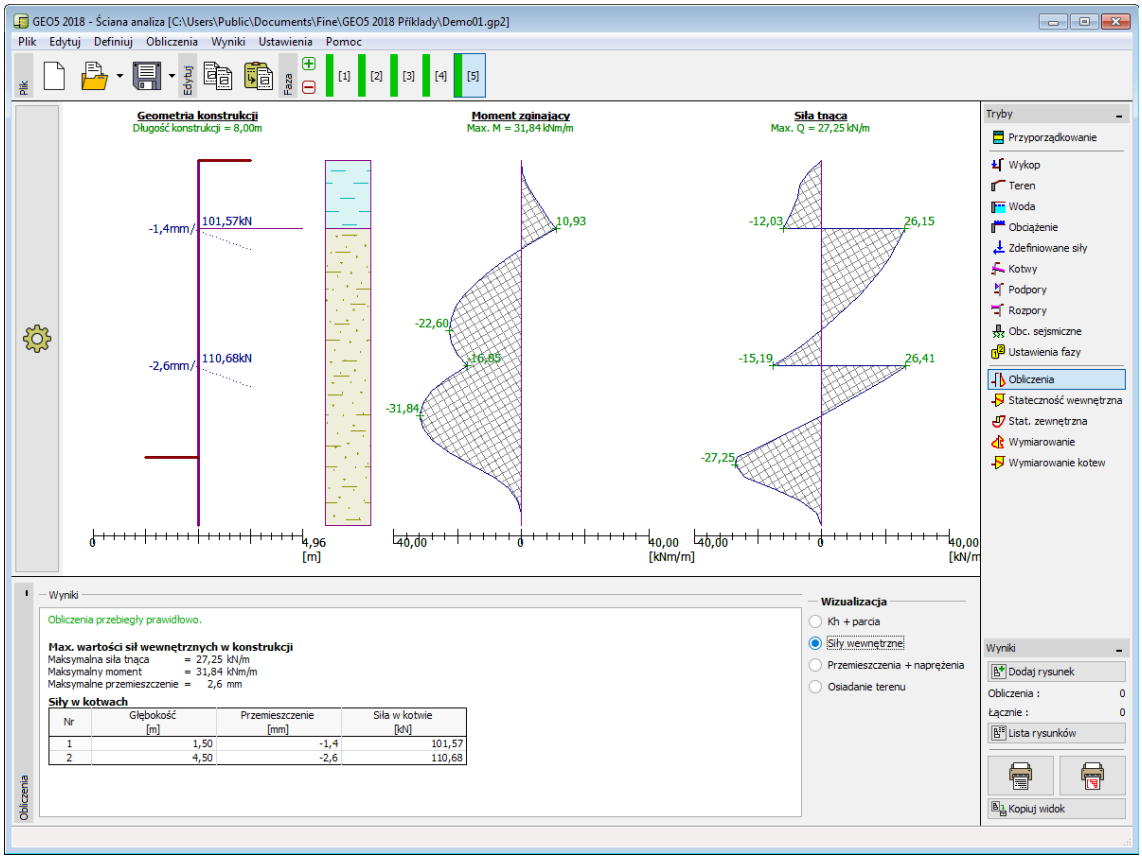
Rysunek konstrukcji wyświetlany jest w lewej części pulpitu. Osiadanie terenu wykreślane jest z prawej strony ekranu. Metodę wyznaczania osiadań terenu za konstrukcją należy wybrać w ramce "Ustawienia" w zakładce "Analiza parć".

Jeżeli moduł reakcji podłoża wyznaczany jest iteracyjnie, konieczne jest sprawdzenie przebiegu **iteracji manualnej** w oknie dialogowym "**Iteracja**". Szczegółowe informacje zostały podane w części teoretycznej pomocy, w rozdziale **"**Moduł reakcji podłoża wyznaczny iteracyjnie**"**.

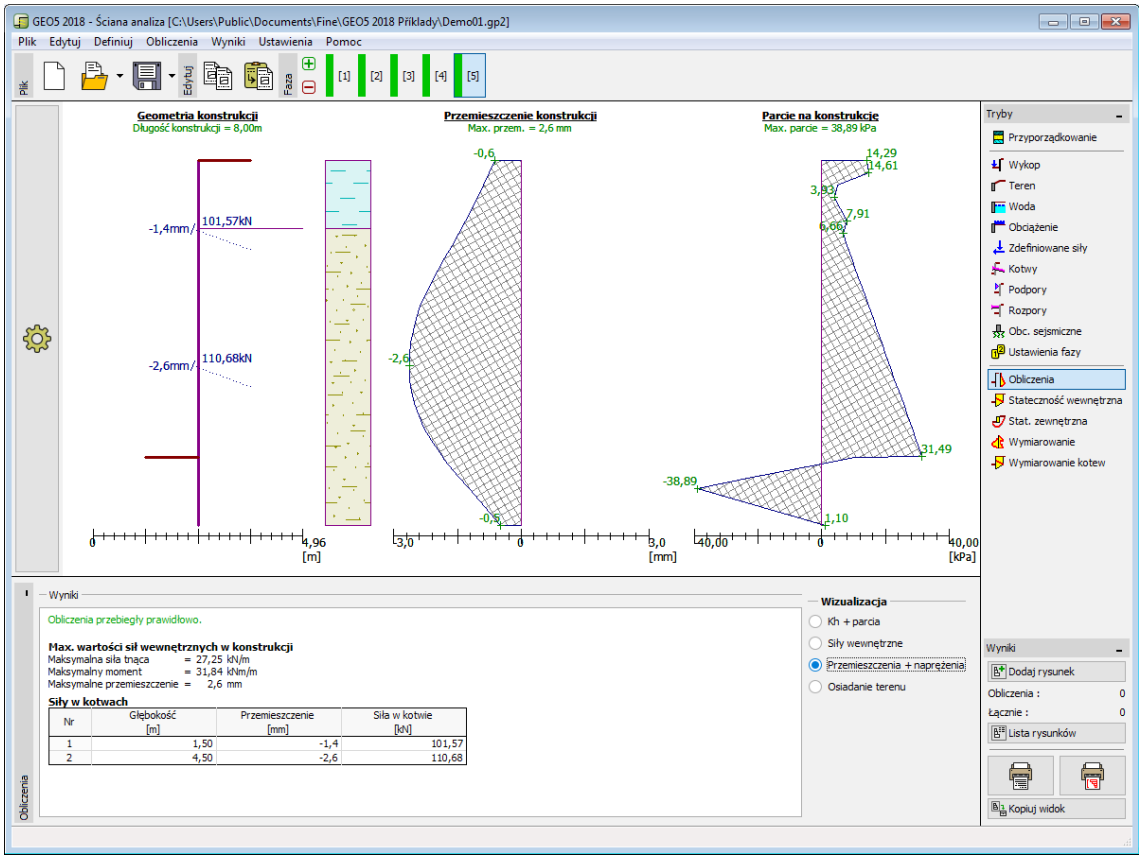
Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



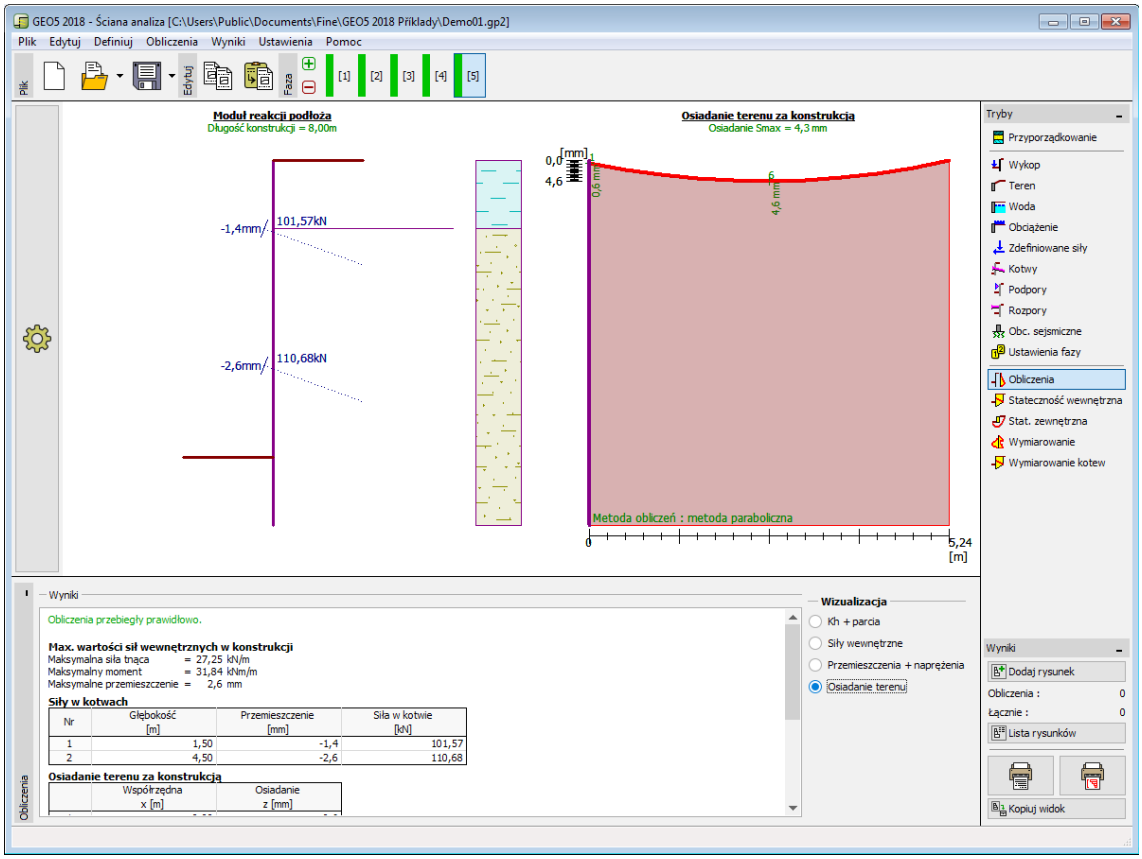
Ramka "Obliczenia" - moduł reakcji podłoża, parcia gruntu i przemieszczenie



Ramka "Obliczenia" - moment zginający i siła tnąca



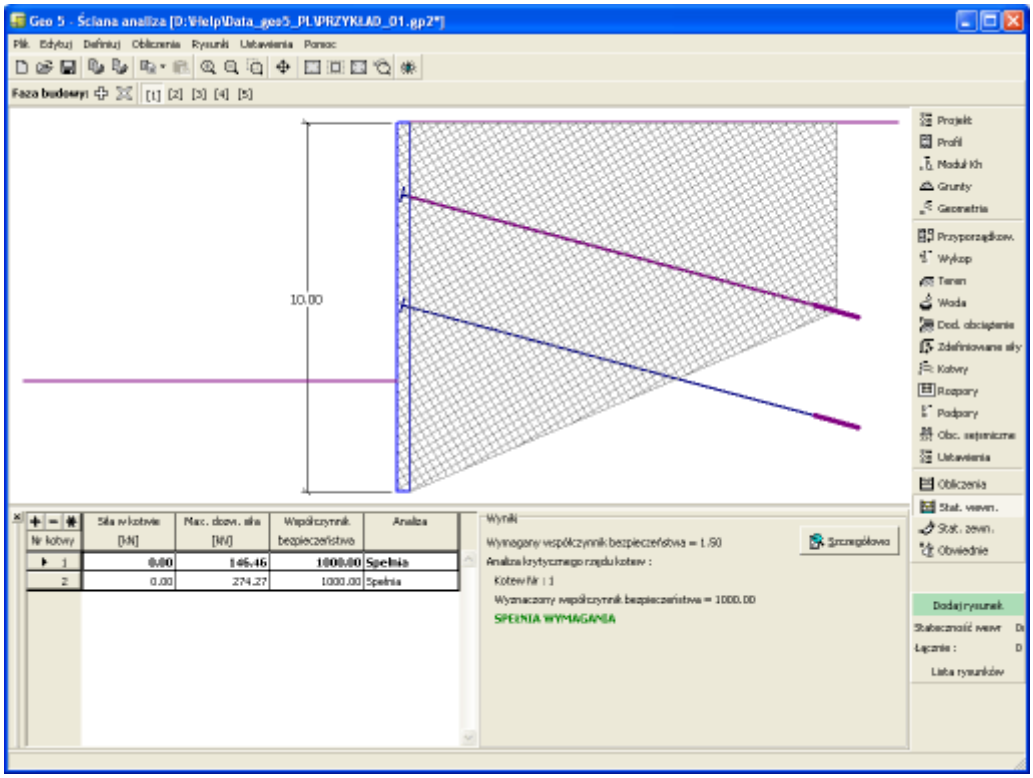
Ramka "Obliczenia" - przemieszczenie i parcie gruntu działające na konstrukcję



Ramka "Obliczenia" - osiadanie terenu

Stateczność wewnętrzna

Ramka ta służy do sprawdzenia wewnętrznej stateczności kotew - wobec tego jest ona dostępna tylko w fazach, w których kotwy występują. Dla każdego rzędu kotew, tabela pokazuje zdefiniowane **siły w kotwach** oraz **maksymalne dopuszczalne siły** w poszczególnych kotwach. Sprawdzenie najbardziej wytężonego rzędu kotew wyświetlane jest w prawej części ramki.

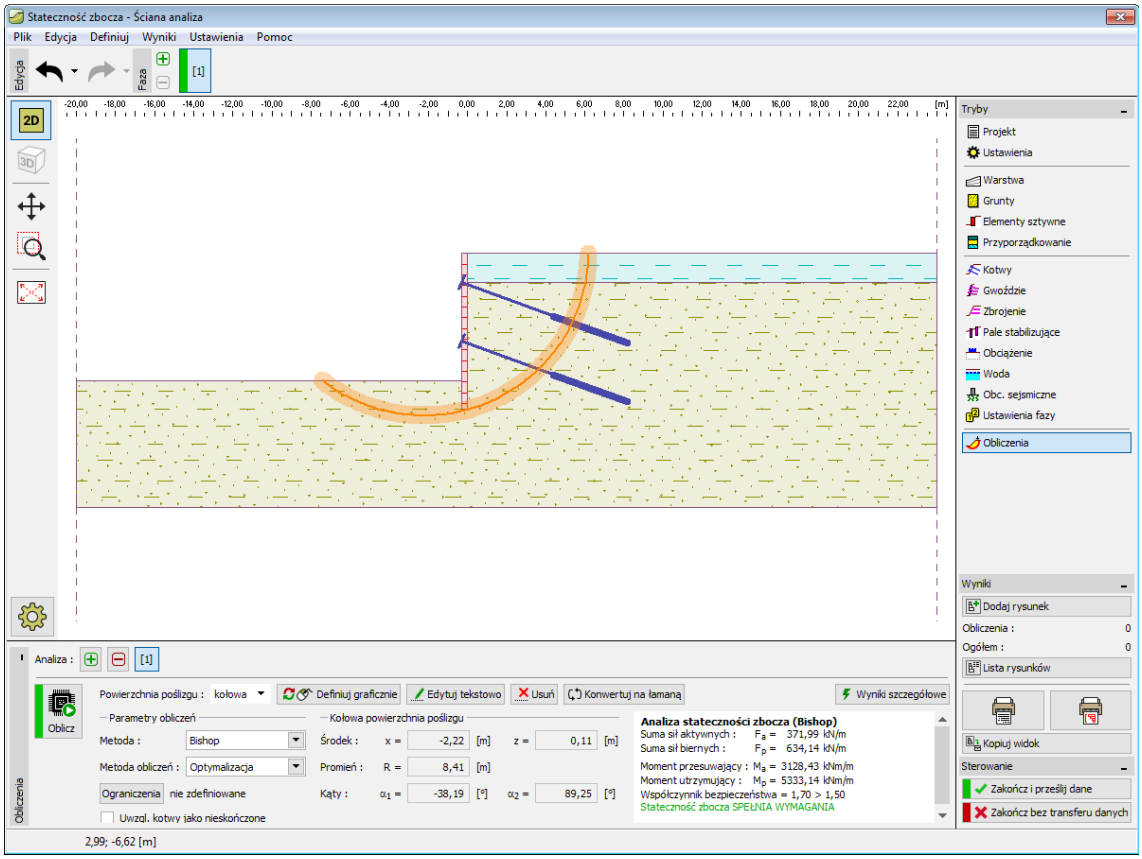


Ramka "Stateczność wewnętrzna"

Stateczność zewnętrzna

Naciśnięcie przycisku "**Stateczność zewnętrzna**" uruchamia program "**Stateczność zbocza**". Program ten umożliwia sprawdzenie ogólnej stateczności analizowanej konstrukcji. Przycisk ten jest dostępny, jeżeli program "**Stateczność zbocza**" jest zainstalowany.

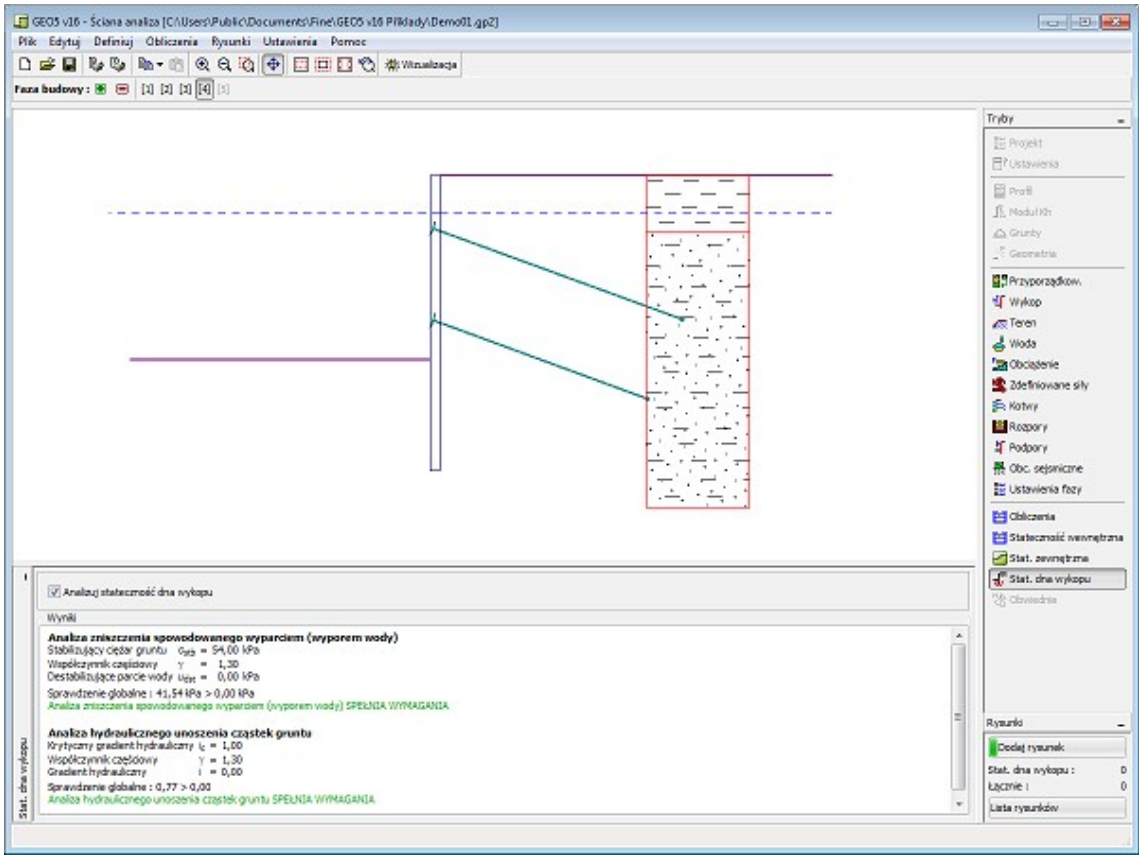
Po zakończeniu obliczeń stateczności należy kliknąć przycisk "**Zakończ i prześlij dane**" aby opuścić program i przekazać wyniki obliczeń do raportu z obliczeń stworzonego w programie "**Ściana analiza**".



Ramka "Stateczność zewnętrzna"

Stateczność dna wykopu

Ramka "**Stateczność dna wykopu**" służy weryfikacji utraty stateczności dna wykopu spowodowanego wyparciem (wyporem wody) oraz hydraulicznym unoszeniem cząstek gruntu. Ramka ta jest dostępna jedynie w przypadku, gdy wpływ wody uwzględniany jest jako "Parcie hydrodynamiczne" (podstawa konstrukcji zagłębiona jest w gruntach niespoistych, co pozwala na swobodny przepływ wody pod konstrukcją).



Ramka "Stateczność dna wykopu"

Wymiarowanie

Ramka "**Wymiarowanie**" umożliwia wyświetlenie obwiedni sił wewnętrznych i przemieszczeń ze wszystkich analiz (faz budowy). Domyślnie, obwiednia tworzona jest z wyników wszystkich faz budowy. Istnieje jednak możliwość utworzenia obwiedni tylko z **wybranych faz.** Przycisk "**Edytuj**" otwiera okno dialogowe "**Wybór fazy budowy**". W oknie tym można dokonać wyboru faz budowy, które będą wykorzystane do wygenerowania obwiedni (poprzez naciśnięcie odpowiednich przycisków).

Maksymalne wartości wyznaczonych sił wewnętrznych (momentów zginających i sił tnących) oraz przemieszczeń wyświetlane są w dolnej części ramki.

Program umożliwia wymiarowanie przekrojów żelbetowych, stalowych oraz drewnianych (przy wybraniu opcji "**Wymiaruj przekrój**").

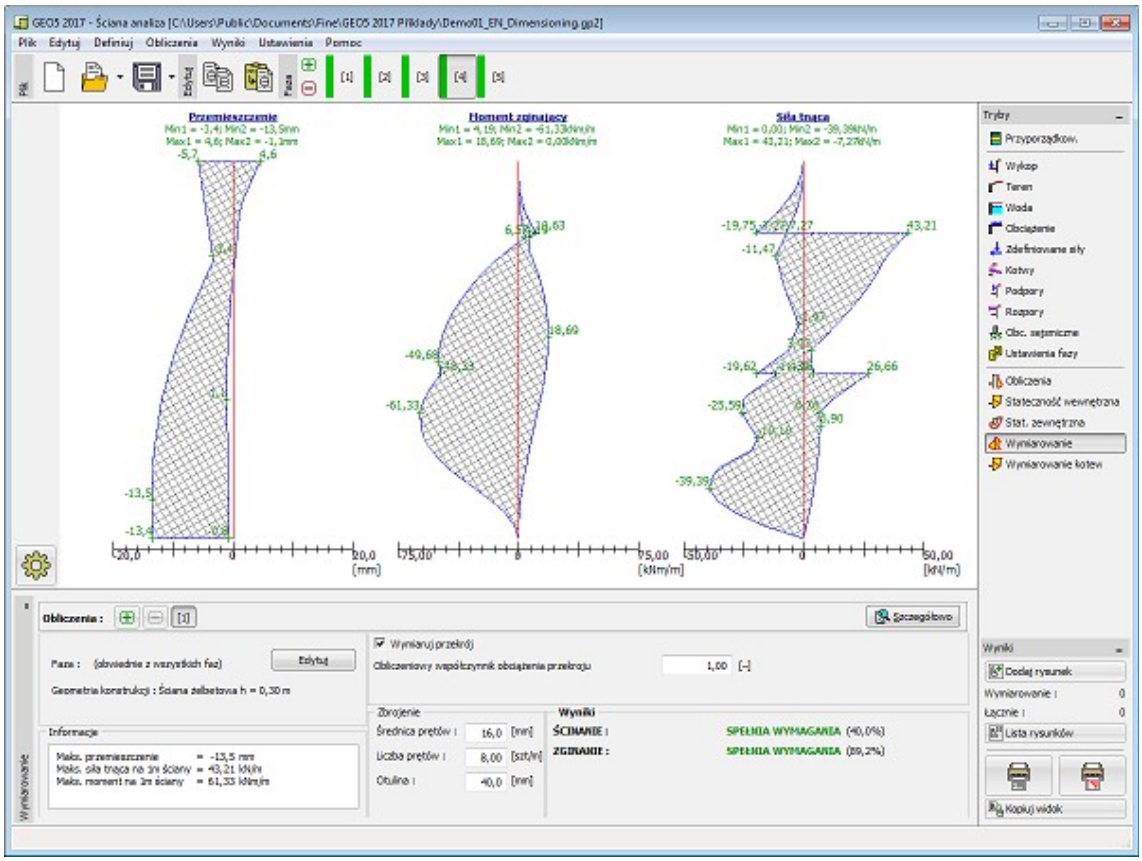
Podczas wymiarowania przekroju istnieje możliwość zdefiniowania **współczynnika redukcji nośności** przekroju, który redukuje całkowitą nośność przekroju. Jeśli analiza prowadzona była **z uwzględnieniem redukcji** parć gruntu wartość tego współczynnika powinna być przyjmowana 1,0. W przypadku analiz **bez uwzględnienia redukcji** parć gruntu (w celu zapewnienia realistycznej pracy konstrukcji) zaleca się zwiększenie wyznaczonych sił poprzez zdefiniowanie wartości tego współczynnika większej niż 1,0 (Według EN 1997 rekomendowana wartość tego współczynnika wynosi od 1.35-1.5).

Podczas wymiarowania przekrojów stalowych, dostępne są następujące opcje uwzględnienia **wpływu siły normalnej**:

- **siły normalne - nie uwzględniaj**: program nie uwzględnia wpływu siły normalnej.

- **siły normalne - lokalne pod kotwą**: program zakłada maksymalną wartość lokalnej siły normalnej w miejscu kotwienia, w postaci $N = F*sin\,\alpha$, gdzie α określa kąt pochylenia kotwy.
- **siły normalne - suma wpływu kotew**: program dodaje wpływ siły normalnej w postaci sumy oddziaływań wszystkich zdefiniowanych kotew.
- **siły normalne - definiuj**: wartość siły normalnej definiowana jest przez Użytkownika N

Ramka ta umożliwia wykonanie większej liczby obliczeń wymiarowania przekroju. Przycisk **"Szczegółowo"** z prawej strony ramki otwiera okno dialogowe "**Wymiarowanie**", w którym pokazane są szczegółowe wyniki analiz.



Ramka "Wymiarowanie"

Wymiarowanie kotew

Ramka "**Wymiarowanie kotew**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych kotew.

W ramce tej sprawdzana jest **całkowita nośność kotew**.

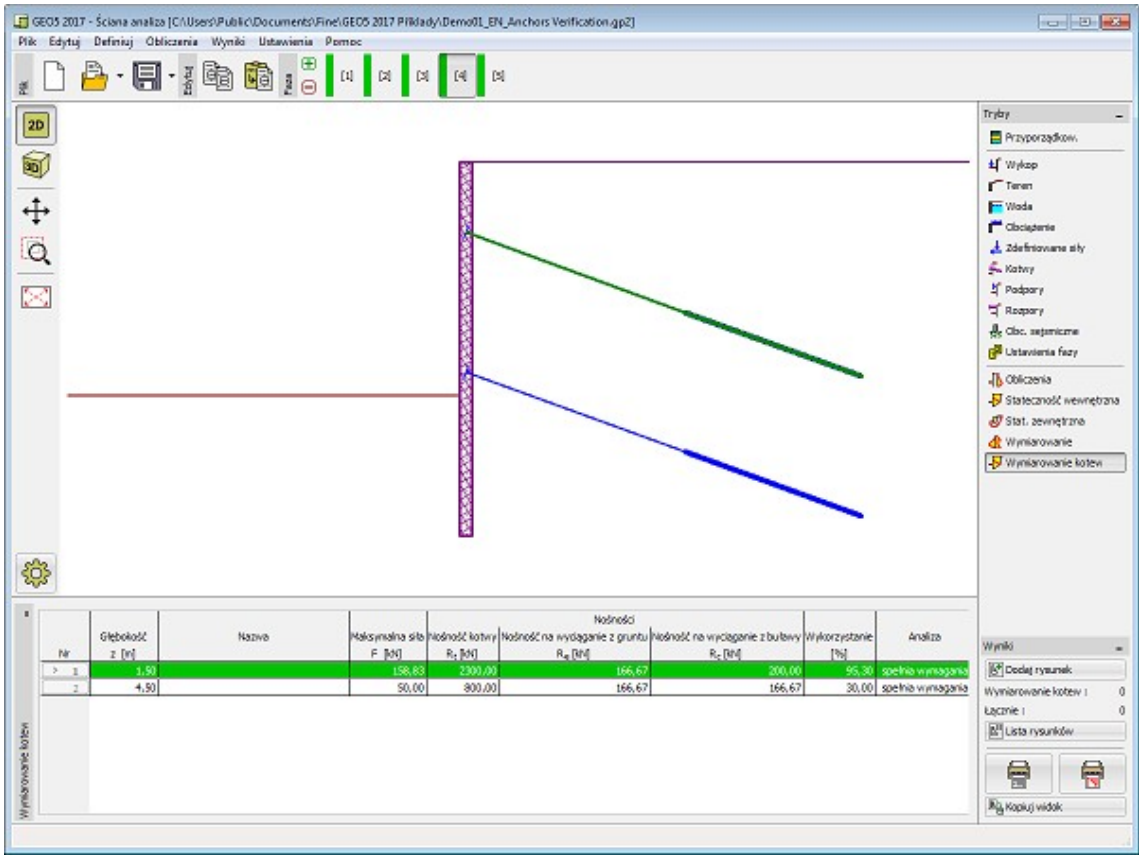
Kotwy weryfikowane są pod kątem trzech różnych **sposobów zniszczenia.**

- Nośność na zerwanie R_t
- Nośność na wyciąganie (z gruntu) R_e
- Nośność na wyciąganie (z buławy) R_c

Wyznaczone **nośności** kotew **są redukowane** poprzez odpowiednie współczynniki bezpieczeństwa lub współczynniki redukcji, zdefiniowane w ramce "Ustawienia", w zakładce

"Kotwy". Kotew spełnia wymagania jeśli maksymalna siła w kotwie P_{max} jest mniejsza od wszystkich wyznaczonych nośności.

$$\min\left(\frac{R_t}{SF_t};\frac{R_s}{SF_s};\frac{R_c}{SF_c}\right)\geq P_{\max}$$



Ramka "Wymiarowanie kotew"

Program Pal stabilizujący

Program ten służy do projektowania palisad stabilizujących zbocza lub zwiększających współczynnik stateczności zbocza. Pierwsze obliczenia powinny być wykonane w programie Stateczność zbocza, w którym wyznaczane są czynne i bierne siły oddziałujące na konstrukcję palisady. Następnie, obciążenia i lokalizacja powierzchni poślizgu zostają przeniesione do programu Pal stabilizujący, w którym przeprowadzane są kolejne obliczenia (wyznaczenie sił wewnętrznych i przemieszczeń pala oraz wymiarowanie zbrojenia pala).

Pomoc w programie "Pal stabilizujący" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

Projekt Ustawienia Profil Moduł Kh Badania presjometry Badania dylatometry Grunty

				czne (PMT)	czne (DMT)	
Geometria	Materiał	Definicja parcia	Skała	Przyporządkowanie	Lico konstrukcji	Teren
Woda	Obciążenie	Zdefiniowane siły	Kotwy	Podpory	Obciążenia sejsmiczne	Ustawienia fazy
Obliczenia	Wymiarowanie	Wymiarowanie kotew				

- Normy i metody obliczeniowe

- Teoria obliczeniowa do programu "**Pal stabilizujący**":

Naprężenia w gruncie	Parcia gruntu	Ściana analiza	Pal stabilizujący	Wymiarowanie konstrukcji betonowych	Wymiarowanie przekrojów stalowych

- Dane wyjściowe

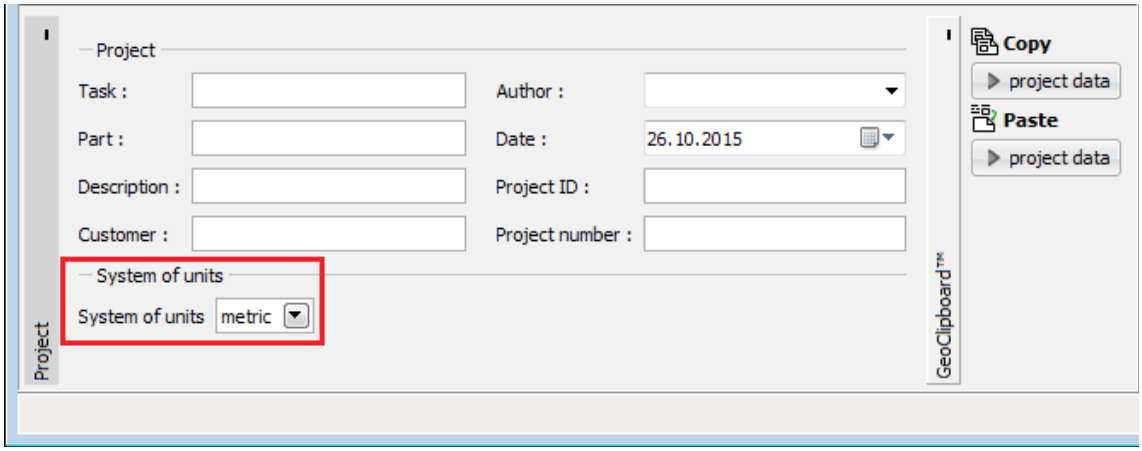
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5

- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

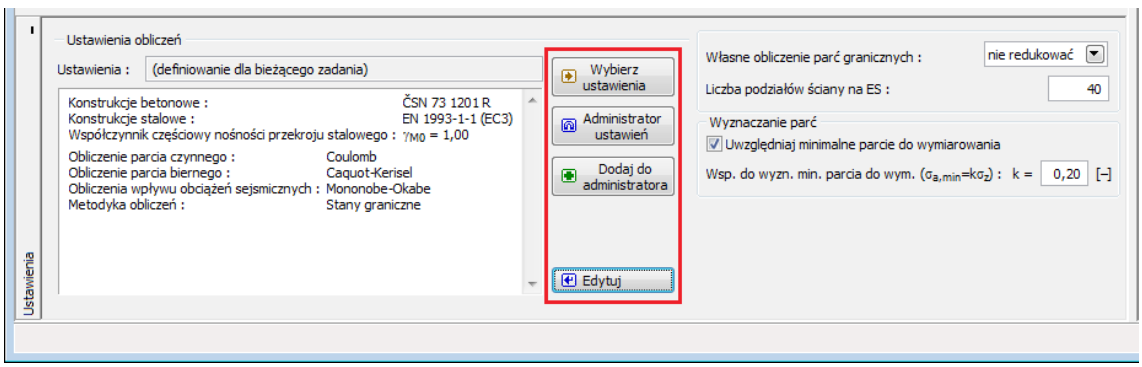
Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładkach "Materiały i normy" oraz "Analiza parć".

W przypadku wykonywania obliczeń według EN 1997 według teorii stanów granicznych program umożliwia dokonanie wyboru czy parametry materiałowe gruntów będą redukowane w obliczeniach parć granicznych czy nie. W przypadku modelowania rzeczywistej pracy konstrukcji zaleca się zrezygnowanie z redukcji parć.

Ramka Ustawienia umożliwia także użytkownikowi określenie podziału ściany na elementy skończone (domyślna liczba elementów wynosi *40*) oraz zdecydowanie czy konstrukcja będzie obciążona minimalnym parciem do wymiarowania.



Ramka "Ustawienia"

Profil

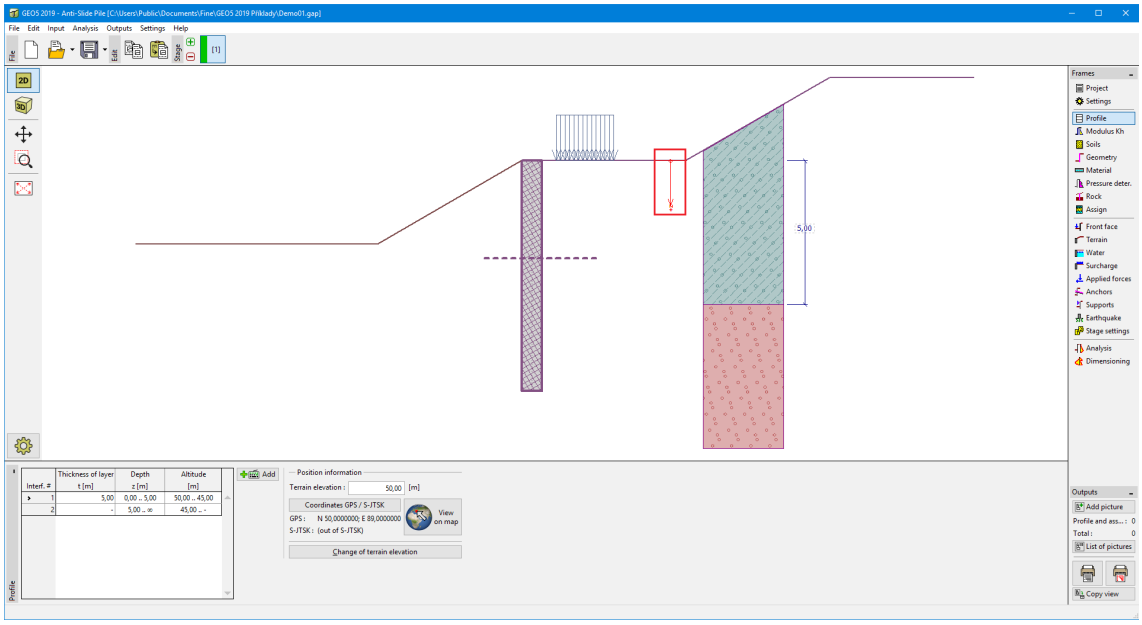
Ramka "**Profil**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych warstw. Po zdefinowaniu poszczególnych warstw można edytować ich miąższość za pomocą aktywnych wymiarów.

Dodawanie lub edycję warstw wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowa warstwa**". Definiowana jest rzędna z mierzona od górnego punktu konstrukcji (oś-z).

In this frame it is also possible to enter optional information about the structure location:

- **terrain elevation** - an altitude column for the layers is displayed in the table after input of terrain elevation
- **GPS coordinates** - it is possible to show a structure on the Google Maps using "**View on map**" button after input of coordinates.

Program umożliwia obniżenie lub podniesienie górnego punktu konstrukcji w oknie dialogowym "**Zmiana rzędnej terenu**", a zdefiniowane warstwy będą wówczas przesunięte, jednocześnie zachowując swoją miąższość. Funkcja ta jest istotna podczas kopiowania profilu z programu "**Teren**".



Ramka "Profil"

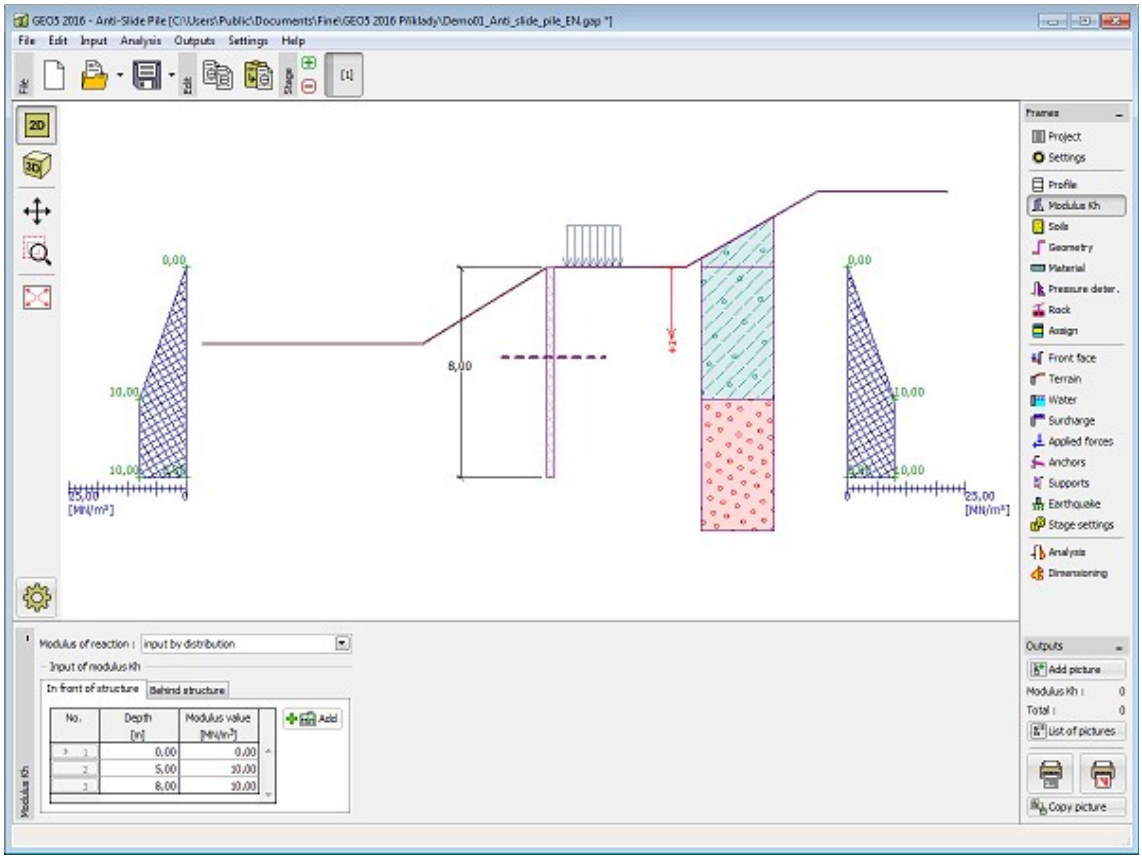
Moduł Kh

Ramka ta służy do określenia sposobu wyznaczania modułu reakcji podłoża, który jest istotnym parametrem wejściowym podczas analizy konstrukcji obudowy wykopu za pomocą metody parć zależnych.

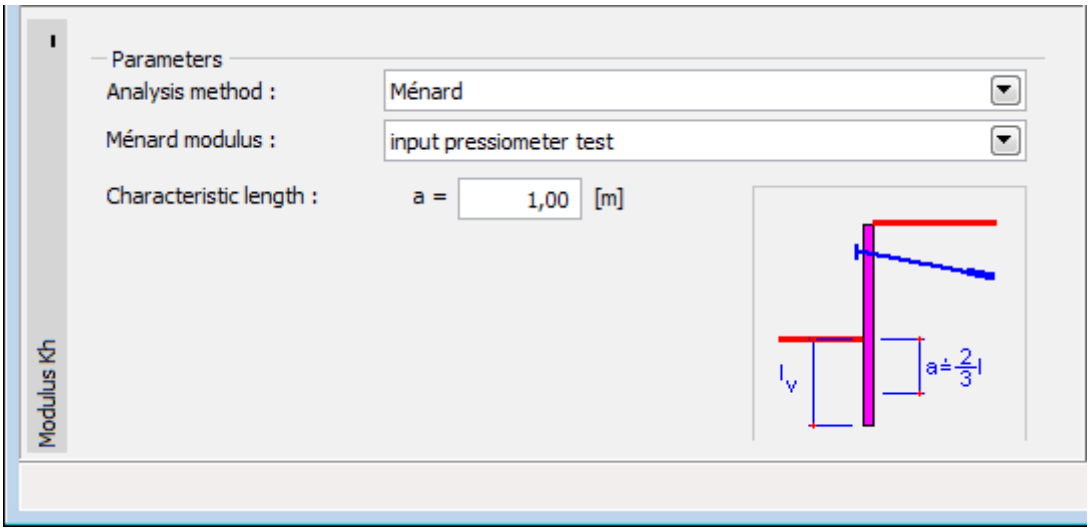
Wyboru sposobu wyznaczania modułu reakcji podłoża k_h można dokonać w ramce "Ustawienia" (w oknie dialogowym "**Edycja ustawień bieżących**" w zakładce "Analiza Parć").

Ramka przyjmuje różną formę w zależności od wybranej metody wyznaczania modułu:

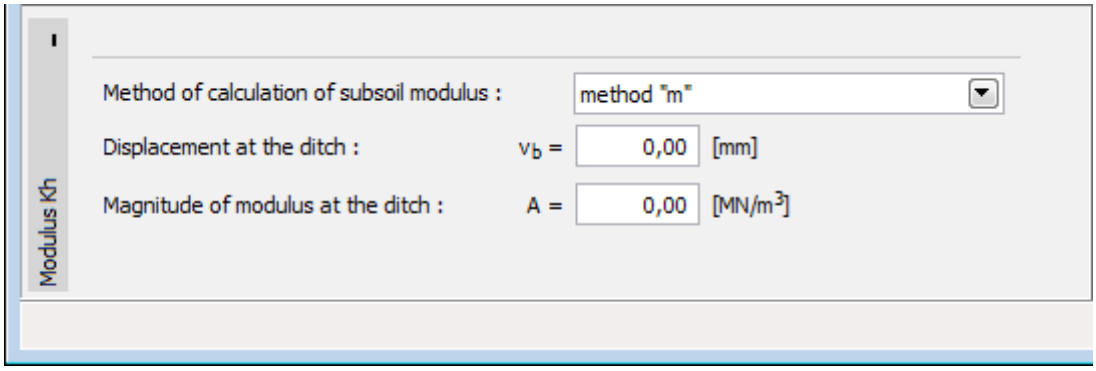
- **domyślnie** (opcje: "wyznacz – Schmitt", "wyznacz – Chadeisson", "iteracja manualna" lub "iteracja automatyczna")
- **definiuj** (wybór opcji "**Definiuj rozkład**" otwiera w ramce tabelę, która umożliwia zdefiniowanie wartości modułu reakcji podłoża k_h zarówno przed jak i za konstrukcją. W przypadku wyboru opcji "**Definiuj jako parametr gruntu**" moduł k_h definiowany jest w ramce "Grunty", w której moduł reakcji podłoża może byc definiowany jako **liniowy**, lub jako **nieliniowy - krzywa**)
- **presiometr PMT** (moduł reakcji podłoża k_h może być definiowany zarowno za pomocą badania presjometrycznego, lub jako parametr gruntu w ramce "Grunty". Istnieje także możliwość wyboru metody wyznaczania modułu - według NF P 94-282 lub według Menarda)
- **normy chińskie** (w przypadku wyboru metody "m" definiuje się przemieszczenie poziome w dnie wykopu v_b $[mm]$ oraz wartość modułu A $[MN/m^3]$, w przypadku opcji definiuj jako parametr gruntu – można wybrać jedną spośród trzech metod: metody "c", "k" lub "m")



Ramka "Moduł k_h" - wybór "definiuj rozkład"



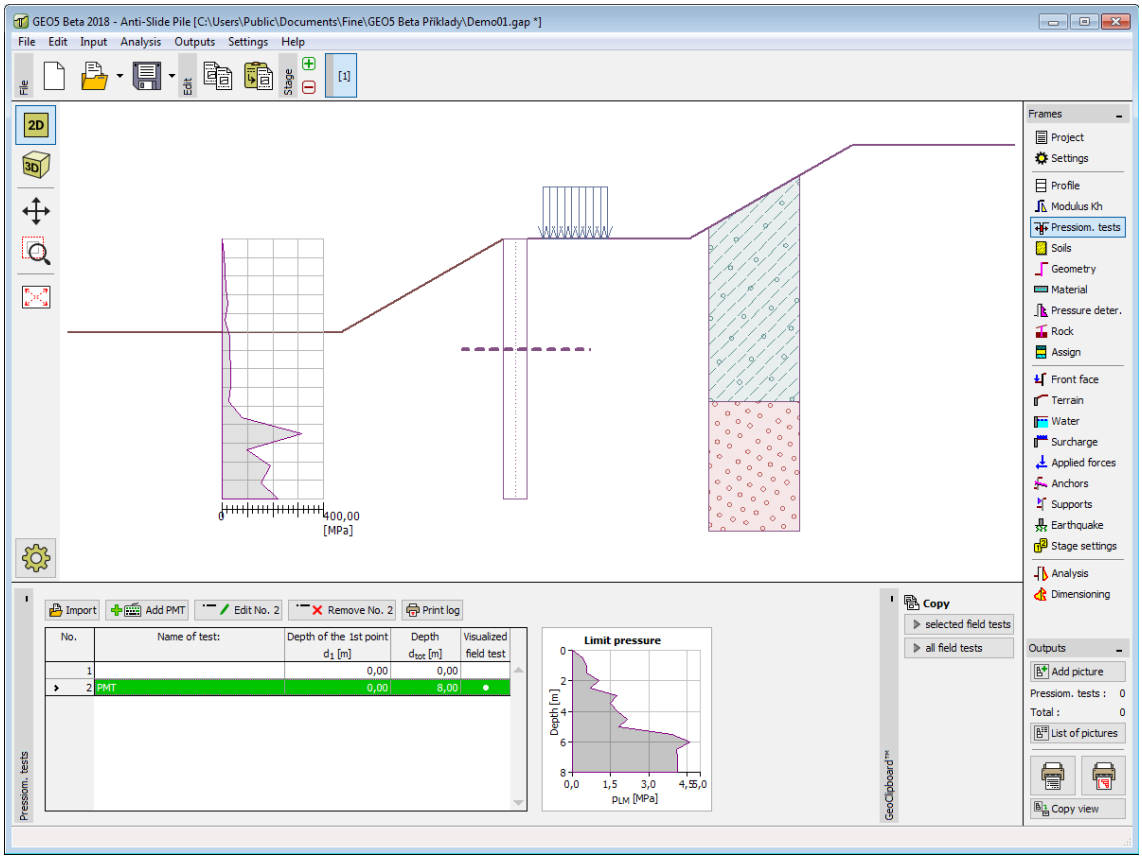
Ramka "Moduł k_h" - wybór "według Menarda"



Ramka "Moduł k_h" - wybór "normy chińskie"

Badania presjometryczne (PMT)

Ramka "**Badanie presjometryczne**" zawiera tabelę z listą badań presjometrycznych (PMT).



Ramka "Badanie presjometryczne"

Wyniki badań presjometrycznych (PMT) można importować do programu wstawiając pliki różnorodnych formatów (np. ***.TXT, *.CSV, *.XLSX, *.ODS**).

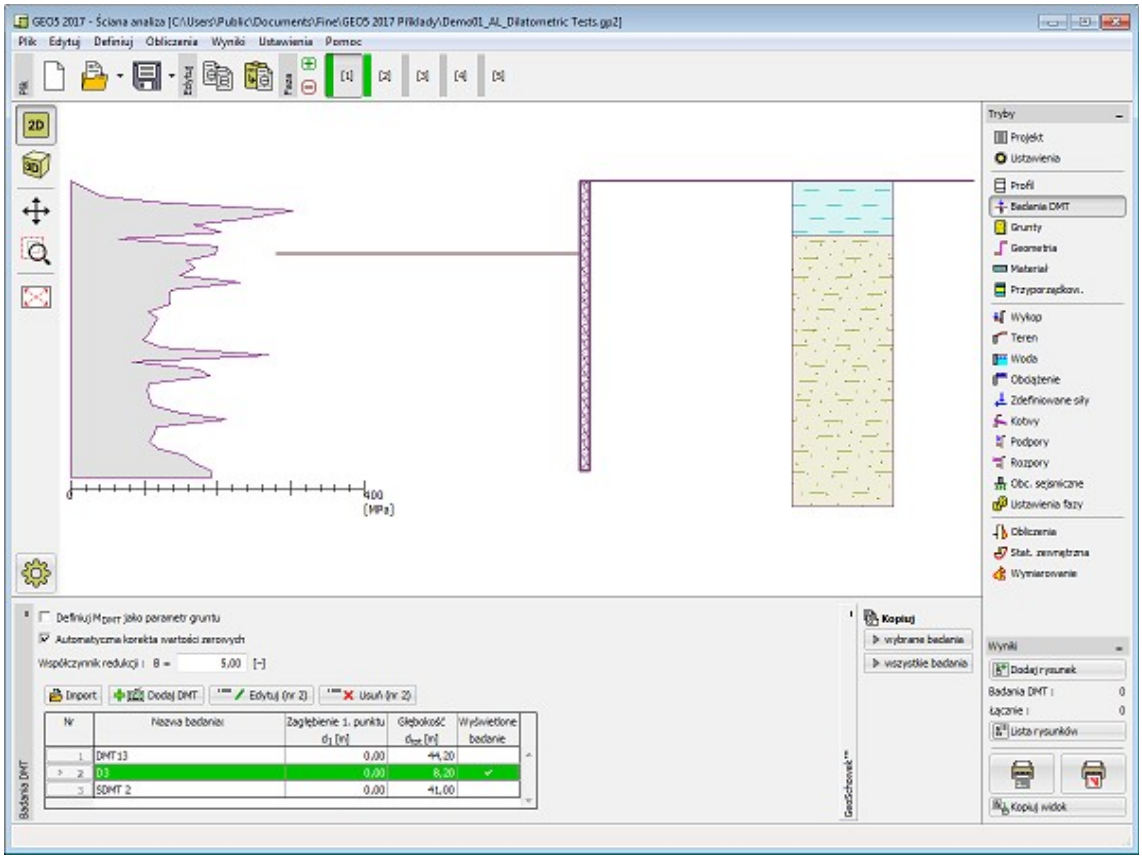
Dane z sondowań presjometrycznych można kopiować pomiędzy programami "**Mikropal**", "**Ściana analiza**", "**Pal stabilizujący**" i "**Stratygrafia 3D**" wykorzystując "GeoSchowek".

Uwaga: Ramka ta jest dostępna jedynie w przypadku, gdy w ramce "Ustawienia" do wyznaczania modułu reakcji podłoża wybrana jest opcja "**presjometr PMT**" (zakładka "Analiza Parć").

Badanie dylatometryczne (DMT)

Ramka "**Badania DMT**" służy do definiowania metody wprowadzania modułu dylatometrycznego do programu. Do wyboru są dwie możliwości - albo jako parametr gruntu (poprzez wybór opcji **"Definiuj M_{DMT} jako parametr gruntu**"), lub poprzez import wyników badania dylatometrycznego (DMT).

Ramka zawiera tabelę z listą zdefiniowanych badań dylatometrycznych (DMT).



Ramka "Badanie dylatometryczne (DMT)"

W przypadku, gdy podczas badania dylatometrycznego zmierzona zostanie zerowa wartość modułu dylatometrycznego M_{DMT}, program umożliwia automatyczną korektę błędnych pomiarów - zamiast wartości zero, w obliczeniach przyjmowana jest średnia arytmetyczna najbliższej górnej i najbliższej dolnej niezerowej wartości modułu M_{DMT}.

W ramce tej należy również zdefiniować współczynnik redukcji B.

Wyniki badań dylatometrycznych (DMT) można importować do programu wstawiając pliki w formacie **UNI** (***.uni**). Dane badań dylatometrycznych DMT można kopiować pomiędzy programami "**Fundamenty bezpośrednie**", "**Ściana analiza**", "**Pal stabilizujący**" oraz "**Stratygrafia 3D**" poprzez "GeoSchowek".

Uwaga: Ramka ta jest dostępna jedynie w przypadku, gdy w ramce "Ustawienia", do wyznaczania modułu reakcji podłoża wybrana jest opcja "dylatometr DMT" (zakładka "Analiza parć").

Grunty

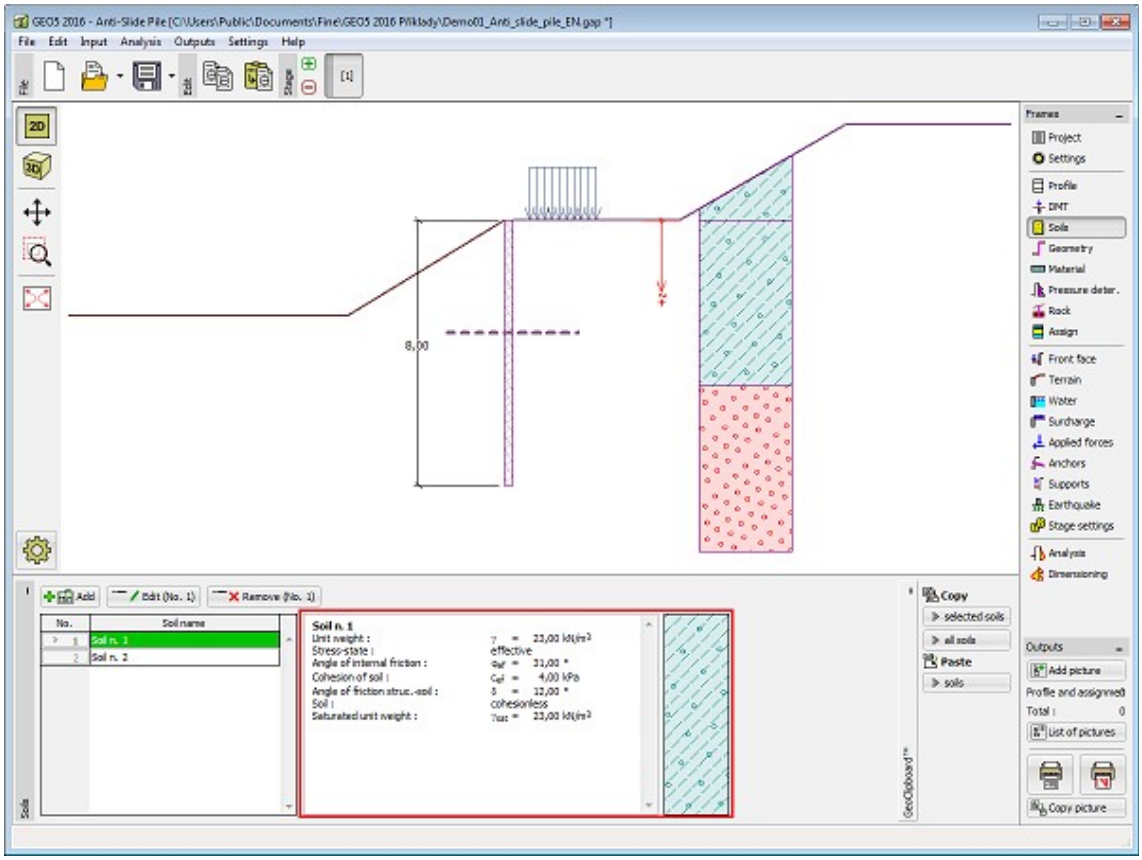
Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie (edycja) gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Dane podstawowe", "Spoczynkowe parcie gruntu" oraz "Naprężenie

geostatyczne, wypór", "Moduł reakcji podłoża".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

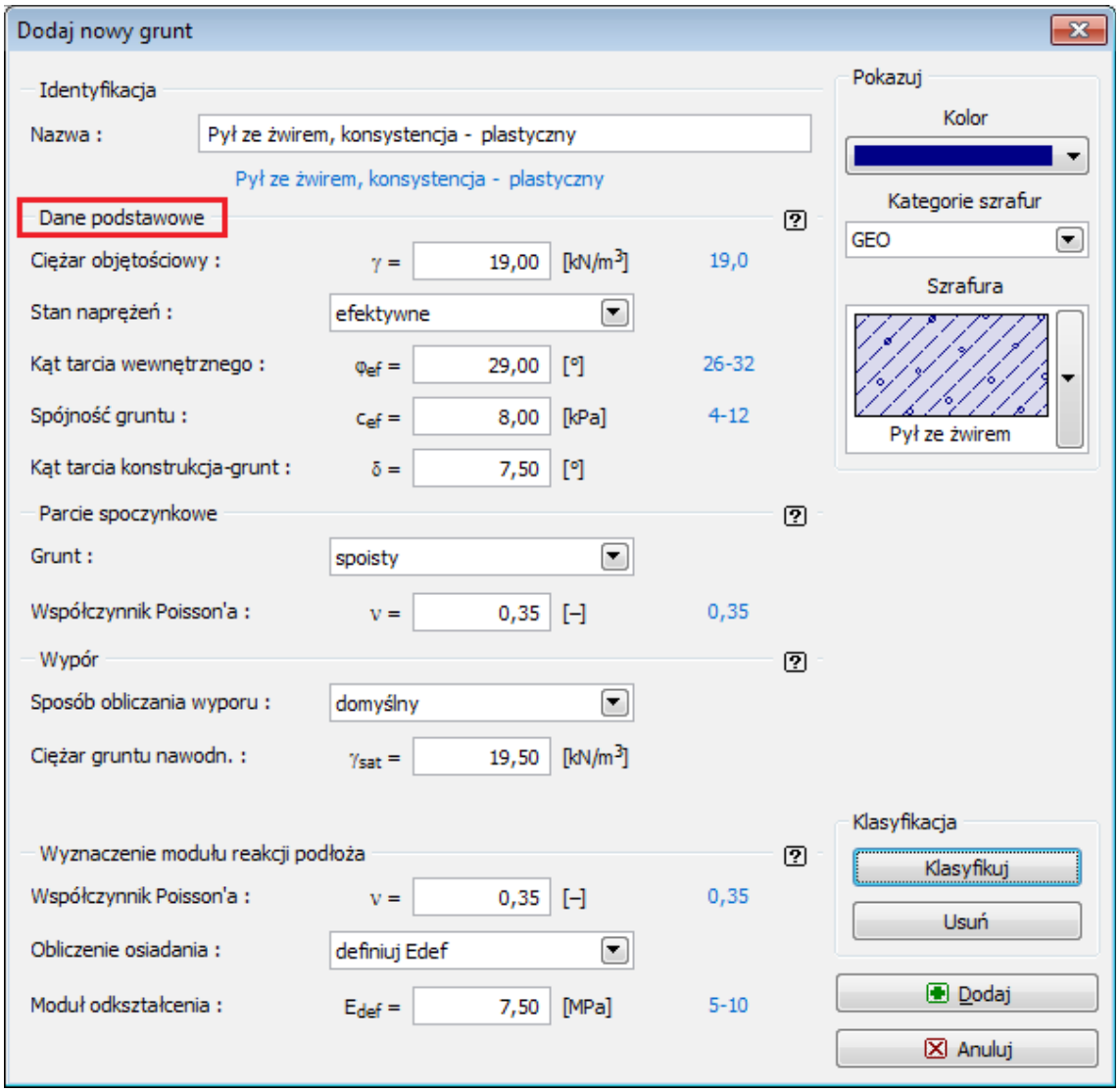
Ta część okna dialogowego służy do definiowania podstawowych parametrów gruntów - **ciężaru objętościowego, kąta tarcia wewnętrznego** oraz **spójności**. Wartości te określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub in-situ dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wartości parametrów gruntów określone na podstawie doświadczenia oraz literatury światowej. Parametry skał nie zostały zawarte w tej bazie, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym.

Istnieje możliwość definiowania wymiennie - parametrów **efektywnych** lub **uogólnionych** kąta tarcia wewnętrznego i spójności w zależności od wybranego ustawienia w liście rozwijanej "**Stan naprężeń**". Decyzja o zastosowaniu parametrów efektywnych czy uogólnionych zależy w szczególności od rodzaju gruntu, rodzaju obciążenia, czasu wykorzystania konstrukcji i warunków wodnych.

W dalszej kolejności, w przypadku naprężeń efektywnych definiuje się kąt tarcia pomiędzy konstrukcją i gruntem, który zależy zarówno od rodzaju gruntu jak i rodzaju konstrukcji. Szacunkowe wartości tego parametru podano w tabeli wartości zalecanych.

W przypadku naprężeń całkowitych natomiast należy zdefiniować adhezję gruntudo lica konstrukcji a.

Podstawy teoretyczne dotyczące omawianego zaganienia opisano w rozdziale "Parcie gruntu".



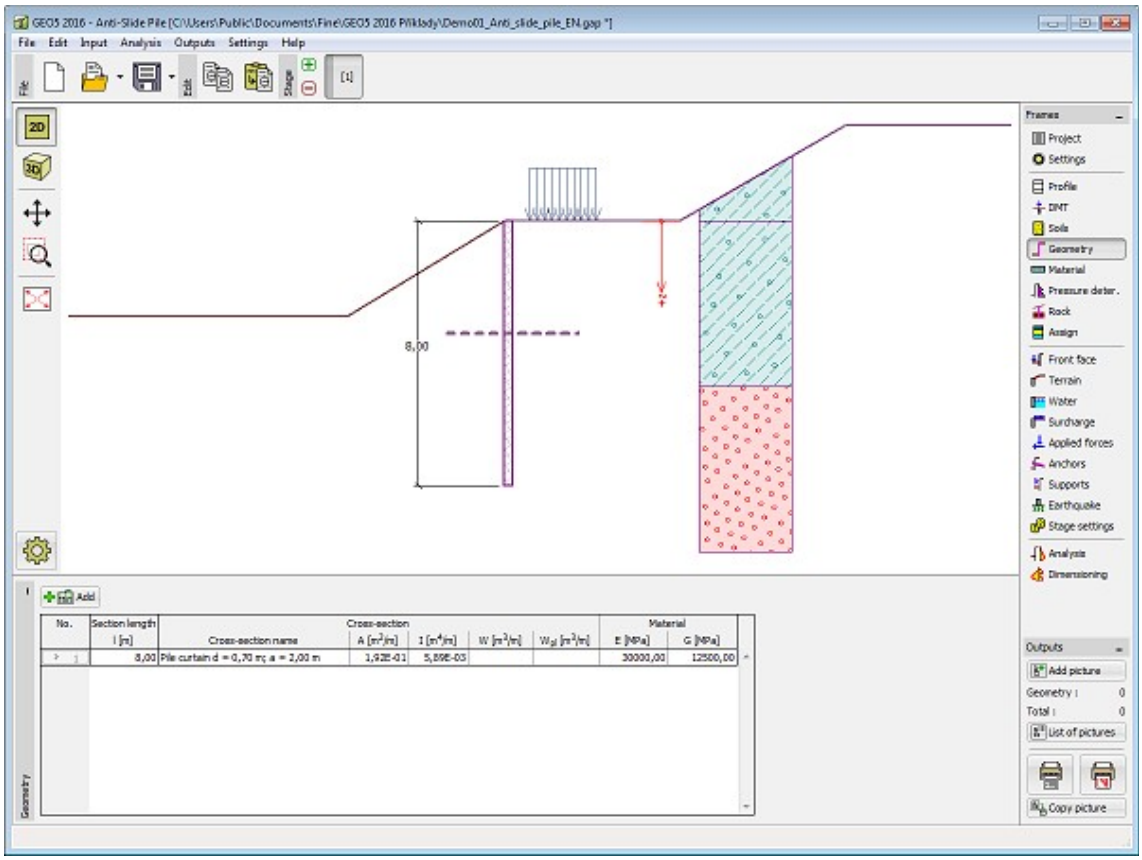
Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

Geometria

Ramka "**Geometria**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych odcinków konstrukcji tworzących pal stabilizujący. Dla każdego odcinka tabela zawiera parametry przekroju poprzecznego (A - pole przekroju, I - moment bezwładności, podawane zawsze na 1 m bieżący konstrukcji) oraz parametry materiałowe (E - moduł sprężystości, G - moduł sprężystości poprzecznej).

Dodawanie odcinków wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowy odcinek**".

Istnieje możliwość dalszej edycji wprowadzonych odcinków na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów - dwukrotne kliknięcie na konstrukcji otwiera okno dialogowe z danym odcinkiem.



Ramka "Geometria"

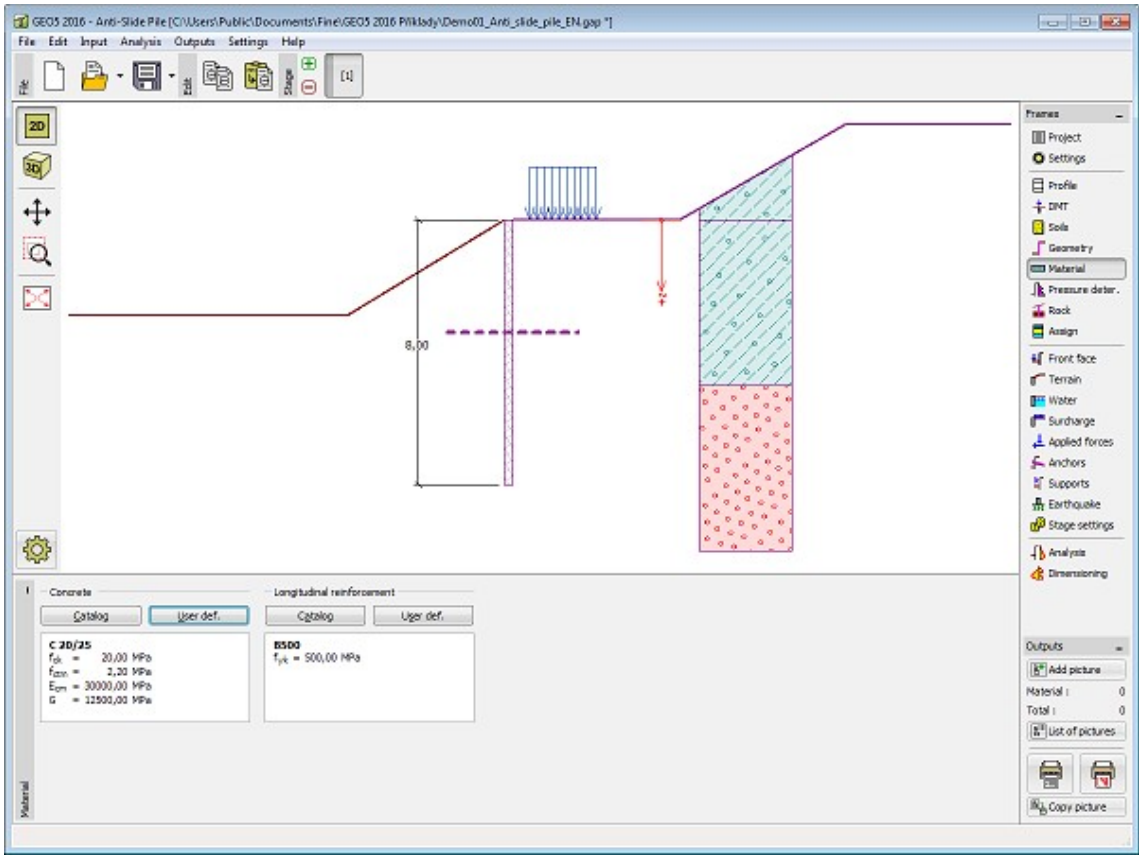
Materiał

Ramka "**Materiał**" umożliwia definiowanie parametrów stosowanych materiałów. Wygląd tej ramki jest zmienny i zależy od rodzaju materiału (**beton, stal, drewno**) wybranego w ramce "Geometria".

Dostępne są dwie opcje wyboru rodzaju materiału:

- Przycisk "**Katalog**" otwiera okno dialogowe "**Katalog materiałów**", w którym z zamieszczonej w listy materiałów można dokonać wyboru materiału.
- Przycisk "**Użytkownika**" otwiera okno dialogowe "**Edytor materiału**", które umożliwia ręczne zdefiniowanie parametrów materiału.

Zawartość katalogów zależna jest od wyboru normy do wymiarowania konstrukcji betonowych, stalowych, drewnianych lub plastikowych. Wyboru normy dokonuje się w zakładce "Materiały i normy".



Ramka "Materiał"

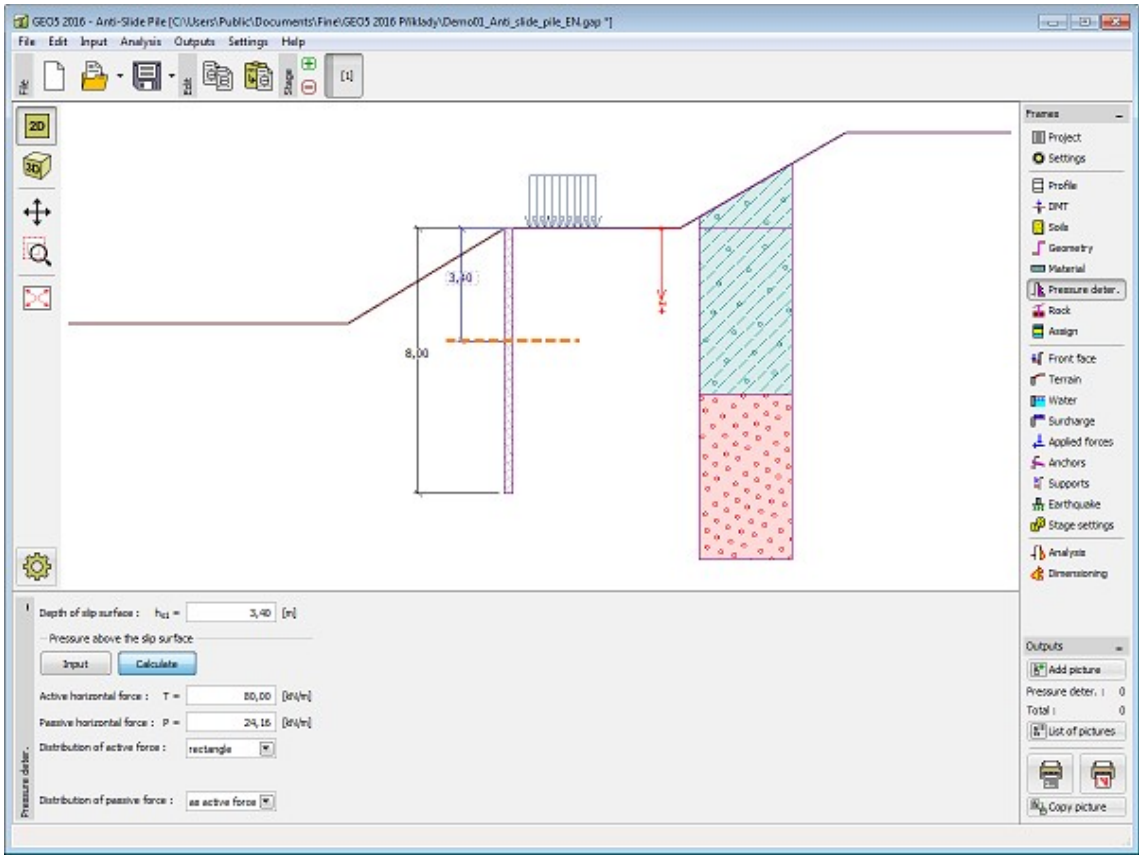
Definiowanie parcia

Ramka **"Definiowanie parcia"** umożliwia zdefiniowanie **zagłębienia powierzchni poślizgu** oraz **obciążenia na pal stabilizujący** ponad powierzchnią poślizgu.

Jeśli wybrane zostanie ustawienie domyślne **"Oblicz"** wówczas obciążenie jest określane za pomocą czynnej siły poziomej i biernej siły poziomej, które oddziałują na pal powyżej zdefiniowanej powierzchni poślizgu. Czynną i bierną siłę można wyznaczyć w programie "**Stateczność zbocza"** i przenieść do programu "**Pal Stabilizujący**". Następnie, należy określić kształt rozkładu parcia za palem (siła czynna) oraz przed palem (siła bierna). Podczas obliczeń, program **NIE ZWIĘKSZA** zdefiniowanych sił czynnych i biernych żadnym współczynnikiem częściowym - należy więc zdefiniować je zgodnie z obowiązującymi normami i przepisami.

W przypadku, gdy siły są wyznaczane w programie **Stateczność zbocza**, są one zgodne ze sposobem analizy wybranym w tym programie. Przykładowo, jeśli obliczenia prowadzone są zgodnie z Eurokodem **EN 1997-1**, wówczas otrzymane wartości sił są już wartościami obliczeniowymi.

Wartości parcia wynikowego oddziałującego na konstrukcję powyżej powierzchni poślizgu można również zdefiniować w tabeli (opcja "**Definiuj**").



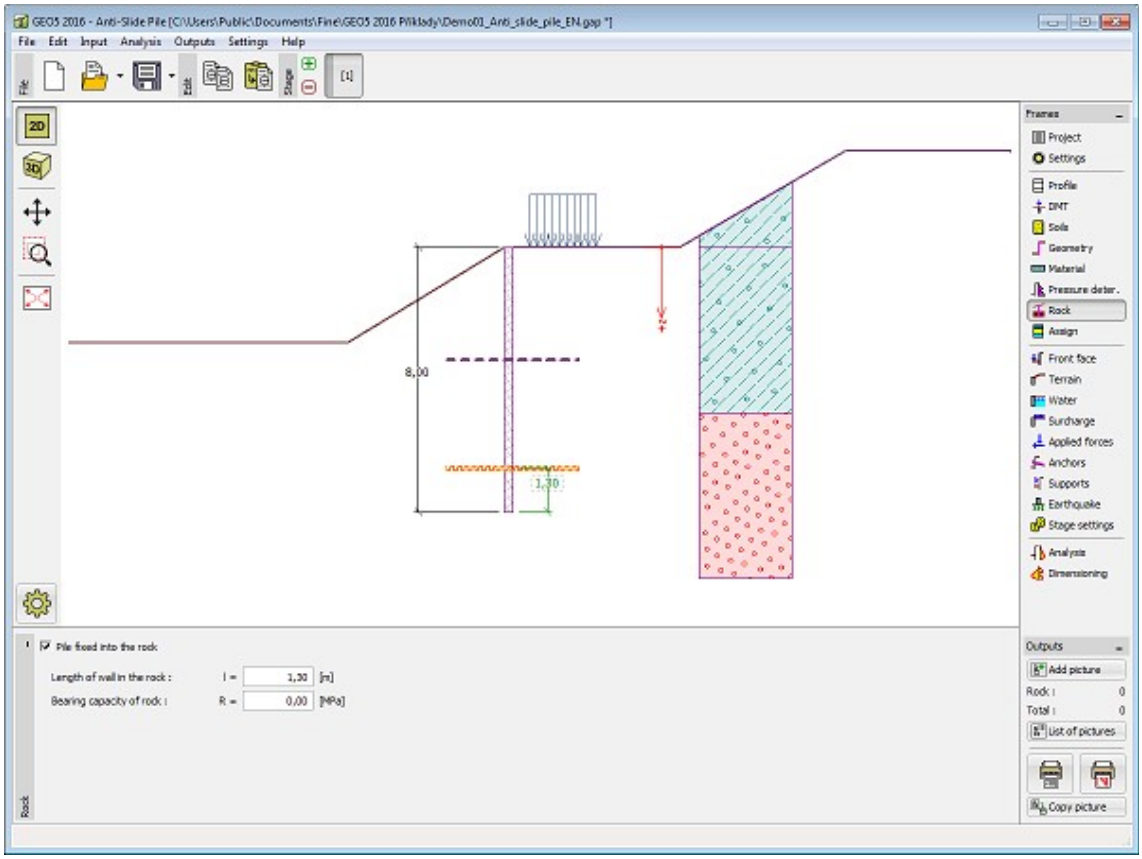
Ramka "Definiowanie Parcia"

Skała

Ramka **"Skała"** umożliwia zdefiniowanie długości pala utwierdzonego w skale l $[m]$ oraz nośności skały R $[MPa]$.

Skała modelowana jest wyłącznie jako materiał sprężysty i nie jest uwzględniane graniczne parcie bierne - naprężenie kontaktowe może osiągnąć dowolną wartość. W ramce "Obliczenia" program sprawdza czy **maksymalne naprężenie** nie przekracza **obliczeniowej nośności skały**. Parcie czynne skały nie jest uwzględniane.

Uwaga: W wielu przypadkach, powierzchnia poślizgu przebiega po podłożu skalnym, wobec czego takie sytuacje muszą być zawsze dokładnie zbadane.

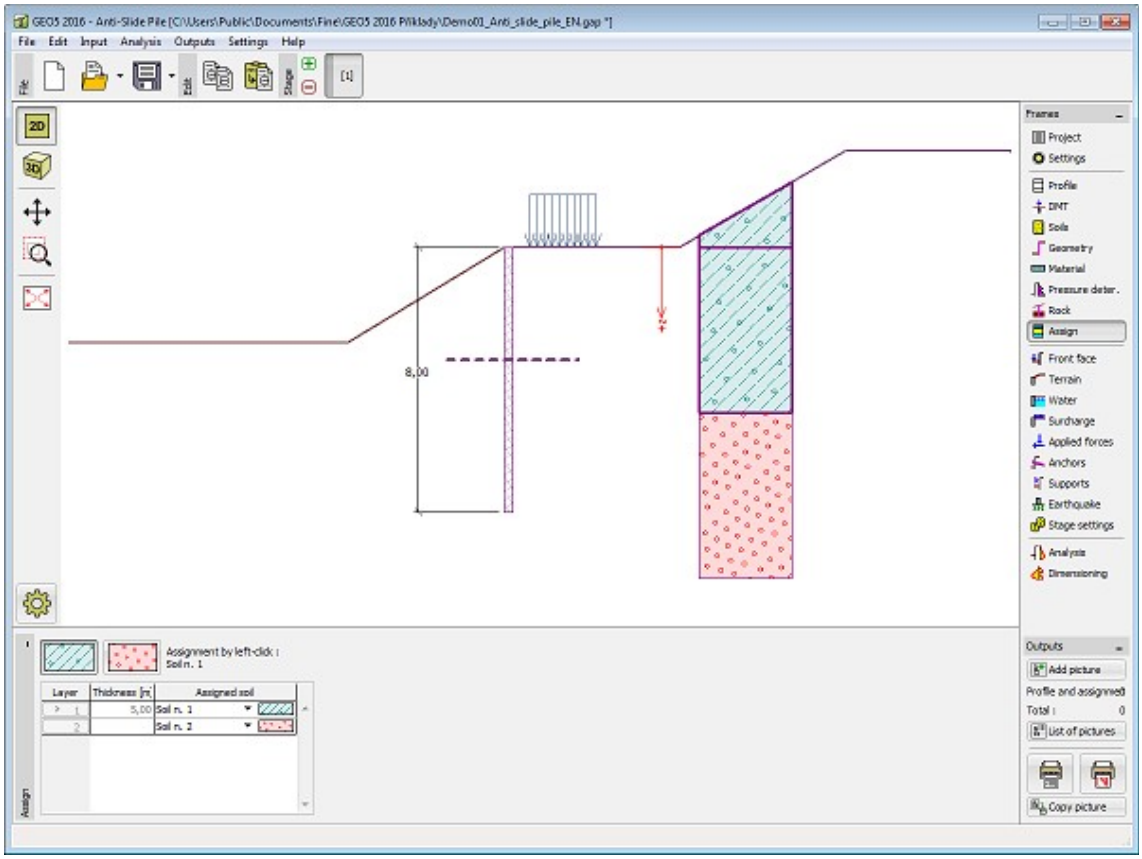


Ramka "Skała"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów".

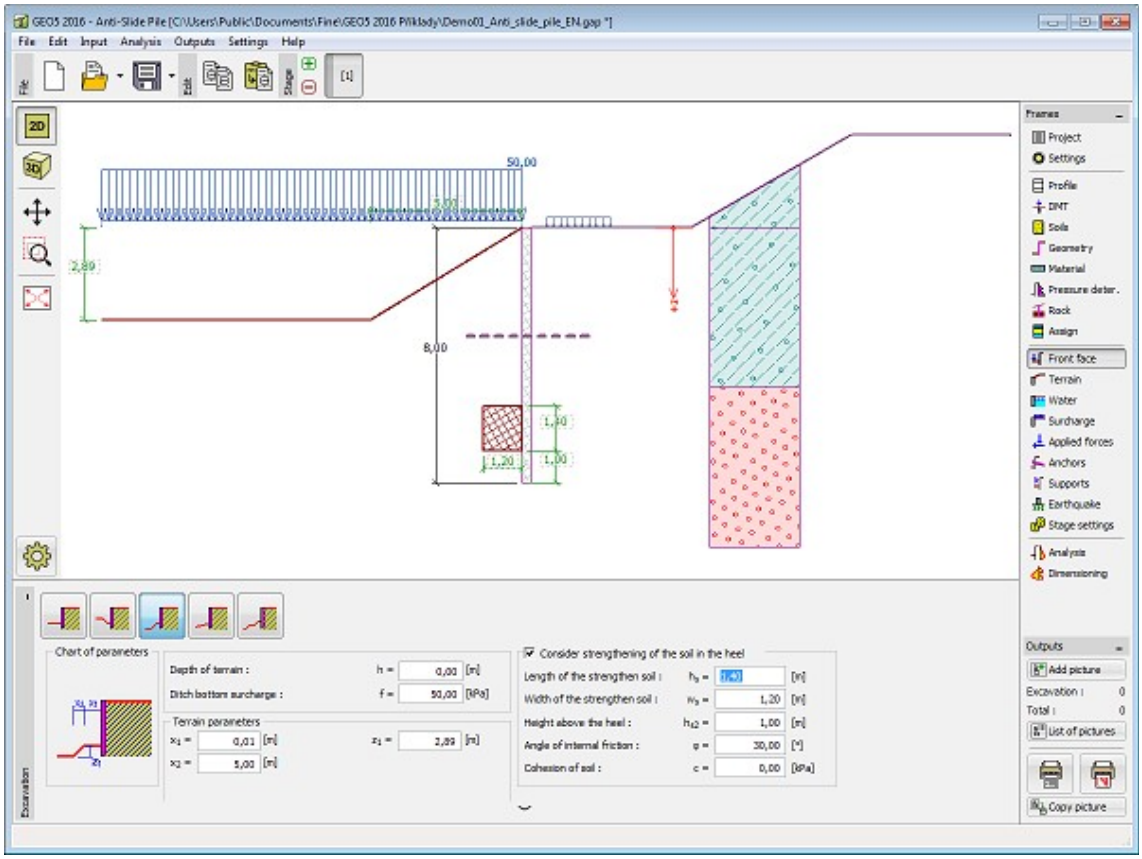


Ramka "Przyporządkowanie"

Lico konstrukcji

Ramka "**Lico konstrukcji**" służy do definiowania kształtu terenu przed konstrukcją. Wybrany kształt terenu z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości wyświetlany jest w lewej części ramki. Wymiary wybranego kształtu można edytować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

W ramce tej istnieje także możliwość zdefiniowania **wzmocnienia gruntu** w podstawie konstrukcji ściany. Szczegółowe informacje na temat metody obliczania wzmocnienia zawarto następującym rozdziale.



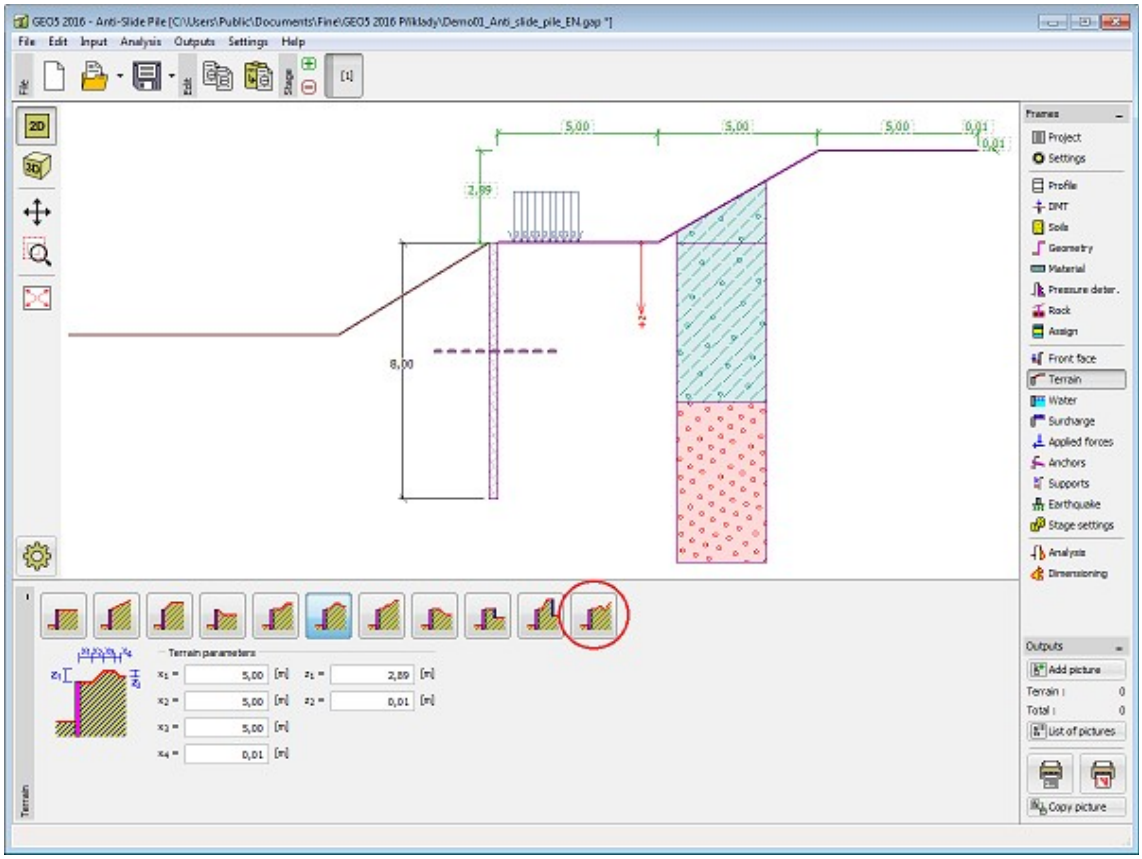
Ramka "Lico konstrukcji"

Teren

Ramka "**Teren**" umożliwia określenie ukształtowania terenu za konstrukcją przy pomocy jednego z dostępnych przycisków. Wybrany kształt terenu z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Wymiary wybranego schematu terenu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego kształtu terenu. W takim przypadku, pojawiająca się ramka zawiera tabelę z listą punktów terenu. Pierwszy punkt o współrzędnych [*0,0*] zbiega się z górnym punktem konstrukcji.

Metody analizy parcia gruntu w przypadku terenu pochyłego zostały opisane w teoretycznej części pomocy "Rozkład parć gruntu dla terenu załamanego"**.**

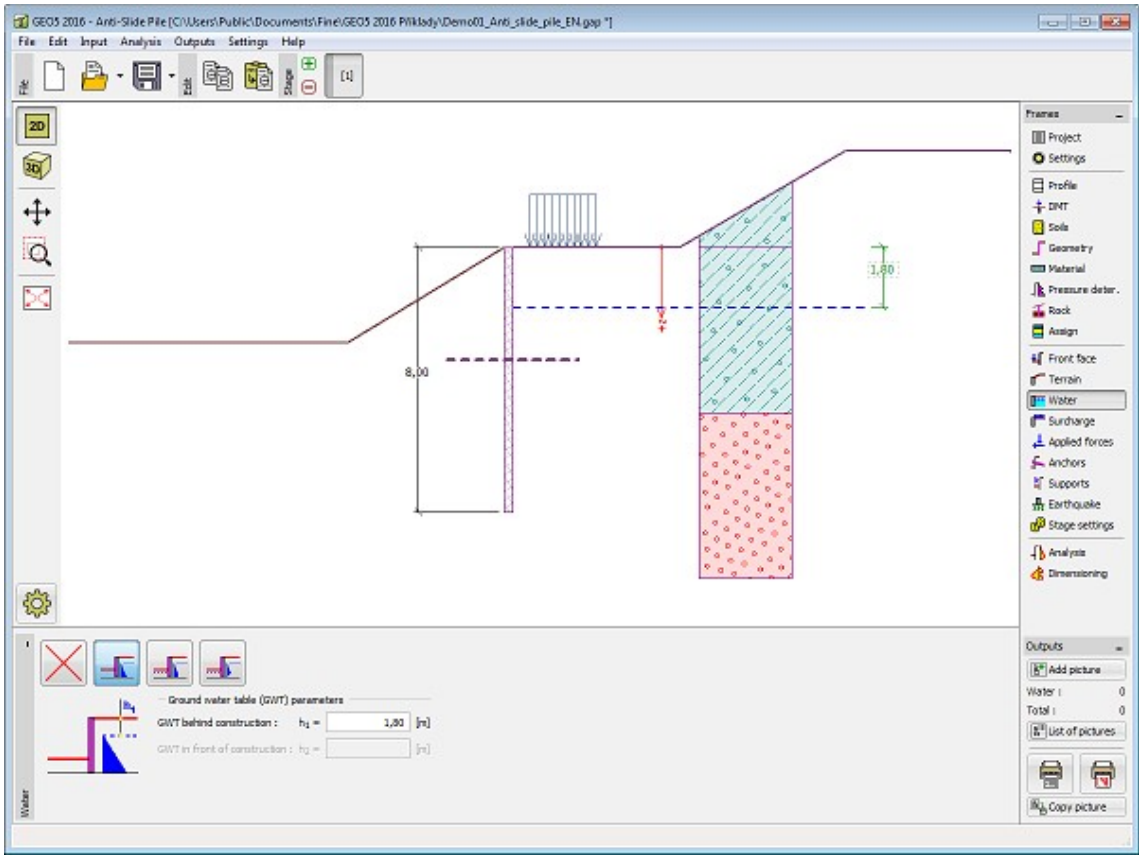


Ramka "Teren"

Woda

Ramka "**Woda**" umożliwia określenie rodzaju wody gruntowej przy pomocy jednego z dostępnych przycisków. Parametry wody można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem wpływu wody zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ wody".



Ramka "Woda"

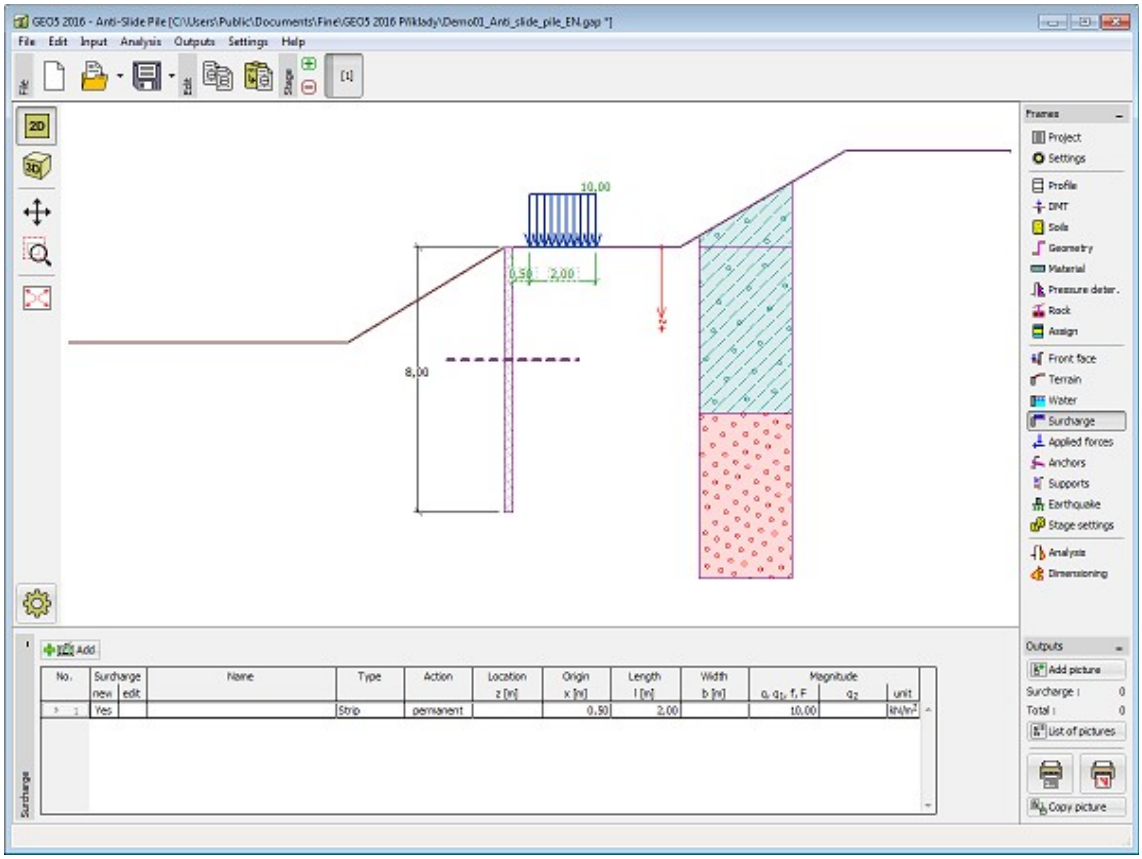
Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych obciążeń. Dodawanie (edytowanie) obciążenia wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Zdefiniowane obciążenia można edytować na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów lub aktywnych obiektów.

Przy definiowaniu obciążenia na pewnej głębokości wprowadzana jest rzędna z, mierzona od górnego punktu konstrukcji (kierunek dodatni w dół). W przypadku, gdy obciążenie znajduje się poza terenem, program wyświetla komunikat błędu przed rozpoczęciem obliczeń.

W programie istnieje możliwość zdefiniowania obciążeń **stałych, zmiennych** lub **wyjątkowych**. Wybór rodzaju obciążenia wpływa na dobór stosownego współczynnika obliczeniowego do przemnożenia wynikowych oddziaływań. Obciążenia wyjątkowe oddziałujące w sposób korzystny nie są uwzględniane w obliczeniach.

Obliczenia parć gruntu wywołanych obciążeniami zewnętrznymi zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążenia".



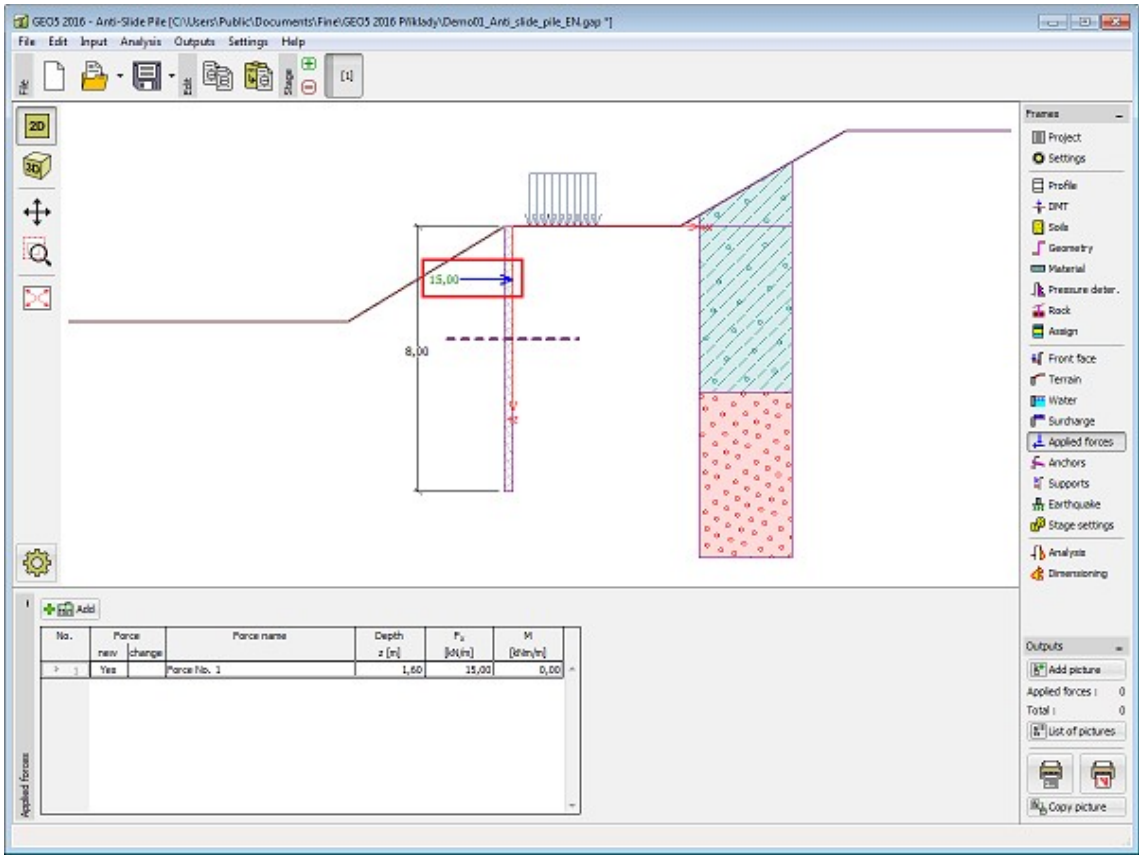
Ramka "Obciążenie"

Zdefiniowane siły

Ramka "**Zdefiniowane siły**" zawiera tabelę z listą definiowanych sił oddziałujących na konstrukcję. Dodawanie (edycja) sił wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowa siła**". Istnieje także możliwość edycji zdefiniowanych sił na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

Zdefiniowane siły reprezentują dodatkowe obciążenia oddziałujące na konstrukcje oporową, ścianę wykopu czy nasyp zbrojony. W ten sposób istniej możliwość modelowania takich elementów jak: obciążenia od bilboardów, ekranów czy barier drogowych. Program nie dostosowuje (nie zmienia) w żaden sposób zdefiniowanych sił w toku obliczeń, za wyjątkiem przemnażania ich przez odpowiednie współczynniki zgodnie z wybranym rodzajem oddziaływania (EN1997, LRFD).

Obciążenia zewnętrzne oddziałujące na naziomie (na powierzchni terenu) należy definiować jako obciążenie.

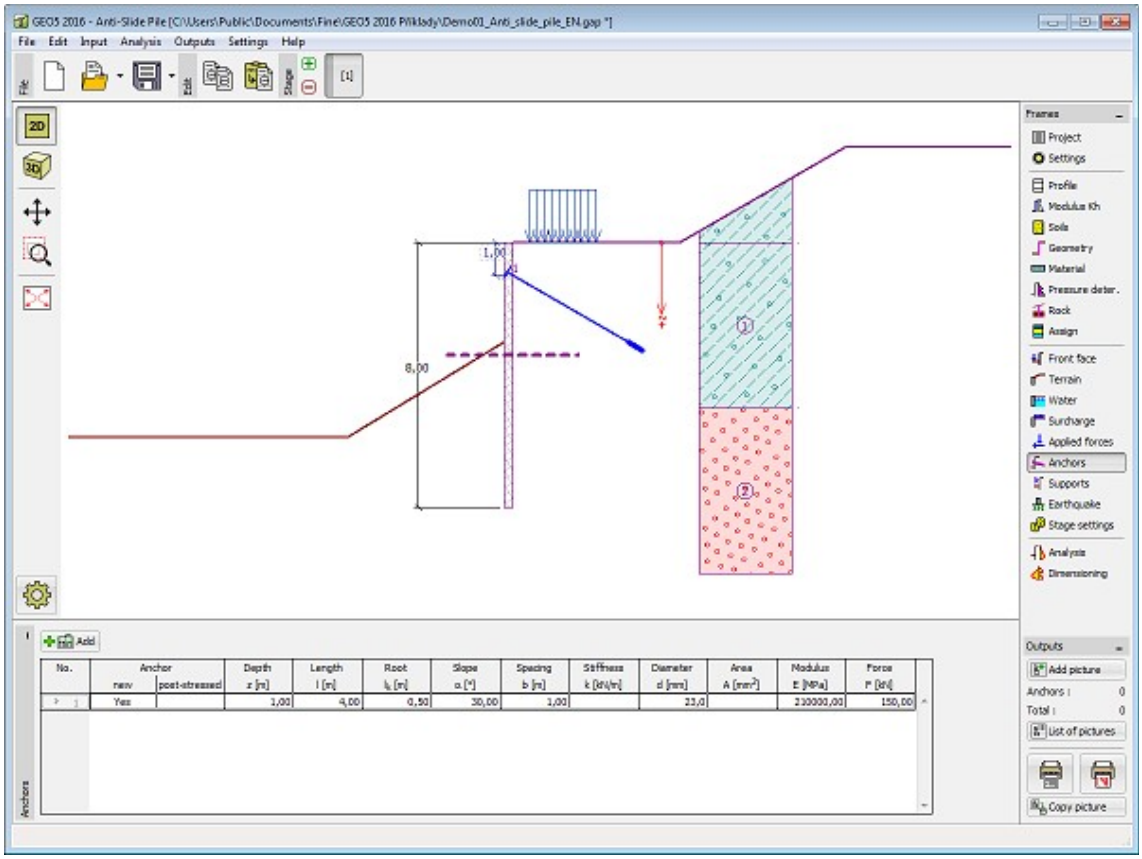


Ramka "Zdefiniowane siły"

Kotwy

Ramka "**Kotwy**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych kotew. Dodawanie kotew wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowa kotew**". Istnieje także możliwość edycji zdefiniowanych kotew na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.Kotew jest automatycznie umieszczana na **odkształconej wcześniej konstrukcji** (przemieszczenie uzyskiwane jest z poprzednej fazy budowy). Kotwy mogą być zdefiniowane jako iniekcyjne (nie zdefiniowane, prętowe, splotowe) oraz bierne (śrubowe, prętowe, z płytą kotwiącą). **Sztywność kotew iniekcyjnych** przejawia się w ich obliczeniach w kolejnych fazach budowy.

Sztywność kotew iniekcyjnych mobilizuje się w następnych fazach budowy. Dalsze odkształcenie konstrukcji ściany powoduje zmianę sił normalnych w kotwach. W **kolejnych fazach** nie można edytować kotew, istnieje jedynie możliwość zmiany siły sprężającej w kotwie.

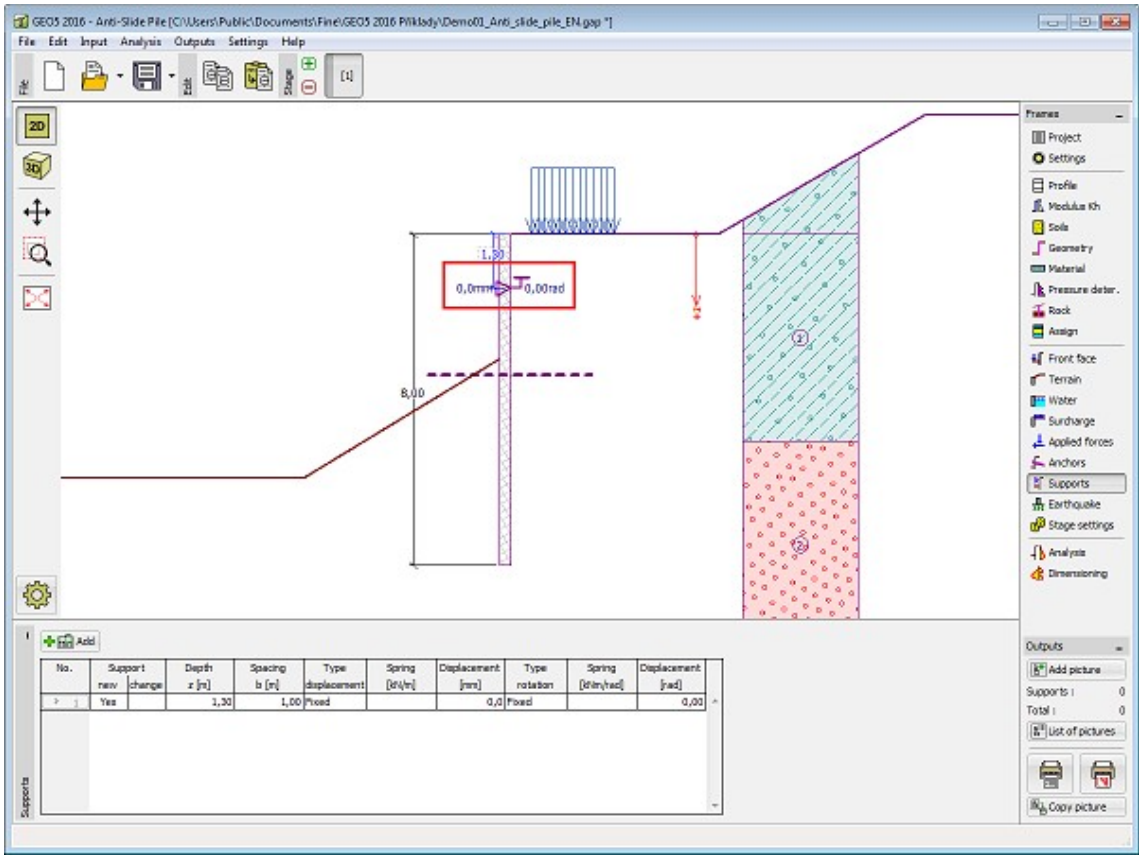


Ramka "Kotwy"

Podpory

Ramka "**Podpory**" zawiera tabelę z listą definiowanych podpór. Dodawanie (edycja) podpór wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowa podpora (Edycja podpory)**". Istnieje także możliwość edycji zdefiniowanych podpór na pulpicie za pomocą odpowiednio aktywnych obiektów lub aktywnych wymiarów.

Podpory są automatycznie umieszczane na odkształconej wcześniej konstrukcji (przemieszczenia wyznaczane są z poprzednich faz budowy). W następnych fazach, podpory nie mogą być edytowane. Istnieje jedynie możliwość zdefiniowania wymuszonego przemieszczenia podpory.



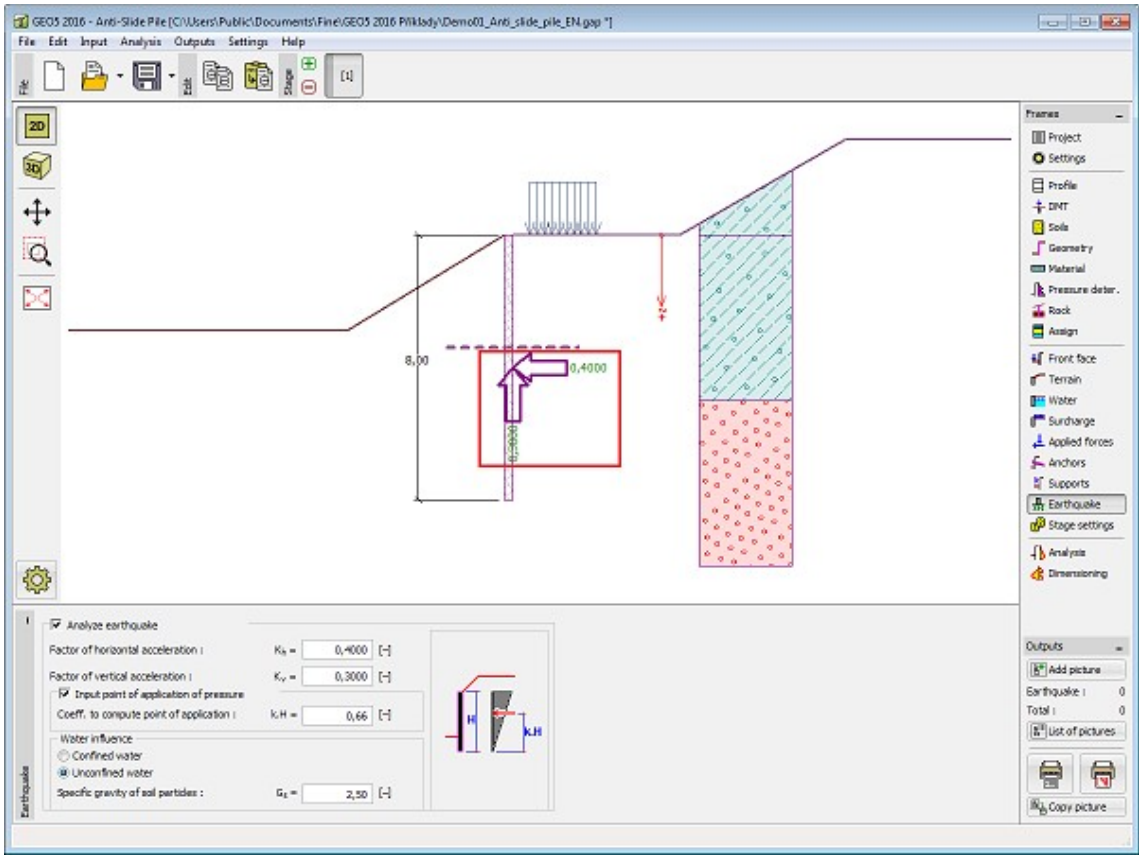
Ramka "Podpory"

Obciążenia sejsmiczne

Ramka "**Obciążenia sejsmiczne**" służy do wprowadzania parametrów obciążeń sejsmicznych. Kierunki skutków obciążeń sejsmicznych są wyświetlane na pulpicie.

Jeśli nie są dostępne wyniki pomiarów współczynniki k_h oraz k_v można wyznaczyć stosując opisane w pomocy podejście z normy EN 1998-5.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem obciążeń sejsmicznych zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążeń sejsmicznych".



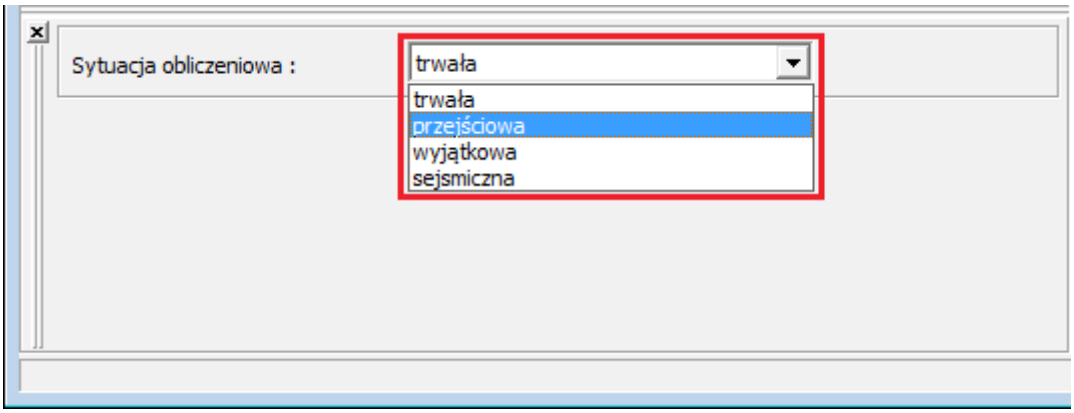
Ramka "Obciążenia sejsmiczne"

Ustawienia fazy

Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących tylko wybranej fazy obliczeniowej.

Wybrana sytuacja obliczeniowa określa współczynniki bezpieczeństwa, które będą zastosowane w obliczeniach danej fazy budowy.

Wygląd ramki zależy od wybranej metody analizy.



Ramka "Ustawienia fazy"

Obliczenia

Ramka "**Obliczenia**" wyświetla wyniki analizy pala stabilizującego. Przełączenie do tego trybu automatycznie przeprowadza analizę.

Maksymalne wartości **sił wewnętrznych i przemieszczeń** wyświetlane są w dolnej części okna. Jeśli pal jest utwierdzony w skale, przeprowadzane jest także sprawdzenie **nośności skały**.

Ramka zawiera trzy możliwości wyświetlania wyników analizy, które można przełączać za pomocą przycisków z prawej strony ramki.

- **Moduł reakcji podłoża + parcia gruntu**

Wykres zmienności modułu reakcji podłoża wyświetlany jest w lewej części pulpitu (domyślnie niebieskim kolorem kreskowania). W odniesieniu do metody parć zależnych, niektóre "sprężynki" (wartości modułu reakcji podłoża) są usuwane z analizy (sztywność sprężynki wynosi zero). Obliczenie **może nie zbiegać się** w przypadku osiągnięcia stanu granicznego przed i za konstrukcją oraz niewystarczającego podparcia konstrukcji (kotwy, podpory). Program nie znajduje wówczas rozwiązania. W dolnej części ramki wyświetlany jest komunikat błędu - przypadek taki wymaga **modyfikacji wprowadzonych danych** - np. dodania kotwy lub rozpory, zmiany głębokości wykopu, zmiany parametrów gruntu, itp.

Rozkład parć granicznych (domyślnie linie zielone - ciągła i przerywane) przedstawiony jest w prawej części okna (parcie bierne, parcie spoczynkowe i parcie czynne). **Rzeczywiste parcie działające na konstrukcję** rysowane jest ciągłą niebieską linią.

Odkształcona (domyślnie ciągła czerwona linia) i nieodkształcona konstrukcja pokazane są w prawej części pulpitu. Siły w kotwach, podporach i rozporach są również pokazane w tym oknie.

- **Moment + Siła tnąca**

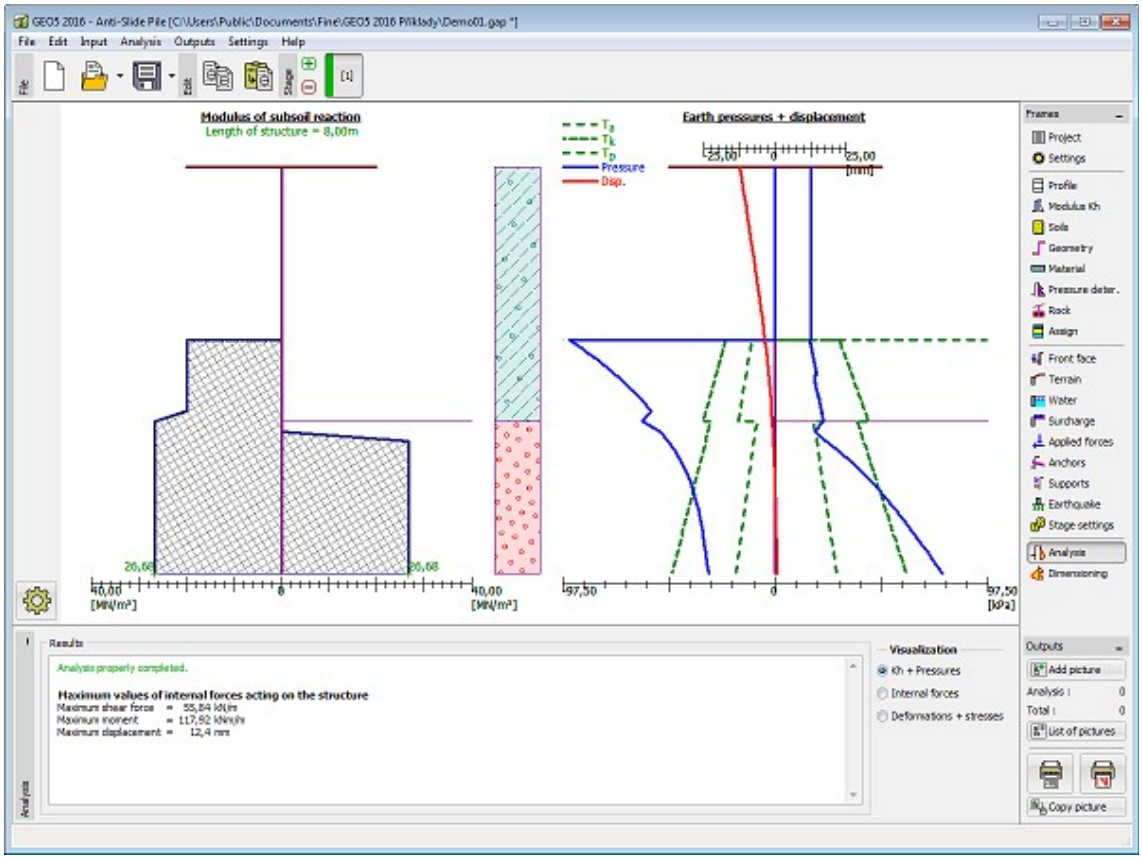
Rysunek konstrukcji z siłami działającymi w kotwach, podporach i rozporach wyświetlany jest w lewej części pulpitu. Rozkłady momentów zginających oraz sił tnących rysowane są po prawej stronie pulpitu.

- **Przemieszczenie + Naprężenia**

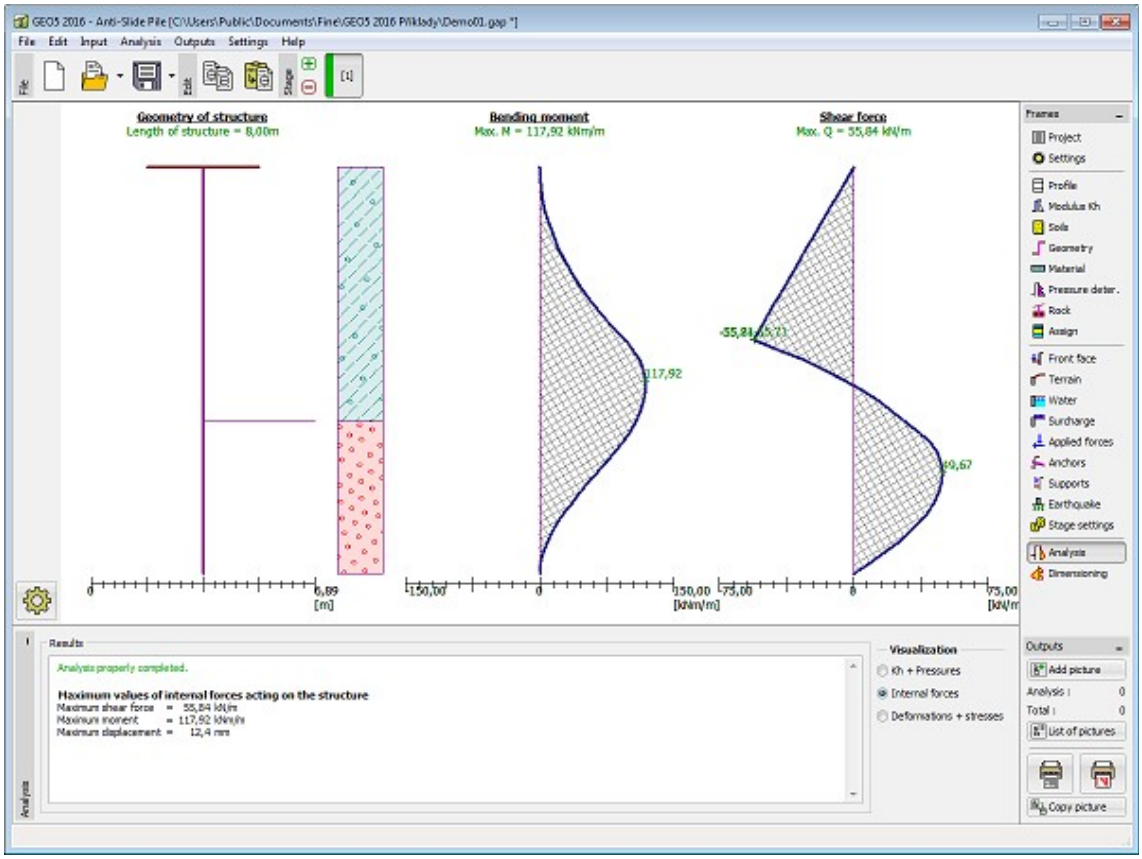
Rysunek konstrukcji z siłami działającymi w kotwach, podporach i rozporach wyświetlany jest w lewej części pulpitu. Wyznaczone teoretyczne przemieszczenia konstrukcji oraz wypadkowe parcie działające na konstrukcję ściany wyświetlane są po prawej stronie ekranu.

Jeżeli moduł reakcji podłoża wyznaczany jest iteracyjnie, konieczne jest sprawdzenie przebiegu **iteracji manualnej** w oknie dialogowym "**Iteracja**". Szczegółowe informacje zostały podane w części teoretycznej pomocy, w rozdziale **"**Moduł reakcji podłoża wyznaczny iteracyjnie**"**.

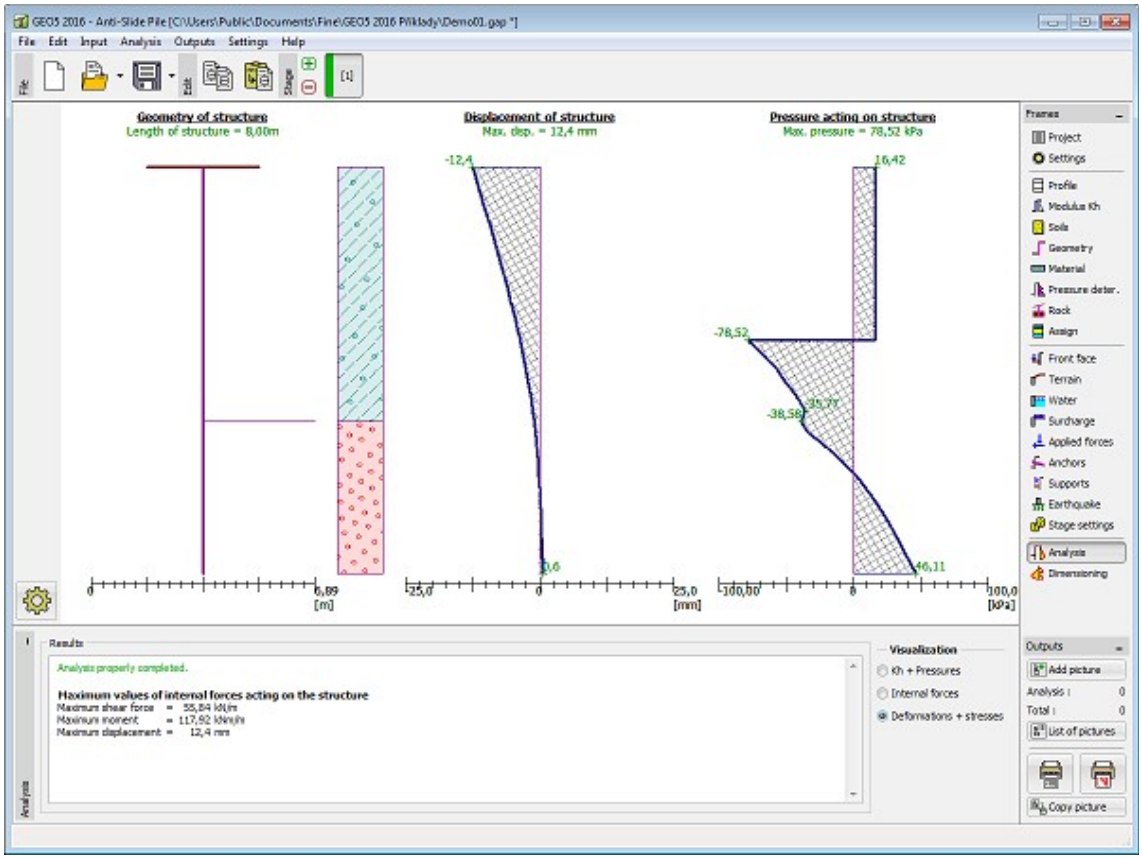
Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Obliczenia" - moduł reakcji podłoża, parcia gruntu i przemieszczenie



Ramka "Obliczenia" - Moment zginający, siła tnąca



Ramka "Obliczenia" - przemieszczenie i parcie gruntu oddziałujące na konstrukcję

Wymiarowanie

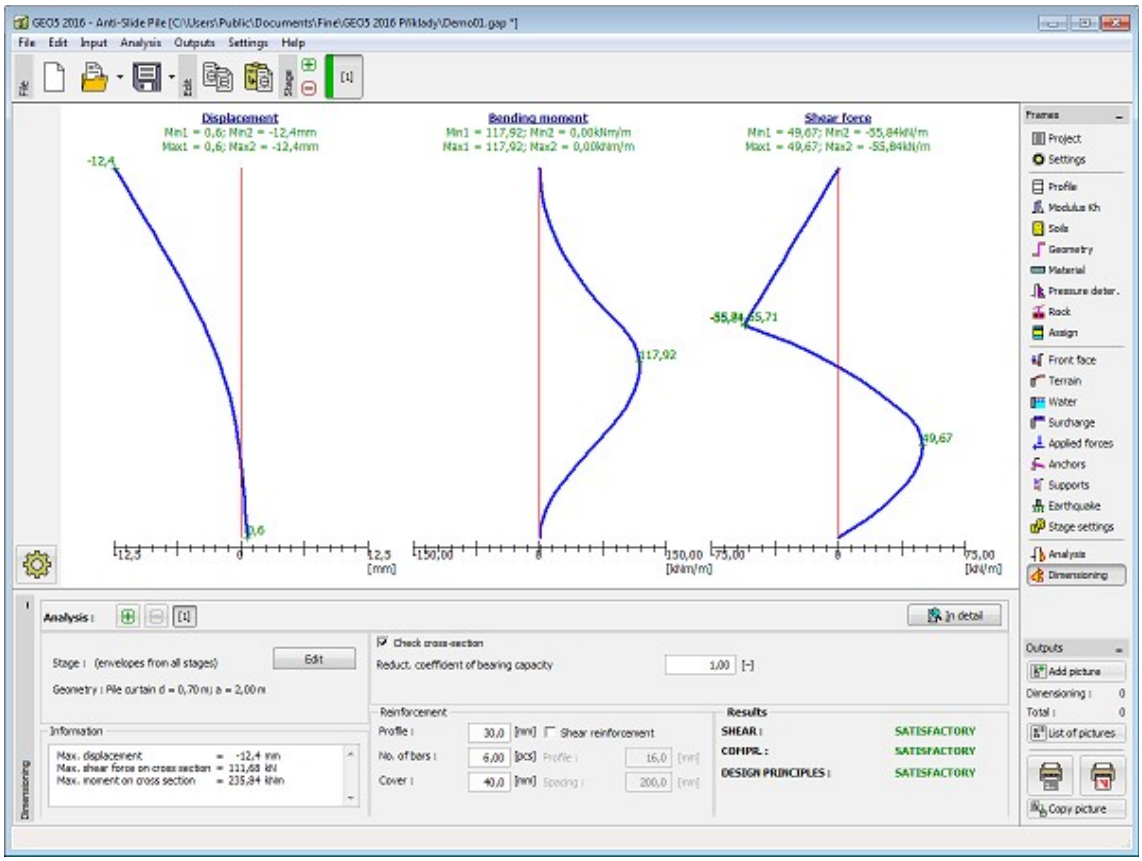
Ramka "**Wymiarowanie**" umożliwia wyświetlenie obwiedni sił wewnętrznych i przemieszczeń ze wszystkich analiz (faz budowy). Domyślnie, obwiednia tworzona jest z wyników wszystkich faz budowy. Istnieje jednak możliwość utworzenia obwiedni tylko z **wybranych faz.** Przycisk "**Edytuj**" otwiera okno dialogowe "**Wybór fazy budowy**". W oknie tym można dokonać wyboru faz budowy, które będą wykorzystane do wygenerowania obwiedni (poprzez naciśnięcie odpowiednich przycisków).

Maksymalne wartości wyznaczonych sił wewnętrznych (momentów zginających i sił tnących) oraz przemieszczeń wyświetlane są w dolnej części ramki.

Program umożliwia wymiarowanie przekrojów żelbetowych oraz profili stalowych (przy wybraniu opcji "**Wymiaruj przekrój**"). Podczas wymiarowania przekroju istnieje możliwość zdefiniowania **współczynnika redukcji nośności** przekroju, który redukuje całkowitą nośność przekroju. Wartość tego współczynnika zależy od sposobu obliczania sił czynnych i biernych (ramka "Definiowanie parcia"). Jeśli te wartości są wartościami obliczeniowymi (wcześniej zwiększonymi poprzez współczynniki częściowe) wartość tego współczynnika powinna wynosić 1.0 - jeśli nie, współczynnik ten powinien być większy od 1.0 (Według EN 1997 rekomendowana wartość tego współczynnika wynosi od 1.35-1.5).

Ramka ta umożliwia wykonanie większej liczby obliczeń wymiarowania przekroju. Przycisk **"Szczegółowo**" z prawej strony ramki otwiera okno dialogowe "**Wymiarowanie**", w którym pokazane są szczegółowe wyniki analiz.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Wymiarowanie"

Wymiarowanie kotew

Ramka "**Wymiarowanie kotew**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych kotew.

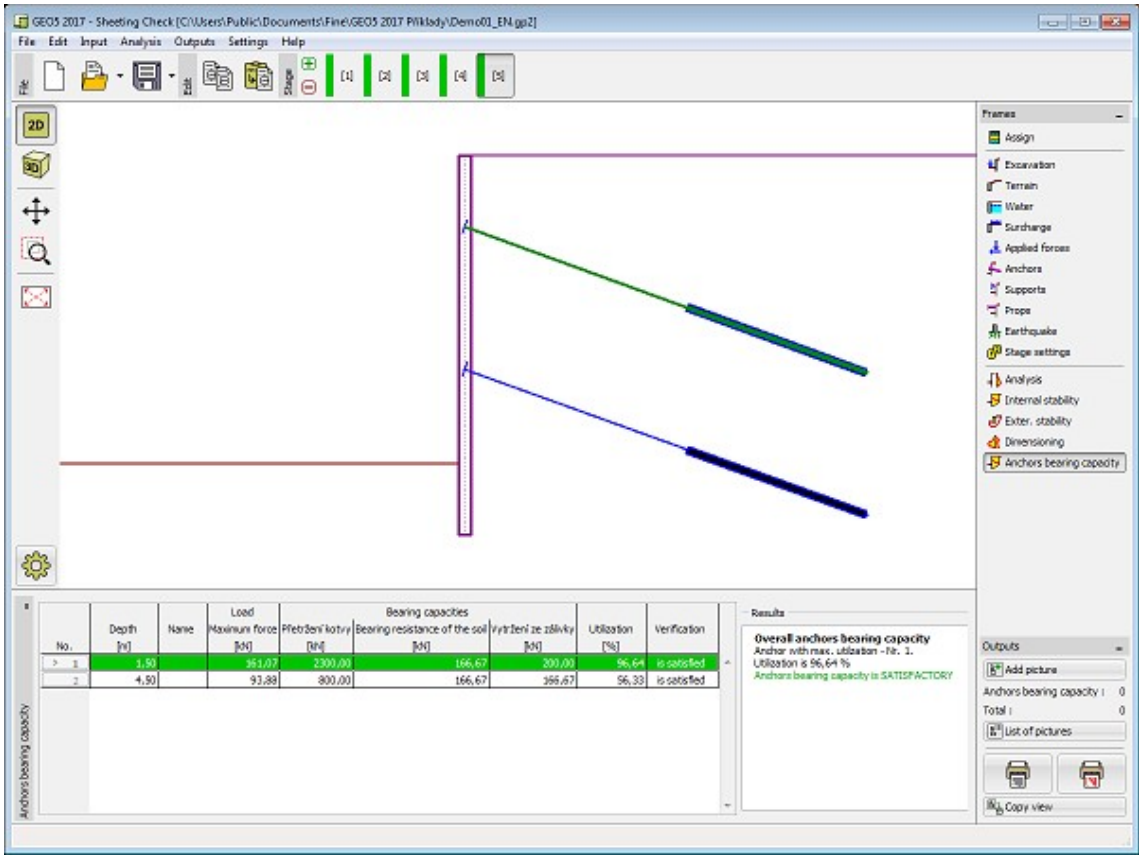
W ramce tej sprawdzana jest **całkowita nośność kotew**.

Kotwy weryfikowane są pod kątem trzech różnych **sposobów zniszczenia.**

- Nośność na zerwanie R_t
- Nośność na wyciąganie (z gruntu) R_e
- Nośność na wyciąganie (z buławy) R_c

Wyznaczone **nośności** kotew **są redukowane** poprzez odpowiednie współczynniki bezpieczeństwa lub współczynniki redukcji, zdefiniowane w ramce "Ustawienia", w zakładce "Kotwy". Kotew spełnia wymagania jeśli maksymalna siła w kotwie P_{max} jest mniejsza od wszystkich wyznaczonych nośności.

$$\min\left(\frac{R_t}{SF_t};\frac{R_e}{SF_e};\frac{R_c}{SF_c}\right)\geq P_{\max}$$



Ramka "Wymiarowanie kotew"

Program Szyb

Program ten służy do analizy przestrzennego parcia gruntu oddziałującego na szyby kołowe i wyznaczania sił wewnętrznych w ich obudowie.

Pomoc w programie "Szyb" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

  Projekt | Ustawienia | Geometria | Profil | Grunty | Przyporządkowanie

  Woda | Obciążenia | Ustawienia fazy | Analiza obciążeń | Wymiarowanie

- Normy i metody obliczeniowe

- Teoria obliczeniowa do programu "**Szyb**":

  Naprężenie geostatyczne, wypór | Obciążenie pasmowe - czynne parcie | Obciążenie skupione - czynne parcie | Obciążenie liniowe - czynne parcie | Obciążenie skupione - spoczynkowe | Szyb

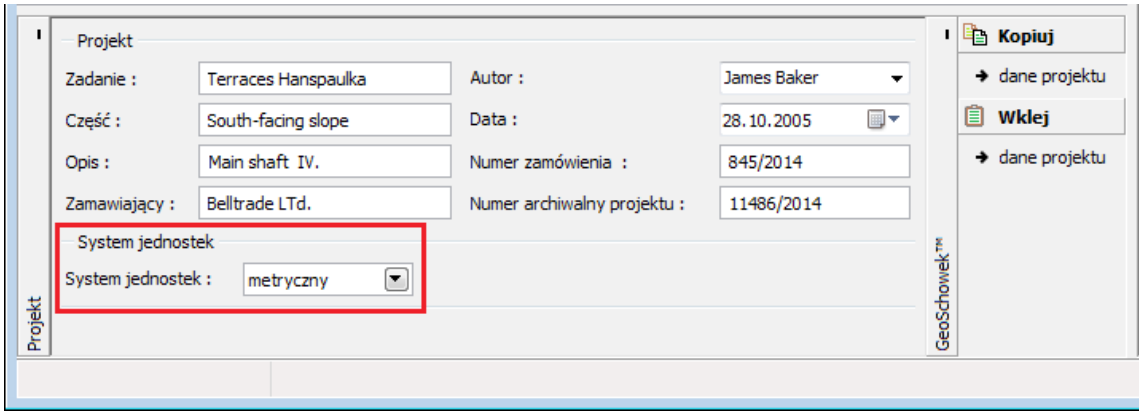
gruntu gruntu gruntu parcie gruntu

- Dane wyjściowe
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

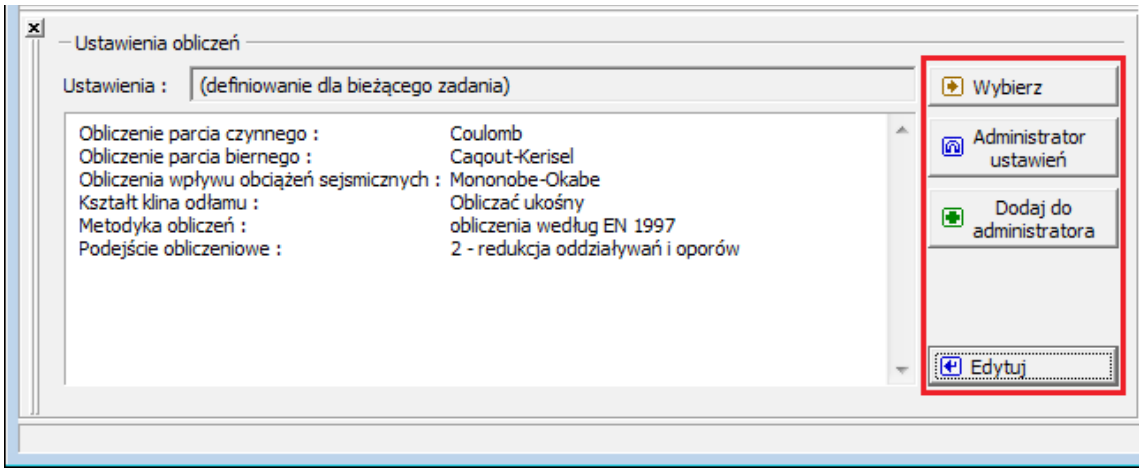
Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładce "Analiza parć".



Ramka "Ustawienia"

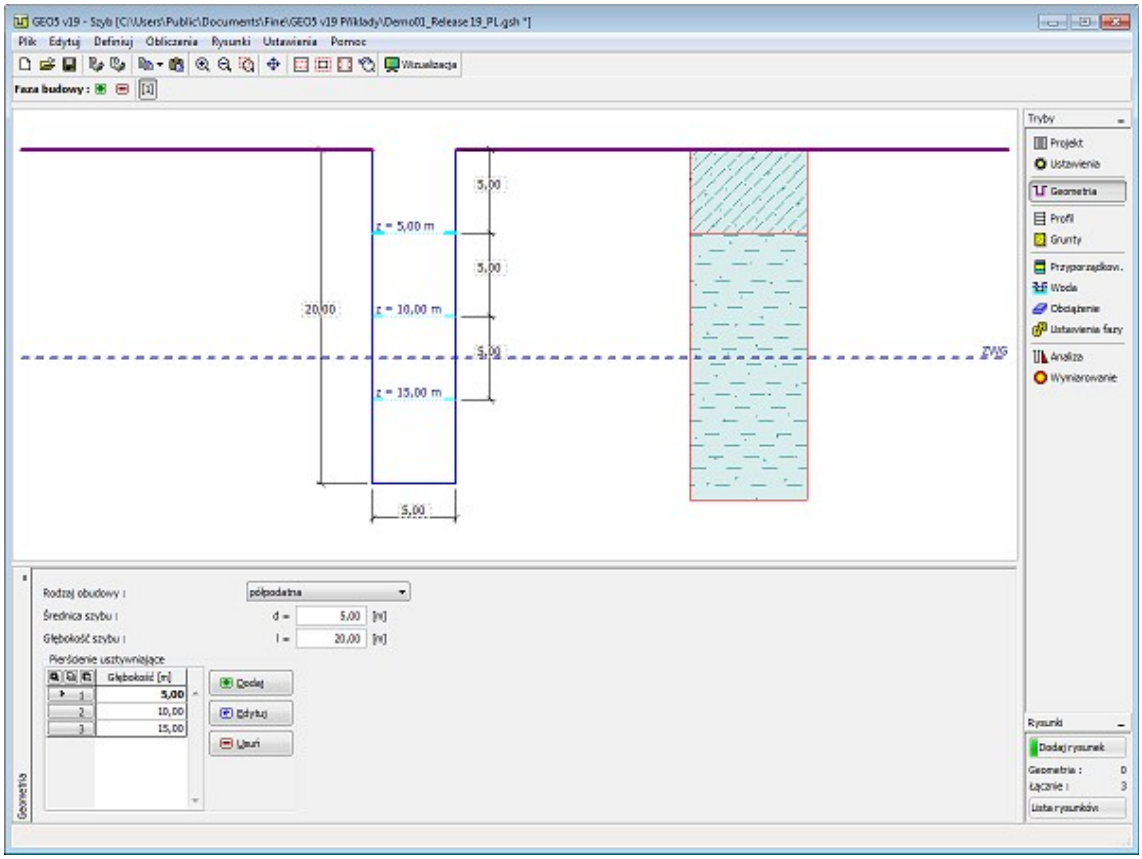
Geometria

W ramce "**Geometria**", wybiera się **rodzaj obudowy szybu** (podatna, półpodatna, sztywna) oraz definiuje się **średnicę szybu** d, **głębokość szybu** l oraz **położenie** (zagłębienie) **pierścieni usztywniających**.

Ramka zawiera tabelę z listą poziomów umiejscowienia (zagłębienia) pierścieni usztywniających. Dodawanie pierścieni wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowy pierścień**".

Zmiany wymiarów konstrukcji lub położenia poziomów pierścieni usztywniających można dokonać edytując odpowiednie wymiary w polach definiowania lub też bezpośrednio na pulpicie modyfikując aktywne wymiary.

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.



Ramka "Geometria

Profil

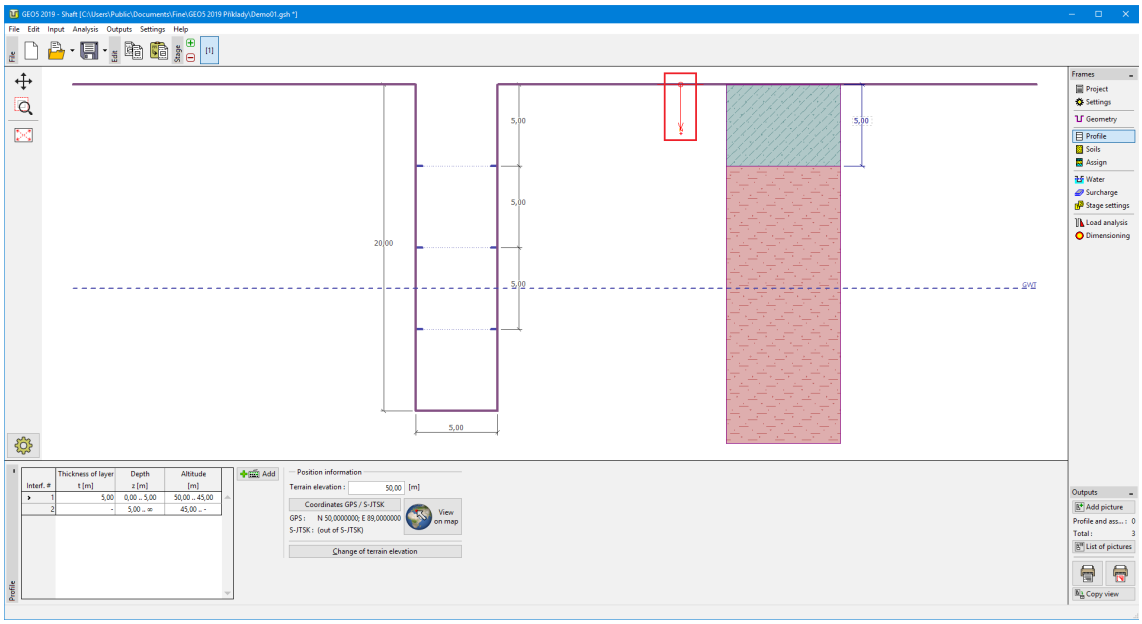
Ramka "**Profil**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych warstw. Po zdefinowaniu poszczególnych warstw można edytować ich miąższość za pomocą aktywnych wymiarów.

Dodawanie warstw wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowa warstwa**". Definiowana jest rzędna z mierzona od górnego punktu konstrukcji (oś-z).

In this frame it is also possible to enter optional information about the structure location:

- **terrain elevation** - an altitude column for the layers is displayed in the table after input of terrain elevation
- **GPS coordinates** - it is possible to show a structure on the Google Maps using "**View on map**" button after input of coordinates.

Program umożliwia obniżenie lub podniesienie górnego punktu konstrukcji w oknie dialogowym "**Zmiana rzędnej terenu**", a zdefiniowane warstwy będą wówczas przesunięte, jednocześnie zachowując swoją miąższość. Funkcja ta jest istotna podczas kopiowania profilu z programu "**Teren**".



Ramka "Profil"

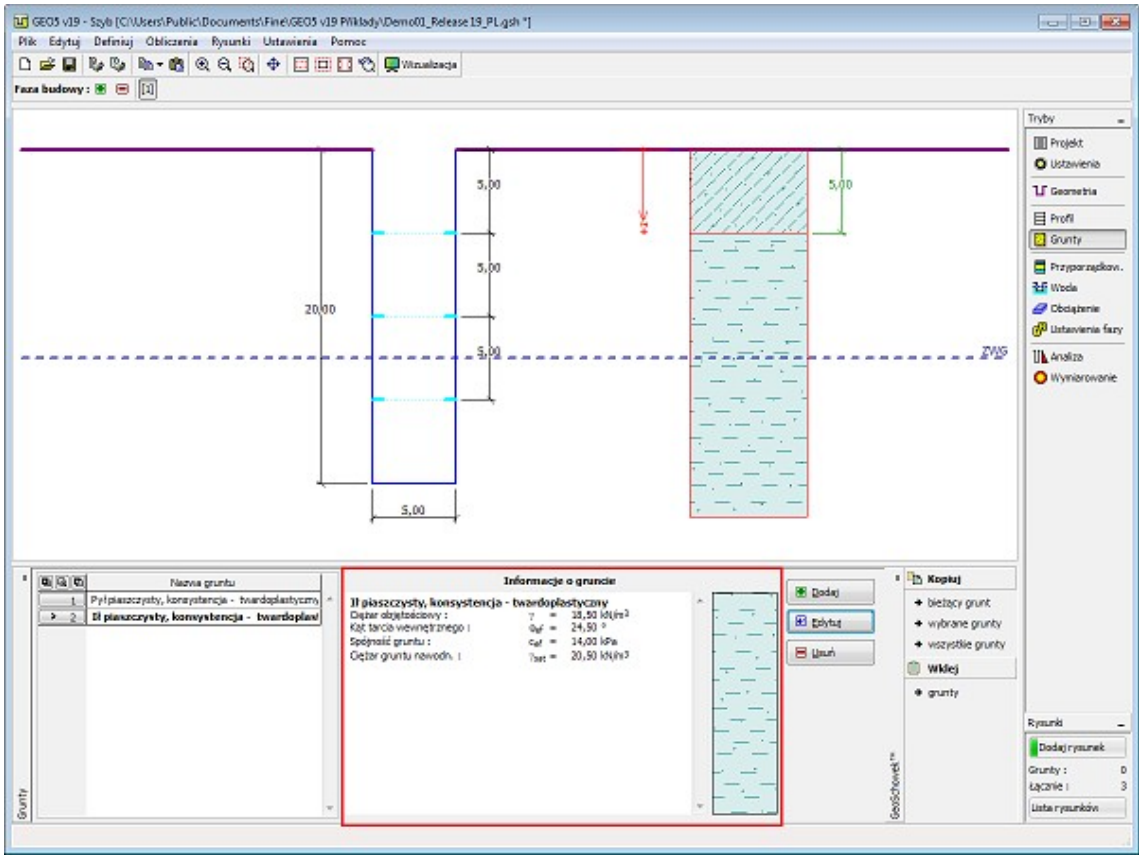
Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie (edycja) gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Dane podstawowe" oraz "Naprężenie geostatyczne, wypór".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.

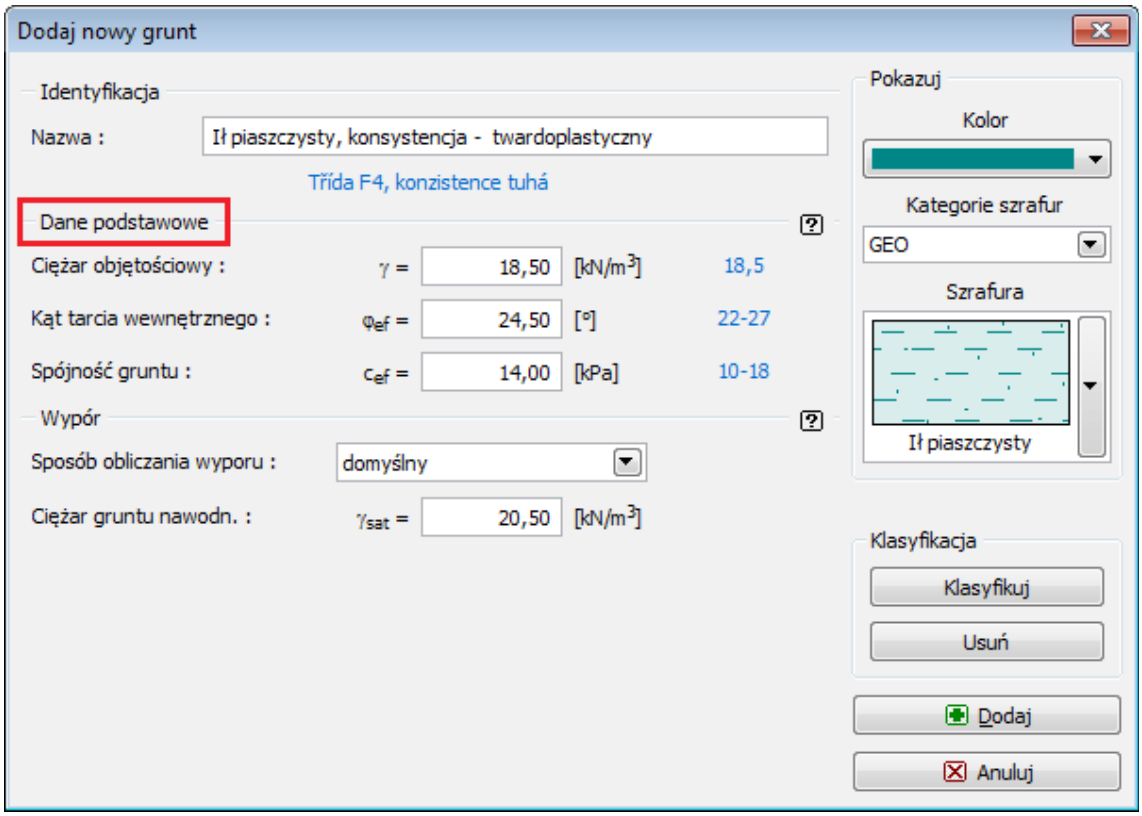


Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

Ta część okna dialogowego służy do definiowania podstawowych parametrów gruntów **ciężaru objętościowego, kąta tarcia wewnętrznego** oraz **spójności**. Wartości te określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub in-situ dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wartości parametrów gruntów określone na podstawie doświadczenia oraz literatury światowej. Parametry skał nie zostały zawarte w tej bazie, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym.

Podstawy teoretyczne dotyczące omawianego zaganienia opisano w rozdziale "Parcie gruntu".

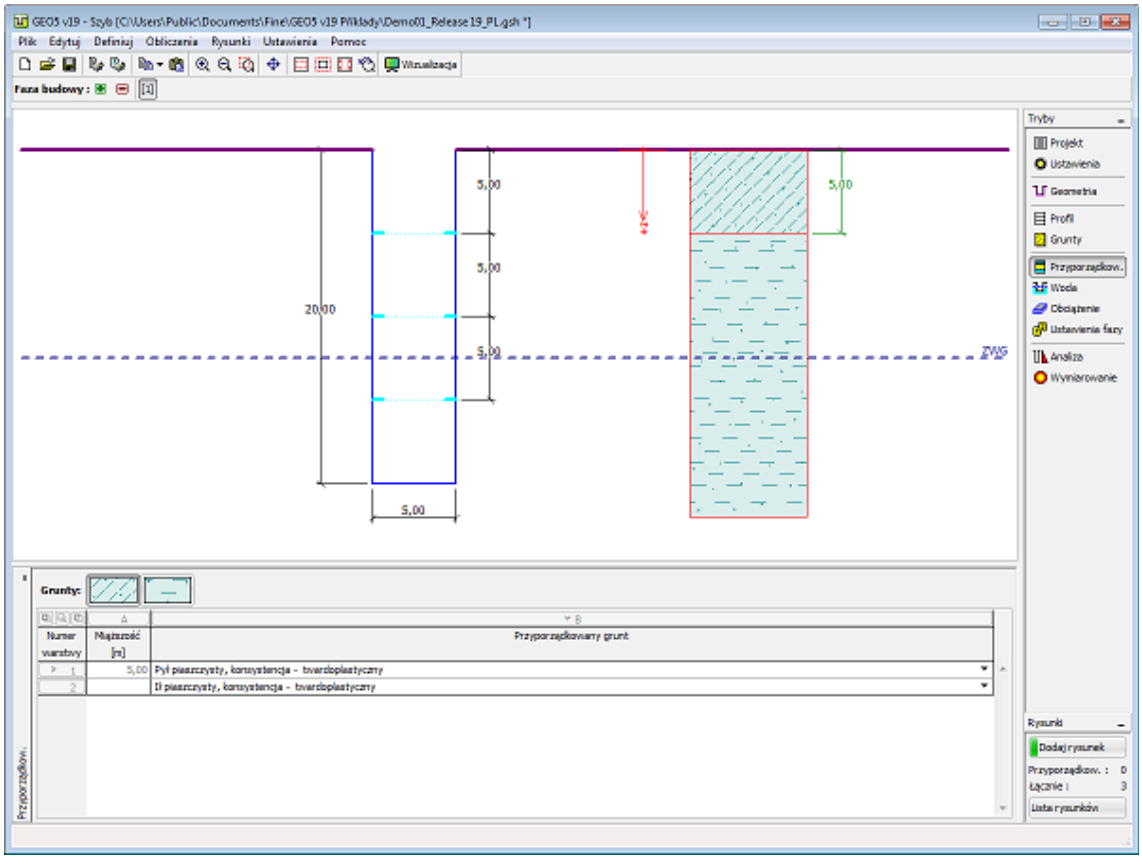


Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów".



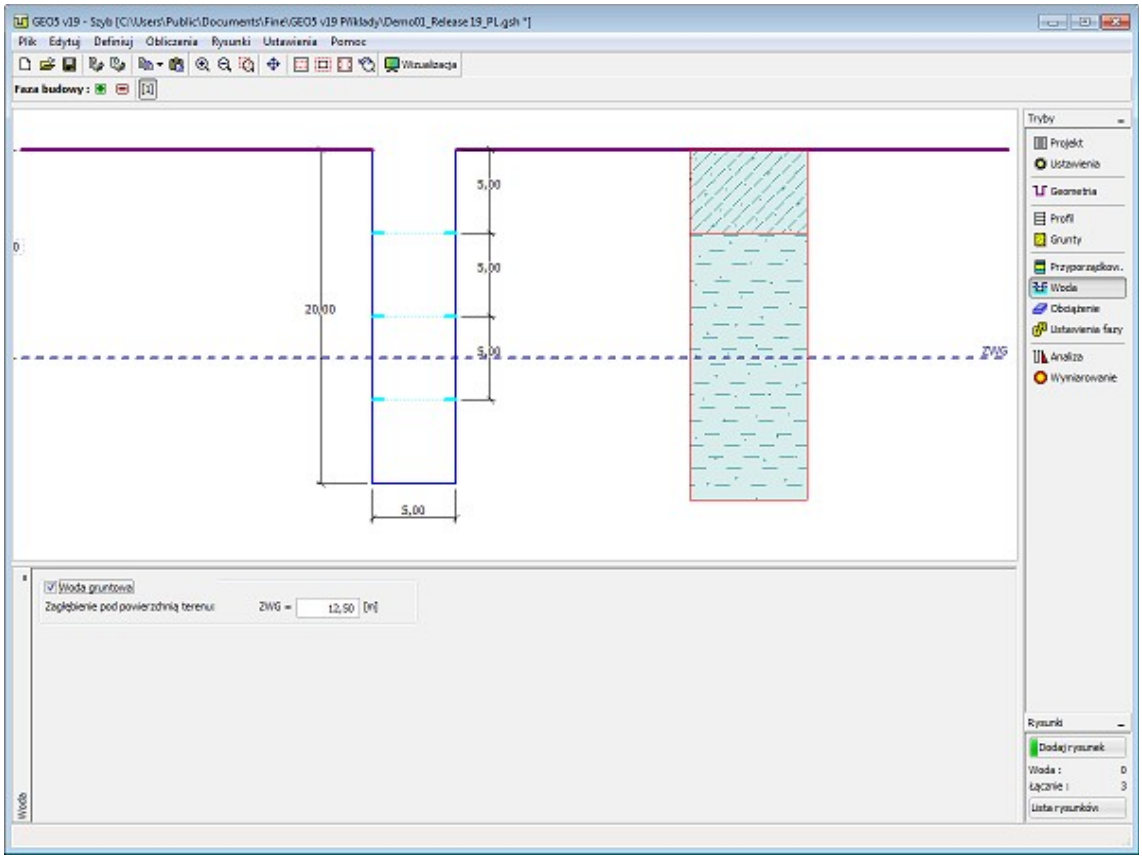
Ramka "Przyporządkowanie"

Woda

Ramka "**Woda**" służy do definiowania **zagłębienia zwierciadła wody gruntowej** poniżej powierzchni terenu.

Wartości można definiować zarówno w odpowiednich polach w ramce, jak również na pulpicie wykorzystując wymiary aktywne.

Zdefiniowanie **ZWG** powoduje zmianę naprężeń geostatycznych w masywie gruntowym.



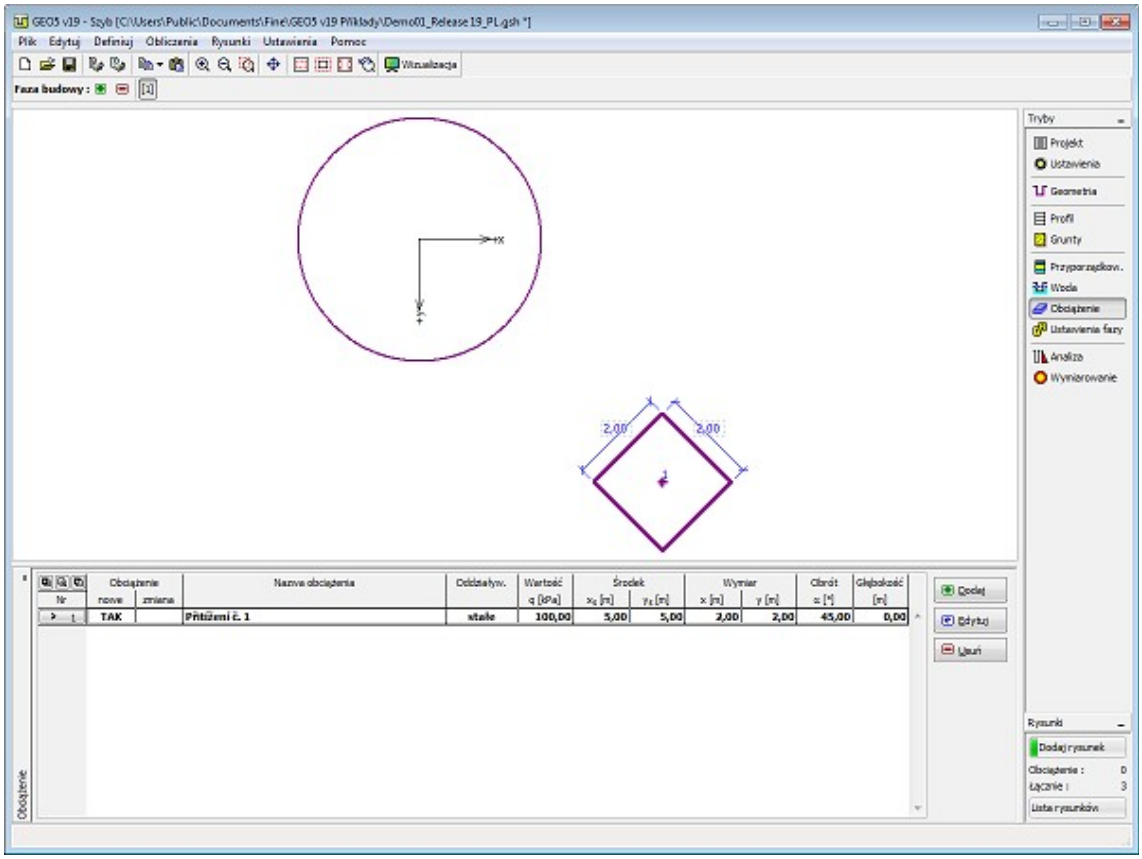
Ramka "Woda"

Obciążenie

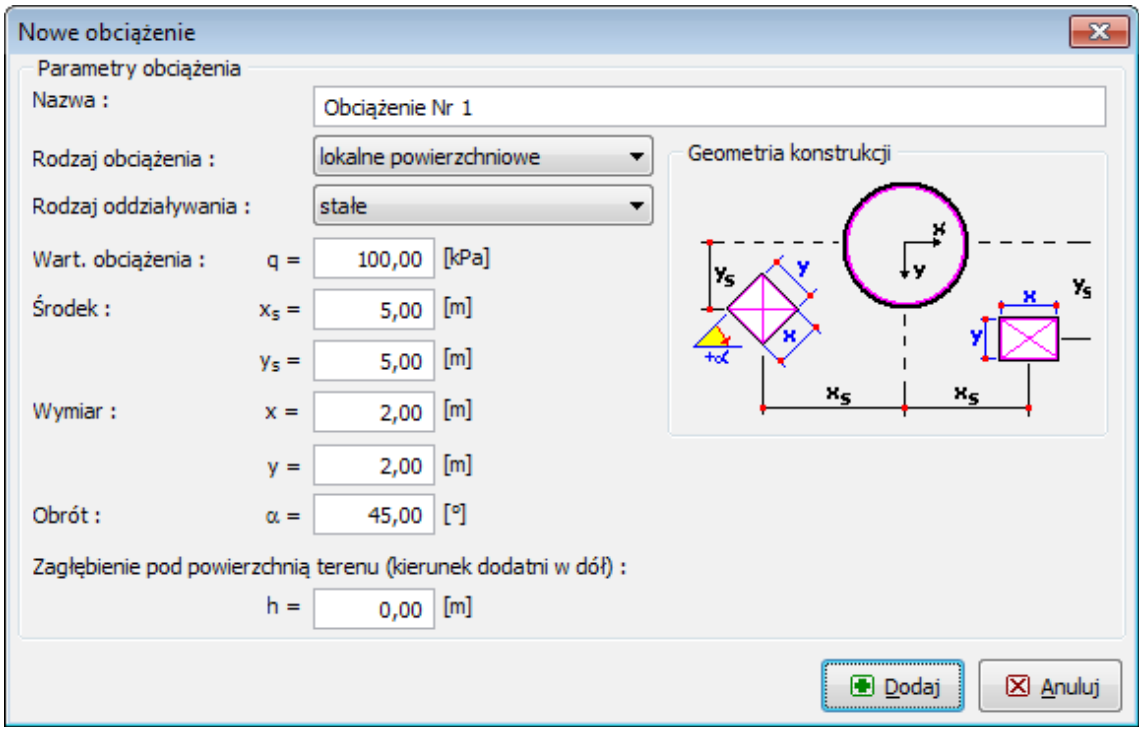
Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych obciążeń. Dodawanie obciążenia wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Zdefiniowane obciążenia można edytować na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

W programie istnieje możliwość zdefiniowania obciążeń **stałych, zmiennych** lub **wyjątkowych**. Obciążenie może być **powierzchniowe** lub **lokalne**. Końcowy efekt oddziaływania przemnażany jest przez odpowiedni współczynnik obliczeniowy zależny od rodzaju obciążenia.

Przy definiowaniu obciążenia na pewnej głębokości, nie na powierzchni (np. fundamentów sąsiadujących z szybem budynków), należy zdefiniować głębokość h poniżej powierzchni terenu (kierunek dodatni w dół).



Ramka "Obciążenie"



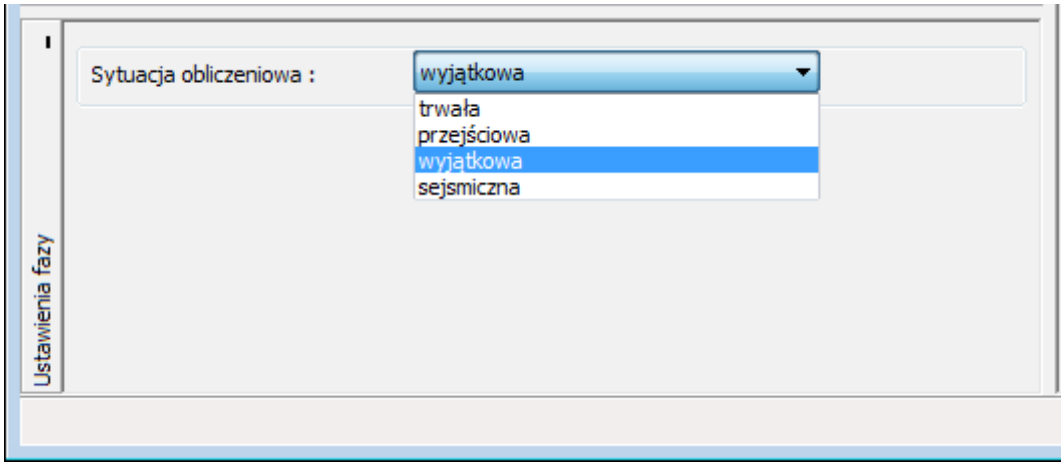
Okno dialogowe "Nowe obciążenie"

Ustawienia fazy

Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących tylko wybranej fazy obliczeniowej.

Wybrana sytuacja obliczeniowa określa współczynniki bezpieczeństwa, które będą zastosowane w obliczeniach danej fazy budowy.

Wygląd ramki zależy od wybranej metody analizy.



Ramka "Ustawienia fazy"

Analiza obciążeń

Ramka **"Analiza"** pozwala na wyznaczenie ostatecznego obciążenia w **kierunku pionowym**, ostatecznego obciążenia oddziałującego na **pierścienie usztywniające** lub oddziałującego na **zdefiniowanej głębokości** (w przypadku szybów bez pierścieni usztywniających). Program wyznacza wszystkie obciążenia częściowe, przemnaża je przez odpowiednie współczynniki częściowe i wyświetla na ekranie ostateczne/wynikowe obciążenie.

Wyznaczone, równomierne parcie gruntu może być modyfikowane (zgodnie z normami DIN lub SNIP) poprzez zastosowanie współczynnika redukcyjnego, w taki sposób, że pierwotnie **"kołowe"** obciążenie zmienia się w **"eliptyczne"**. Istnieje także możliwość określenia sposobu modyfikacji (zwiększać i zmniejszać obciążenie lub tylko zmniejszać obciążenie) oraz wartości **współczynnika redukcji** (wartość zalecana współczynnika wynosi 25 %).

Wyznaczone obciążenie stanowi dane wejściowe do wyznaczania sił wewnętrznych w ramce "Wymiarowanie". Program automatycznie wyznacza obciążenia oddziałujące na wszystkie pierścienie usztywniające lub na zdefiniowanych głębokościach (szyb bez pierścieni usztywniających).

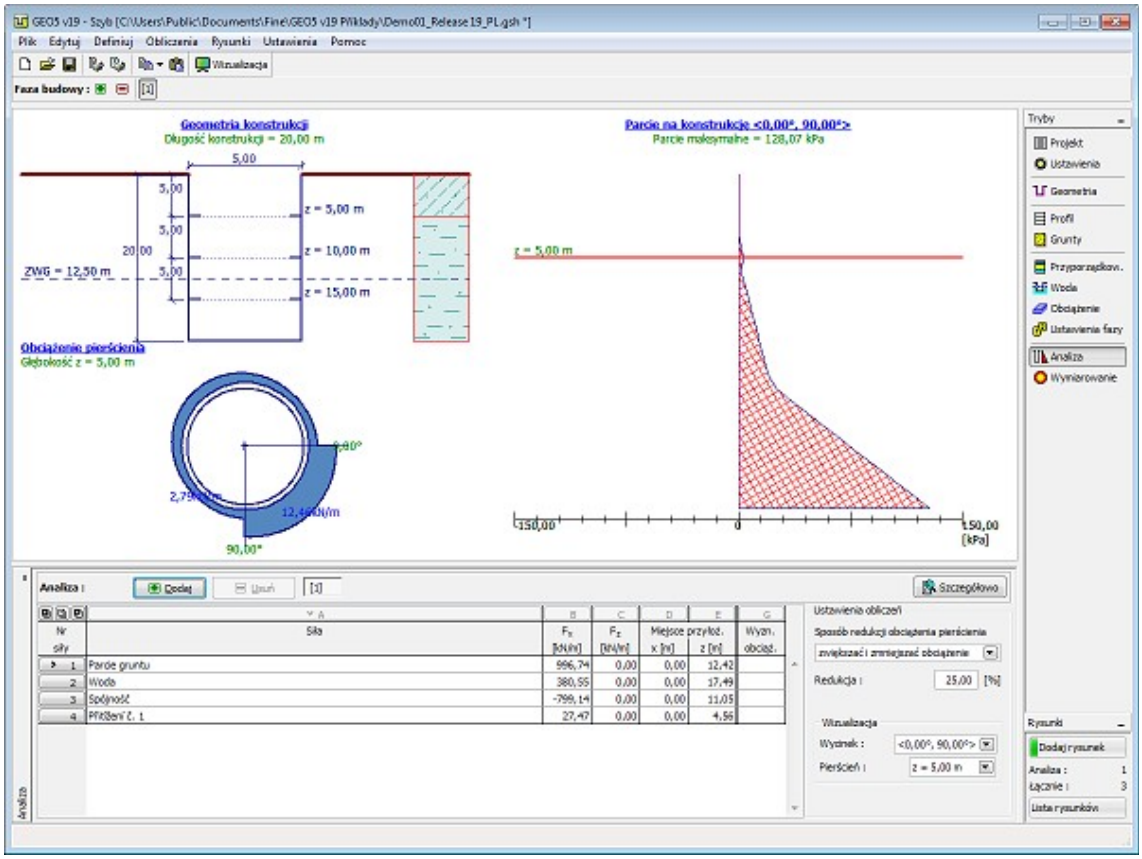
Istnieje możliwość przeprowadzenia dowolnej liczby analiz w każdym zadaniu. Jest to bardzo przydatne w celu określenia różnych kombinacji przypadków obciążenia - które mogą być następnie wykorzystane przy wymiarowaniu konstrukcji w ramce "Wymiarowanie".

Wygląd ramki różni się w zależności od wybranej metody analizy:

- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa, czy analiza z wykorzystaniem teorii stanów granicznych - ostatnia kolumna w tabeli pozwala na zdefiniowanie współczynników obliczeniowych, które służą do przemnożenia wyznaczonych sił. Wyznaczone siły pokazane są na pulpicie i odpowiednio natychmiast modyfikowane przy dowolnej zmianie danych lub ustawień w ramce.

- Analiza według normy EN 1997 - ostatnia kolumna w w tabeli umożliwia zdefiniowanie czy obciążenie oddziałujące na konstrukcję jest uwzględniane jako drugorzędne czy nie. Temat ten został szczegółowo opisany w rozdziale "Kombinacje obciążeń".
- Analiza według LRFD - w tym przypadku ostatnia kolumna nie jest wyświetlana.

Wyniki analizy wyświetlane są na pulpicie i odpowiednio natychmiast modyfikowane przy dowolnej zmianie danych lub ustawień. Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka"Analiza"

Wymiarowanie

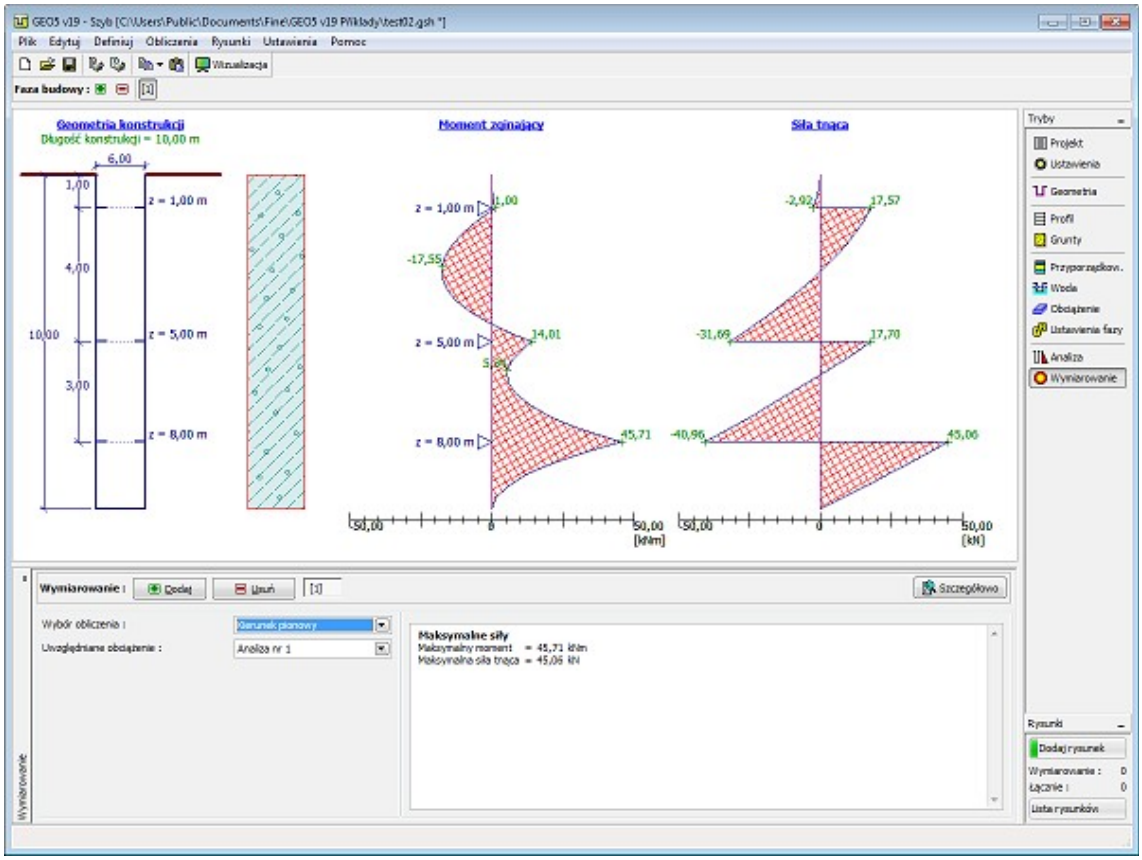
W ramce **"Wymiarowanie"**, program wyznacza siły wewnętrzne w ścianach szybu oraz w pierścieniach usztywniających na podstawie obciążeń, wyznaczonych wcześniej w ramce "Analiza". W ramce "**Wymiarowanie"** wykonywane są dwa rodzaje analizy:

- wyznaczanie sił wewnętrznych w kierunku pionowym
- wyznaczanie sił wewnętrznych w pierścieniach usztywniających lub na zadanej głębokości (dla szybów bez pierścieni)

Obliczenia wykonywane są dla wybranych obciążeń lub obwiednie sił wewnętrznych tworzone są na podstawie wszystkich zdefiniowanych obciążeń (przypadków obciążeń).

Istnieje możliwość przeprowadzenia dowolnej liczby analiz w każdym zadaniu. Maksymalne wartości wyznaczonych sił wewnętrznych wyświetlane są w ramce, w dolnej części ekranu. Przycisk **"Szczegółowo**" z prawej strony ramki otwiera okno dialogowe, w którym pokazane są szczegółowe wyniki analiz.

Podczas analizy sił wewnętrznych w kierunku pionowym, program program umożliwia wybór konkretnych przekrojów (uwzględniając, że dodane jest obciążenie lokalne istnieje możliwość definiowania większej liczby przekrojów). Możliwe jest też wyznaczenie obwiedni sił wewnętrznych dla wszystkich przekrojów.

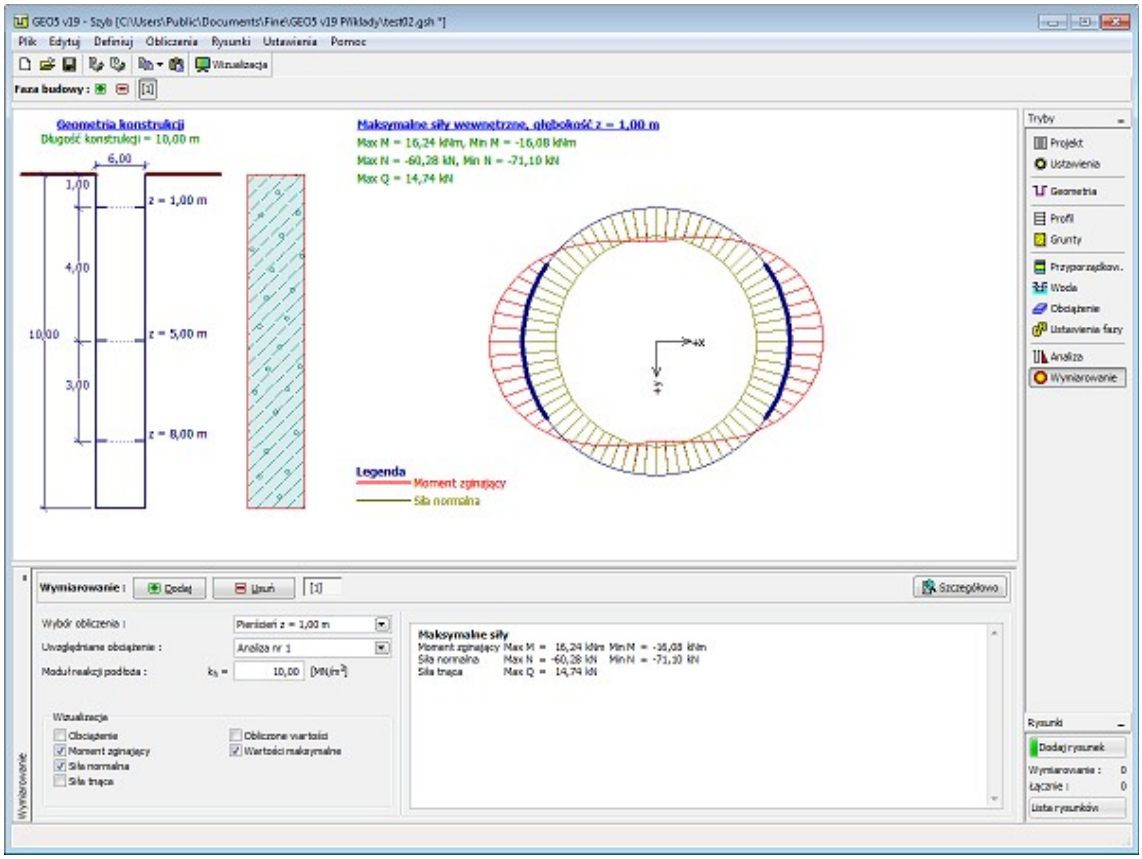


Ramka "Wymiarowanie" - kierunek pionowy

W celu przeprowadzenia analizy w kierunku poziomym (siły wewnętrzne w pierścieniach usztywniających lub na zadanej głębokości), należy zdefiniować wartości **modułu reakcji podłoża** dla gruntu na danej głębokości.

Program wyświetla obciążenia, momenty zginające i siły tnące - sposób wizualizacji można zdefiniować w ramce **"Wizualizacja"**. Wybór opcji **"Wartości maksymalne"** powoduje ukrycie wszystkich wyznaczonych wartości poza maksymalnymi.

Część rysunku zaznaczona jest linią pogrubioną - jest to ta część szybu, która odkształca się w stronę gruntu. W tej strefie sprężynki podłoża uwzględniane są z zastosowaniem metody poligonów.



Ramka "Wymiarowanie" - pierścień usztywniający

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".

Program Stateczność zbocza

Program ten służy do wykonywania analizy stateczności zboczy (nasypów, wykopów, kotwionych ścian wykopów, nasypów zbrojonych itp). Powierzchnia poślizgu może być przyjmowana w analize jako kołowa (metody: Bishopa, Felleniusa/Pettersona, Janbu, Morgensterna-Price'a lub Spencera) lub łamana (metody: Sarmy, Janbu, Morgensterna-Price'a lub Spencera).

Pomoc w programie "Stateczność zbocza" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

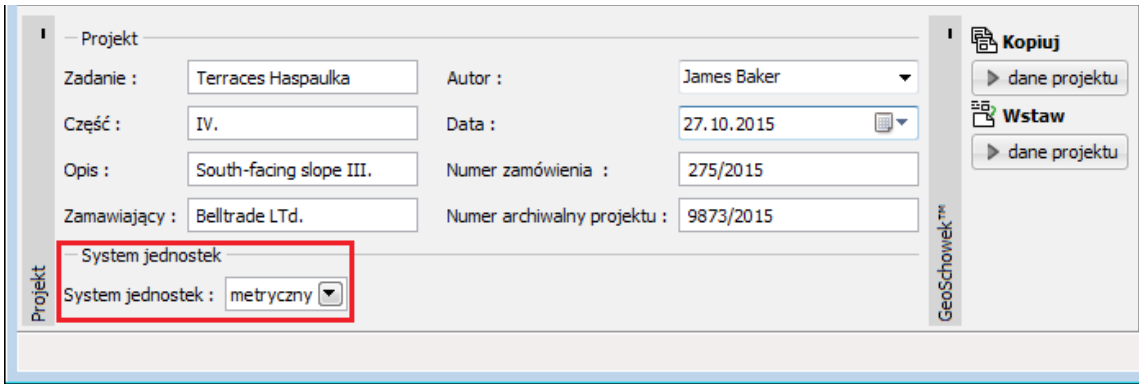
Projekt	Ustawienia	Warstwa	Nasyp	Wykop	Grunty	Elementy sztywne
Przyporządkowanie	Kotwy	Gwoździe	Zbrojenie	Pal stabilizujący	Obciążenie	Woda
Obciążenia sejsmiczne	Ustawienia fazy	Obliczenia				

- Normy i metody obliczeniowe
- Teoria obliczeniowa do programu "**Stateczność zbocza**":
  Naprężenia w gruncie Parametry skał Pal stabilizujący Stateczność zbocza
- Dane wyjściowe
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz ustawienia**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

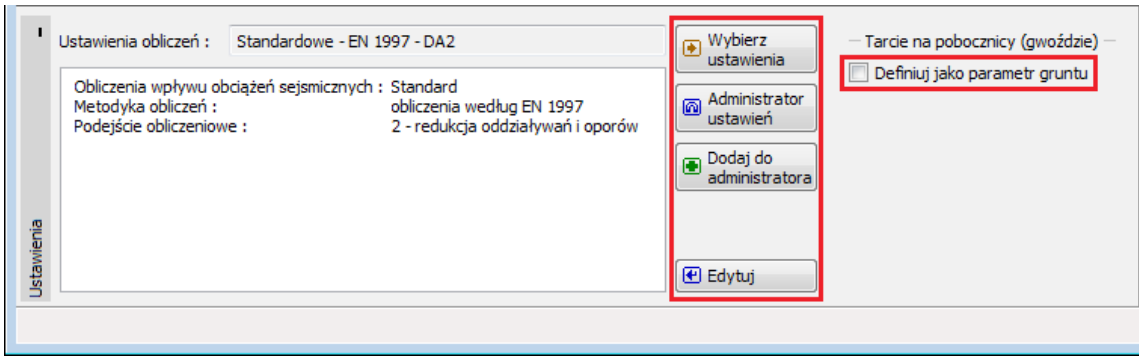
Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładkach "Materiały i normy" oraz "Analiza stateczności".

Do wyznaczania nośności na wyciąganie gwoździa, tarcie na pobocznicy może być zdefiniowane jako parametr gruntu.



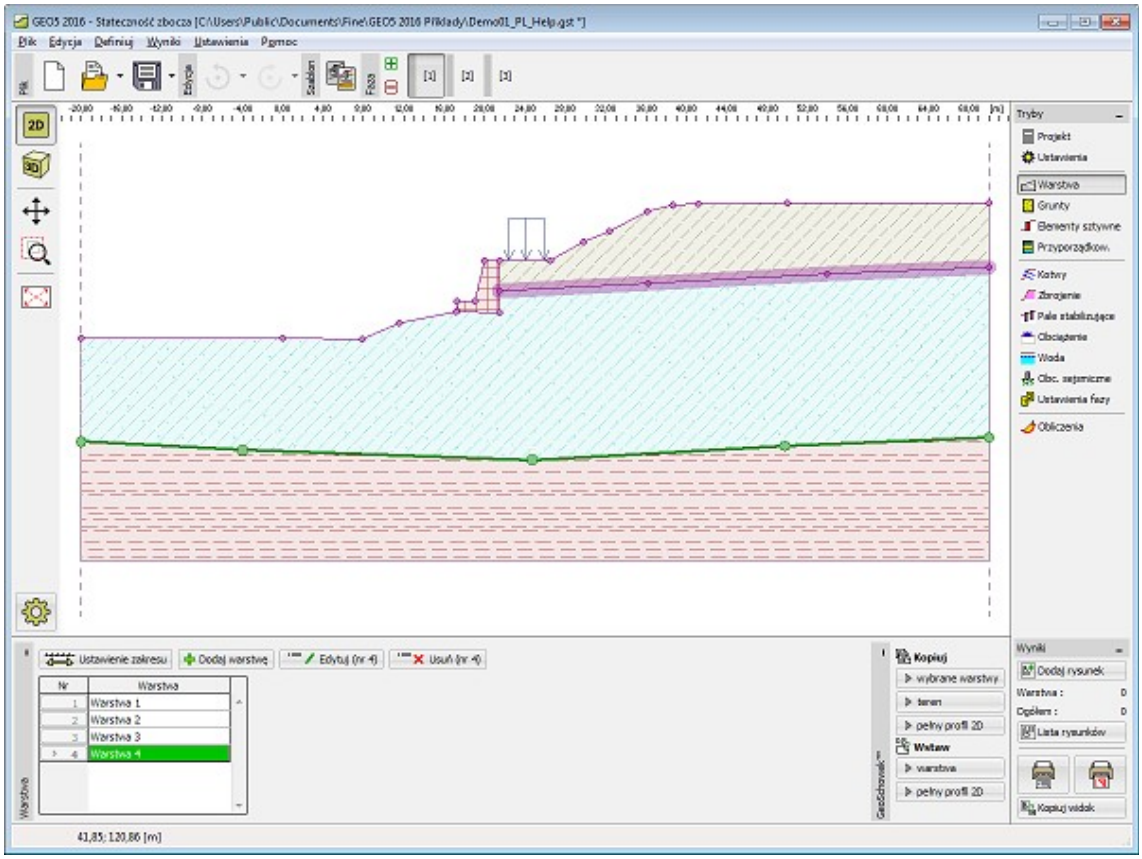
Ramka "Ustawienia"

Warstwa

Ramka "**Warstwa**" służy do definiowania poszczególnych warstw gruntu. Metody definiowania i edycji warstw zostały szczegółowo przedstawione w rozdziale "Warstwy w środowisku 2D"**.**

Program umożliwia import i eksport warstw w formacie *.DXF.

Zdefiniowane warstwy mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.



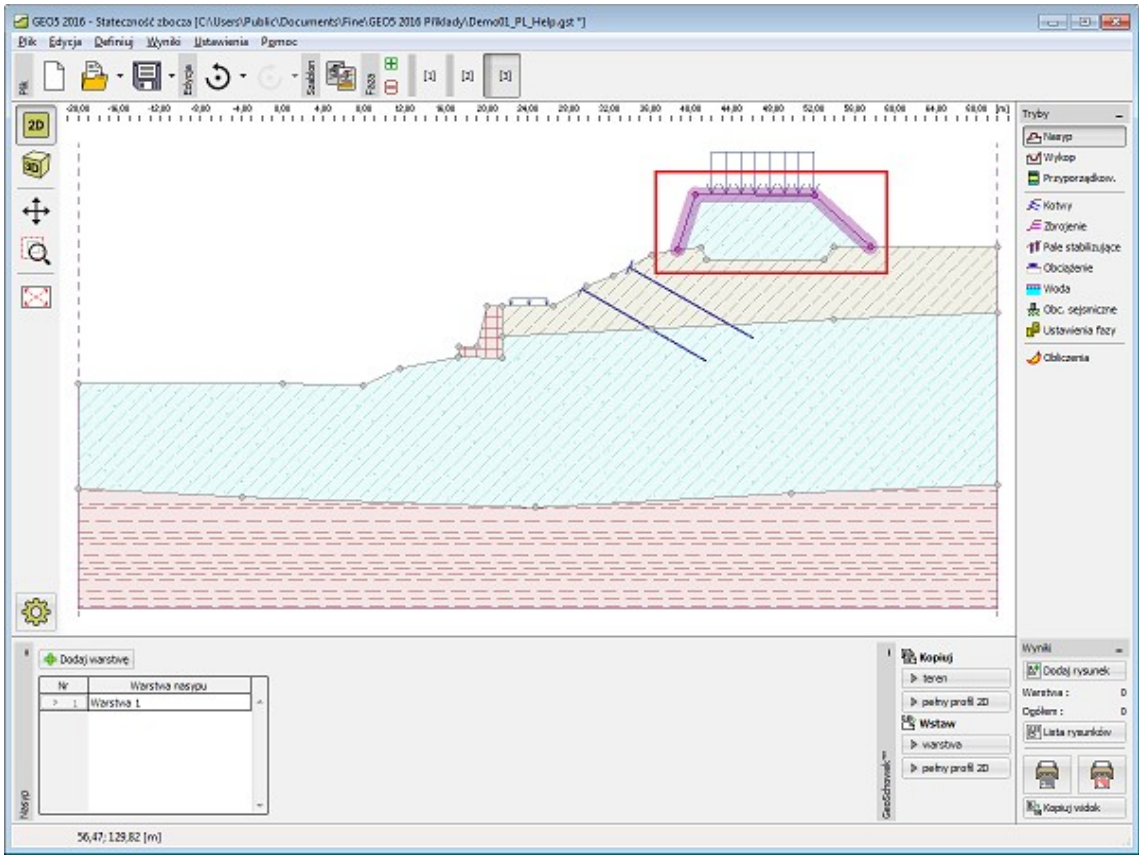
Ramka "Warstwa"

Nasyp

Ramka "**Nasyp**" umożliwia wprowadzanie warstw w celu utworzenia nasypu nad aktualnym terenem. Ramka zawiera tabelę z listą warstw tworzących nasyp. Tabela z listą punktów aktualnie wybranej warstwy jest wyświetlana w środkowej części ramki. Definiowanie warstwy nasypu odbywa się identycznie jak w przypadku definiowania warstw gruntu.

Nie można zdefiniować nasypu w pierwszej fazie budowy. Nasypu nie można również wprowadzić, jeżeli w tej samej fazie zdefiniowany został wykop - w takim przypadku należy wprowadzić nową fazę budowy dla nasypu, lub najpierw usunąć istniejący wykop.

Zdefiniowane warstwy nasypu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.



Ramka "Nasyp"

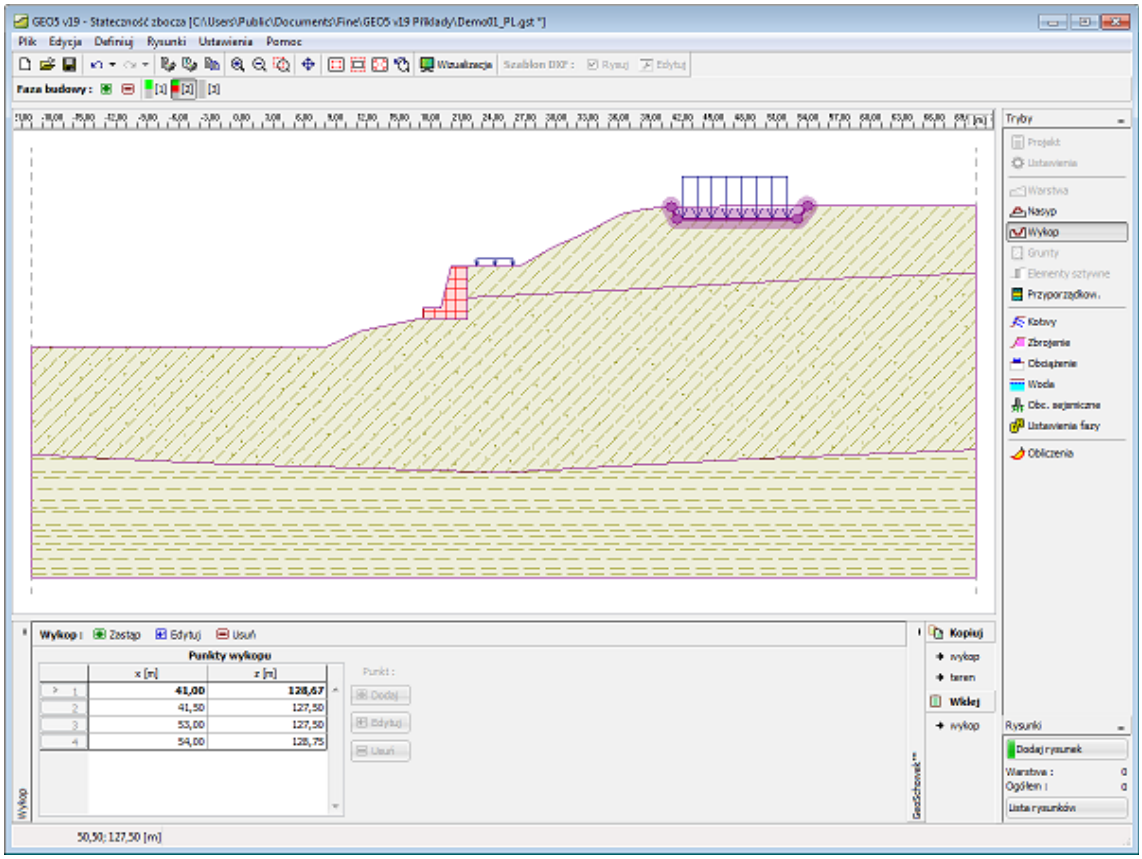
Wykop

Ramka "**Wykop**" służy do definiowania wykopu. Funkcja ta pozwala modyfikować profil terenu na danym fazie budowy. Istnieje możliwość jednoczesnego wprowadzenia kilku **wykopów**. W takim przypadku, niektóre linie wykopu są częściowo widoczne nad terenem.

Tabela z listą punktów warstwy wyświetlana jest w lewej części ramki. Definiowanie warstwy wykopu odbywa się identycznie jak w przypadku definiowania warstw gruntu.

Nie można zdefiniować wykopu w pierwszej fazie budowy. Nie można także zdefiniować wykopu, jeżeli w danej fazie został zdefiniowany nasyp - w takim przypadku należy najpierw wprowadzić nową fazę budowy dla wykopu, bądź usunąć istniejący nasyp.

Zdefiniowane warstwy wykopu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.



Ramka "Wykop"

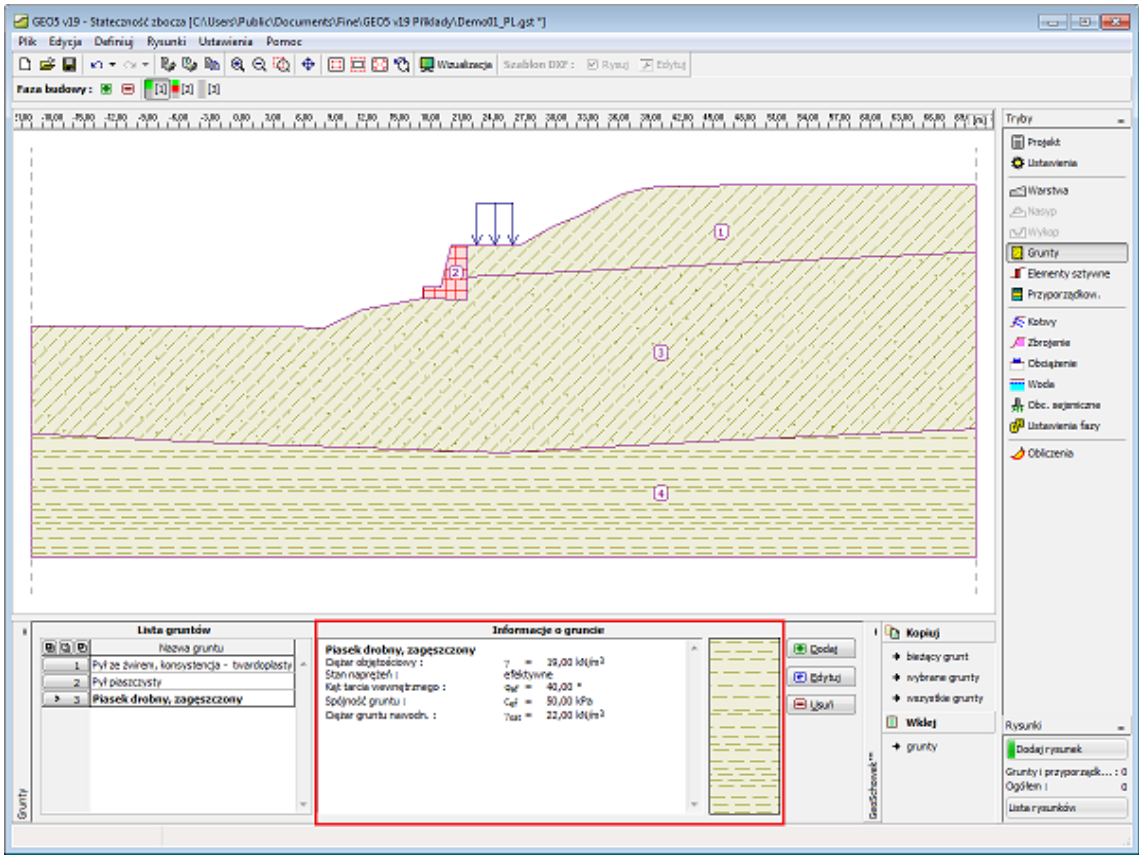
Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Dane podstawowe", "Naprężenie geostatyczne, Wypór", "Foliacja", "Parametry dla gwałtownego obniżenia zwierciadła wody gruntowej" i "Tarcie na pobocznicy" (patrz ramka "Ustawienia"). Definiowanie parametrów zależne są także od wybranego rodzaju analizy (efektywny / całkowity stan naprężenia), który należy wybrać z listy rozwijanej.

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

Ta część okna dialogowego służy do definiowania podstawowych parametrów gruntów - **ciężaru objętościowego, kąta tarcia wewnętrznego** oraz **spójności**. Wartości te określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub in-situ dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wartości parametrów gruntów określone na podstawie doświadczenia oraz literatury światowej. Parametry skał nie zostały zawarte w tej bazie, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym.

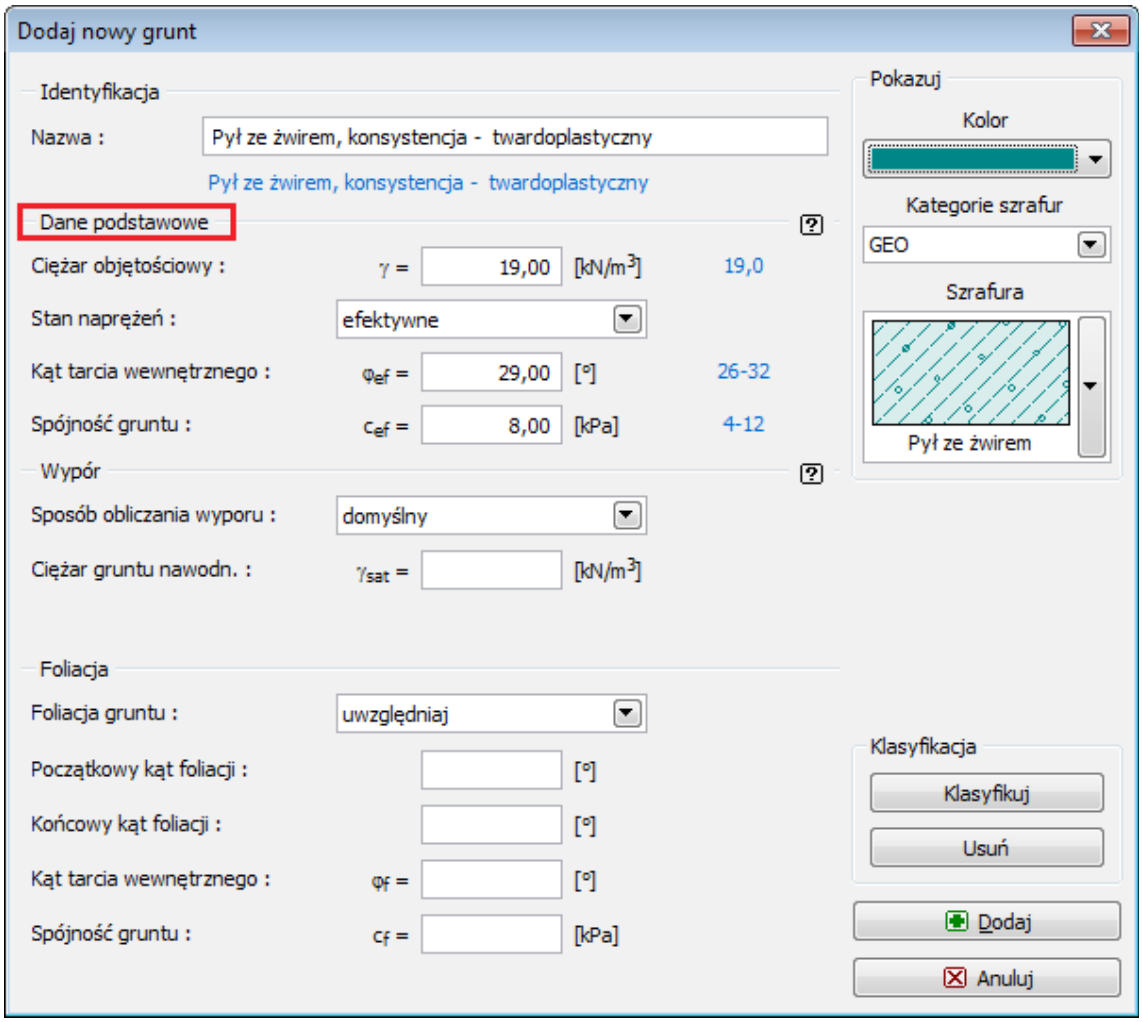
Metody obliczeniowe analizy stateczności zboczy różnią się w przypadku:

- **warunków z odpływem:** do obliczeń stateczności zboczy, w celu wyznaczenia warunków równowagi na powierzchni poślizgu (kołowa, łamana) uwzględnia się naprężenia efektywne zgodnie z równaniem $N*tg\varphi_{ef} + c_{ef}*l$.
- **w warunkwch bez odpływu:** w przypadku naprężeń całkowitych (uogólnionych) do wyznaczania sił biernych na powierzchni poślizgu (kołowa, łamana) uwzględnia się w postaci c_u*l.

W niektórych państwach, przyjęte jest definiowanie obydwu parametrów wytrzymałościowych φ_u, c_u w naprężeniach uogólnionych (całkowitych). W takim przypadku, w programie Stateczność zbocza, należy zdefiniować zadanie w naprężeniach efektywnych stosując parametry φ_{ef}, c_{ef} .

Podstawy teoretyczne dotyczące omawianego zaganienia opisano w rozdziale "Analiza

stateczności zbocza".



Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

Elementy sztywne

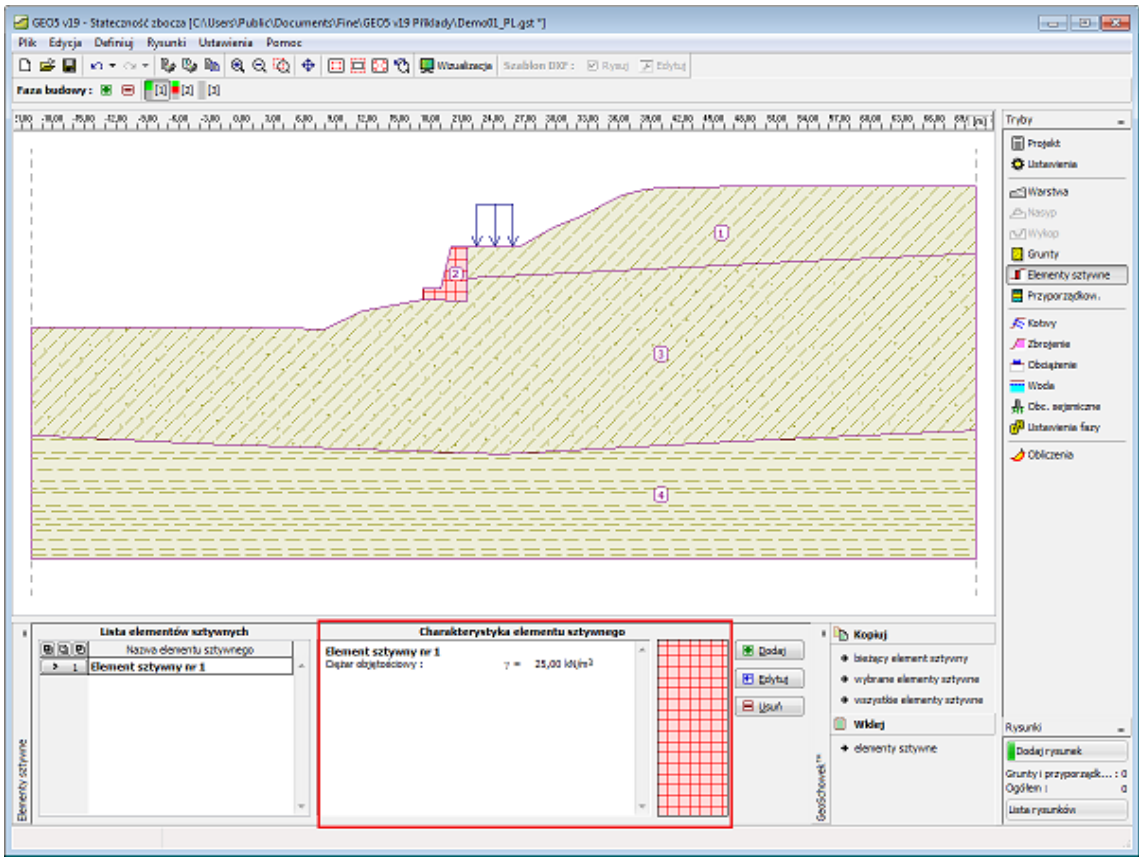
Ramka "**Elementy sztywne**" zawiera tabelę z listą elementów sztywnych. Elementy sztywne służą do modelowania regionów o wyższej sztywności - np. **elementów żelbetowych** lub **podłoża skalnego**. Tabela ta również dostarcza informacje o aktualnie wybranym elemencie sztywnym, które są wyświetlane w prawej części ramki.

Dodawanie elementów sztywnych odbywa się w oknie dialogowym "**Dodaj nowy element sztywny**". Okno to służy do definiowania ciężaru objętościowego elementu sztywnego oraz wyboru koloru i szrafury. Elementy sztywne pojawiają się następnie w ramce "Przyporządkowanie" wraz ze zdefiniowanymi gruntami.

Elementy sztywne wprowadza się w programie jako regiony o wyższej wytrzymałości, których **nie będą przecinały ewentualne powierzchnie poślizgu**. Jeżeli jednak powierzchnia poślizgu ma móc przecinać element sztywny (np. ściana palowa), zaleca się wówczas modelowanie elementu sztywnego jako gruntu o spójności odpowiadającej nośności pali na poślizg.

Zdefiniowane elementy sztywne mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy

wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.

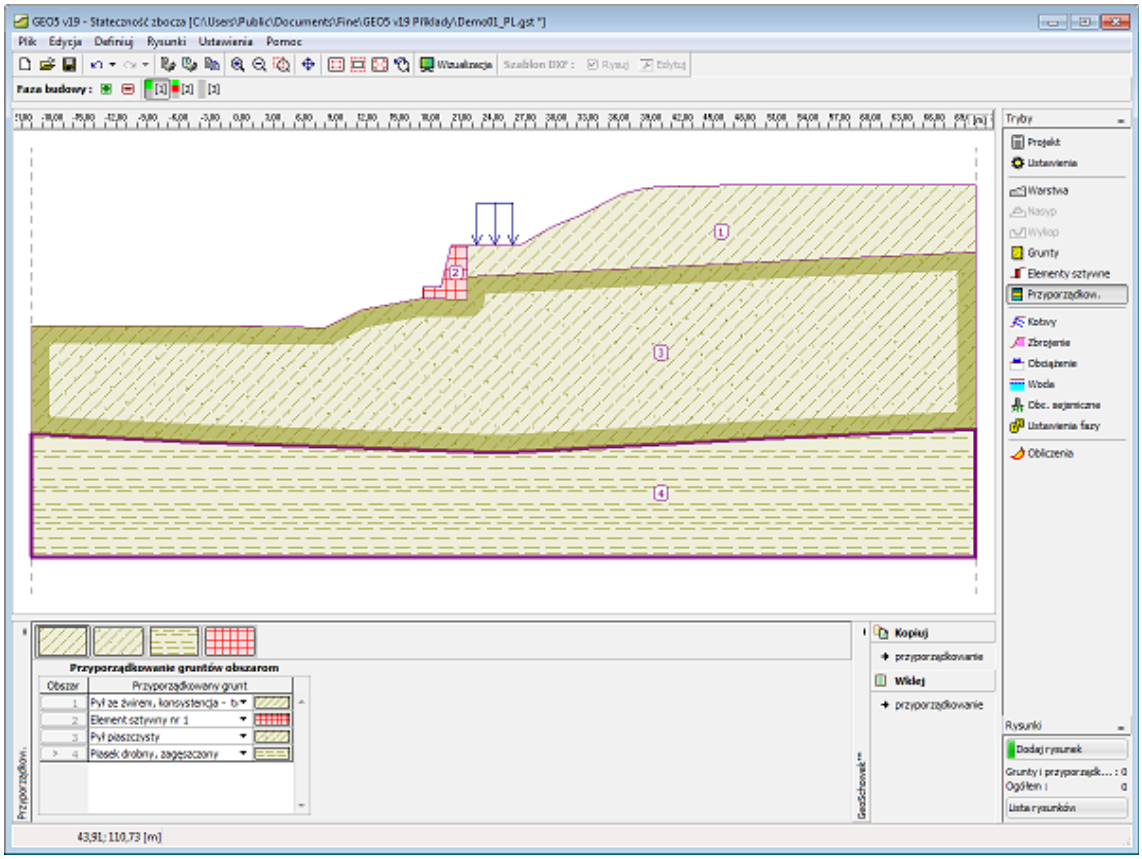


Ramka "Elementy sztywne"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu zdefiniowanych w ramce "**Profil**" i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów". Przyporządkowanie gruntów może być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.



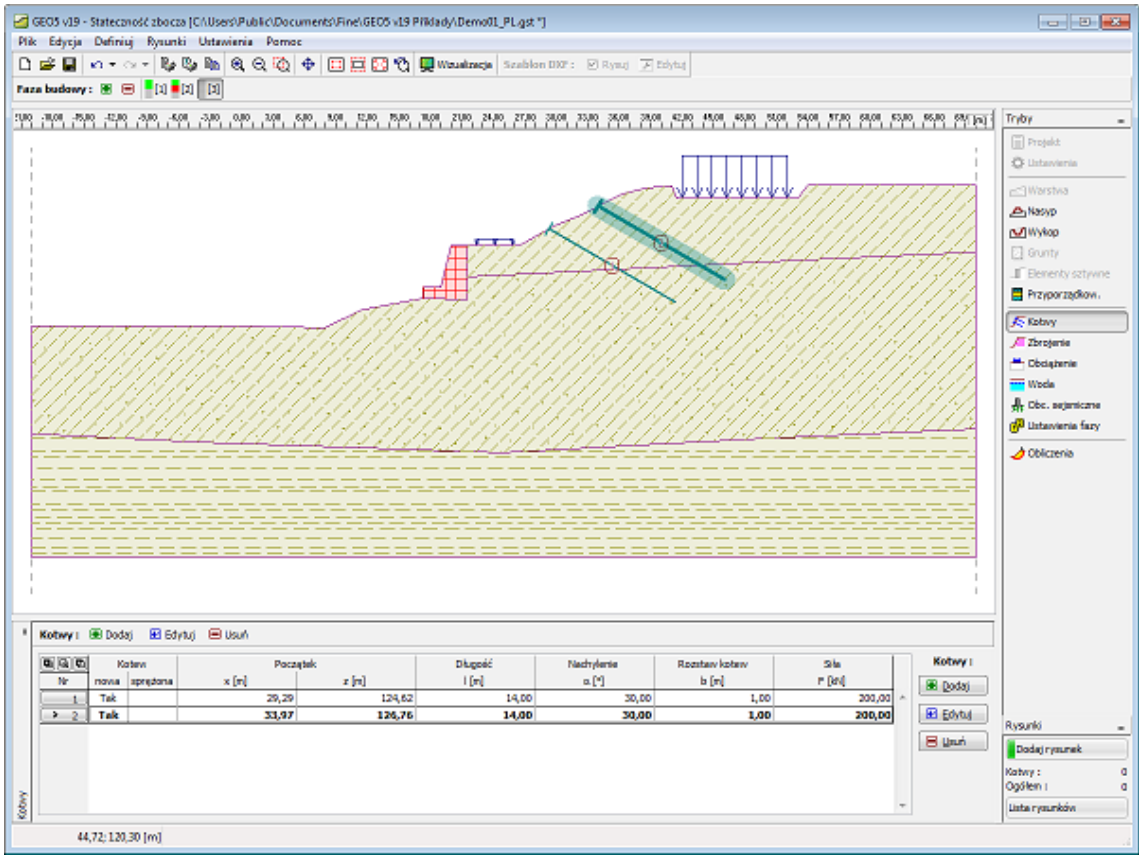
Ramka "Przyporządkowanie"

Kotwy

Ramka "**Kotwy**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych kotew. Dodawanie kotew odbywa się w oknie dialogowym "**Nowe kotwy**". Zdefiniowane kotwy można edytować na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

Okno dialogowe służy do definiowania położenia kotwy (początek x, z), jej długości wolnej l i kąta nachylenia α, rozstawu pomiędzy kotwami b, przesunięcia rzędu kotew b_S oraz wstępnej siły sprężającej F. Początek kotwy jest zawsze **dowiązany do terenu (powierzchni)**. Wszystkie definiowane parametry można modyfikować wyłącznie w fazie budowy, w której kotew została wprowadzona do modelu. W kolejnych fazach program umożliwia jedynie zmianę wartości siły sprężającej (poprzez wybranie opcji "**Sprężenie kotwy"**).

Oddziaływanie kotew w obliczeniach zostało szczegółowo opisane w teoretycznej części pomocy.



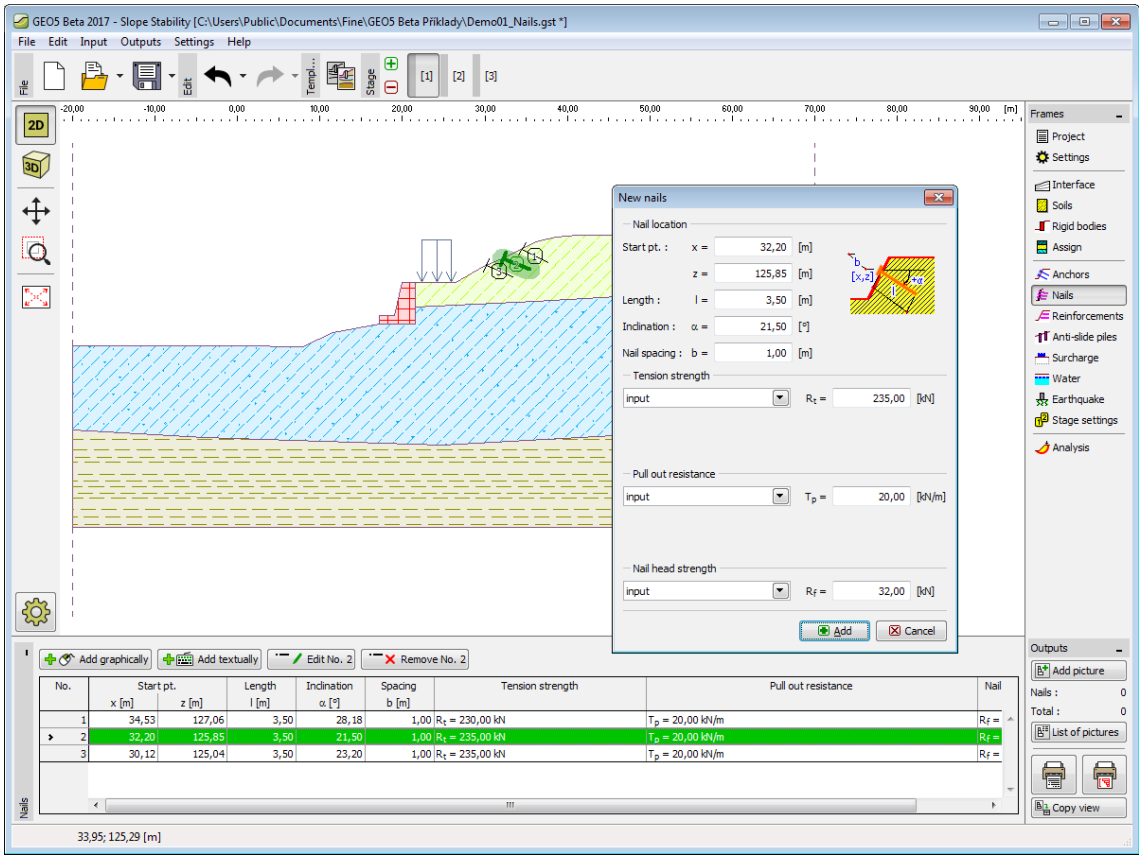
Ramka "Kotwy"

Gwoździe

Ramka "**Gwoździe**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gwoździ. Dodawanie gwoździ odbywa się w oknie dialogowym "**Nowy gwóźdź**". Zdefiniowane gwoździe można również edytować na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

Okno dialogowe służy do definiowania lokalizacji gwoździ, ich długości l i nachylenia α, rozstawu b, wytrzymałości na rozciąganie R_t, nośności na wyciąganie T_p i wytrzymalości głowicy gwoździ R_f.

Początek gwoździa jest zawsze **dowiązany do terenu (powierzchni)**. Wszystkie jego definiowane parametry można modyfikować wyłącznie w fazie budowy, w której gwóźdź został wprowadzony do modelu.



Ramka "Gwoździe"

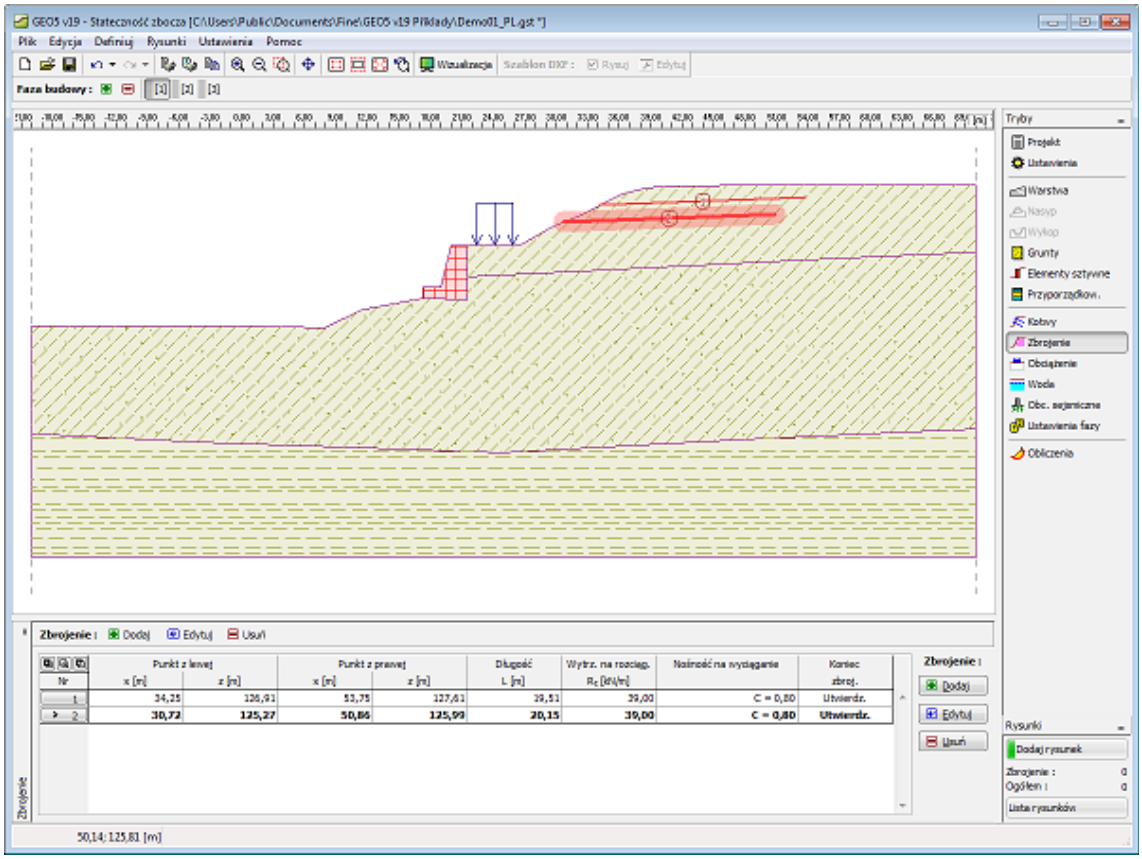
Zbrojenie

Ramka "**Zbrojenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych zbrojeń. Dodawanie zbrojenia odbywa się w oknie dialogowym "**Nowe zbrojenie**" Wprowadzone zbrojenia można edytować na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

Okna dialogowe służą do definiowania położenia zbrojenia, długości zakotwienia (na obydwu końcach - z lewej i z prawej), wytrzymałości na rozciąganie zbrojenia R_t oraz zakończenie zbrojenia (utwierdzone czy swobodne).

Przy obliczaniu nośności można dokonać wyboru jednej spośród trzech opcji z listy rozwijanej: "**Wyznacz nośność**" (definiowany jest współczynnik interakcji C), "**Definiuj długość zakotwienia**" l_k lub "**Definiuj nośność**" (definiowana jest nośność na wyciąganie T_p). Wszystkie parametry zbrojenia można modyfikować jedynie w fazie budowy, w której dane zbrojenie zostało zdefiniowane. W kolejnych fazach budowy można jedynie usunąć zbrojenie.

Uwzględnianie zbrojenia w obliczeniach zostało szczegółowo opisane w teoretycznej części pomocy.



Ramka "Zbrojenia"

Pale stabilizujące

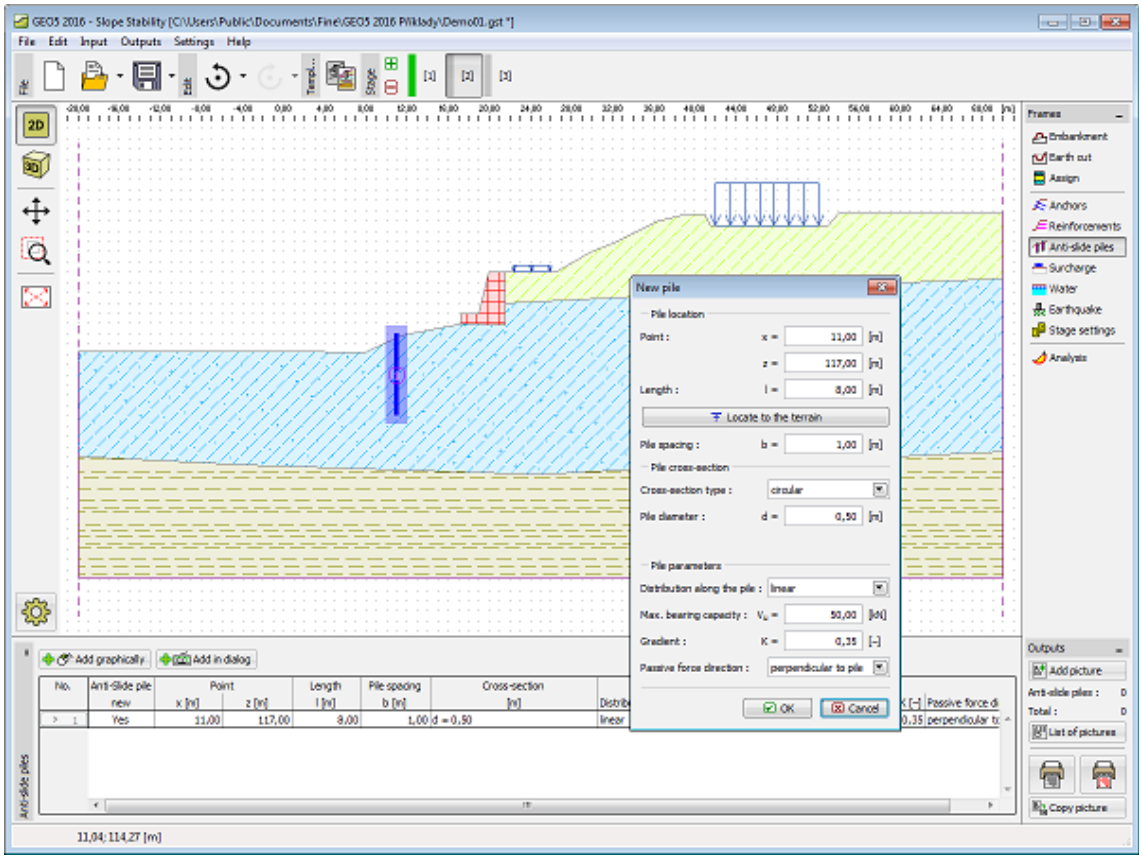
Ramka "**Pale stabilizujące**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych pali. Pale definiowane są za pomocą jednej z dwóch metod (przycisk "**Dodaj w oknie**" lub "**Dodaj graficznie**").

Okna dialogowe "**Nowy pal**" lub "**Edycja parametrów pala**" służą do definiowania **lokalizacji pala** (współrzędne x, z, długość pala l oraz rozstaw między palami b).

Przycisk "**Dowiąż do terenu**" umieszcza punkt początkowy głowicy pala na powierzchni terenu. Czasami, pal stabilizujący może być zlokalizowany bezpośrednio w masywie (w tym przypadku można przeprowadzić analizę stateczności zbocza, ale nie ma możliwości uruchomienia programu "**Pal stabilizujący**").

W dalszej części ramki definiowane są **przekrój pala** (kołowy - średnica pala d, prostokątny - wymiary s_x, s_y), a także **parametry pala** - rozkład nośności wzdłuż pala (liniowy, stały), maksymalna nośność V_u, nachylenie K oraz kierunek siły biernej (prostopadle do pala, wzdłuż powierzchni poślizgu). Wszystkie definiowane parametry wejściowe można modyfikować jedynie w fazie budowy, w której dany pal stabilizujący został zdefiniowany. W kolejnych fazach budowy można jedynie usunąć pal stabilizujący.

Wpływ pali stabilizujących na analizę stateczności zbocza opisano szczegółowo w teoretycznej części pomocy. Inne obliczenia pala stabilizującego (analiza sił wewnętrznych, wymiarowanie zbrojenia pali) wykorzystują analizę sił czynnych i biernych w programie "**Pal stabilizujący**".



Ramka "Pal stabilizujący"

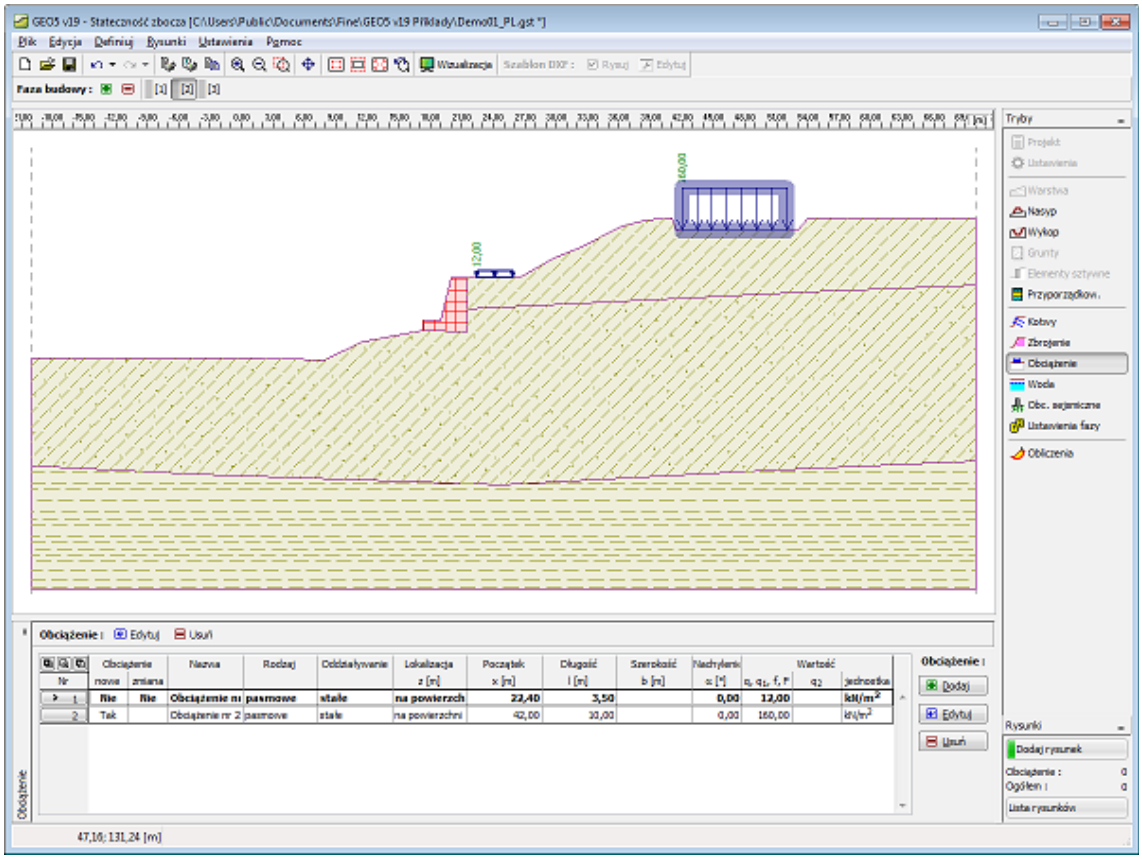
Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych obciążeń. Dodawanie obciążenia wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Zdefiniowane obciążenia można edytować na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

Wszystkie zdefiniowane parametry obciążenia mogą być modyfikowane w fazie budowy, w której obciążenie było definiowane. Jedynie wartość obciążenia może być modyfikowana we wszystkich kolejnych fazach (opcja "**Zmiana wartości**").

W programie istnieje możliwość zdefiniowania obciążeń **stałych, zmiennych** lub **wyjątkowych**. Wybór rodzaju obciążenia wpływa na dobór stosownego współczynnika obliczeniowego. Obciążenia wyjątkowe oddziałujące w sposób korzystny nie są uwzględniane w obliczeniach.

Wpływ obciążenia na analizę stateczności zbocza został opisany w teoretycznej części pomocy.



Ramka "Obciążenie"

Woda

Ramka "**Woda**" służy do wyboru metody uwzględniania w obliczeniach wody gruntowej. Na liście rozwijanej dostępnych jest pięć metod analizy wody gruntowej ("rodzajów wody"). Wprowadzenie zwierciadła wody gruntowej lub izolinii jest identyczne ze standardowym wprowadzaniem warstw.

W przypadku wprowadzania wody za pomocą izolinii **Warstw Ru** lub **ciśnienia porowego** w prawej kolumnie tabeli dostępne jest pole do definiowania wartości współczynnika Ru lub ciśnienia porowego. Naciśnięcie przycisku z niebieską strzałką obok pola danych otwiera okno dialogowe "**Współczynnik Ru**" lub "**Ciśnienie porowe**" w celu wprowadzenia pożądanej wartości. Wszystkie wartości można wprowadzić jednocześnie za pomocą "**OK+↑**" i "**OK+↓**". Wartość danej wielkości w określonym punkcie pomiędzy dwoma izoliniami jest przybliżona za pomocą **interpolacji liniowej** wartości odnoszących się do danych izolinii. W przypadku wyboru opcji "**Współczynnik** R_u" pierwsza izolinia (pierwsza od góry) zawsze **pokrywa się z terenem** - w związku z tym, nie można jej usunąć.

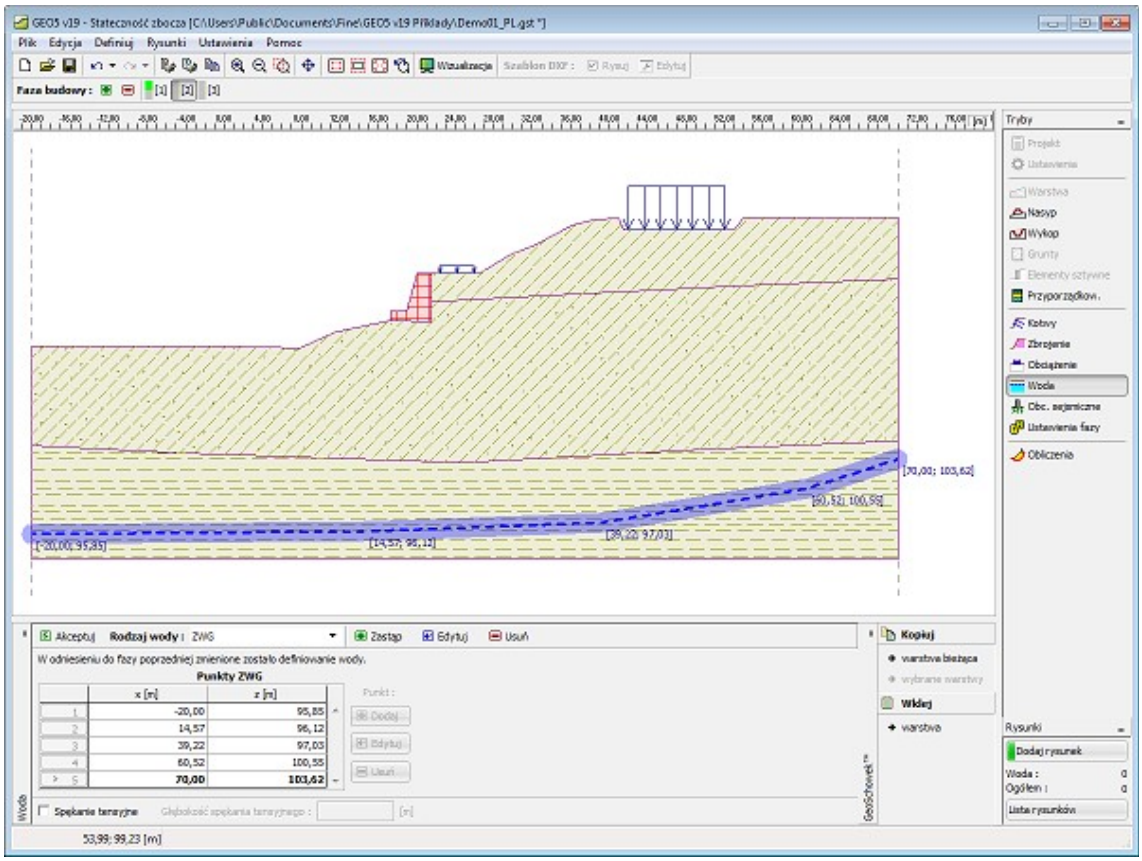
Zwierciadło wody gruntowej (lub odpowiednio **powierzchnia ssania** czy **pierwotne ZWG**) definiuje się w postaci ciągłej warstwy (linii), która może być zadana także ponad powierzchnią terenu.

Jeżeli dane wprowadzone w poszczególnych fazach są rożne, wówczas program pozwala na zaakceptowanie danych z poprzedniej fazy budowy poprzez naciśnięcie przycisku "**Akceptuj**".

Program ponadto umożliwia określenie głębokości rys rozciąganych wypełnionych wodą.

Zdefiniowane warstwy (poziomy) wody gruntowej mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek"

pomiędzy wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.



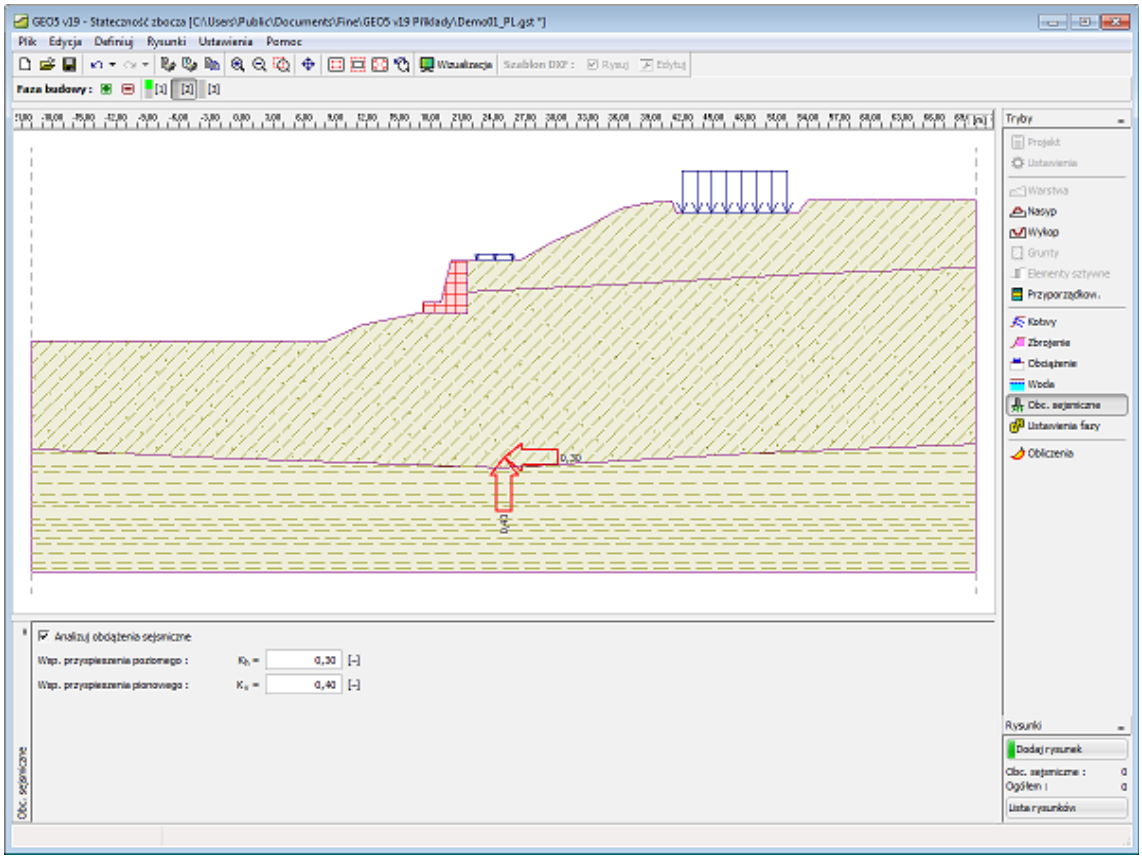
Ramka "Woda"

Obciążenia sejsmiczne

Ramka "**Obciążenia sejsmiczne**" służy do wprowadzania parametrów obciążeń sejsmicznych. Kierunki skutków obciążeń sejsmicznych są wyświetlane na pulpicie.

Jeśli nie są dostępne wyniki pomiarów współczynniki k_h oraz k_v można wyznaczyć stosując opisane w pomocy podejście z normy EN 1998-5.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem obciążeń sejsmicznych zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążeń sejsmicznych".



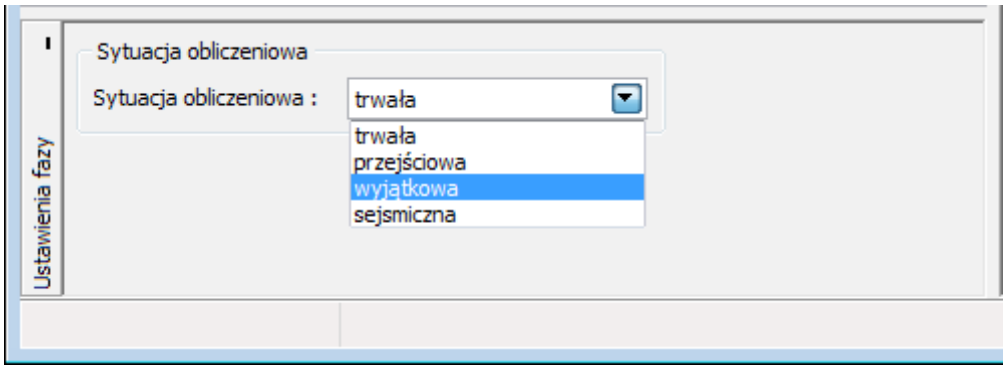
Ramka "Obciążenia sejsmiczne"

Ustawienia fazy

Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących tylko wybranej fazy obliczeniowej.

Wybrana sytuacja obliczeniowa określa współczynniki bezpieczeństwa, które będą zastosowane w obliczeniach danej fazy budowy.

Wygląd ramki zależy od wybranej metody analizy.



Ramka "Ustawienia fazy"

Obliczenia

Ramka "**Obliczenia**" wyświetla wyniki analizy stateczności zbocza. Istnieje możliwość przeprowadzenia dowolnej liczby analiz w obrębie jednego zadania.

Pierwszym krokiem w obliczeniach stateczności zbocza jest wybór kształtu powierzchni poślizgu. W liście rozwijanej zlokalizowanej w lewej górnej części ramki dostępne są do wyboru dwie możliwości - **kołowa powierzchnia poślizgu** i **łamana powierzchnia poślizgu**. Po dokonaniu wyboru rodzaju i zdefiniowaniu pierwszej, dowolnej powierzchni poślizgu obliczenia uruchamiane są poprzez kliknięcie przycisku "**Oblicz**" w dolnej części ramki. Wyniki obliczeń pojawiają się w prawej części tej samej ramki.

Wyboru **metody analizy** stateczności można dokonać z listy rozwijanej znajdującej się w środkowej części ramki "**Obliczenia**". W przypadku wyboru kołowej powierzchni poślizgu dostępnych jest siedem, następujących metod obliczeniowych: Fellenius/Petterson, Bishop, Spencer, Janbu, Morgenstern-Price, Shahunyants oraz ITFM. W przypadku łamanej powierzchni poślizgu analizę można przeprowadzić jedną z sześciu następujących metod: Sarmy, Spencera, Janbu, Morgensterna-Price'a, Shahunyants lub ITFM. W obydwu przypadkach istnieje możliwość przeprowadzenia obliczeń z wykorzystaniem wszystkich wymienionych metod jednocześnie (w takim przypadku, jednakże, nie ma możliwości przeprowadzenia optymalizacji powierzchni poślizgu).

Sprawdzenie stateczności zbocza może być przeprowadzone w zależności od ustawień wybranych w zakładce "Analiza stateczności", w sposób następujący:

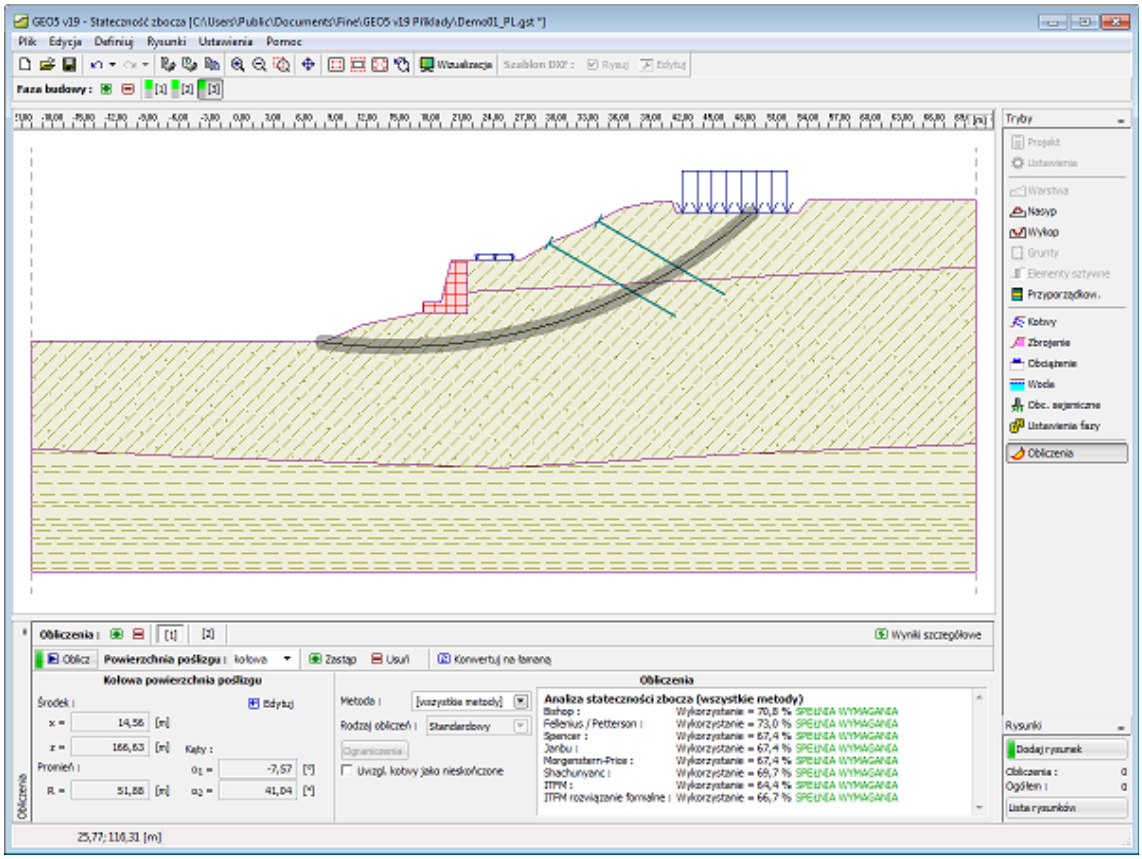
- Analiza według EN 1997, gdzie obciążenia są redukowane przez częściowe współczynniki obliczeniowe a analiza wykonywana jest z wykorzystaniem **teorii stanów granicznych**,
- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa
- Analiza według teorii stanów granicznych

Lista rozwijana (pozycje "**Standardowy**" i "**Optymalizacja**") umożliwia optymalizację (wyznaczenie najbardziej niekorzystnej powierzchni poślizgu) kołowej lub łamanej powierzchni poślizgu. Wybór opcji "**Optymalizacja**" aktywuje przycisk "**Ograniczenia**", którego wciśnięcie zmienia wygląd ramki i umożliwia zdefiniowanie ograniczeń przebiegu procesu optymalizacji.

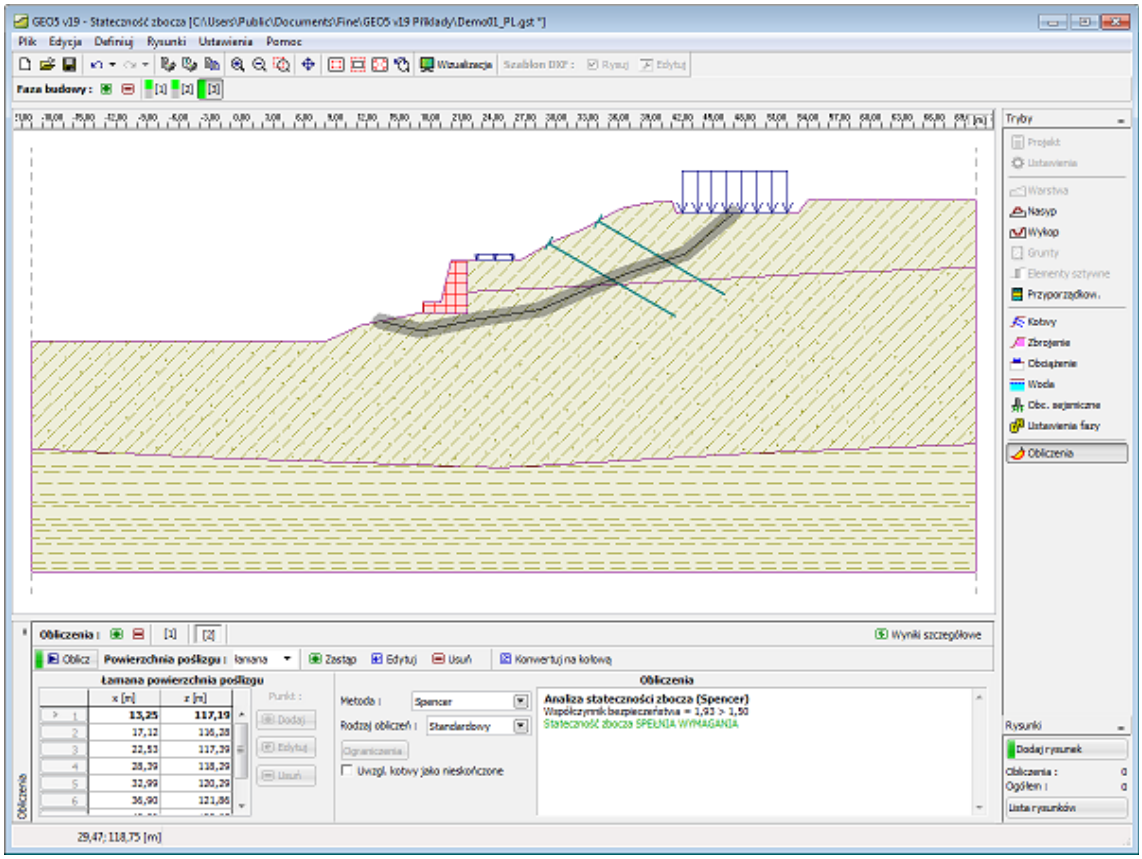
W ramce istnieje również możliwość określenia sposobu uwzględnienia kotew w obliczeniach (opcja: "**Uwzględniaj kotwy jako nieskończone**").

Jak wcześniej wspomniano, przed rozpoczęciem obliczeń (w przypadku optymalizacji również), w ramce tej należy zdefiniować powierzchnię poślizgu.

Wyniki analizy wyświetlane są w prawej części ramki, a zoptymalizowana powierzchnia poślizgu pojawia się na pulpicie. Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Obliczenia" - kołowa powierzchnia poślizgu



Ramka "Obliczenia" - łamana powierzchnia poślizgu

Definiowanie powierzchni poślizgu

W pierwszej kolejności należy wybrać rodzaj powierzchni poślizgu z listy (kołowa, łamana). Istnieje możliwość zdefiniowania powierzchni poślizgu, zgodnie z dokonanym wyborem, różnymi metodami:

- **Kołowa powierzchnia poślizgu**

Graficznie - po naciśnięciu przycisku Definiuj graficznie, należy wprowadzić za pomocą lewego przycisku myszki trzy punkty, które definiują kołową powierzchnię poślizgu.

Istnieje możliwość zmiany zdefiniowanej powierzchni poślizgu w oknie dialogowym "**Kołowa powierzchnia poślizgu**" po wciśnięciu przycisku Edytuj tekstowo lub zastąpienia powierzchni poślizgu z wykorzystaniem przycisku myszki wciskając przycisk Zastąp graficznie.

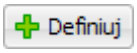
Przycisk Anuluj definiowanie anuluje definiowanie powierzchni poślizgu.

Przycisk Konwertuj na łamaną konwertuje kołową powierzchnię poślizgu na łamaną.

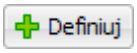
Przycisk Usuń usuwa powierzchnię poślizgu.

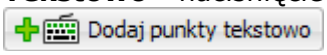
Tekstowo - poprzez wciśnięcie przycisku Definiuj tekstowo otwierane jest okno dialogowe "**Kołowa powierzchnia poślizgu**". W oknie tym definiuje się współrzędne x, y oraz średnicę.

- **Łamana powierzchnia poślizgu**

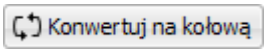
Graficznie - po naciśnięciu przycisku 

na pasku narzędzi, włączany jest tryb definiowania powierzchni poślizgu - dodawanie odcinków powierzchni przebiega dalej jednakowo jak definiowanie warstw.

Tekstowo - naciśnięcie przycisku 

oraz zastosowanie przycisku 

zlokalizowanego nad tabelą otwiera okno dialogowe "**Nowe punkty**. W oknie dialogowym, punkty powierzchni poślizgu dodaje się definiując ich współrzędne x, y.

Przycisk 

konwertuje łamaną powierzchnię poślizgu na kołową.

Funkcje pozostałych przycisków są takie same jak przy definiowaniu kołowej powierzchni poślizgu.

Ograniczenia procedury optymalizacji

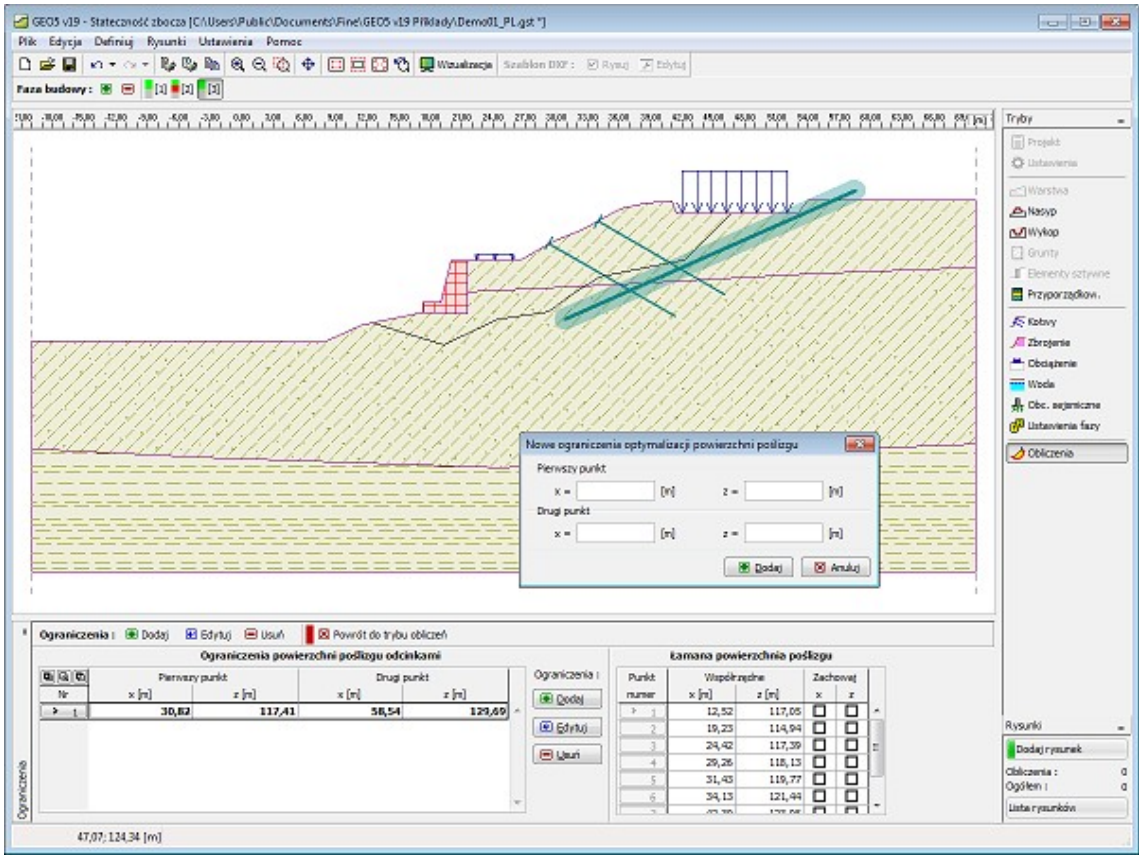
W ramce "**Obliczenia**", po naciśnięciu przycisku "**Ograniczenia**", istnieje możliwość określenia ograniczeń dla procesu optymalizacji powierzchni poślizgu.

Niezależnie od wybranego rodzaju powierzchni poślizgu (kołowa, łamana) istnieje możliwość wprowadzenia do modelu zbocza odcinków (za pomocą myszy), które nie powinny być przecięte przez zoptymalizowaną powierzchnię poślizgu..

Odcinki te wyświetlane są również w tabeli w lewej części ramki.

Przy obliczeniach z zastosowaniem **Łamanej powierzchni poślizgu** można również wykluczyć niektóre punkty z optymalizacji, całkowicie lub częściowo, tzn. jedynie w określonym kierunku. "**Zachowanie nieruchomego punktu**" podczas optymalizacji uzyskuje się poprzez zaznaczenie pola w tabeli z odpowiadającym punktem.

Tryb definiowania ograniczeń opuszcza się poprzez naciśniecie czerwonego przycisku "**Powrót do trybu** obliczeń".

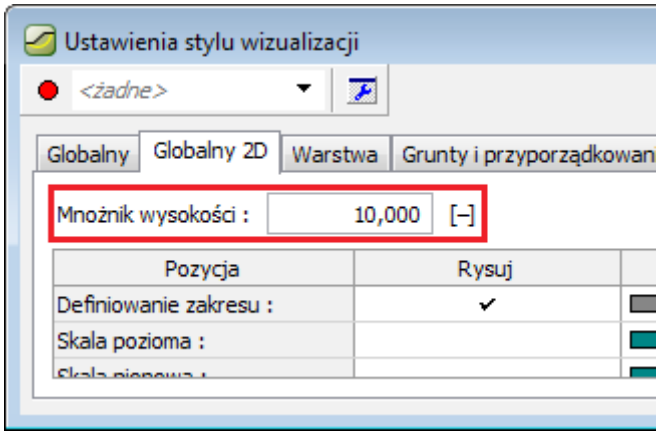


Ramka "Obliczenia" - ograniczenia dla optymalizacji powierzchni poślizgu przez odcinki

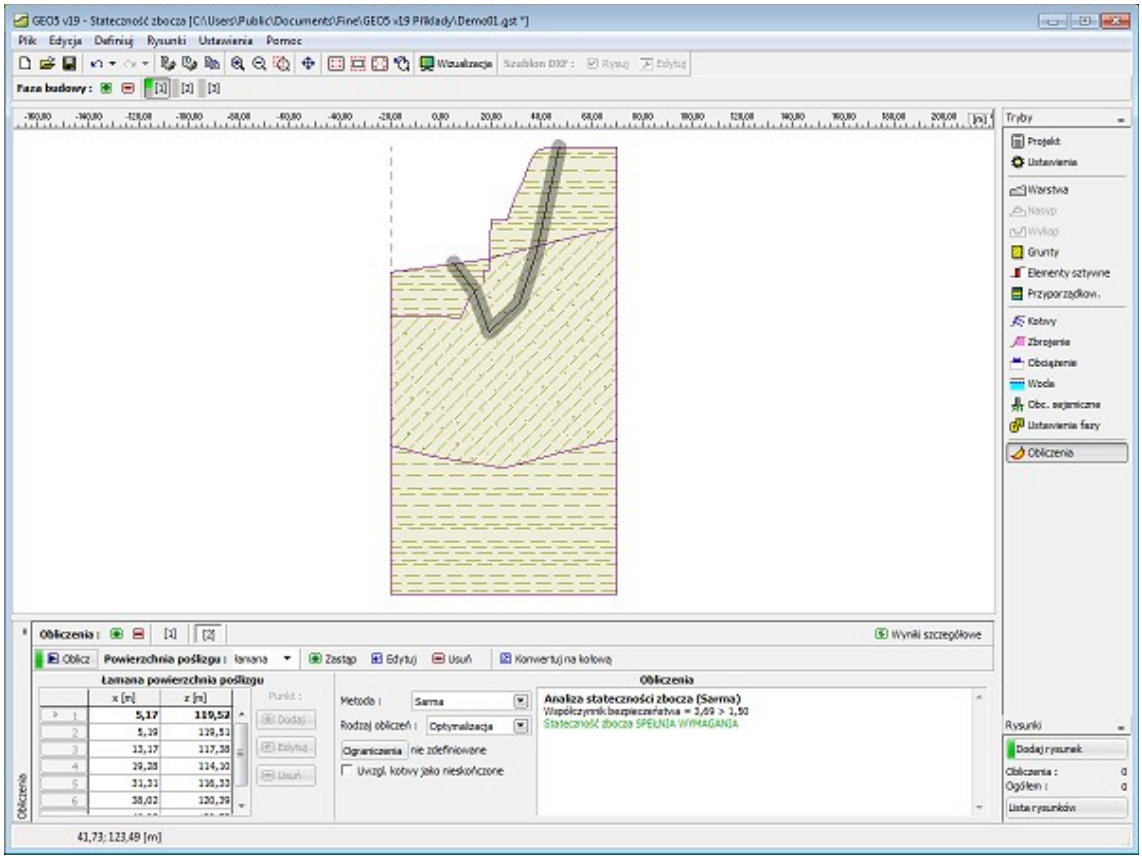
Mnożnik wysokości

Jeżeli analizowane zbocze jest zbyt długie lub posiada niewielką wysokość, wówczas kreślona powierzchnia poślizgu może być niewystarczająco widoczna. Problem ten można rozwiązać poprzez zmianę skali w kierunku pionowym za pomocą mnożnika wysokości. Wartość tego mnożnika ustawia się w ramce "Konfiguracja rysunku" w zakładce "**Globalny 2D**". Standardowe ustawienie ("**Mnożnik wysokości**" równy jeden) kreśli niezniekształconą konstrukcję proporcjonalnie do jej wymiarów.

Przy zastosowaniu opcji mnożnika wysokości, jedynie łamane powierzchnie poślizgu można wprowadzać graficznie. Kołowe powierzchnie poślizgu należy w takim przypadku wprowadzać ręcznie w oknie dialogowym "**Kołowa powierzchnia poślizgu**" za pomocą przycisku "**Dodaj**".



Ustawienia mnożnika wysokości



Wizualizacja powstałej powierzchni poślizgu z mnożnikiem wysokości

Program Stateczność zbocza skalnego

Program ten ma zastosowanie do analizy stateczności zboczy skalnych oraz ścian dla określonych sposobów zniszczenia, tj. płaskiej lub łamanej powierzchni poślizgu czy klina skalnego.

Pomoc w programie "Stateczność zbocza skalnego" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek: Projekt, Ustawienia

Płaska i łamana powierzchnia poślizgu:	Teren	Skała	Powierzchnia poślizgu (płaska)	Powierzchnia poślizgu (łamana)	Woda (Płaska powierzchnia poślizgu)	Woda (Łamana powierzchnia poślizgu)
Obciążenie	Zdefiniowane siły	Kotwy	Obciążenia sejsmicznie	Ustawienia fazy	Obliczenia (Płaska powierzchnia poślizgu)	Obliczenia (Łamana powierzchnia poślizgu)
Klin Skalny:	Geometria	Powierzchnia poślizgu	Parametry	Woda	Obciążenie	Kotwy
Obciążenie sejsmiczne	Ustawienia fazy	Obliczenia				

- Normy i metody obliczeniowe
- Teoria obliczeniowa w programie "**Stateczność zbocza skalnego**":

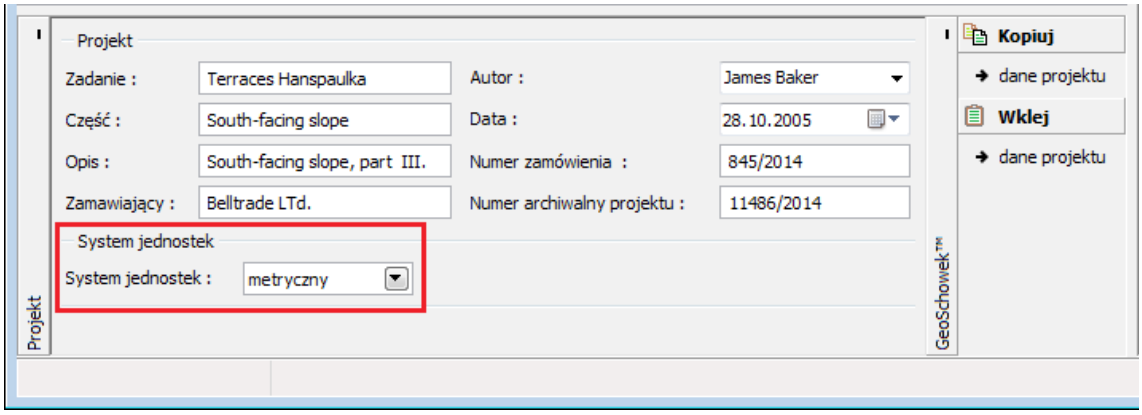
  Parametry skał Stateczność zbocza sklanego

- Dane wyjściowe
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie Ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

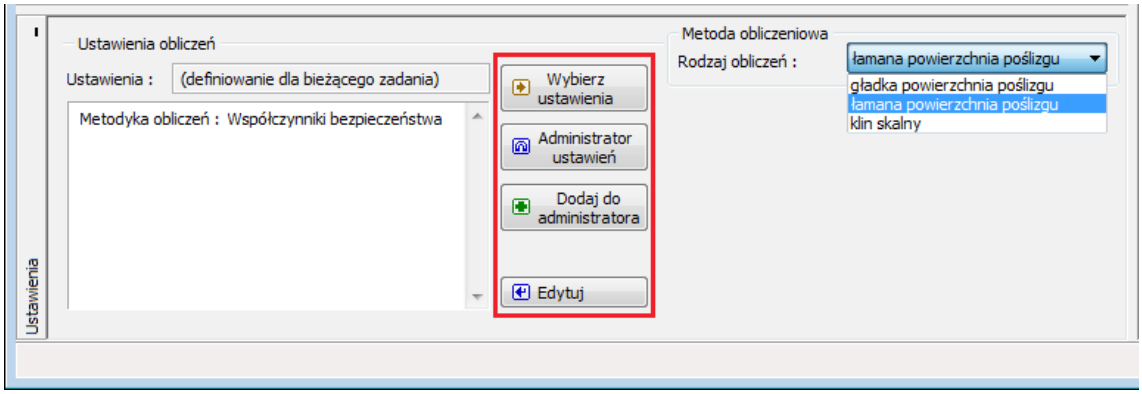
Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) ustawiania na "**Definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**definiowanie dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładce "Analiza stateczności".

W ramce można również dokonać wyboru rodzaju powierzchni poślizgu, tj.:

- Płaska powierzchnia poślizgu
- Łamana powierzchnia poślizgu
- Klin skalny



Ramka "Ustawienia"

Teren

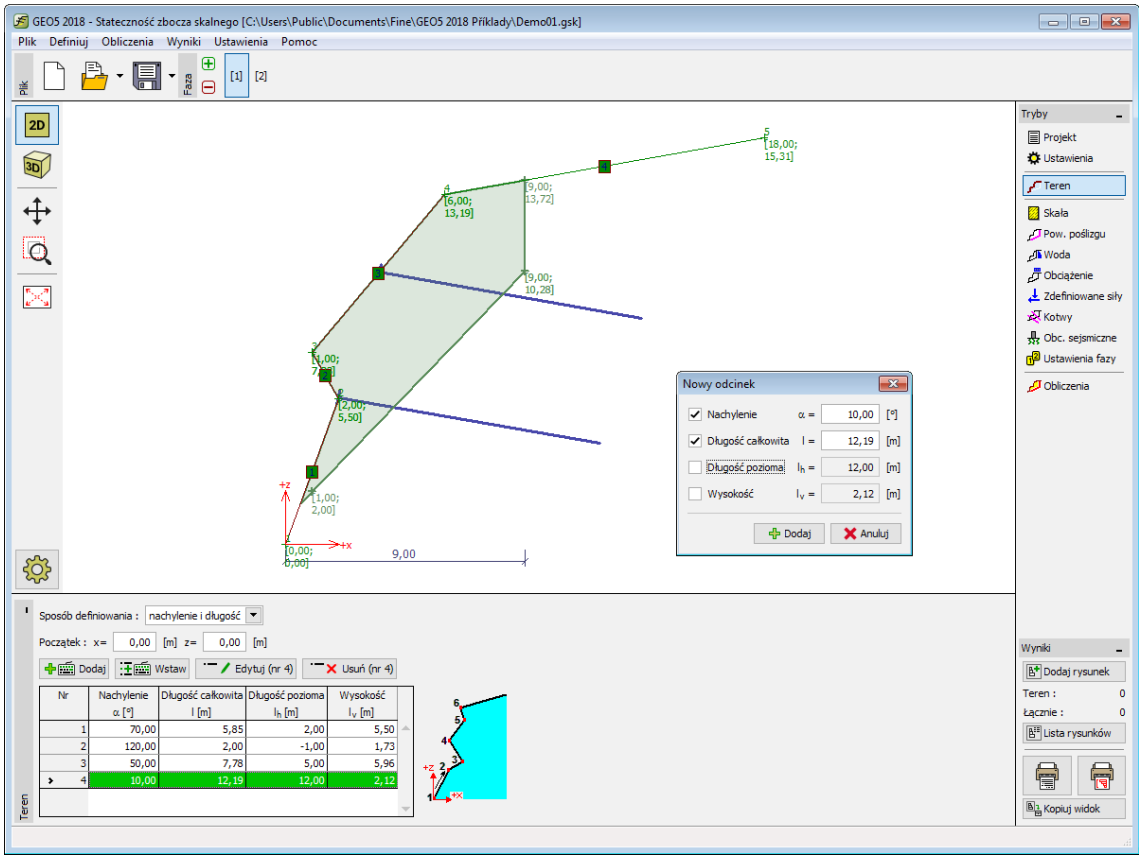
W ramce "**Teren**" dostępne są dwie metody definiowania terenu. Teren może być zdefiniowany za pomocą odcinków zbocza sklanego lub też za pomocą współrzędnych X i Z. Ramka ta zawiera więc tabelę z listą zdefiniowanych odcinków zbocza skalnego lub tabelę z listą współrzędnych poszczególnych punktów terenu. W programie, zbocze zawsze jest zorientowane od **lewej do prawej.**

Współrzędne początku - pierwszy punkt terenu, po którym następują zdefiniowane odcinki - wprowadza się w górnej części ramki, jeśli wybrana została metoda odcinków zbocza skalnego (nachylenie i długość).

Dodawanie (edycja) odcinków odbywa się w oknie dialogowym "**Nowy odcinek (Edycja odcinka)**". Odcinki można również edytować na ekranie za pomocą aktywnych obiektów.

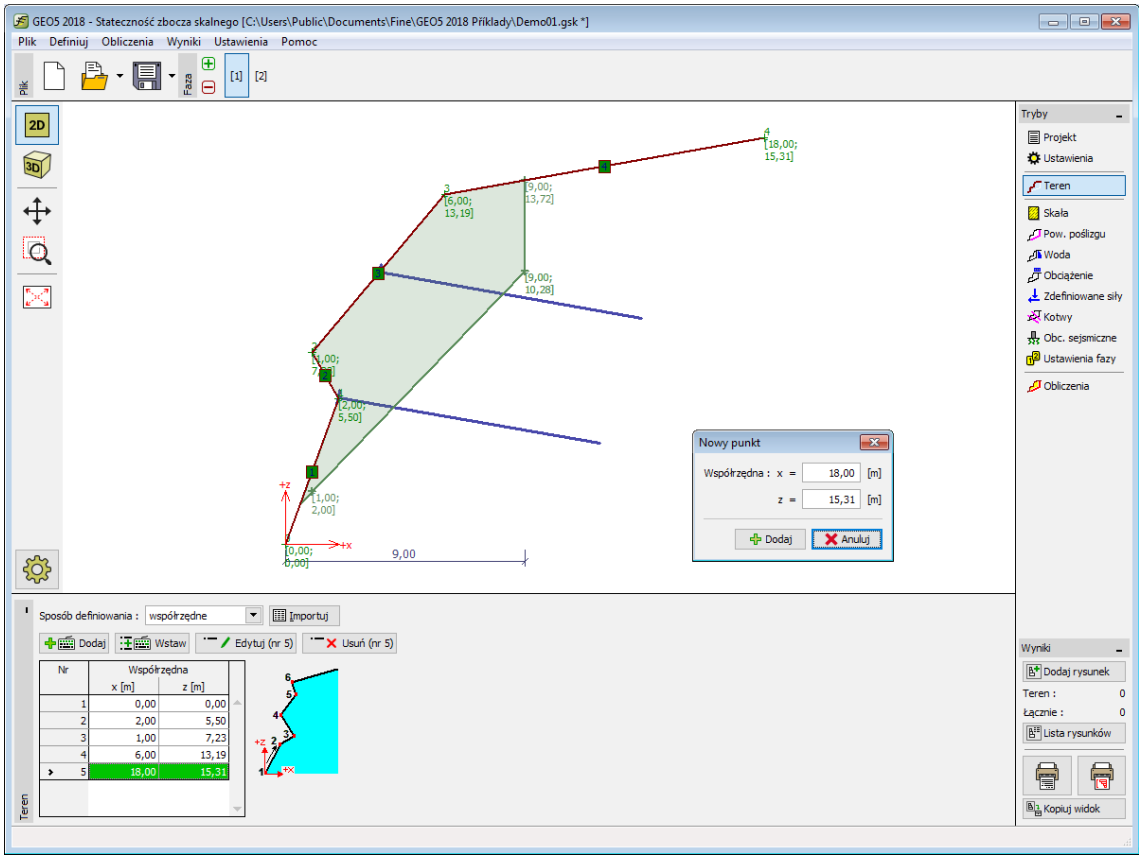
Każdy odcinek definiowany jest przez jego nachylenie, całkowitą długość odcinka, przez długość poziomą oraz wysokość odcinka zbocza skalnego. Tylko **dwie wybrane wartości** są stosowane, natomiast pozostałe są automatycznie wyznaczane przez program (jeżeli więcej niż dwa pola do wprowadzania danych są zaznaczone, wówczas wprowadzanie i obliczenia nie są przeprowadzane). Istnieje możliwość przestawiania odcinków poziomych i pionowych, jak również nawisów. Teren musi być definiowany w kierunku od dołu do góry.

W przypadku prawidłowego wprowadzenia, **program automatycznie kreśli zdefiniowany odcinek** na ekranie za pomocą przerywanej linii, zatem istnieje możliwość sprawdzenia, czy odcinek jest prawidłowo zdefiniowany przed naciśnięciem przycisku "**Dodaj**".



Ramka "Teren" - Nachylenie i długość

W przypadku wyboru metody **współrzędnych** do definiowania terenu, powierzchnia terenu musi być definiowana w kierunku od dołu do góry. Dodawanie punktu wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowy punkt**". Zdefiniowane punkty mogą być także edytowane na puplicie za pomocą aktywnych obiektów. Istnieje możliwość zamodelowania zarówno pionowych jak i poziomych odcinków oraz nawisów skalnych. Program umożliwia importowanie punktów w formacie tabelarycznym.



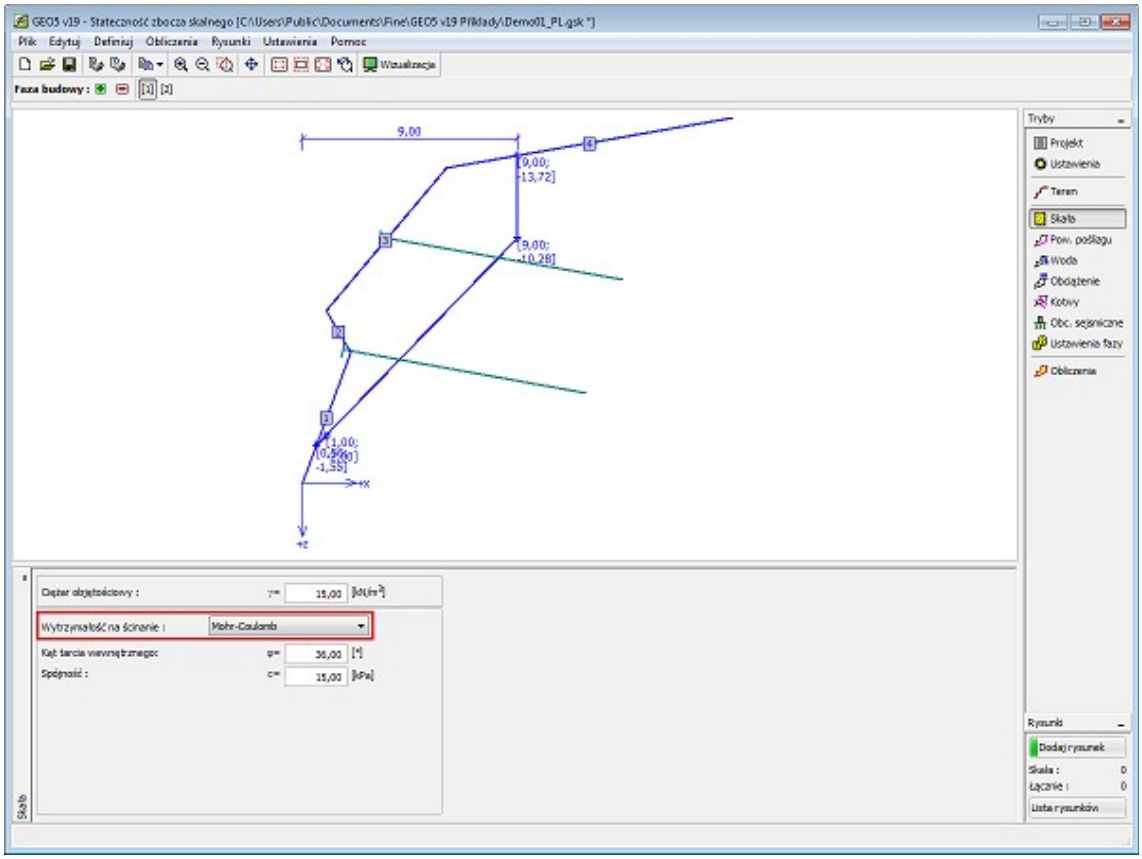
Ramka "Teren" - Współrzędne

Skała

Ramka "**Skała**" umożliwia wprowadzenie parametrów materiału (wartości szacunkowe) zbocza skalnego (w zależności od kryterium wytrzymałości na ścinanie) łączenie z ciężarem objętościowym skały. W programie dostępne są trzy kryteria wytrzymałości na ścinanie na powierzchni poślizgu:

- Mohr - Coulomb
- Barton - Bandis
- Hoek - Brown

Parametry materiałów skały są następnie definiowane w zależności od wybranej metody.



Ramka "Skała"

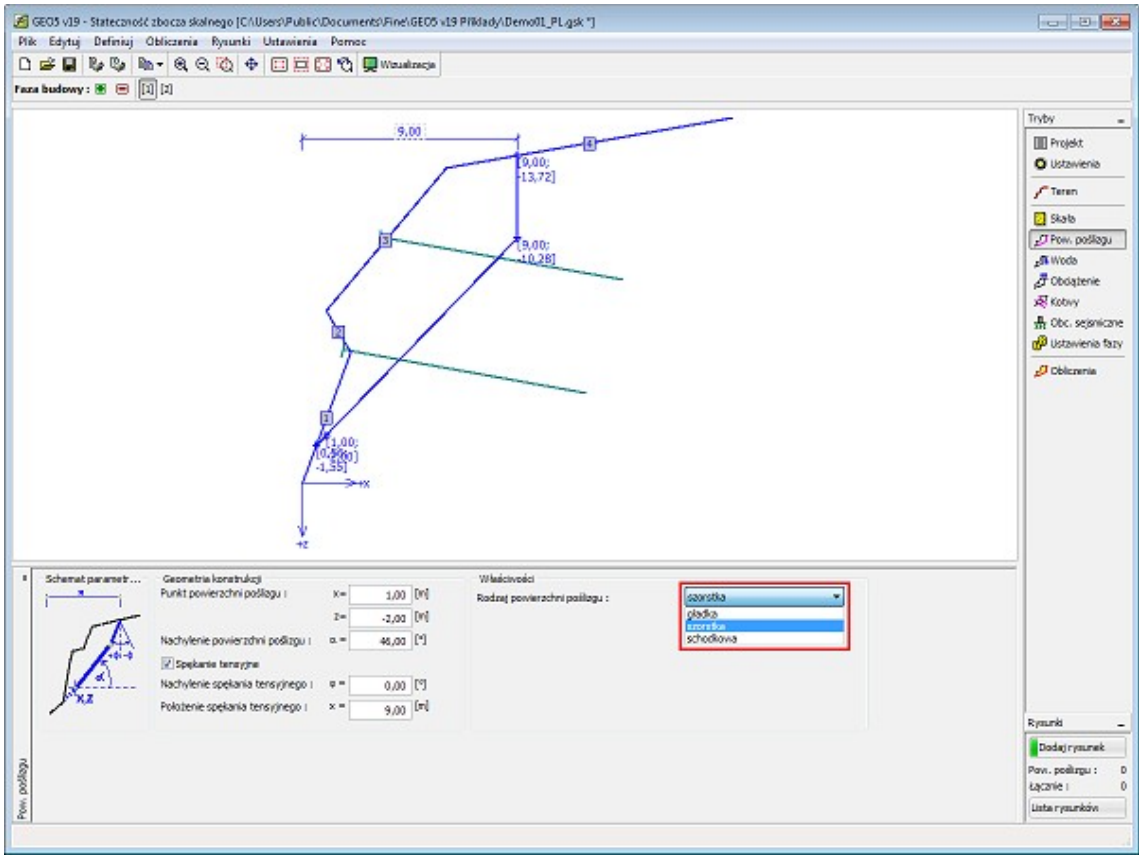
Płaska powierzchnia poślizgu

Ramka "**Powierzchnia poślizgu**" służy do określania kształtu i parametrów płaskiej powierzchni poślizgu. Powierzchnia poślizgu definiowana jest punktem w bryle skały oraz jej nachyleniem. Program automatycznie wyznacza punkty przecięcia powierzchni poślizgu i terenu.

Program umożliwia również zdefiniowanie **spękań tensyjnych** z dowolnym nachyleniem (nie dostępne dla schodkowej powierzchni poślizgu). Spękanie definiowane jest poziomą odległością od początku oraz jego nachyleniem.

Płaską powierzchnię poślizgu można dalej określić jako gładką, szorstką i schodkową.

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.



Ramka "Płaska powierzchnia poślizgu"

Łamana powierzchnia poślizgu

Ramka "**Powierzchnia poślizgu**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych odcinków powierzchni poślizgu. Dodawanie odcinka odbywa się w oknie dialogowym "**Nowy odcinek**". Odcinki można również edytować na ekranie za pomocą aktywnych obiektów.

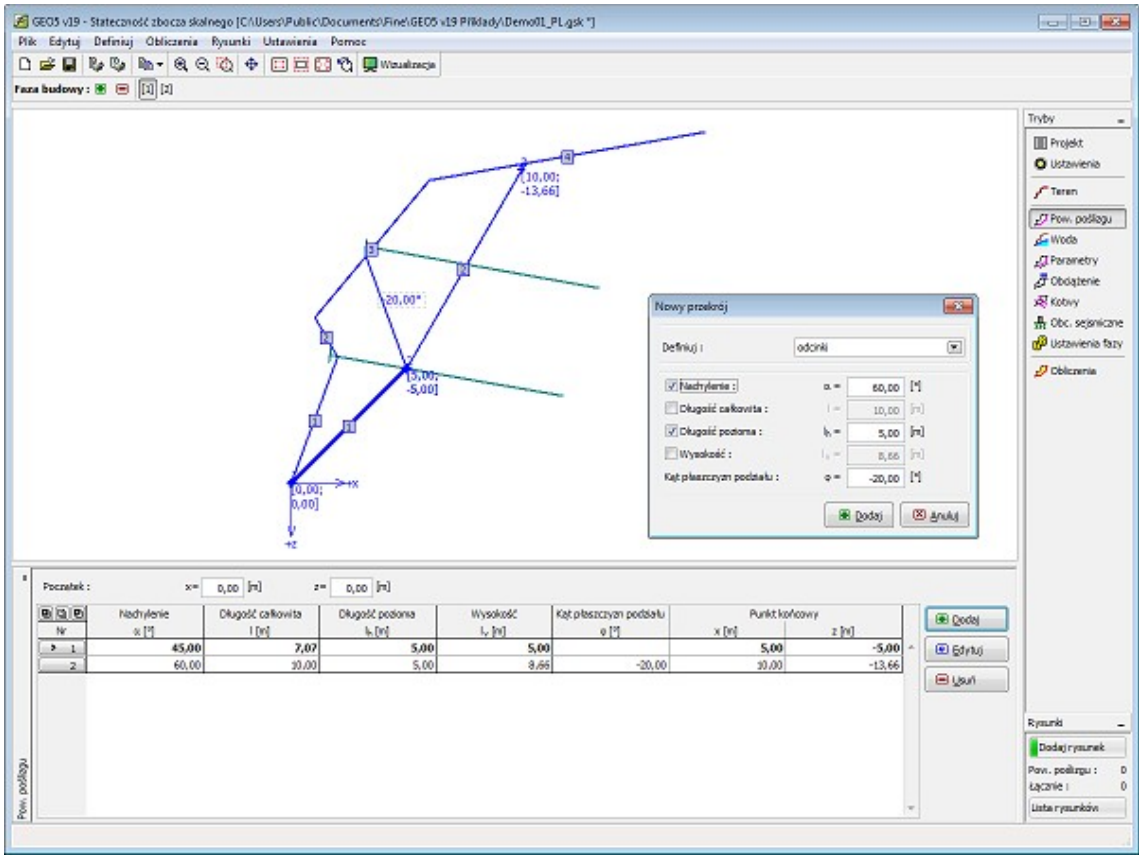
Współrzędne **początku** powierzchni poślizgu - punkt na powierzchni poślizgu, po którym następują pozostałe odcinki - wprowadza się w górnej części ramki. Punkt może się znaleźć nawet poza bryłą gruntu - program następnie oblicza przecięcie powierzchni poślizgu z terenem.

Poszczególne odcinki powierzchni poślizgu można zdefiniować ich nachyleniem, całkowitą długością odcinka, długością poziomą oraz wysokością odcinka zbocza skalnego. Używane są tylko **dwie wybrane wartości**, natomiast pozostałe są wyznaczane automatycznie przez program (jeżeli zaznaczone są więcej niż dwa pola wprowadzania danych, wówczas wprowadzanie i obliczenia nie są przeprowadzane). Istnieje możliwość przedstawiania odcinków poziomych i pionowych, jak również nawisów.

W przypadku prawidłowego wprowadzania danych, **program automatycznie kreśli zdefiniowany odcinek** na ekranie za pomocą przerywanej linii, tak że istnieje możliwość sprawdzenia, czy odcinek jest prawidłowo zdefiniowany przez naciśnięciem przycisku "**Dodaj**".

Ogólne założenia dotyczące wyznaczania łamanej powierzchni poślizgu podane są tutaj.

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.

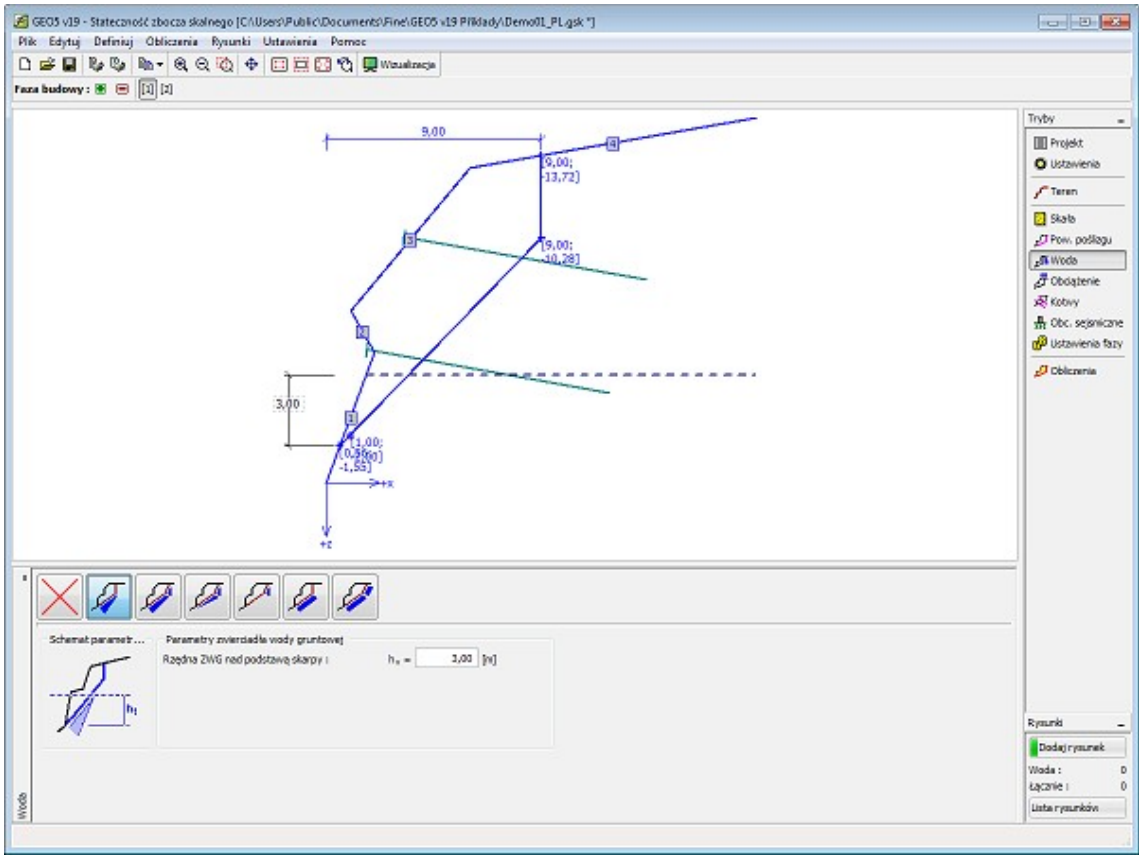


Ramka "Łamana powierzchnia poślizgu"

Woda - płaska powierzchnia poślizgu

Poprzez naciśnięcie przycisku, ramka "**Woda**" umożliwia wybranie rodzaju wody. Wybrany rodzaj razem z podpowiedzią graficzną ("**Schemat parametrów**") wprowadzonych wartości wyświetlany jest w lewej części ramki. Parametry wody można edytować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól lub na ekranie za pomocą aktywnych wymiarów.

Procedura rozwiązania z uwzględnieniem wody została opisana w teoretycznej części pomocy zatytułowanej "Wpływ wody na powierzchnię poślizgu".



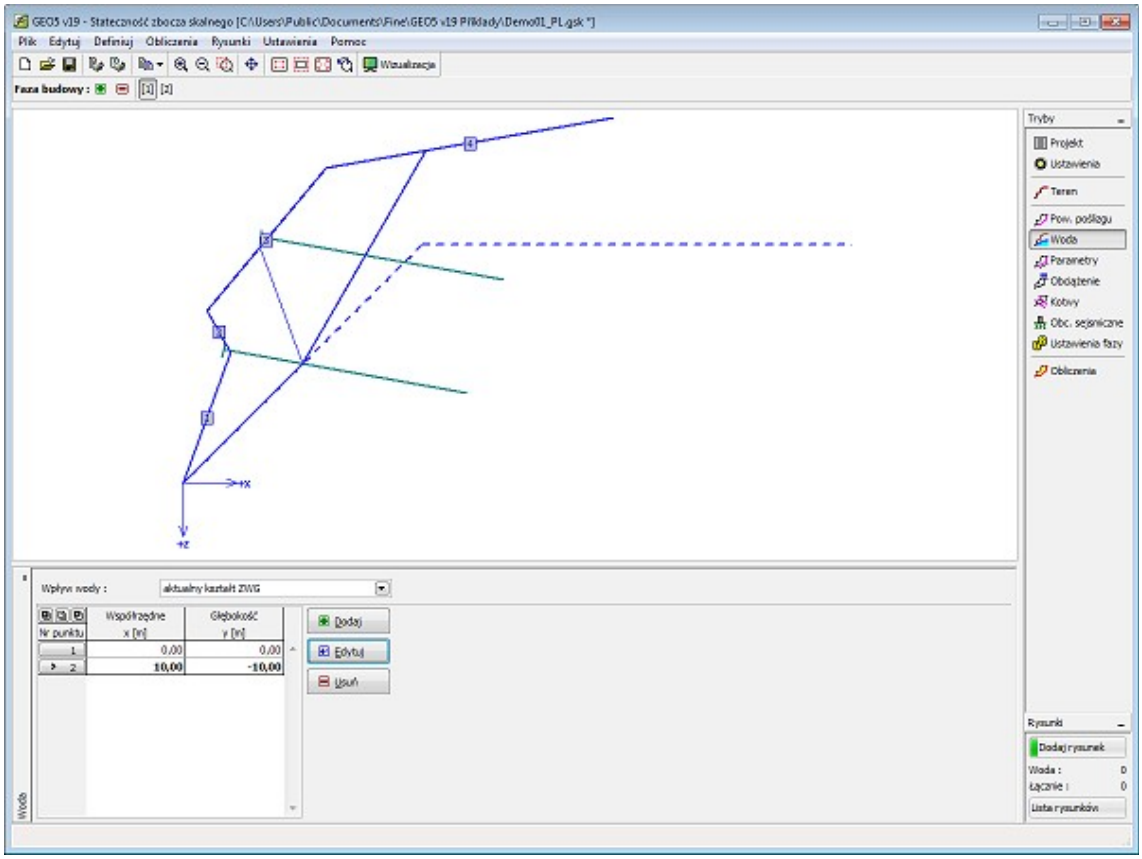
Ramka "Woda" - płaska powierzchnia poślizgu

Woda - łamana powierzchnia poślizgu

Ramka "**Woda**" służy do definiowania **wpływu wody** (możliwości: nie uwzględniaj, definiuj siły na bloki, poziome ZWG, definiuj dowolne ZWG). Parametry wody można edytować zarówno w ramce, wpisując odpowiednie wartości w polach definiowania, jak i na pulpicie wykorzystując aktywne wymiary.

Procedura rozwiązania zagadnienia wpływu wody przy łamanej powierzchni poślizgu opisana jest w teoretycznej części podręcznika w rozdziale "Wpływ wody na łamaną powierzchnię poślizgu".

W przypadku wyboru opcji "**definiuj siły na bloki**" siły od wody oddziałujące na powierzchnię poślizgu F_V lub siły od wody oddziałujące na wewnętrzną powierzchnię poślizgu U definiowane są w ramce "**Parametry**" (po przyciśnięciu przycisku "**Edytuj**").



Ramka "Woda" - łamana powierzchnia poślizgu

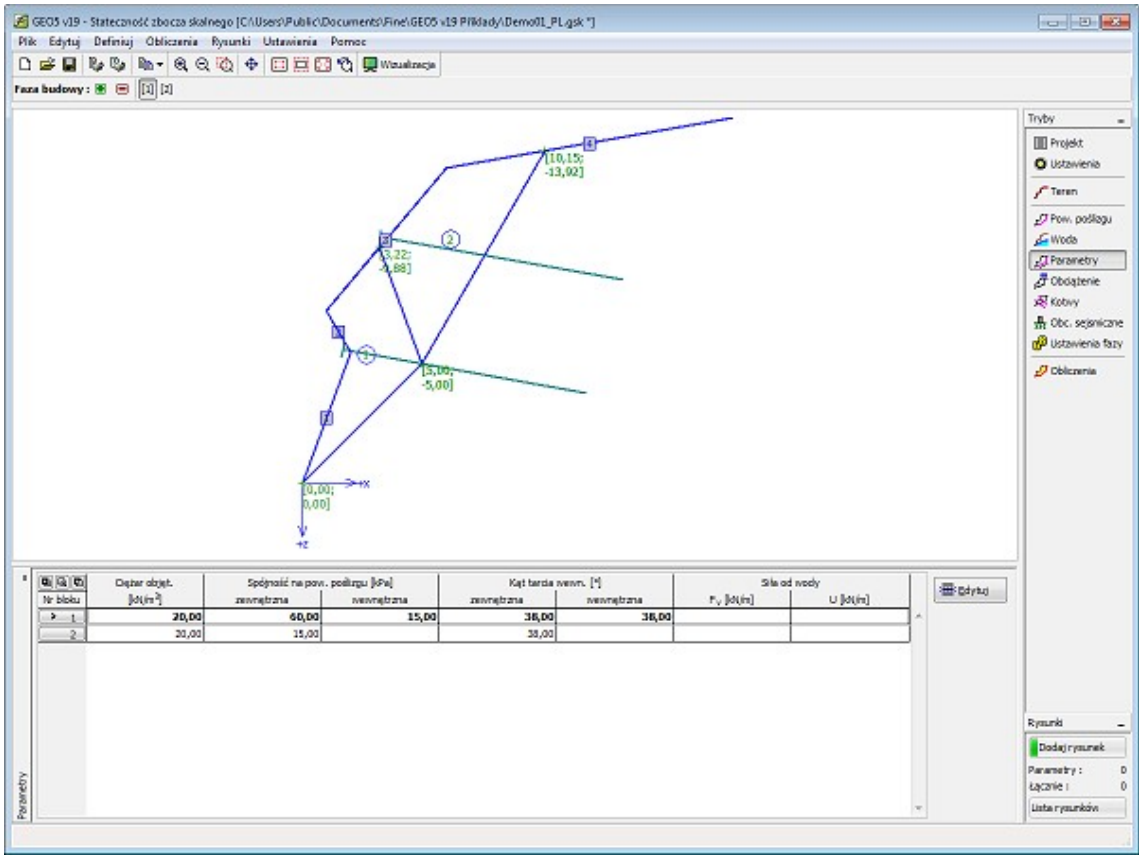
Parametry - łamana powierzchnia poślizgu

Ramka "**Parametry**" zawiera tabelę z listą bloków, które zostały utworzone poprzez wprowadzanie łamanej powierzchni poślizgu. Parametry poszczególnych bloków edytuje się w oknie dialogowym "**Edytuj blok**". Bloki można również edytować na ekranie za pomocą aktywnych obiektów.

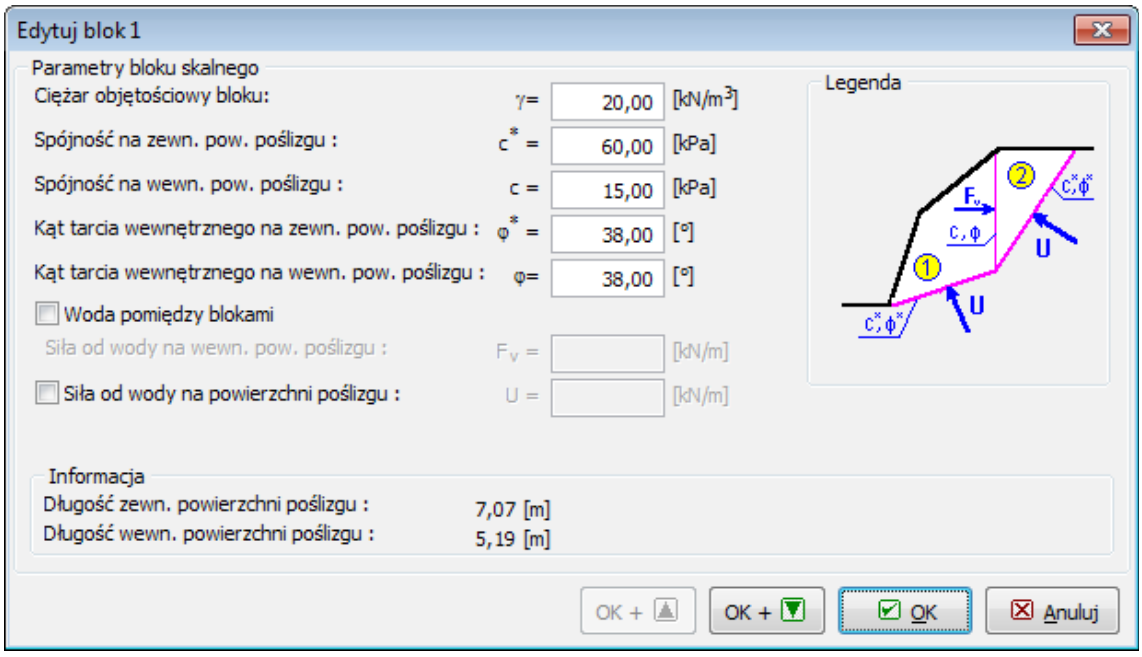
W tym miejscu definiowane są parametry wytrzymałościowe kryterium Mohra-Coulomba na powierzchni poślizgu oraz na ciosach oddzielających poszczególne bloki łącznie z ciężarem objętościowym skały.

Okno służy również do wprowadzania sił na skutek wody w blokach skalnych.

Ogólne założenia dotyczące wyznaczania łamanej powierzchni poślizgu podane są tutaj.



Ramka "Parametry" - łamana powierzchnia poślizgu



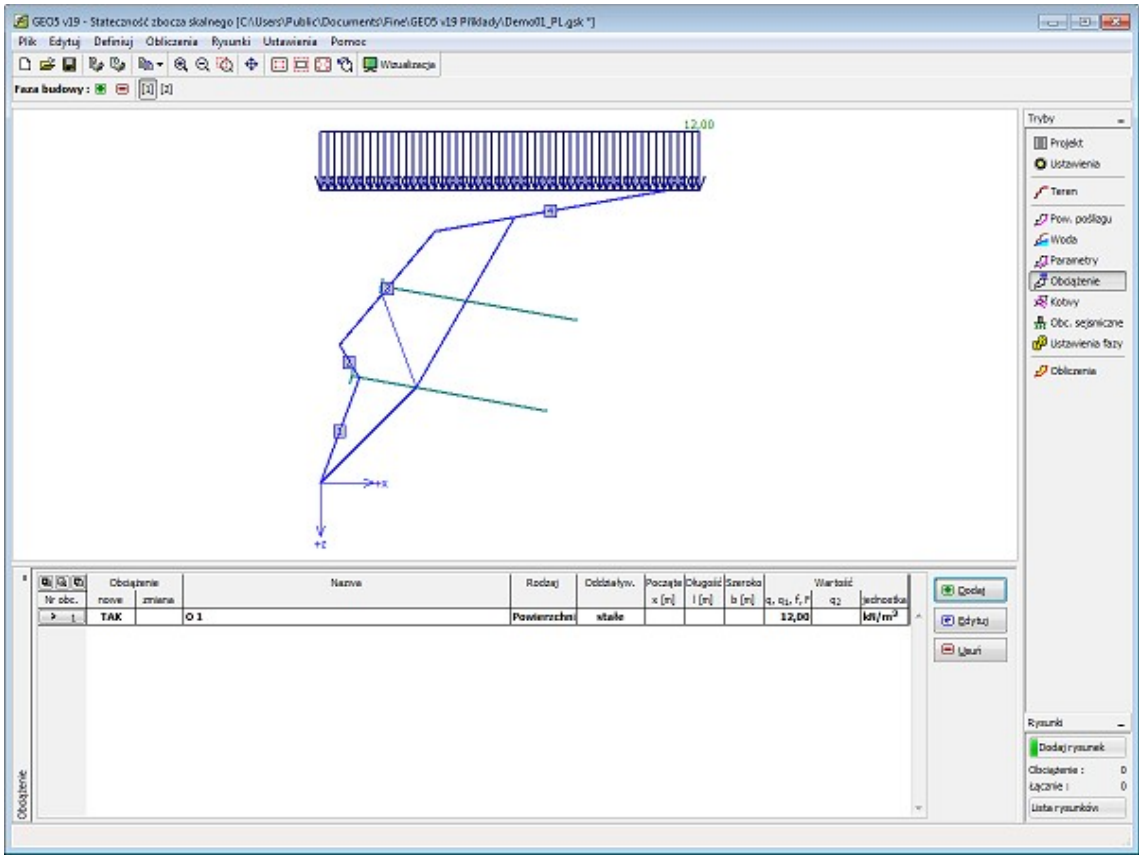
Okno dialogowe "Edytuj blok"

Obciążenie - płaska i łamana powierzchnia poślizgu

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych obciążeń. Dodawanie obciążenia wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Zdefiniowane obciążenia można edytować na pulpicie odpowiednio za pomocą aktywnych wymiarów lub aktywnych obiektów.

W programie istnieje możliwość zdefiniowania obciążeń **stałych, zmiennych** lub **wyjątkowych**. Wybór rodzaju obciążenia wpływa na dobór stosownego współczynnika obliczeniowego do przemnożenia wynikowych oddziaływań. Obciążenia wyjątkowe oddziałujące w sposób korzystny nie są uwzględniane w obliczeniach.

Wprowadzenie obciążeń do obliczeń jest różne dla płaskich i łamanych powierzchni poślizgu.



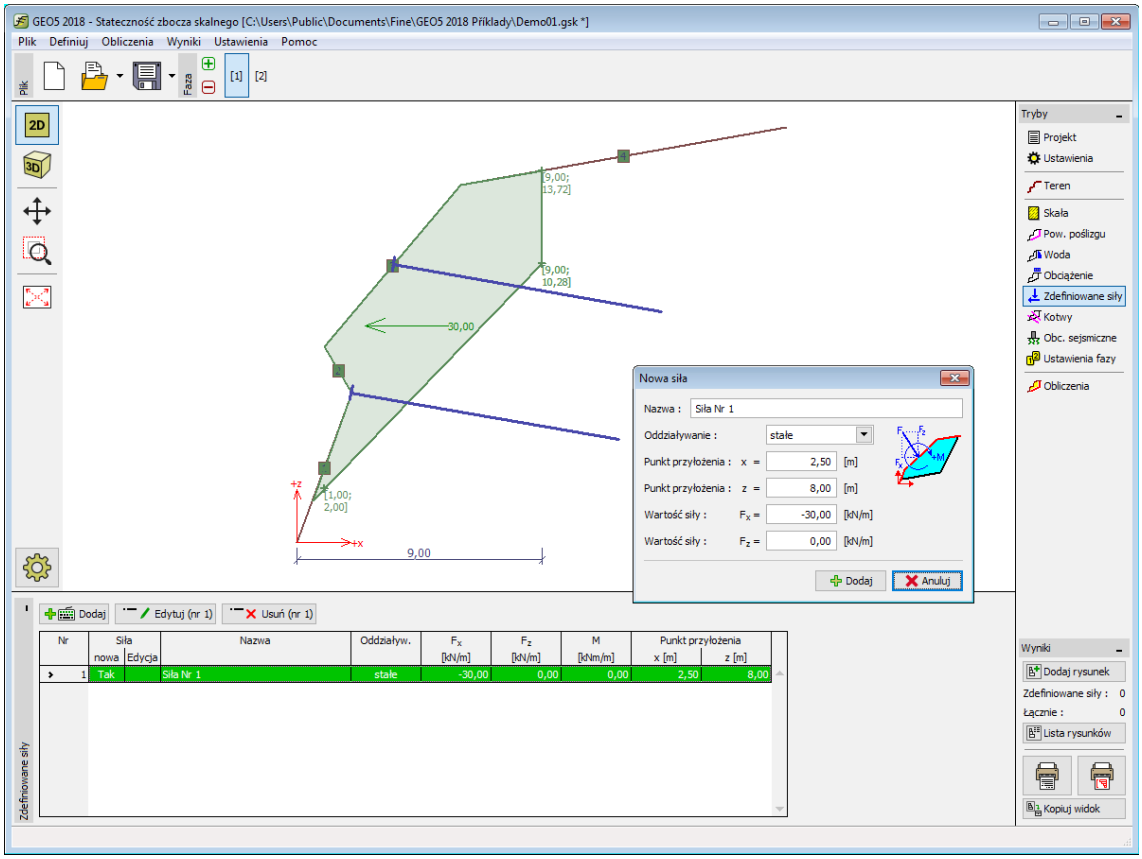
Ramka "Obciążenie" - płaska i łamana powierzchnia poślizgu

Zdefiniowane siły - płaska powierzchnia poślizgu

Ramka "**Zdefiniowane siły**" zawiera tabelę z listą definiowanych sił oddziałujących na blok skalny. Dodawanie sił wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowa siła**". Istnieje także możliwość edycji zdefiniowanych sił na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

Zdefiniowane siły reprezentują dodatkowe obciążenia oddziałujące na blok skalny. W ten sposób istniej możliwość modelowania takich elementów jak kotwienia cięgien mostów czy kładek dla pieszych. Program nie dostosowuje (nie zmienia) w żaden sposób zdefiniowanych sił w toku obliczeń, za wyjątkiem przemnażania ich przez odpowiednie współczynniki zgodnie z wybranym rodzajem oddziaływania (EN1997, LRFD).

Obciążenia zewnętrzne oddziałujące na naziomie (na powierzchni terenu) należy definiować jako obciążenie.



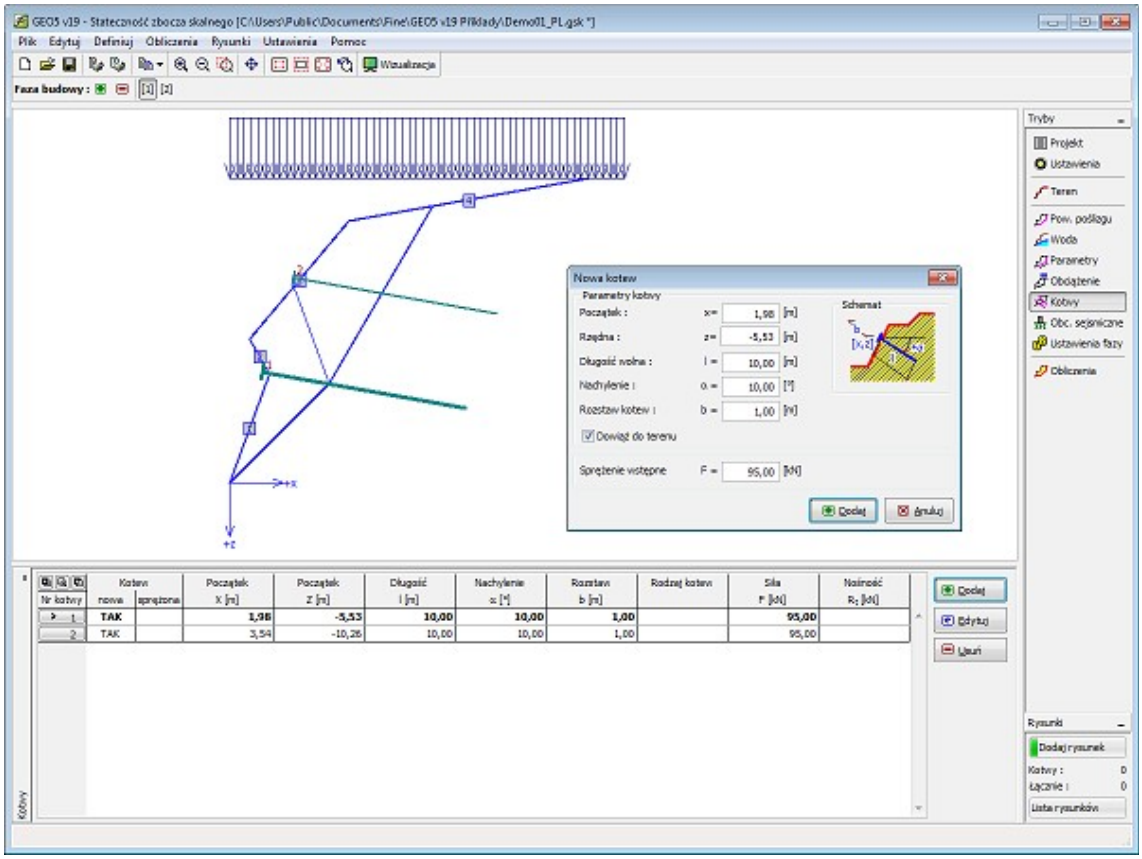
Ramka "Zdefiniowane siły"

Kotwy - płaska i łamana powierzchnia poślizgu

Ramka "**Kotwy**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych kotew. Dodawanie kotew odbywa się w oknie dialogowym "**Nowa kotew**". Zdefiniowane kotwy można edytować na ekranie za pomocą aktywnych obiektów.

Określane są następujące elementy - położenie (początek), głębokość, długość, nachylenie zbocza, rozstaw pomiędzy kotwami oraz siłę kotwy. Początek kotwy można automatycznie **dowiązać do terenu** (poprzez zaznaczenie odpowiedniego pola). Wszystkie parametry kotwy można modyfikować tylko w fazie budowy, w której kotew została zdefiniowana. W następnych fazach można jedynie zmienić siłę w kotwie (opcja "**Sprężenie kotwy**").

Płaska powierzchnia poślizgu umożliwia zdefiniowanie kotew czynnych i biernych. Przy łamanej powierzchni poślizgu dostępne są tylko kotwy czynne.

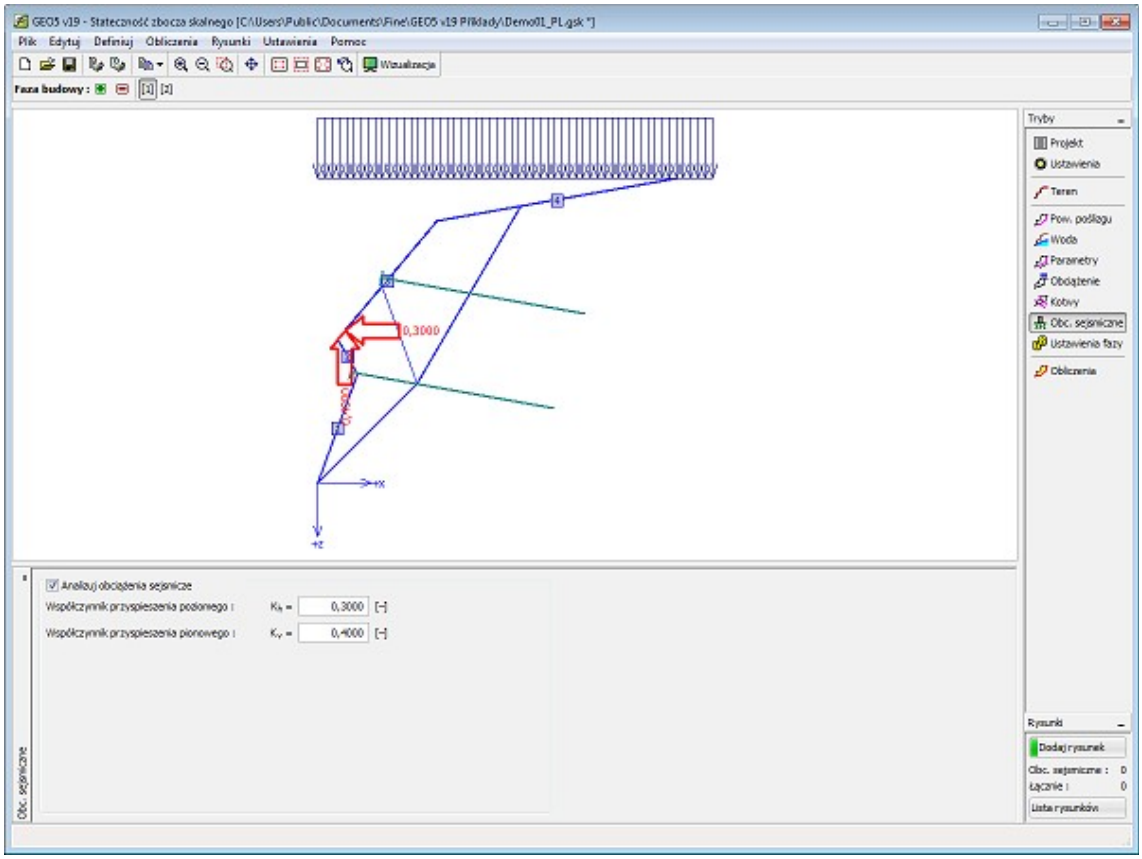


Ramka "Kotwy" - płaska i łamana powierzchnia poślizgu

Obciążenia sejsmiczne

Ramka "**Obciążenia sejsmiczne**" służy do wprowadzania parametrów obciążenia sejsmicznego. Kierunki wprowadzonych obciążeń sejsmicznych są wyświetlane na pulpicie.

Analiza zbocza skalnego z uwzględnieniem obciążeń sejsmicznych została opisana w teoretycznej części podpowiedzi w rozdziale "Wpływ obciążeń sejsmicznych".



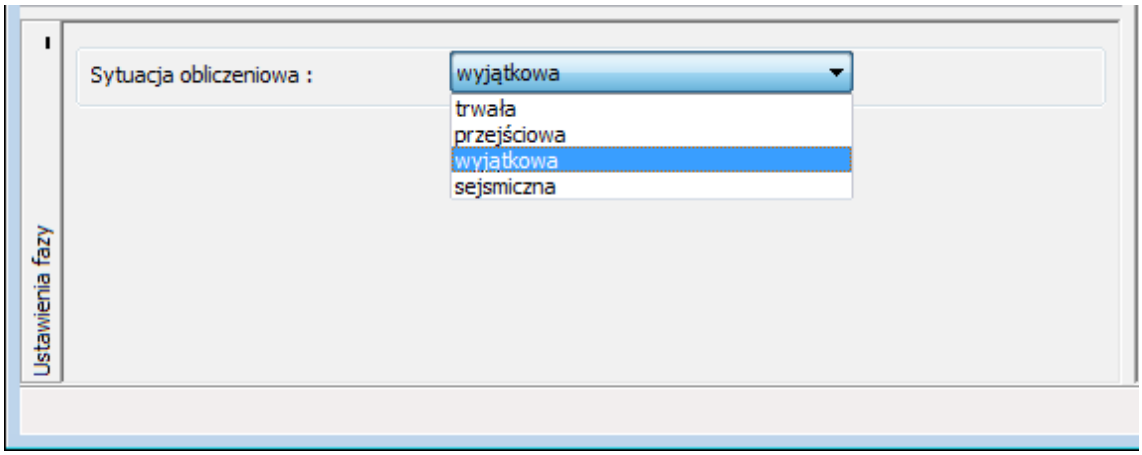
Ramka "Obciążenia sejsmiczne"

Ustawienia fazy

Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących tylko wybranej fazy obliczeniowej.

Wybrana sytuacja obliczeniowa określa współczynniki bezpieczeństwa, które będą zastosowane w obliczeniach danej fazy budowy.

Wygląd ramki zależy od wybranej metody analizy.



Ramka "Ustawienia fazy"

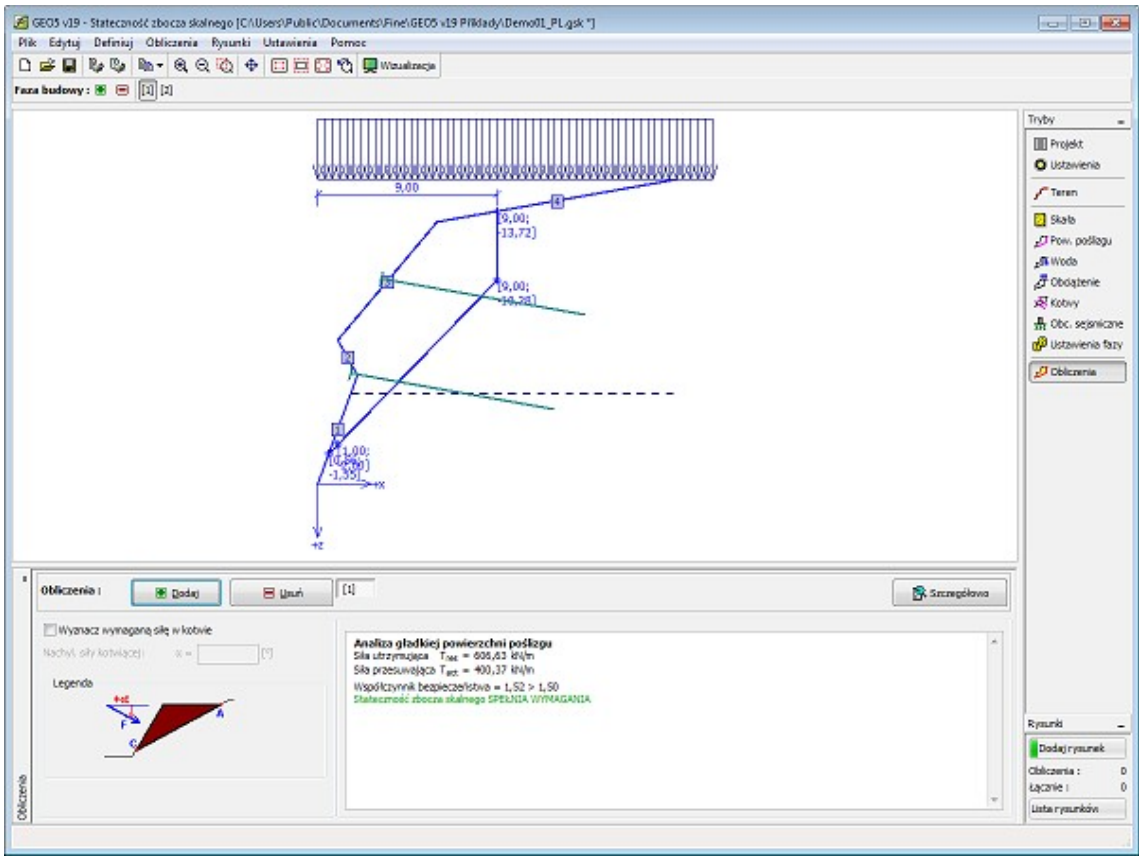
Obliczenia - płaska pwierzchnia poślizgu

W ramce "**Obliczenia**" wyświetlane są wyniki obliczeń. Dla jednego zadania istnieje możliwość przeprowadzenia kilku obliczeń.

Weryfikację zbocza skalnego z uwzględnieniem płaskiej powierzchni poślizgu można przeprowadzić stosując metodę analizy, której wyboru dokonuje się w ramce "Ustawienia". Wyniki obliczeń są wyświetlane w ramce na dole ekranu.

W ramce tej program umożliwia wyznaczenie **siły w kotwie potrzebnej** do uzyskania wymaganego współczynnika bezpieczeństwa. W takim przypadku pole "**Wyznacz wymaganą siłę w kotwie**" musi być zaznaczone, a ponadto należy wprowadzić nachylenie siły w kotwie od poziomu.

Wizualizację wyników można ustawić w ramce "Konfiguracja rysunku".



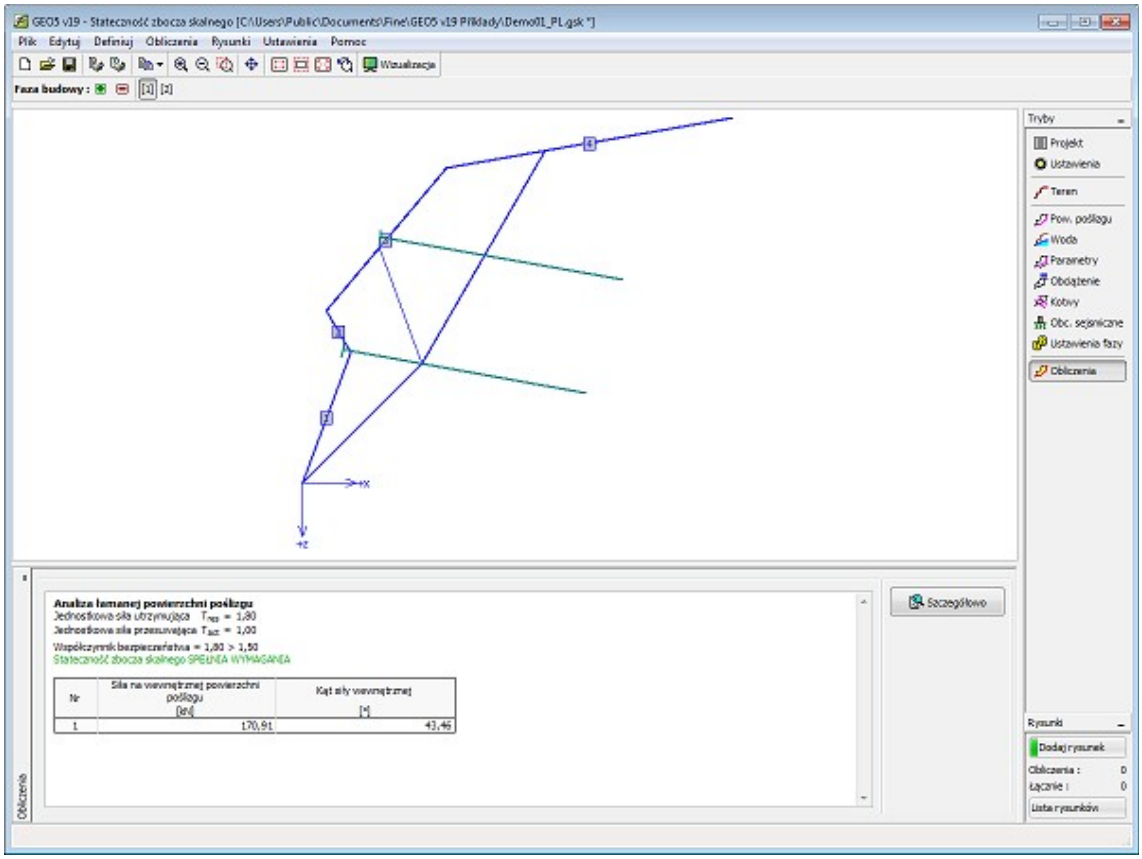
Ramka "Obliczenia" - płaska powierzchnia poślizgu

Obliczenia - łamana powierzchnia poślizgu

W ramce "**Obliczenia**" wyświetlane są wyniki obliczeń. Dla jednego zadania istnieje możliwość przeprowadzenia kilku obliczeń.

Weryfikację zbocza skalnego z uzwględnieniem łamanej powierzchni poślizgu można przeprowadzić zgodnie z metodą analizy wybraną w zakładce "Ustawienia". Wyniki obliczeń są wyświetlane w ramce na dole ekranu.

Wizualizację wyników można modyfikować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Obliczenia" - łamana powierzchnia poślizgu

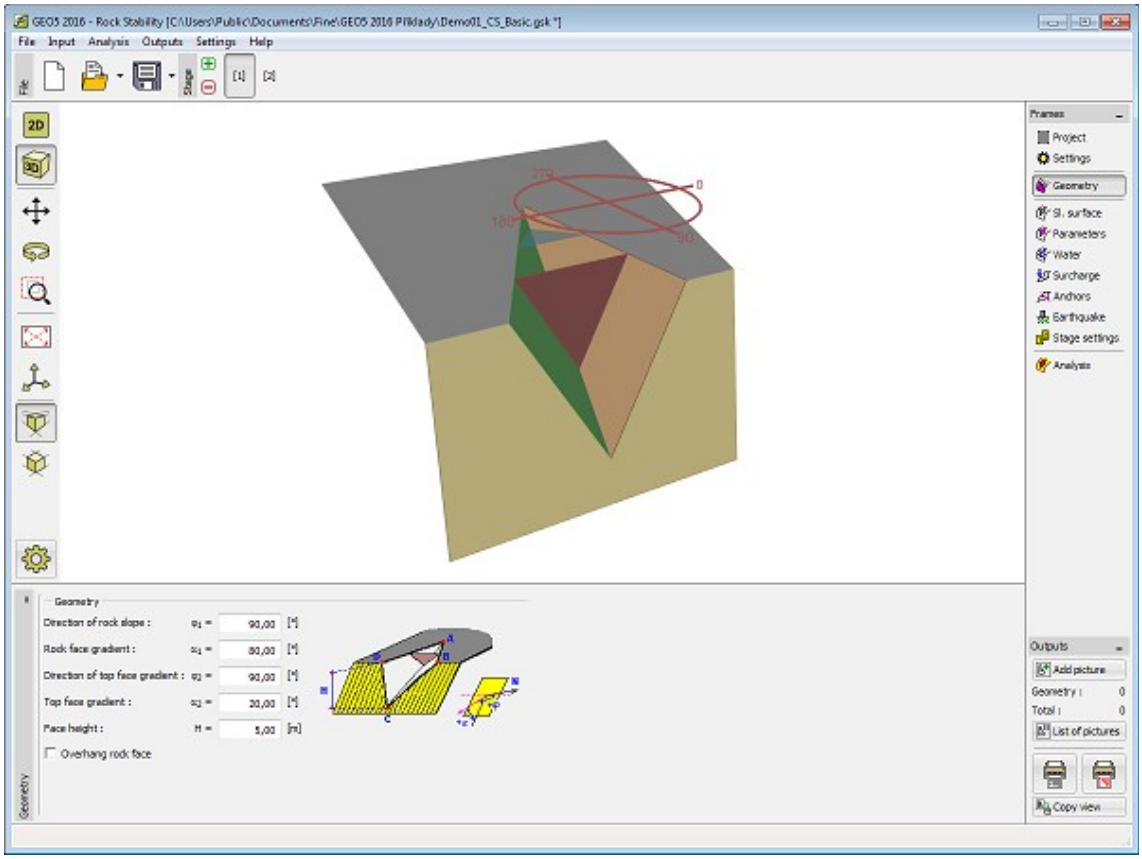
Geometria

Ramka "**Geometria**" umożliwia wprowadzanie kształtu zbocza skalnego (klina skalnego).

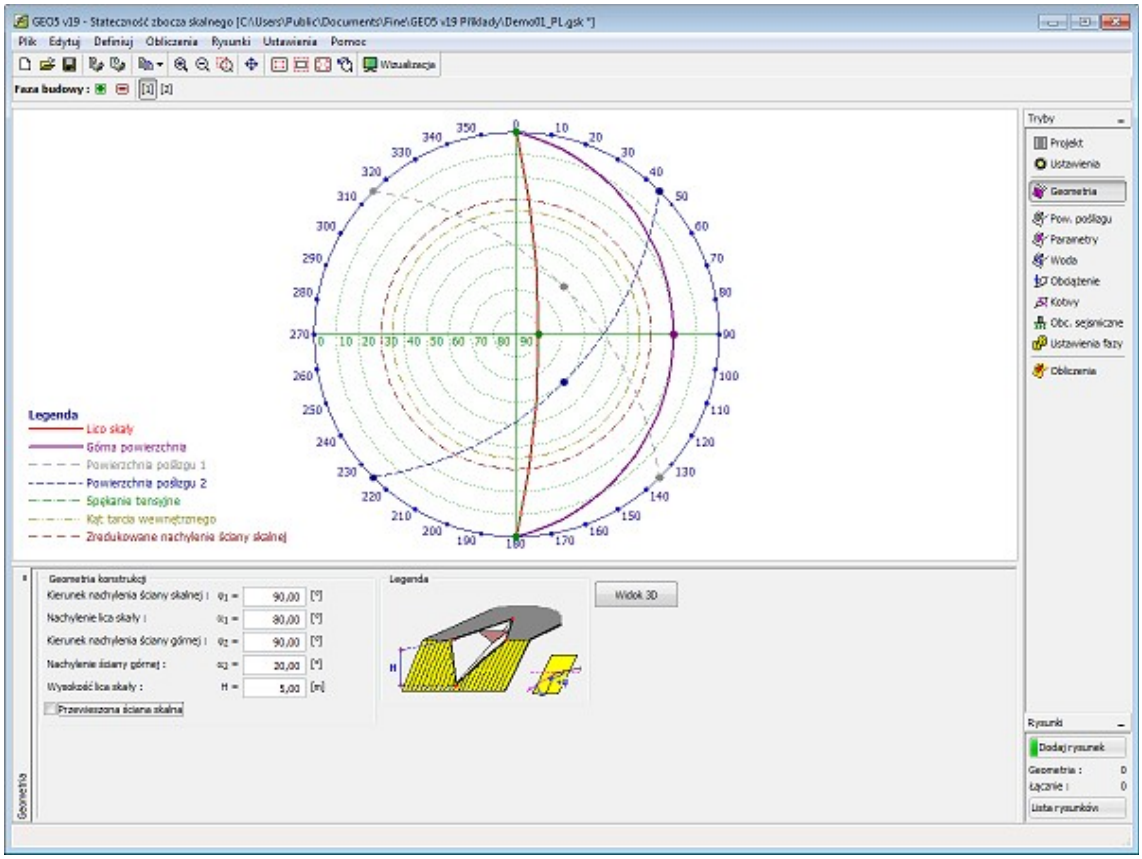
Geometrię klina skalnego definiuje się za pomocą kierunków i nachylenia linii opadających tworzących klin. Geometria klina skalnego wyświetlana jest na ekranie za pomocą widoku 3D lub z wykorzystaniem rzutu stereograficznego.

Wybór/Zaznaczenie opcji "**Przewieszona ściana skalna**" umożliwia definiowanie geometrii klina skalnego uwzględniającej ściany przewieszone.

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.



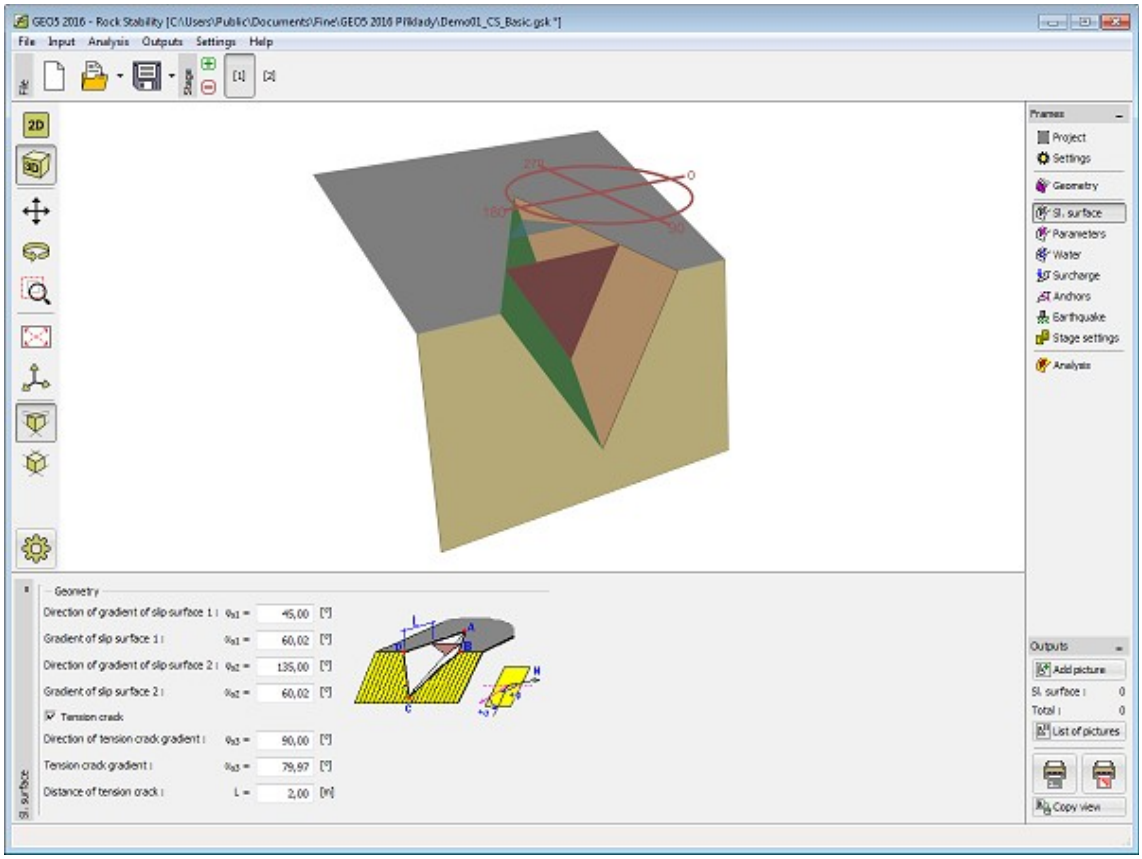
Ramka "Geometria" - widok 3D



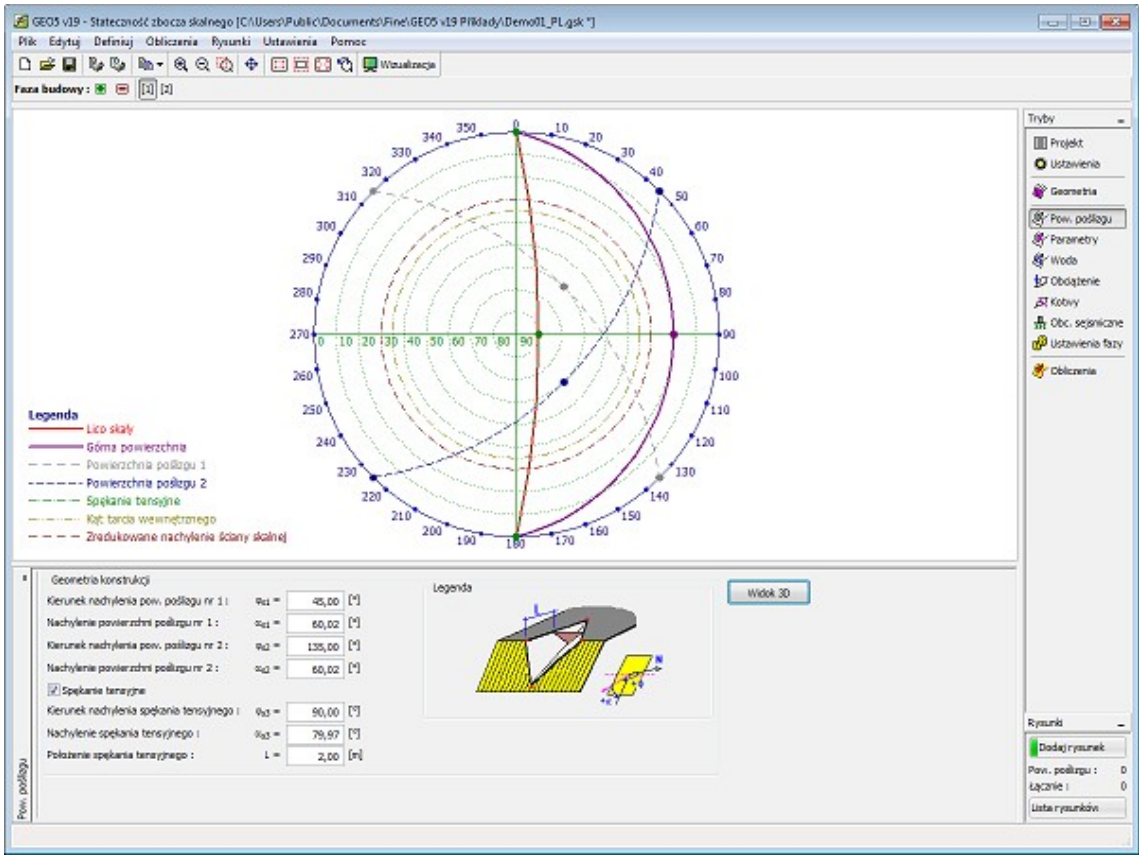
Ramka "Geometria" - wprowadzanie danych za pomocą kierunków i nachyleń lica skały

Powierzchnia poślizgu - klin skalny

Ramka "**Powierzchnia poślizgu**" służy do wprowadzania kształtu powierzchni poślizgu za pomocą kierunków i gradientów linii opadających powierzchni tworzących klin. Istnieje również możliwość zdefiniowania spękania tensyjnego. Geometria klina skalnego wyświetlana jest na ekranie za pomocą widoku 3D lub z wykorzystaniem rzutu stereograficznego.



Ramka "Powierzchni poślizgu" - klin skalny - widok 3D

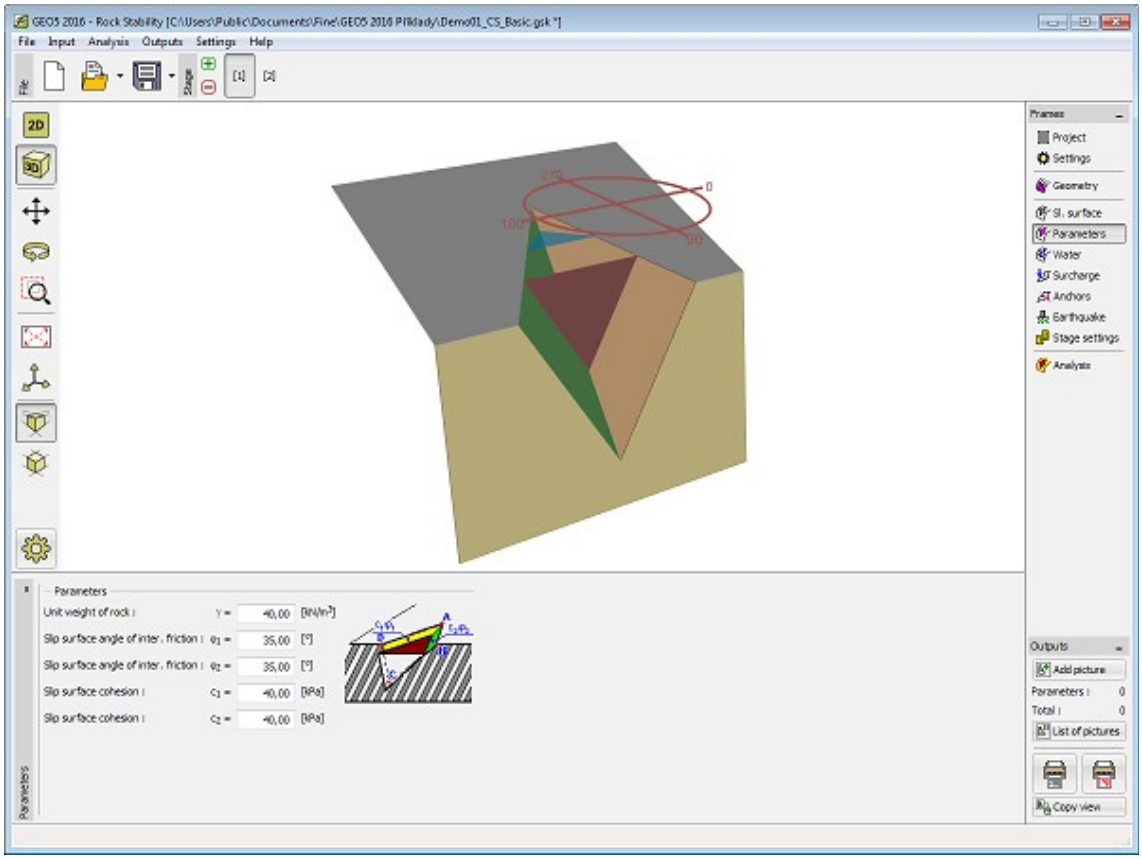


Ramka "Powierzchnia poślizgu" - klin skalny - rzut stereograficzny

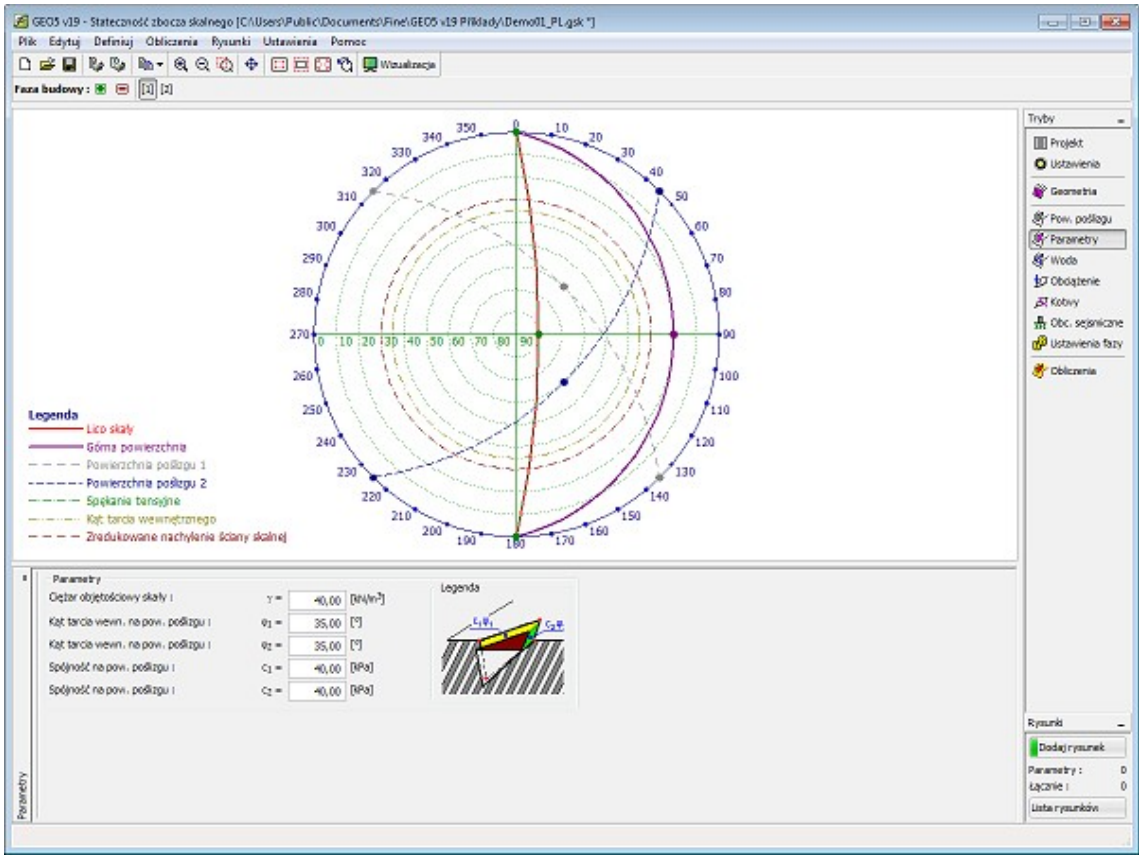
Parametry - klin skalny

Ramka "**Parametry**" służy do wprowadzania parametrów klina skalnego. Ciężar objętościowy skały oraz parametry wytrzymałości Mohr-Coulomb powierzchni poślizgu muszą być określone.

Geometria klina skalnego wyświetlana jest na ekranie za pomocą widoku 3D lub z wykorzystaniem rzutu stereograficznego.



Ramka "Parametry" - klin skalny - widok 3D



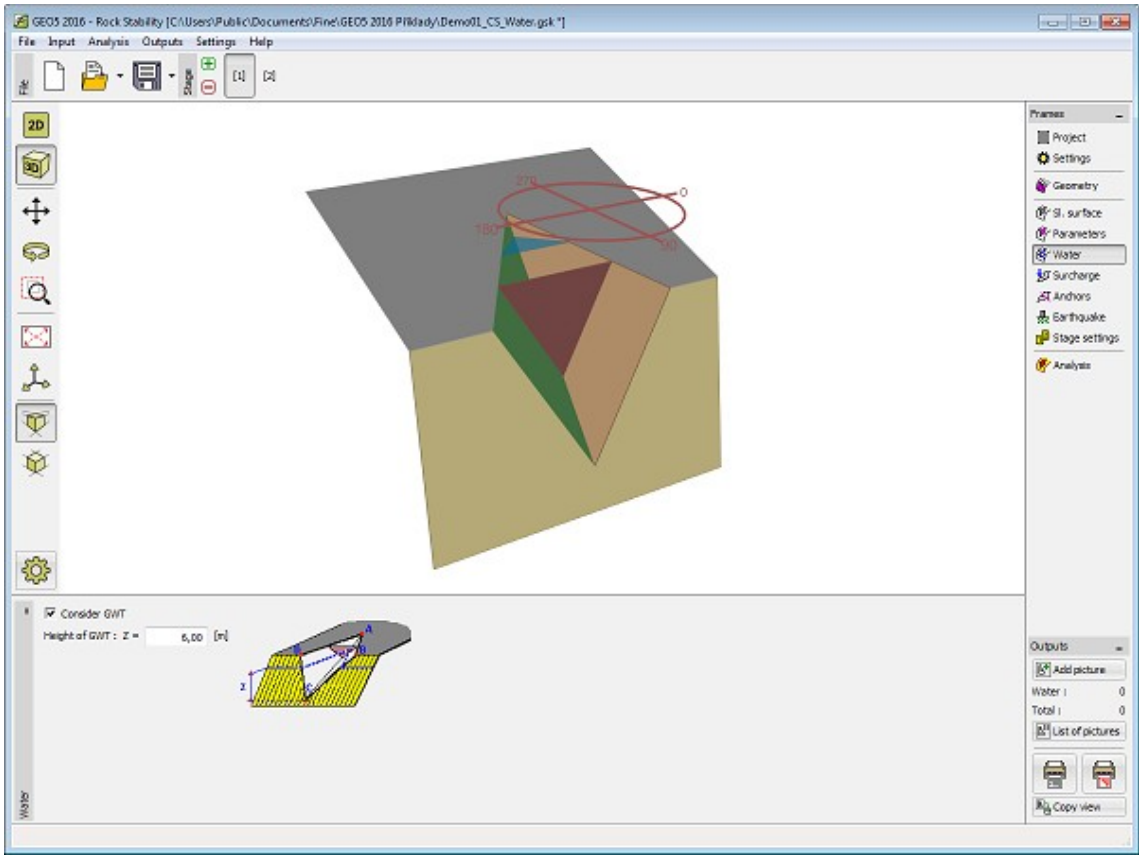
Ramka "Parametry" - klin skalny - rzut stereograficzny

Woda - klin skalny

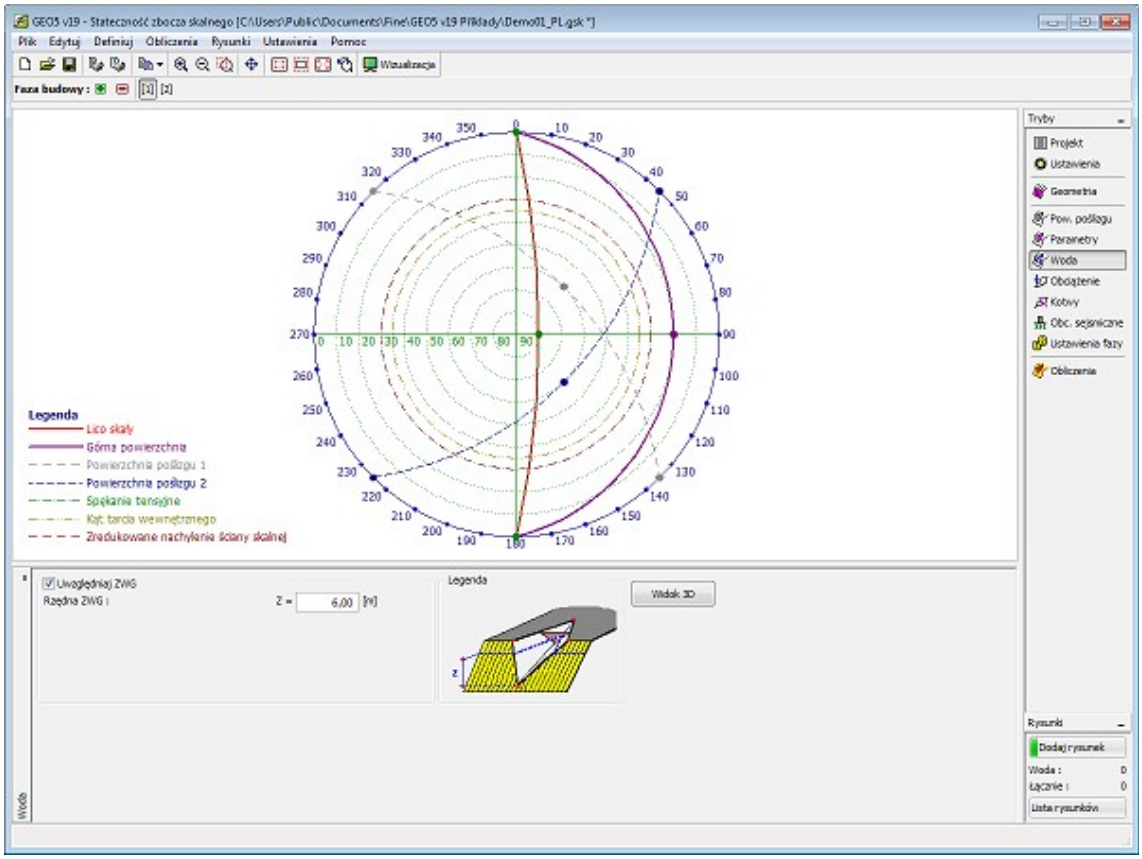
Ramka "**Woda**" pozwala wprowadzić wodę do analizy. Jeżeli wpływ wody jest uwzględniony, wówczas zaznaczenie odpowiedniego pola otwiera pole do wprowadzenia wysokości ZWG ponad najniższym punktem klina skalnego.

Procedura rozwiązania z uwzględnieniem wody została opisana w części teoretycznej pomocy w rozdziale "Wpływ wody gruntowej".

Geometria klina skalnego wyświetlana jest na ekranie za pomocą widoku 3D lub z wykorzystaniem rzutu stereograficznego.



Ramka "Woda" - klin skalny - widok 3D



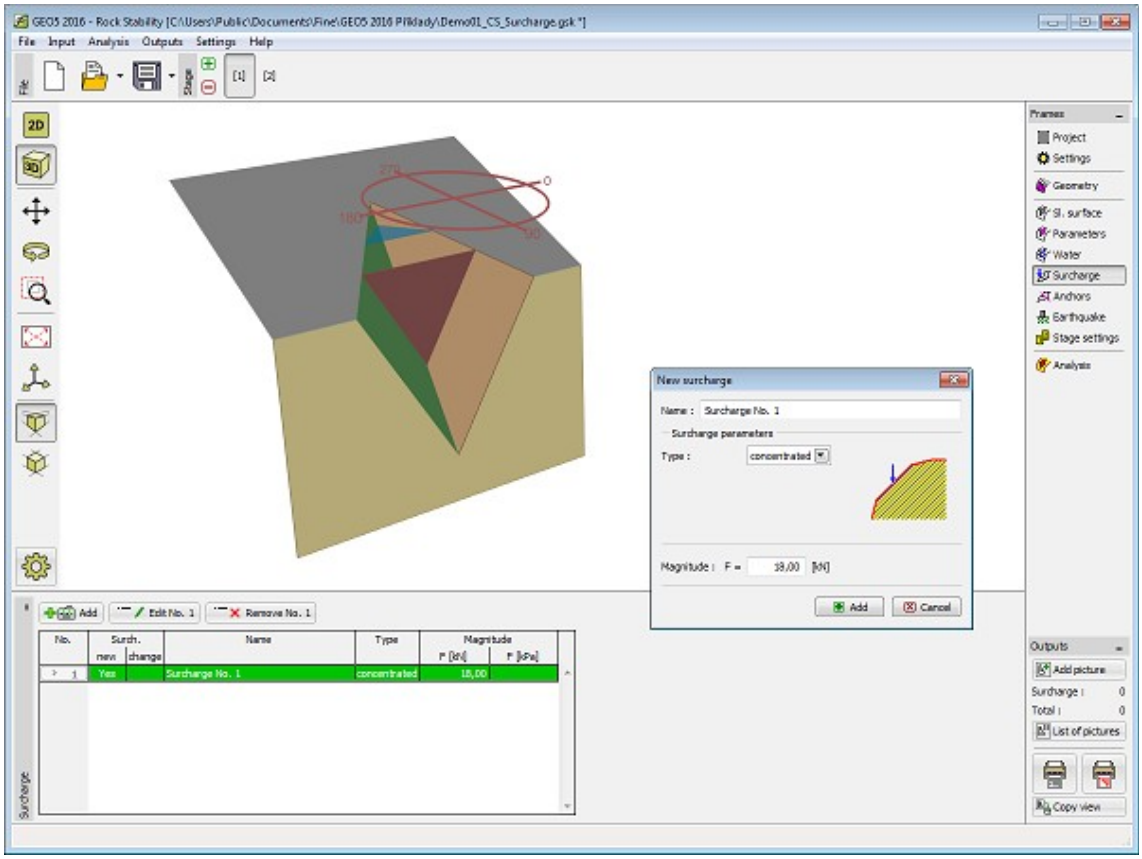
Ramka "Woda" - klin skalny - rzut stereograficzny

Obciążenie - klin skalny

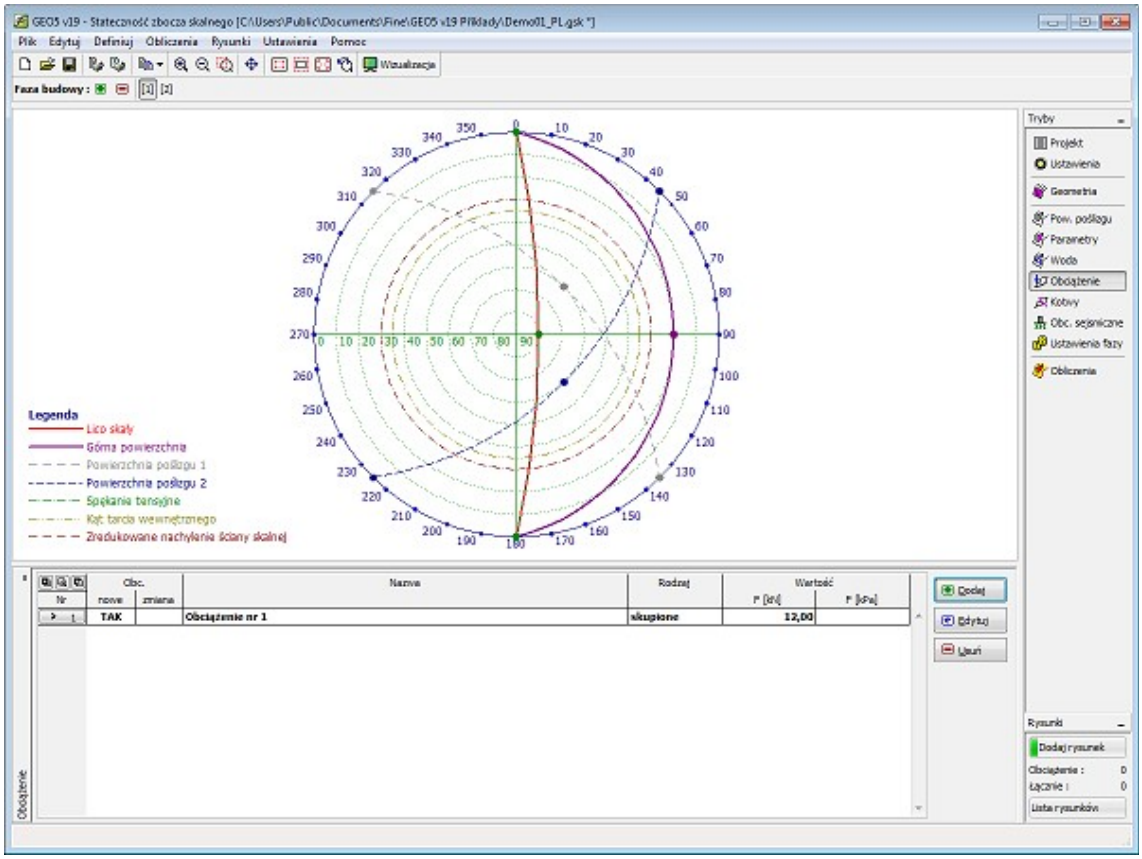
Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych obciążeń. Dodawanie obciążenia odbywa się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**".

Siły obciążenia są wprowadzane do obliczeń stateczności klina skalnego za pomocą rozkładu sił.

Geometria klina skalnego wyświetlana jest na ekranie za pomocą widoku 3D lub z wykorzystaniem rzutu stereograficznego.



Ramka "Obciążenie" - klin skalny - widok 3D



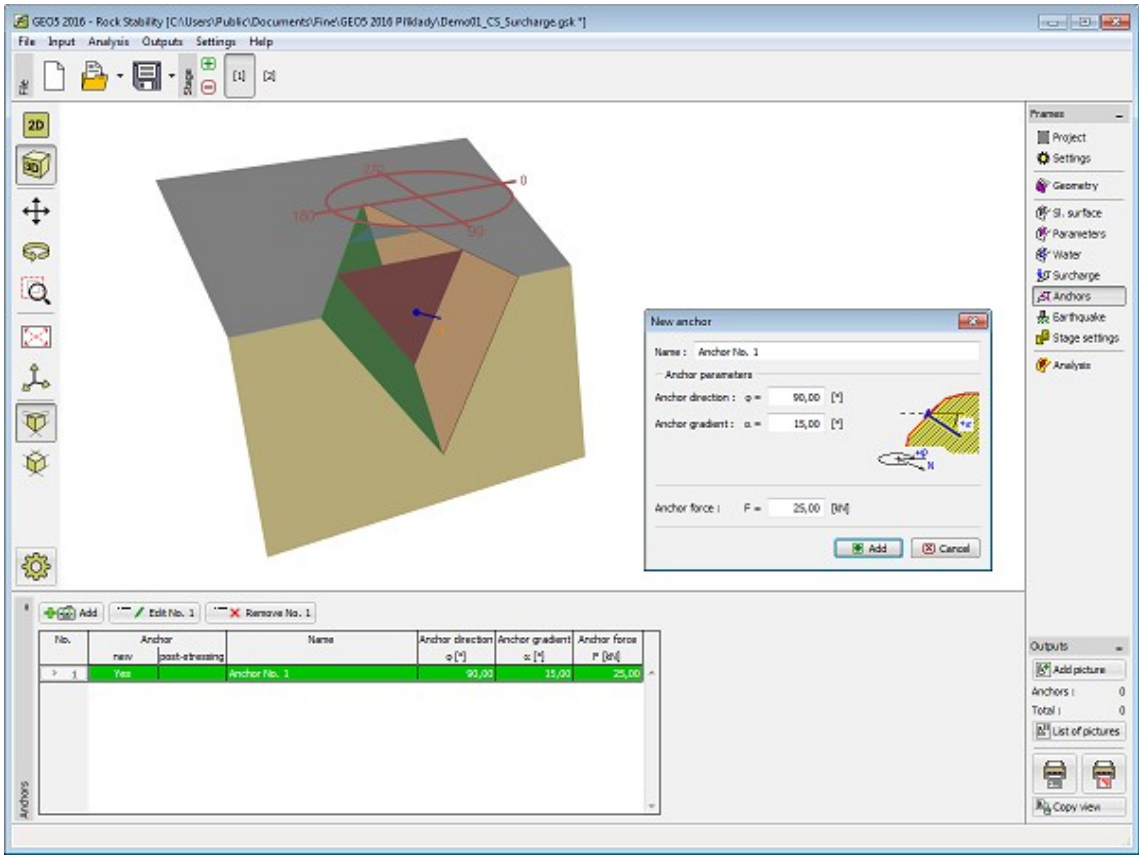
Ramka "Obciążenie" - klin skalny - rzut stereograficzny

Kotwy - klin skalny

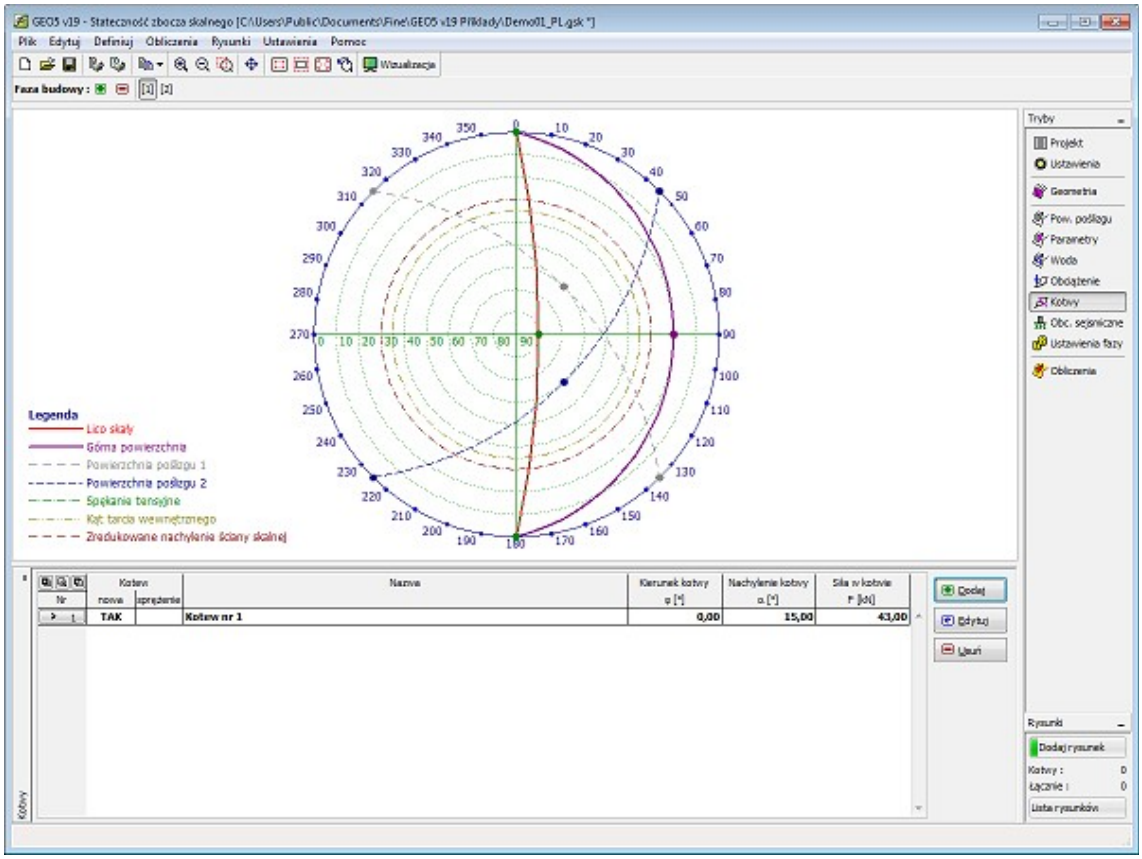
Ramka "**Kotwy**" zawiera tabelę z listą definiowanych kotew. Dodawanie kotew dobywa się w oknie dialogowym "**Nowa kotew**".

Siły kotew są wprowadzane do obliczeń stateczności klina skalnego za pomocą rozkładu oddziałujących sił.

Geometria klina skalnego wyświetlana jest na ekranie za pomocą widoku 3D lub z wykorzystaniem rzutu stereograficznego.



Ramka "Kotwy" - klin skalny - widok 3D



Ramka "Kotwy" - klin skalny - rzut stereograficzny

Obliczenia - klin skalny

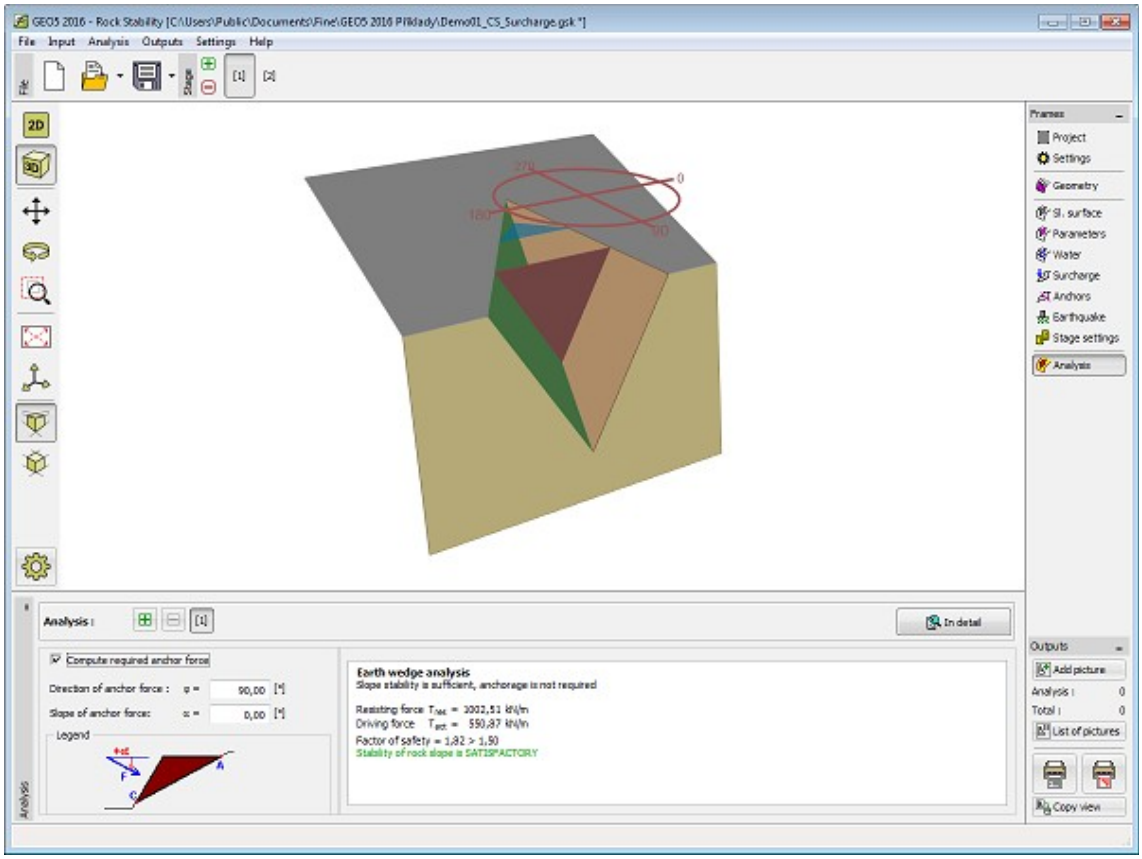
W ramce "**Obliczenia**" wyświetlane są wyniki analizy. Dla jednego zadania istnieje możliwość przeprowadzenia kilku obliczeń.

Weryfikację zbocza skalnego, rozważanego jako klin skalny mogą być przeprowadzone zgodnie z metodą analizy wybraną w zakładce "Ustawienia". Wyniki obliczeń są wyświetlane w ramce w dolnej części pulpitu.

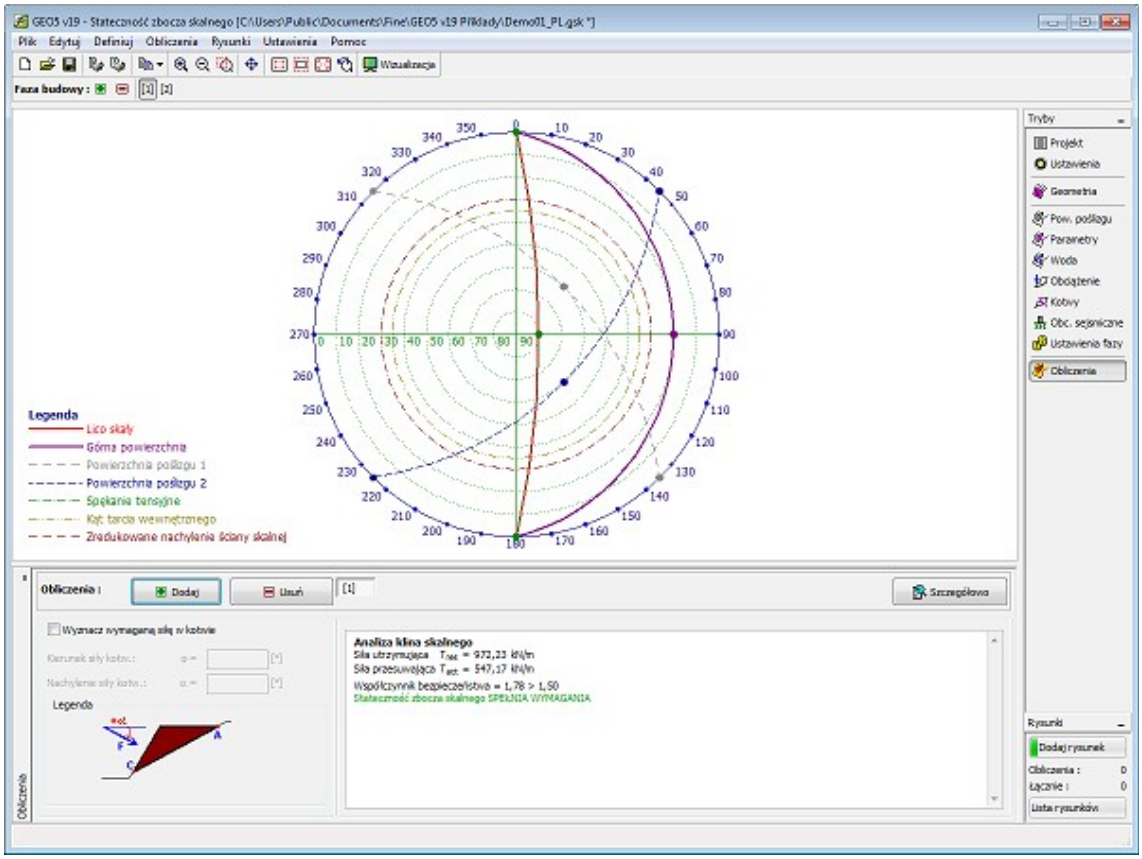
W ramce tej program umożliwia wyznaczenie **siły kotwy potrzebnej** do uzyskania wymaganego współczynnika bezpieczeństwa. W takim przypadku pole "**Wyznacz wymaganą siłę w kotwie**" musi być zaznaczone, a ponadto należy zdefiniować nachylenie siły kotwy od poziomu oraz jej kierunek.

Geometria klina skalnego wyświetlana jest na ekranie za pomocą widoku 3D lub z wykorzystaniem rzutu stereograficznego.

Wizualizację wyników można ustawić w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Obliczenia" - Klin skalny - widok 3D



Ramka "Obliczenia" - Klin skalny - rzut stereograficzny

Program Nasypy zbrojone

Program ten służy do analizy nasypów zbrojonych, ścian z gruntu zbrojonego oraz ścian zbrojonych geosiatkami z licem z bloczków betonowych.

Pomoc w programie "Nasypy zbrojone" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

Projekt	Ustawienia	Geometria	Materiał	Typy zbrojenia	Zbrojenie (bloki)	Zbrojenie
Profil	Grunty	Przyporządkowanie	Teren	Woda (bloki)	Woda	Obciążenie
Odpór na licu	Zdefiniowane siły	Obciążenia sejsmiczne	Ustawienia fazy	Analiza	Wymiarowanie	Nośność
Poślizg wzdłuż zbrojenia	Stateczność wewnętrzna	Stateczność globalna	Stateczność			

- Normy i metody obliczeniowe

- Teoria obliczeniowa do programu "**Nasypy zbrojone**":

  Naprężenia w gruncie | Parcia gruntu | Analiza ścian | Stateczność zbocza | Nasypy zbrojone

- Dane wyjściowe

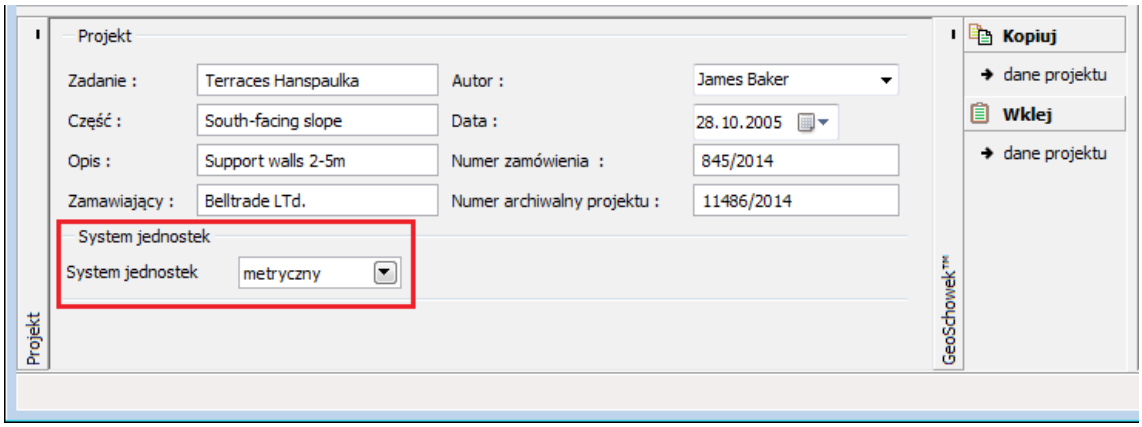
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5

- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

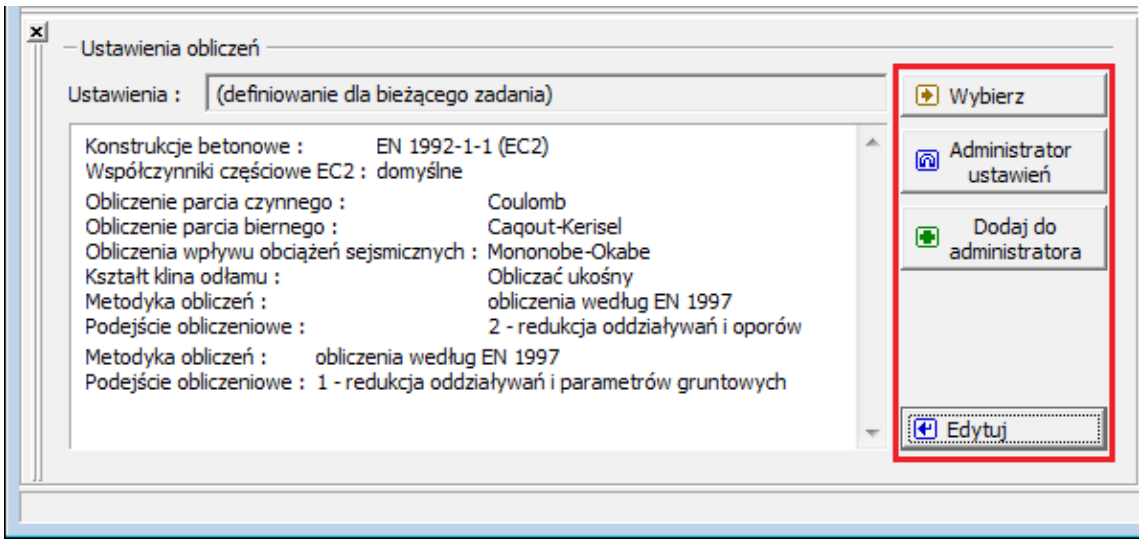
Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładkach "Materiały i normy", "Konstrukcje oporowe" oraz "Analiza stateczności".



Ramka "Ustawienia"

Geometria

Ramka "**Geometria**" umożliwia wybranie kształtu ściany poprzez wybór ikony.

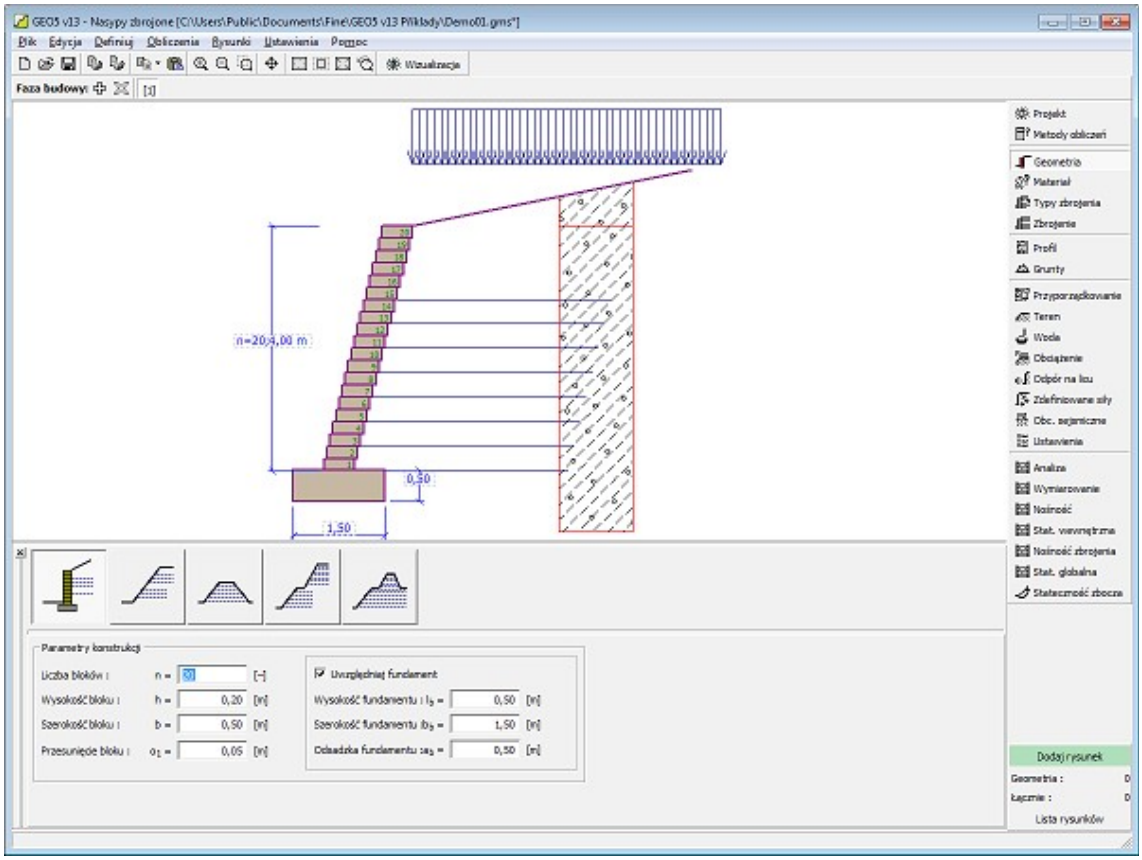
Kształt ściany można modyfikować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól danych lub na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Pierwszy rodzaj geometrii (ściana) pozwala na definiowanie fudamentu, a przy innych rodzajach geometrii (nasypu) program pozwala na zdefiniowanie również **obudowy**. Wybrany rodzaj geometrii ma wpływ na inne ramki i zawarte w nich tryby wprowadzania danych (woda, obciążenie, zbrojenie). Dla poszczególnych rodzajów geometrii, dostępne są podane poniżej opcje weryfikacji:

	Rodzaj Geometrii	**Weryfikacja**
1	Ściana z opcją definiowania fundamentu	Analiza, wymiarowanie, nośność podłoża gruntowego, stateczność wewnętrzna, nośność

		zbrojenia, stateczność globalna, stateczność zbocza
2	Zbocze jednostronne	Analiza, nośność podłoża gruntowego, stateczność wewnętrzna, stateczność globalna, stateczność zbocza
3	Zbocze dwustronne	Stateczność globalna, stateczność zbocza
4	Jednostronne z tarasami	Analiza, nośność podłoża gruntowego, stateczność wewnętrzna, stateczność globalna, stateczność zbocza
5	Dwustronne z tarasami	Stateczność globalna, stateczność zbocza

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.



Ramka "Geometria

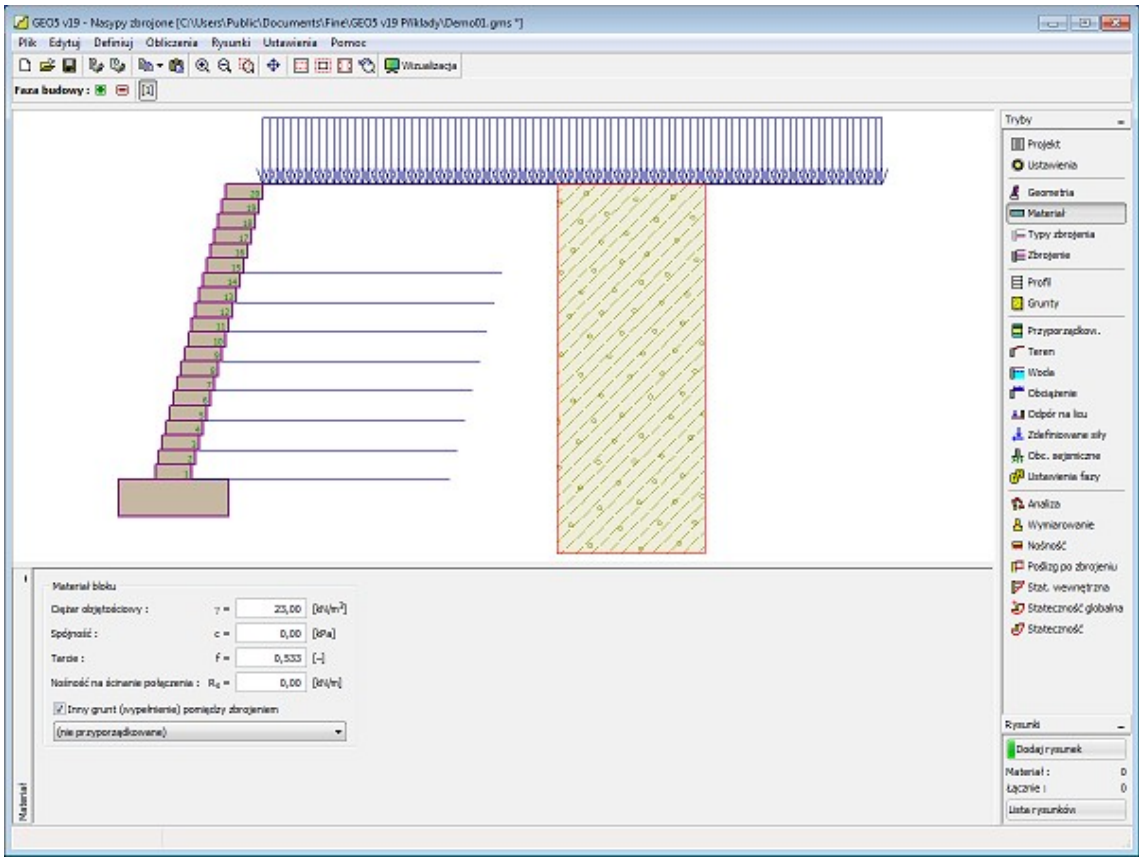
Materiał

Ramka "**Materiał**" służy do wyboru parametrów materiałów bloczków i obudowy. Definiowanie materiałów zależy od wybranego rodzaju "Geometrii". Pierwszy rodzaj geometrii (konstrukcja z bloczkami) wymaga zdefiniowania ciężaru objętościowego bloczków γ, spójności c, kąta tarcia wewnętrznego f oraz wytrzymałości na ścinanie połączenia R_S $[kN/m]$.

Inne rodzaje geometrii (konstrukcja bez bloczków) umożliwiają uwzględnienie obudowy, co wymaga zdefiniowania ciężaru objętościowego γ oraz wytrzymałości na ścinanie R_S $[kPa]$.

Jeśli grunt pomiędzy warstwami zbrojenia jest inny niż grunt przyporządkowany w profilu gruntowym (geologicznym), wówczas program umożliwia zdefiniowanie tego gruntu poprzez

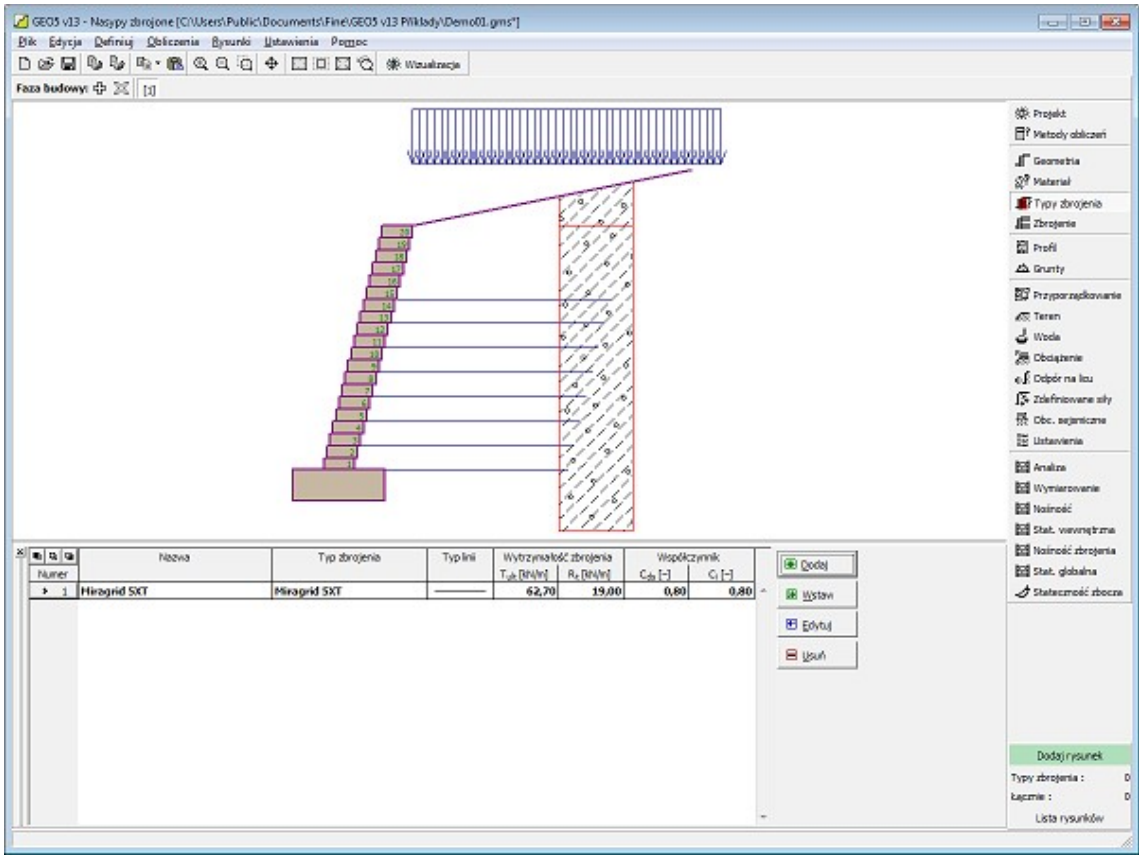
wybór opcji "**Inny grunt (materiał) pomiędzy zbrojeniem**". Użytkownik wybiera następnie odpowiedni rodzaj gruntu w oknie rozwijanym poniżej. Okno rozwijane zawiera grunty zdefiniowane wcześniej w ramce "Grunty").



Ramka "Materiał"

Typy zbrojenia

Ramka **"Typy zbrojenia"** zawiera tabelę z listą zdefiniowanych zbrojeń i ich parametrów (długoterminowa wytrzymałość zbrojenia i współczynniki interakcji). Dodawanie zbrojenia wykonywane jest w oknie dialogowym "Nowy typ zbrojenia".



Ramka "Typy zbrojenia"

Dodawanie i edycja typu zbrojenia

Okno dialogowe "**Nowy typ zbrojenia (Edytuj, Wstaw)**" zawiera następujące pozycje:

Linia produktów i Typ zbrojenia
- lista rozwijalna zawiera znajdujące się w bazie poszczególne Linie produktów wraz z poszczególnymi typami zbrojenia lub umożliwia wprowadzenie typu zbrojenia "**użytkownika**"

Krótkoterminowa wytrzym. charakt.
- wartość wytrzymałości można zmieniać tylko dla zbrojenia zapisanego przy pomocy "Katalogu użytkownika"

Obliczenie wytrzymałości długotrwałej
- Lista rozwijalna pozwala na wybór sposobu analizy wytrzymałości długotrwałej: **"definiuj współczynniki redukcji"** (bezpośrednie definiowanie współczynników), **"wyznacz współczynniki redukcji"** (współczynniki wyznaczane są na podstawie definiowanych: "żywotności" zbrojenia, rozmiaru ziaren i Ph gruntu), **"definiuj wytrzymałość"** (definiuje się już zredukowaną wytrzymałość długoterminową)

Współczynniky redukcyjne
- wartości współczynników redukujących krótkoterminową wytrzymałość na rozciąganie. Można je definiować bezpośrednio lub wyliczać na podstawie wybranych z listy opcji (żywotność, chemizm, rozmiar ziaren)

Całkowity wsp. niepewności modelu
- definiowana jest wartość współczynnika redukcji wytrzymałości krótkoterminowej

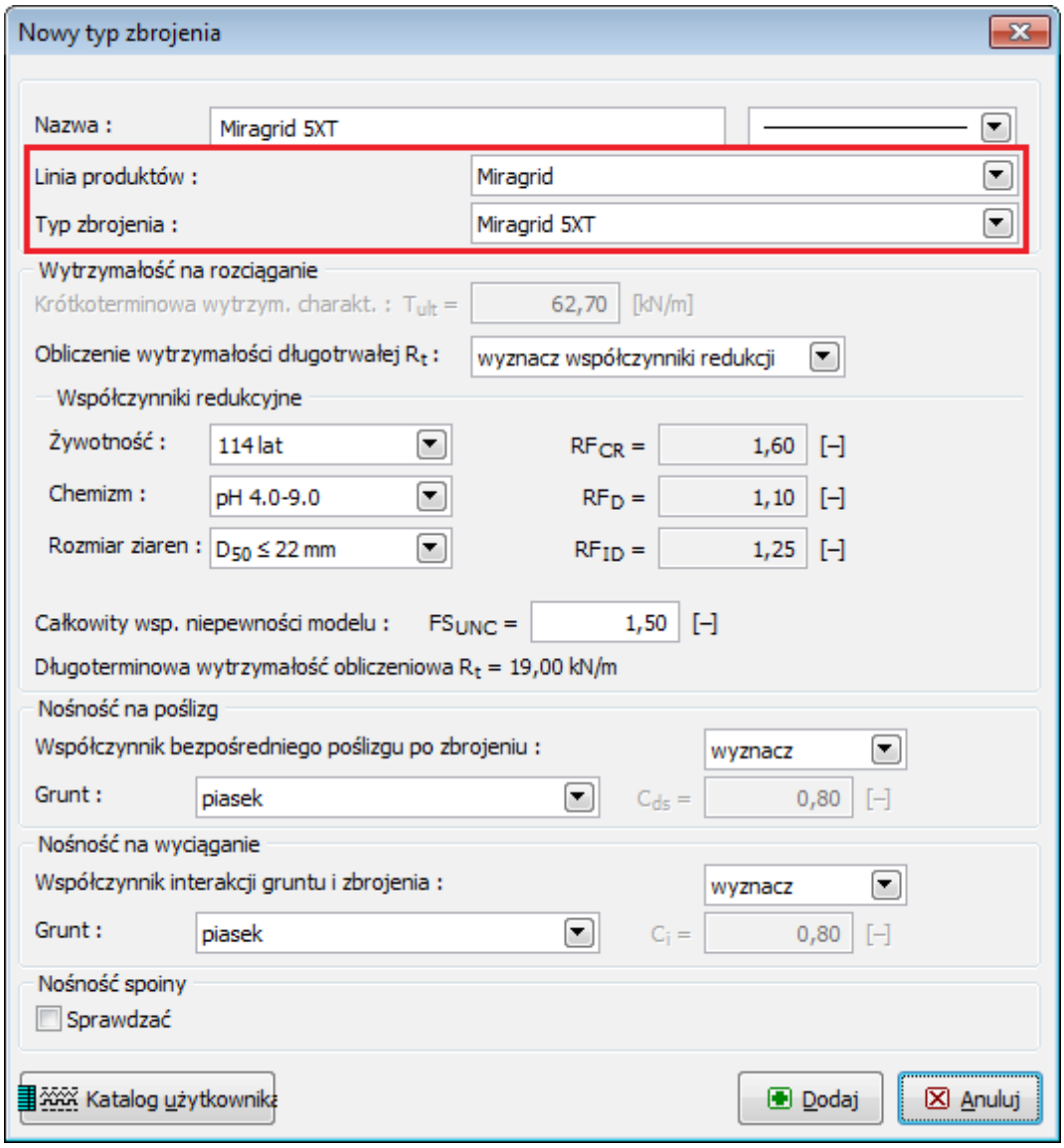
Długoterminowa
- Wyznaczona wartość długoterminowej wytrzymałości na

wytrzymałość obliczeniowa rozciąganie

Nośność na poślizg
- **"Współczynnik bezpośredniego poślizgu po zbrojeniu"**. Współczynnik ten można definiować bezpośrednio lub wyliczać na podstawie wybranego rodzaju gruntu

Nośność na wyciąganie
- **"Współczynnik interakcji gruntu i zbrojenia".** Współczynnik ten można definiować bezpośrednio lub wyliczać na podstawie wybranego rodzaju gruntu

Przycisk "**Katalog użytkownika**" w dolnej części okna otwiera okno dialogowe "Katalog użytkownika".



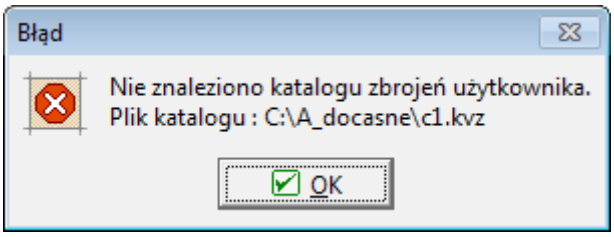
Okno dialogowe "Nowy typ zbrojenia"

Katalog użytkownika

Katalog użytkownika umożliwia zdefiniowanie oraz zapisanie własnych typów zbrojeń i ich

parametrów. Podczas pierwszego użycia katalogu (nie został jeszcze utworzony), program wyświetla komunikat ostrzegawczy z informacją, że nie znaleziono katalogu. Wówczas, naciśnięcie przycisku "**OK**" otwiera okno dialogowe "**Zapisz jako**", które umożliwia wprowadzenie nazwy katalogu i zapisanie go w określonej lokalizacji po naciśnięciu przycisku "**Zapisz**" (domyślnie wybierany jest folder, w którym zapisywane są dane projektu).

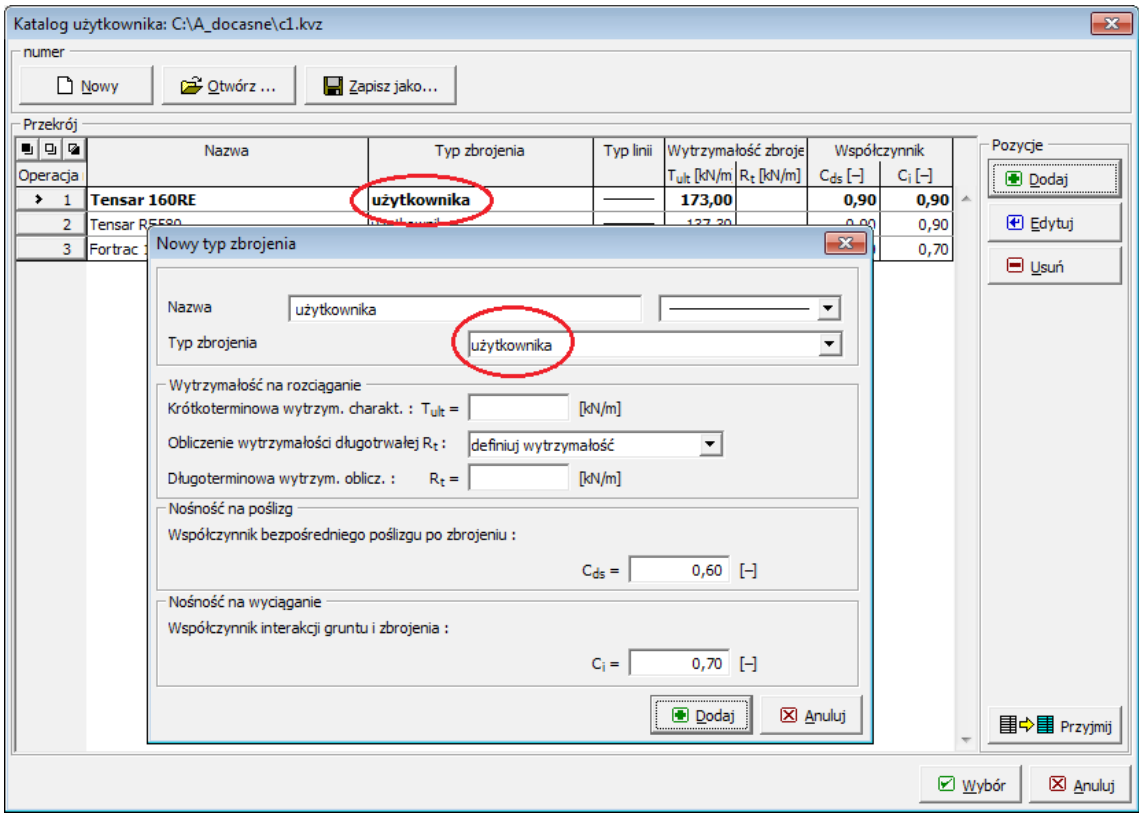
Program umożliwia użytkownikowi utworzenie więcej niż jednego katalogu. Kolejny katalog tworzy się poprzez naciśnięcie przycisku "**Nowy**" - program wyświetla zapytanie, czy aktualny katalog ma być zastąpiony (**aktualnie wczytany katalog nie jest USUWANY!**) i zapisuje nowy katalog pod nową nazwą. Przycisk "**Otwórz**" umożliwia wczytanie dowolnego katalogu użytkownika, natomiast "**Zapisz jako**" służy do zapisania katalogu pod inną nazwą.



Okno dialogowe pojawiające się przy pierwszym użyciu katalogu przekrojów własnych

Okno dialogowe "**Katalog użytkownika**" zawiera tabelę z listą zbrojeń zdefiniowanych przez użytkownika. Przycisk "**Dodaj**" otwiera okno dialogowe "Nowy typ zbrojenia", które umożliwia zdefiniowanie, a następnie zapisanie parametrów nowego zbrojenia do katalogu. Przyciski "**Edytuj**" i "**Usuń**" służą do edycji poszczególnych pozycji w tabeli.

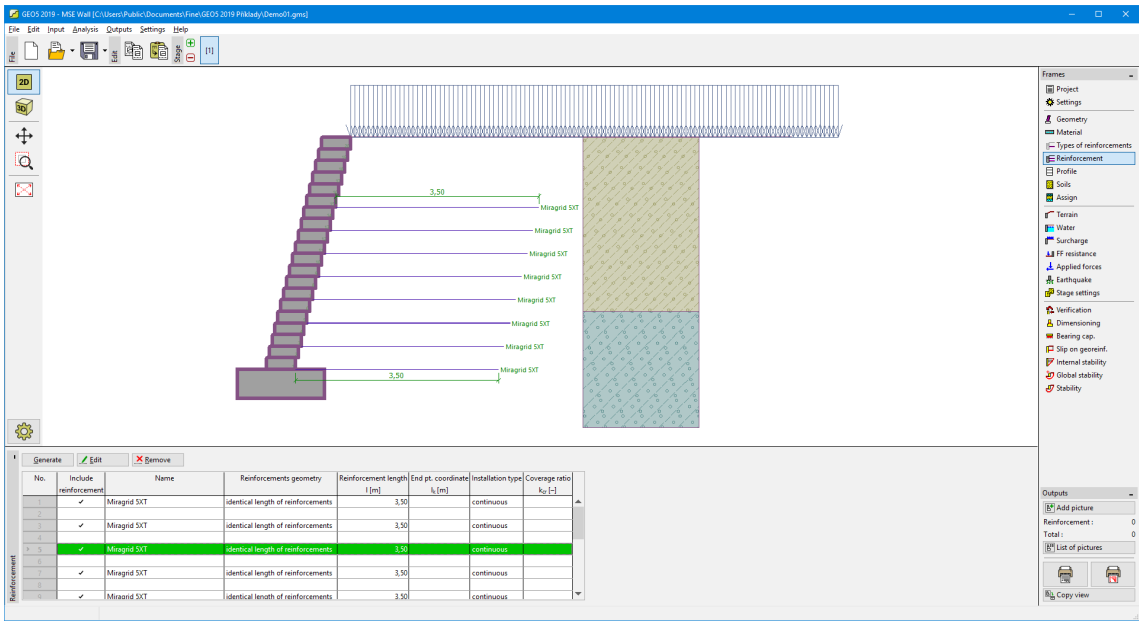
Przycisk "**Przyjmij**" akceptuje aktualne parametry zbrojenia zdefiniowane w oknie dialogowym "Nowy typ zbrojenia" i otwiera okno dialogowe "**Nowy typ zbrojenia**", w którym można zmodyfikować i zapisać te parametry.



Okno dialogowe "Katalog użytkownika"

Zbrojenie

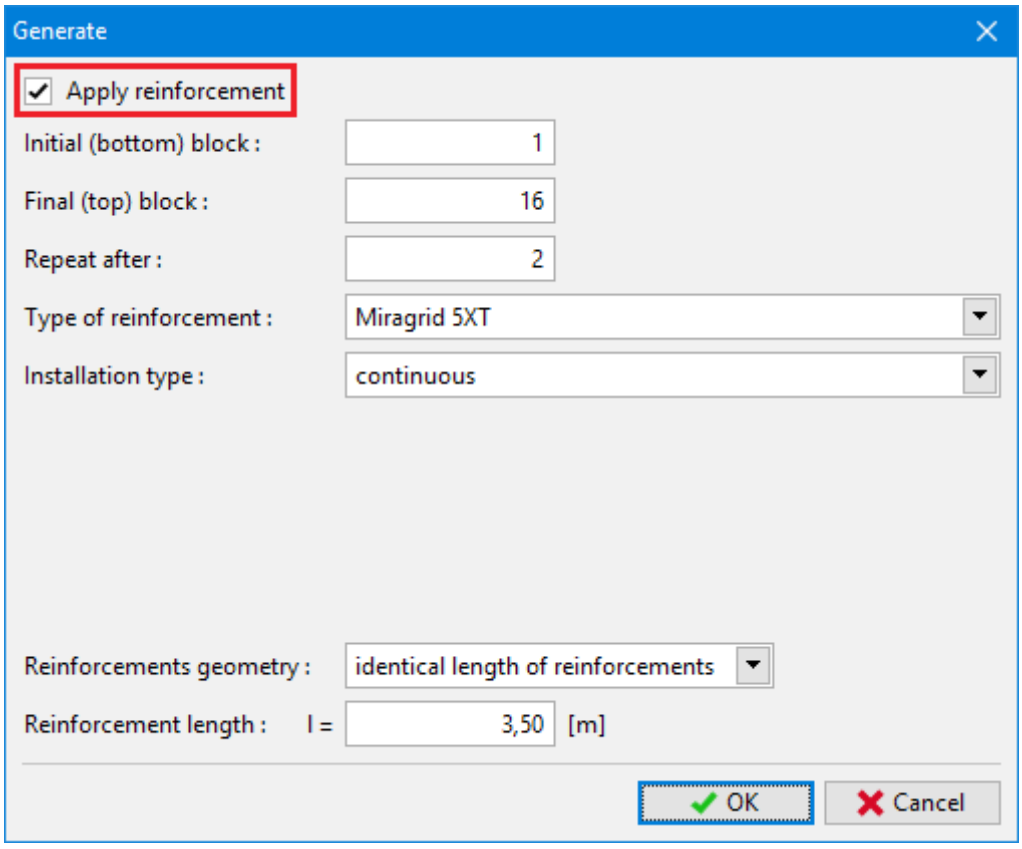
Ramka **"Zbrojenie"** zawiera tabelę z listą zdefiniowanych zbrojeń i ich geometrii.



Ramka "Zbrojenie"

Przycisk "**Generuj**" otwiera okno dialogowe "**Generuj**", pozwalające na ustawienie automatycznych parametrów dla generowanej grupy zbrojeń. Zbrojenia te można sytuować tylko na połączeniach między blokami (zaznaczając opcję "**Uwzględniaj zbrojenie**"). Następnym krokiem jest zdefiniowanie typu zbrojenia, początkowego i ostatniego bloku, liczby bloków do powtórzenia zbrojenia, geometrii zbrojenia (te same długości zbrojenia, lub ten sam typ zakończenia zbrojenia). Wprowadzone zbrojenia można również edytować na ekranie komputera, odpowiednio za pomocą aktywnego wymiarowania, lub aktywnych obiektów.

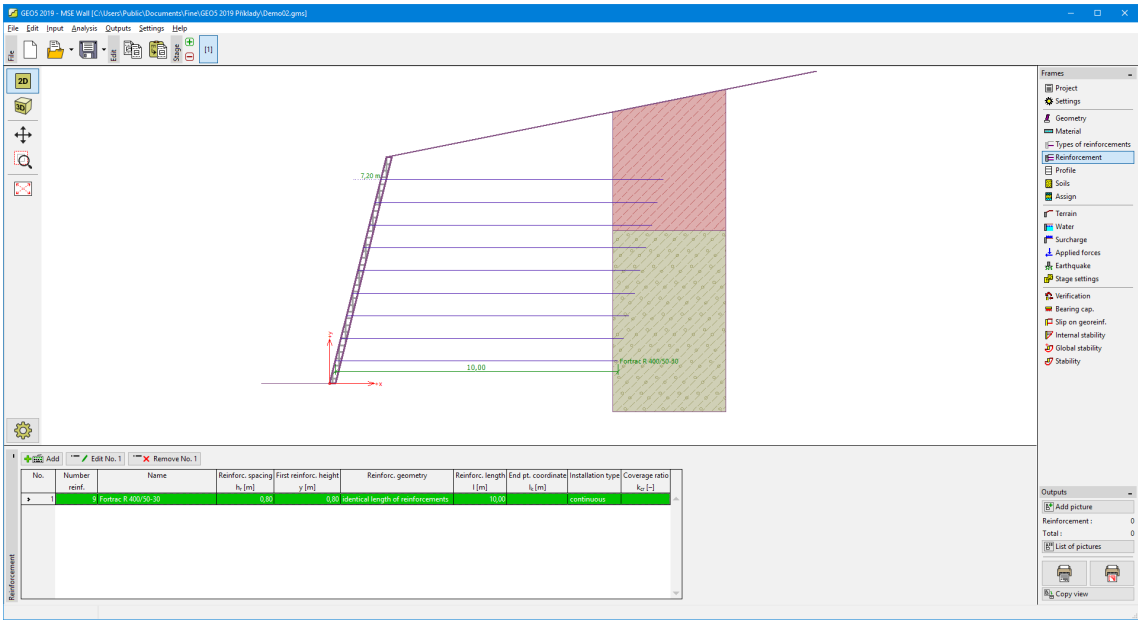
Przycisk "**Edycja**" otwiera okno dialogowe "**Edycji bloku**", pozwalające na zmiany typu zbrojenia, geometrii zbrojenia oraz do dokonania wyboru czy uwzględniać zbrojenie między blokami. Przycisk "**Usuń**" usuwa **wszystkie** zbrojenia.



Okno dialogowe "Generuj"

Zbrojenie

Ramka **"Zbrojenie"** zawiera tabelę z listą wprowadzonych linii (grup) zbrojenia i ich geometrii.

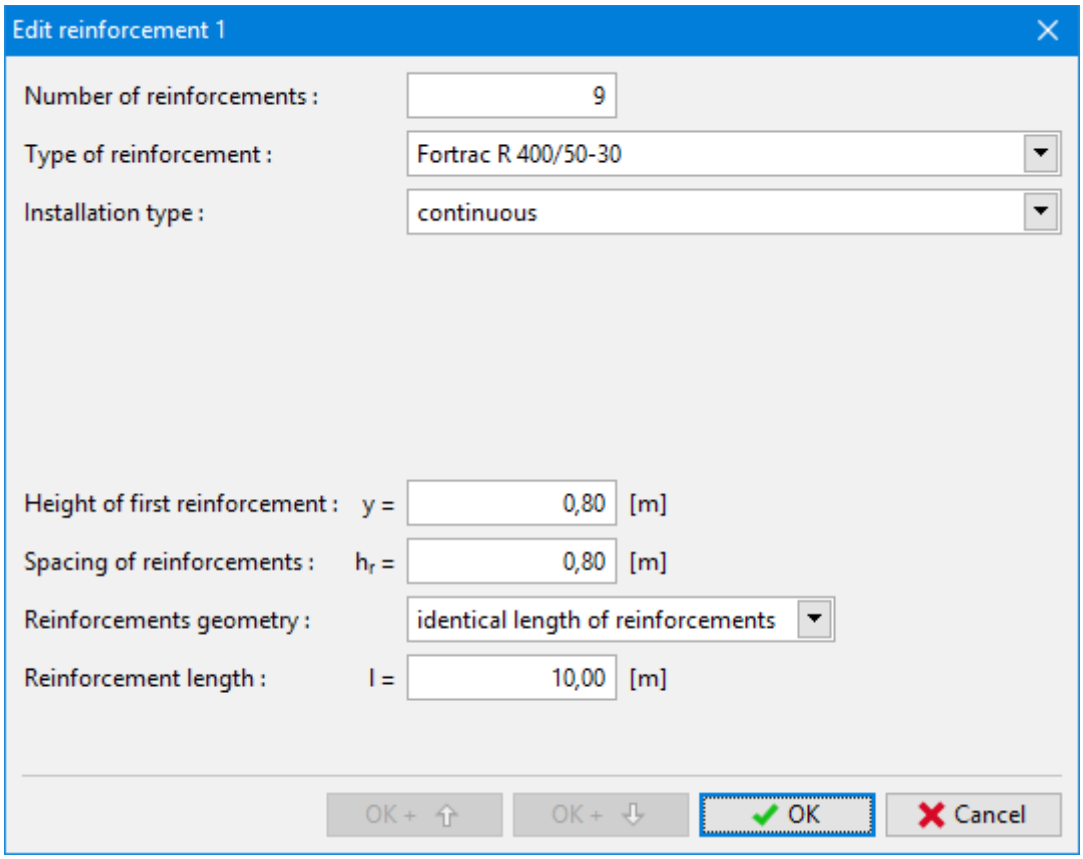


Ramka "Zbrojenie"

Dodawanie grup zbrojeń wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe zbrojenie**". Zdefiniowane zbrojenia można również edytować na ekranie komputera, odpowiednio za pomocą aktywnego wymiarowania, lub aktywnych obiektów.

Każda zdefiniowana grupa zbrojeń wymaga podania w oknie dialogowym liczby, typu i wysokości pierwszego zbrojenia oraz rozstawu zbrojeń i ich geometrii.

Program pozwala na na wstawianie (wstaw) innych grup zbrojenia pomiędzy wcześniej zdefiniowanymi grupami. Wstawianie nowej grupy wykonywane jest w oknie dialogowym "**Wstaw zbrojenie**", które jest identyczne do okna dialogowego "**Nowe zbrojenie**". Nowo wprowadzone (wstawione) zbrojenie umieszczane jest poniżej aktualnie wybranego bloku w konstrukcji. Przycisk "**Usuń**" usuwa grupę zbrojeń.



Okno dialogowe "Edycja zbrojenia"

Profil

Ramka "**Profil**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych warstw. Po zdefinowaniu poszczególnych warstw można edytować ich miąższość za pomocą aktywnych wymiarów.

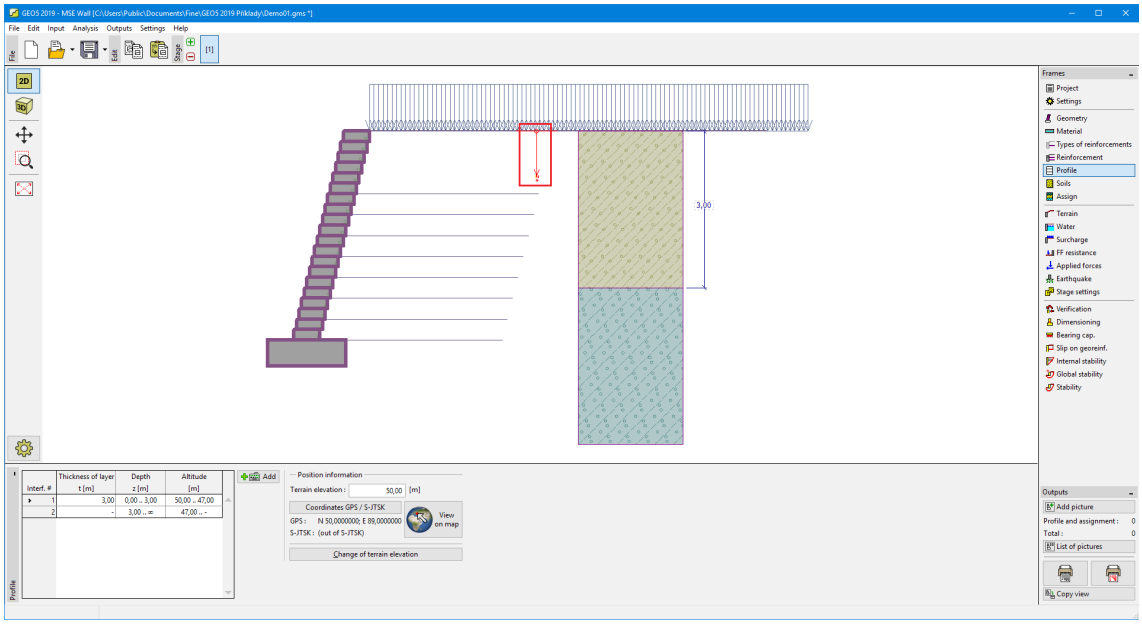
Dodawanie warstw wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowa warstwa**". Definiowana jest rzędna z mierzona od górnego punktu konstrukcji (oś-z).

In this frame it is also possible to enter optional information about the structure location:

- **terrain elevation** - an altitude column for the layers is displayed in the table after input of terrain elevation
- **GPS coordinates** - it is possible to show a structure on the Google Maps using "**View on**

map" button after input of coordinates.

Program umożliwia obniżenie lub podniesienie górnego punktu konstrukcji w oknie dialogowym "**Zmiana rzędnej terenu**", a zdefiniowane warstwy będą wówczas przesunięte, jednocześnie zachowując swoją miąższość. Funkcja ta jest istotna podczas kopiowania profilu z programu "**Teren**".



Ramka "Profil"

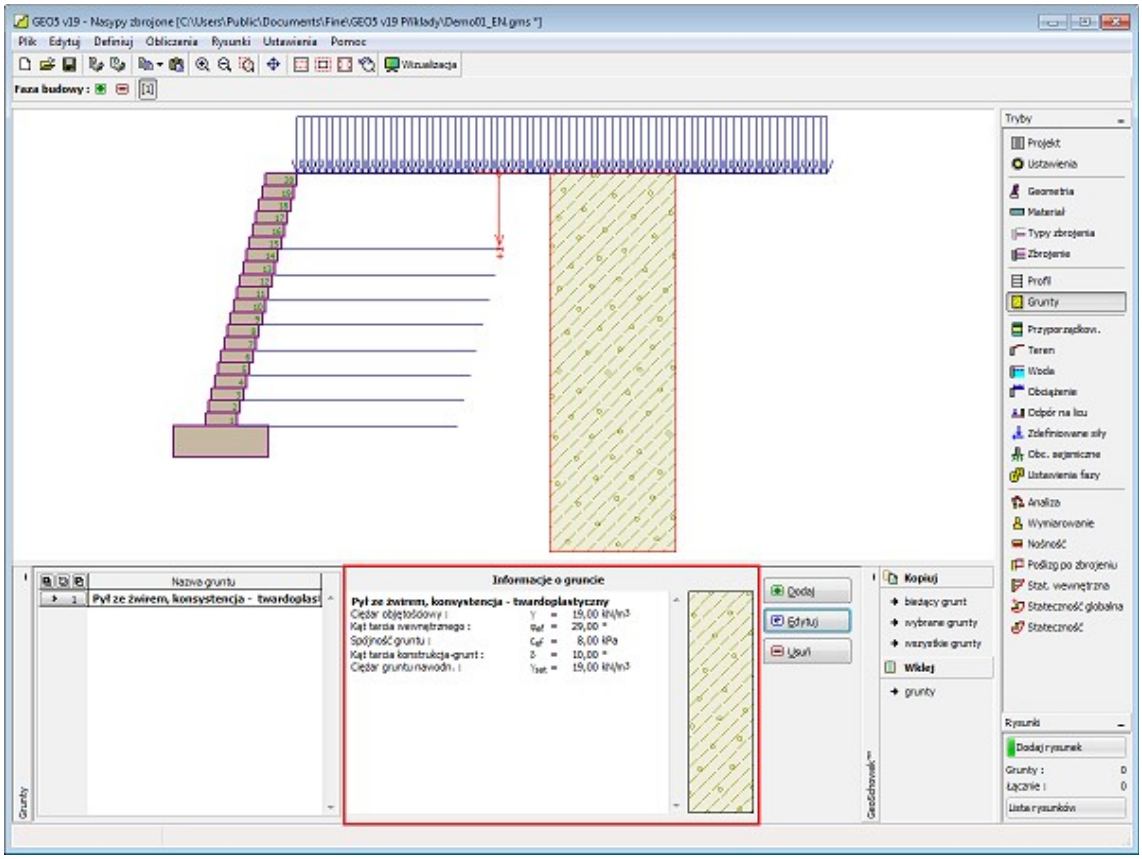
Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie (edycja) gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Dane podstawowe" oraz "Naprężenie geostatyczne, wypór".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



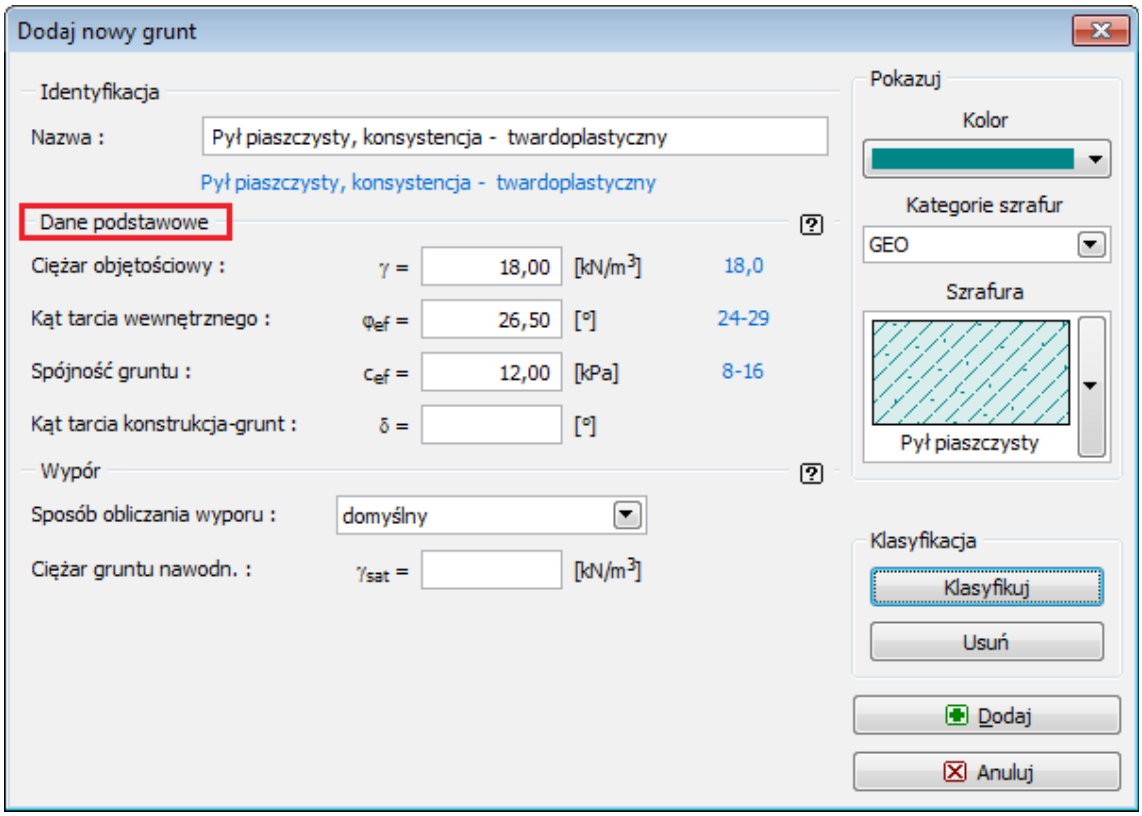
Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

Ta część okna dialogowego służy do definiowania podstawowych parametrów gruntów - **ciężaru objętościowego, kąta tarcia wewnętrznego**, **spójności** oraz **kąta tarcia konstrukcja-grunt**. Wartości te określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub in-situ dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wartości parametrów gruntów określone na podstawie doświadczenia oraz literatury światowej. Parametry skał nie zostały zawarte w tej bazie, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym.

W dalszej kolejności definiuje się kat tarcia pomiędzy konstrukcja i gruntem. Szacunkowe wartości kąta tarcia konstrukcja-grunt podano w tabeli wartości zalecanych.

Podstawy teoretyczne dotyczące omawianego zaganienia opisano w rozdziale "Parcie gruntu".

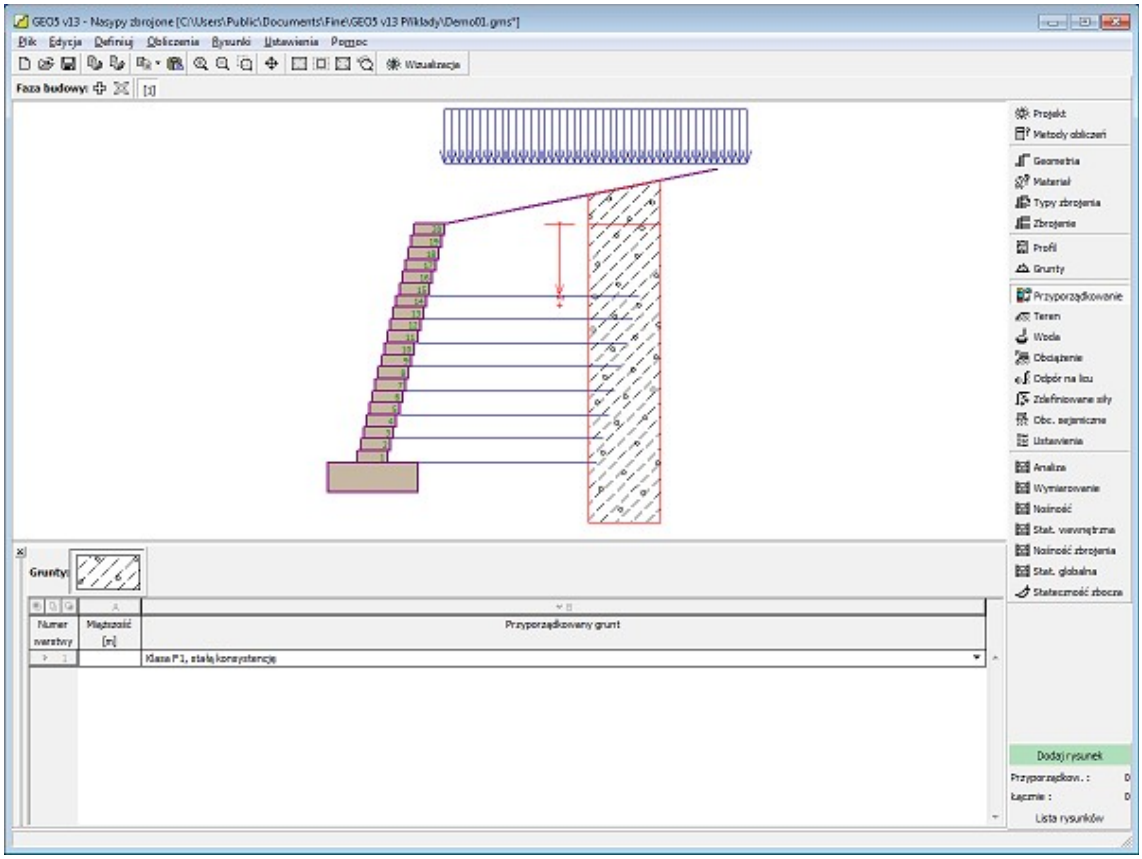


Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów".



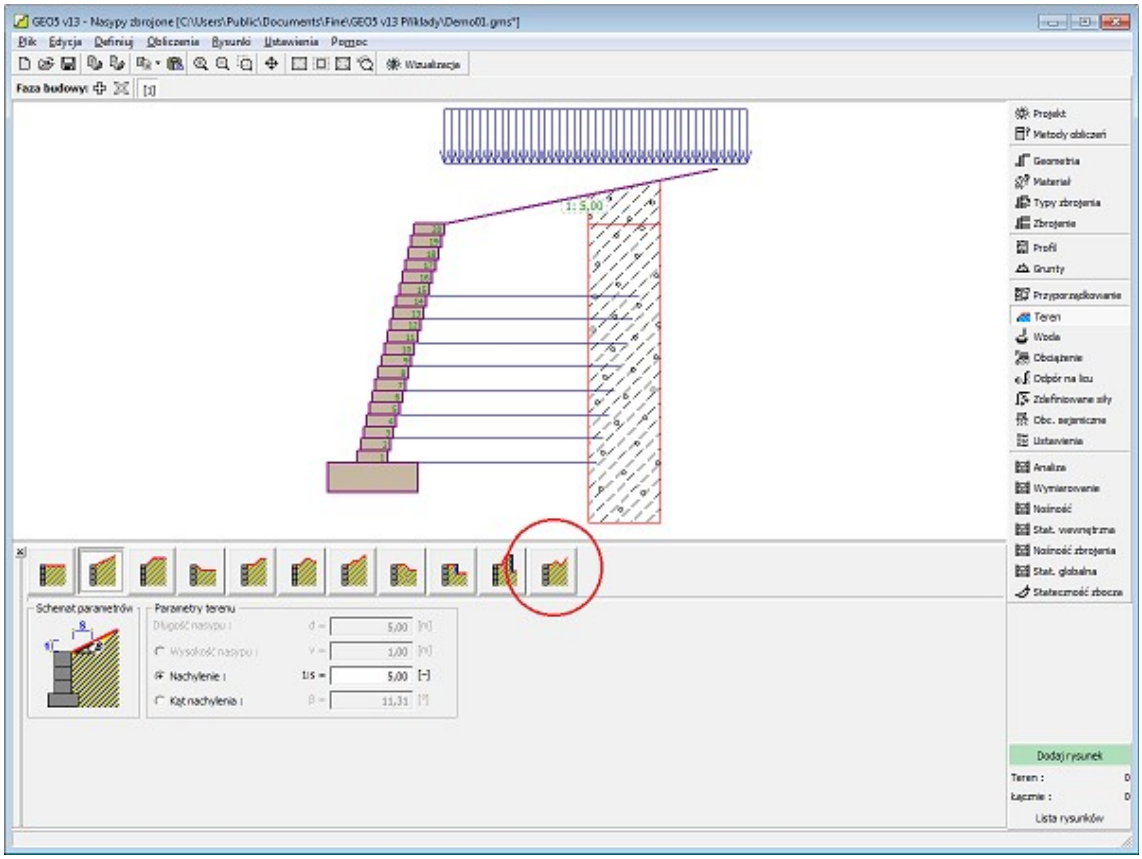
Ramka "Przyporządkowanie"

Teren

Ramka "**Teren**" umożliwia określenie ukształtowania terenu za konstrukcją. Wyboru kształtu terenu dokonuje się spośród kształtów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany kształt terenu z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Wymiary wybranego schematu terenu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego kształtu terenu. W takim przypadku, pojawiająca się ramka zawiera tabelę z listą punktów terenu. Pierwszy punkt współrzędnych $[0,0]$ zbiega się z górnym punktem konstrukcji.

Metody analizy parcia gruntu w przypadku terenu pochyłego zostały opisane w teoretycznej części pomocy "Rozkład parć gruntu dla terenu pochyłego"**.**



Ramka "Teren"

Woda

Ramka "**Woda**" umożliwia określenie rodzaju wody gruntowej. Wyboru schematu obciążenia wodą dokonuje się spośród schematów charakterystycznych pokazanych na ikonach pod pulpitem. Wybrany schemat z podpowiedzią graficzną wprowadzanych wartości ("**Schemat parametrów**") wyświetlany jest w lewej części ramki. Parametry (h_1, h_2...) wybranego schematu można definiować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Wybór ostatniej ikony umożliwia zdefiniowanie dowolnego ciśnienia porowego wody w gruncie zarówno przed jak i za konstrukcją. W takim przypadku, pojawiają się dwie zakładki z tabelami "**Przed konstrukcją**" i "**Za konstrukcją**". Tabele te wypełnia się wartościami ciśnienia porowego odpowiednio przed lub za konstrukcją na głębokości "z" (oś-z).

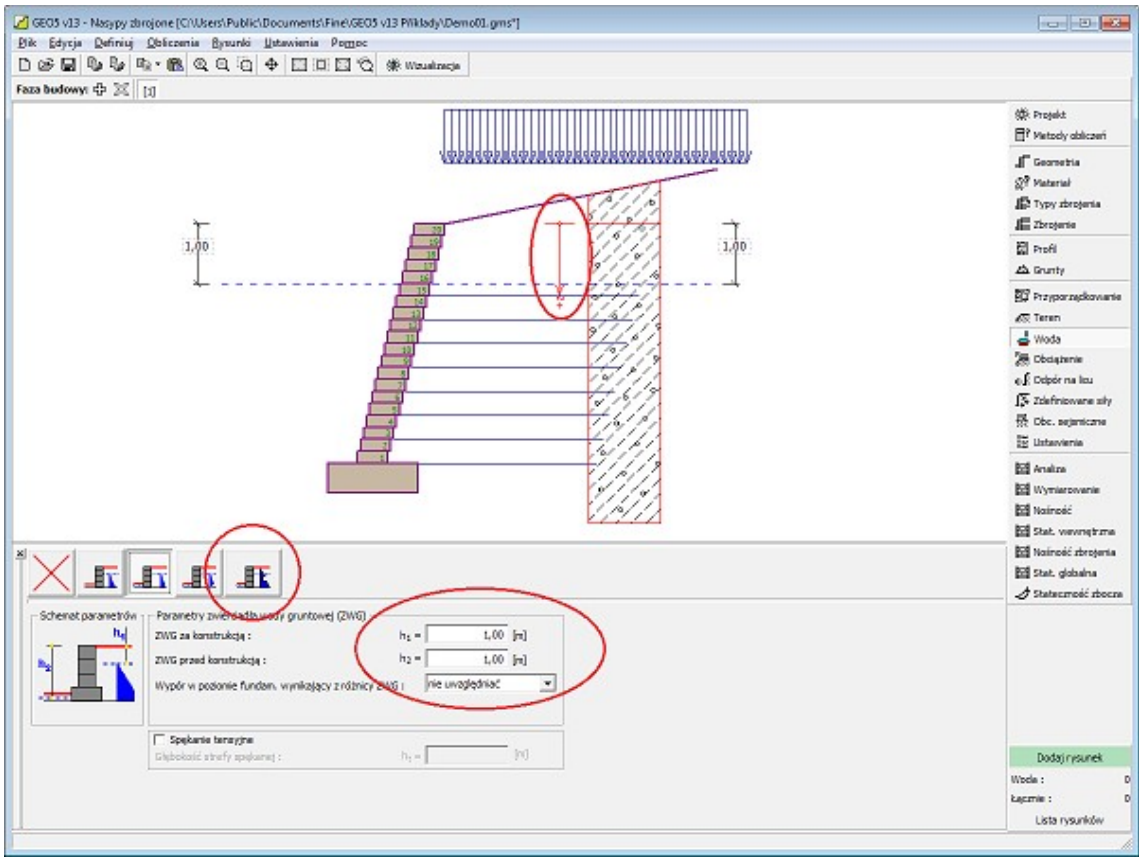
Lista rozwijana w ramce służy do określenia, czy i w jaki sposób uwzględniany jest wypór wody pod fundamentem wynikający z różnicy poziomów ZWG. Wypór może być uwzględniany jako liniowy lub paraboliczny. Przy sprawdzeniu ściany, wypór wody pod fundamentem wynikający z różnicy poziomów ZWG uwzględniany jest w postaci dodatkowej siły.

W programie istnieje również możliwość zdefiniowania zwierciadła wody gruntowej **ponad konstrukcją** lub ponad profilem gruntu - w takim przypadku, poziom wody wprowadza się za pomocą wartości ujemnej.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem wpływu wody zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ wody".

Ponadto, program umożliwia określenie głębokości rys rozciąganych wypełnionych wodą w

gruncie za konstrukcją.

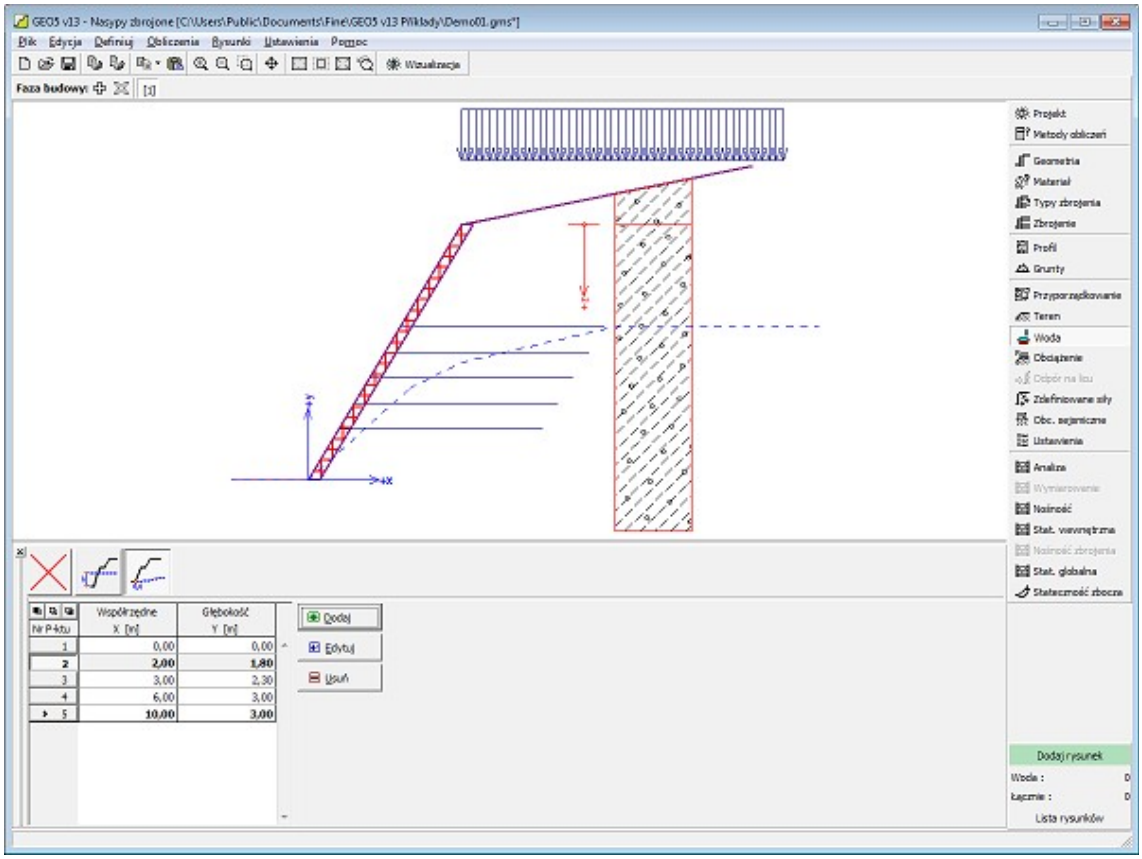


Ramka "Woda"

Woda

Ramka "**Woda**" pozwala na wybór typu wody. Poziom wód gruntowych można określać na dwa sposoby. Pierwsza z opcji pozwala na określenie wysokości płaskiego (poziomego) zwierciadła wód gruntowych. Druga opcja pozwala na definiowanie dowolnego położenia (kształtu) poziomu wód gruntowych, przy użyciu współrzędnych.

Parametry definiowania wody gruntowej (wysokość zwierciadła wód gruntowych, współrzędne poszczególnych punktów) można edytować albo w ramce, poprzez wstawianie wartości w polach do wprowadzania, lub na ekranie komputera, za pomocą aktywnych wymiarów, lub aktywnych bloków.



Ramka "Woda"

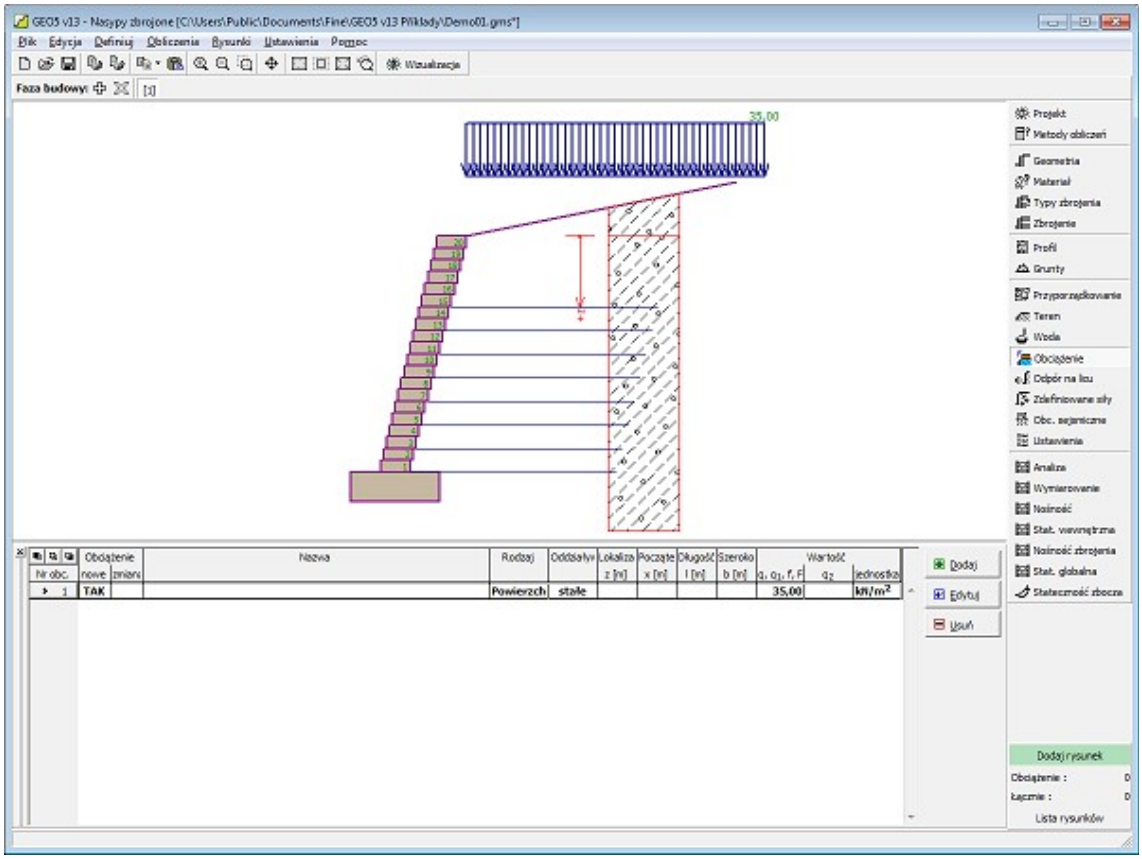
Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych obciążeń. Dodawanie obciążenia wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Wprowadzone obciążenia można edytować na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów lub aktywnych obiektów.

Rzędna *z* zmierzona od górnego punktu konstrukcji jest określana (kierunek dodatni w dół) podczas wprowadzania obciążenia na pewnej głębokości. W przypadku, gdy obciążenie znajduje się poza terenem, komputer wyświetla przed obliczeniem komunikat błędu.

W programie istnieje możliwość zdefiniowania obciążeń **stałych, zmiennych i wyjątkowych**. Wybór rodzaju obciążenia wpływa na dobór stosownego współczynnika częściowego do oddziaływań. Obciążenia zwyjątkowe oddziałujące w sposób korzystny nie są uwzględniane w obliczeniach.

Wpływ obciążeń zewnętrznych na parcia gruntu został opisany w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ dodatkowego obciążenia".



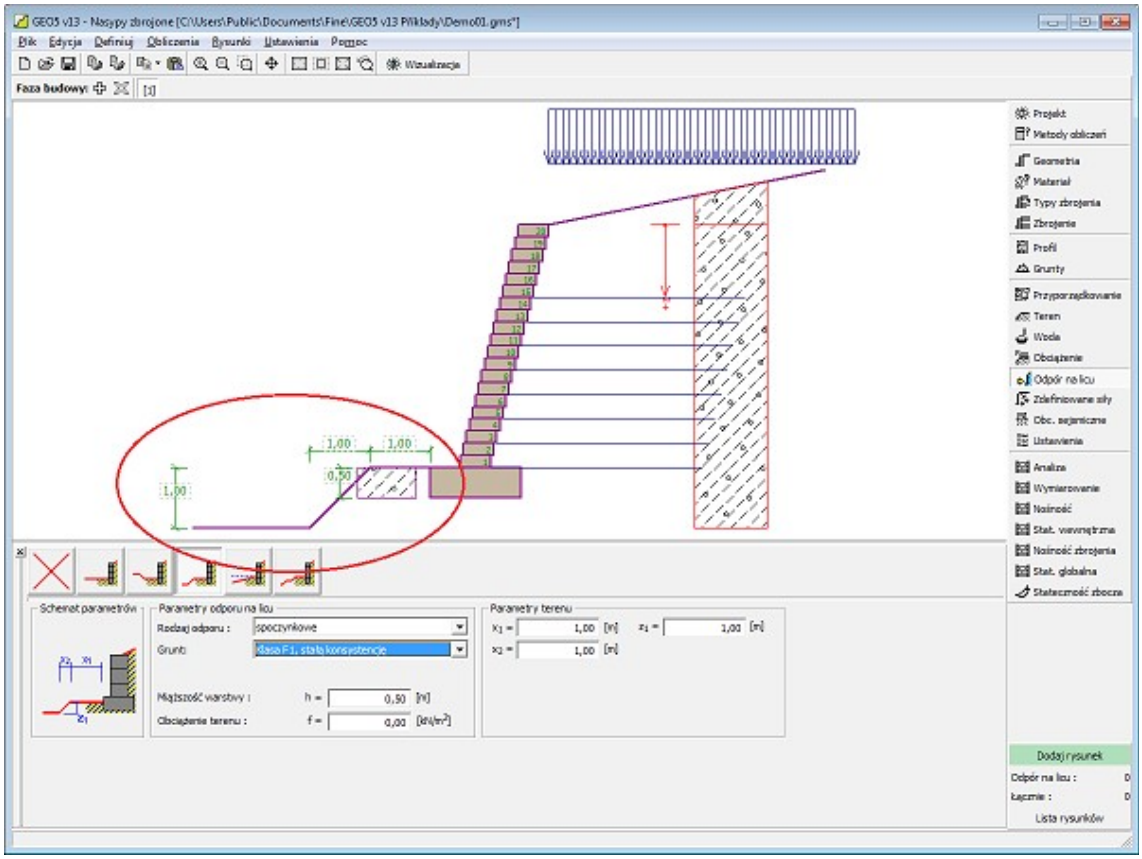
Ramka "Obciążenie"

Odpór na licu

Ramka "**Odpór na licu**" umożliwia określenie ukształtowania terenu oraz parametrów odporu na licu konstrukcji poprzez wybór ikony. Wybrany kształt z podpowiedziami graficznymi ("**Schemat parametrów**") wprowadzonych wartości wyświetlany jest w lewej części ramki. Kształt terenu można edytować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól lub na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Lista rozwijana w ramce "**Odpór na licu**" pozwala wybrać rodzaj odporu oraz grunt (lista rozwijana zawiera grunty wprowadzone w trybie "Grunty"). W ramce tej można również zdefiniować wartość obciążenia terenu przed licem konstrukcji oraz miąższość warstwy ponad najniższym punktem ściany.

Odpór na licu konstrukcji można zdefiniować jako parcie spoczynkowe, parcie bierne bądź zredukowane parcie bierne. Powstała na skutek zredukowanego parcia biernego siła jest określana jako siła wypadkowa parcia biernego pomnożona przez odpowiedni współczynnik, który wynika z rodzaju wybranego zredukowanego parcia biernego.



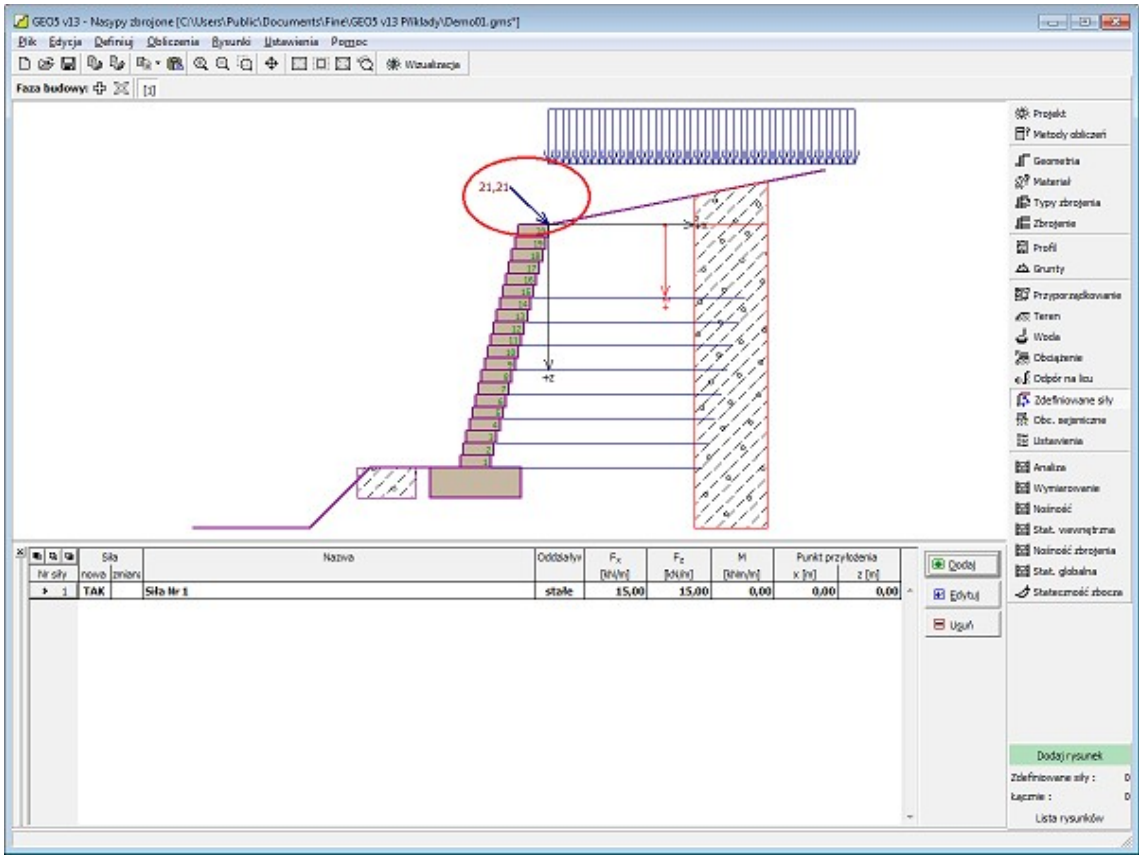
Ramka "Odpór na licu"

Zdefiniowane siły

Ramka "**Zdefiniowane siły**" zawiera tabelę z listą sił działających na konstrukcję. Dodawanie sił odbywa się w oknie dialogowym "**Nowa siła**". Zdefiniowane siły można również edytować na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

Zdefiniowane siły reprezentują dodatkowe obciążenia oddziałujące na konstrukcje oporową, ścianę wykopu czy nasyp zbrojony. W ten sposób istniej możliwość modelowania takich elementów jak: obciążenia od bilboardów, ekranów czy barier drogowych. Program nie dostosowuje (nie zmienia) w żaden sposób zdefiniowanych sił w toku obliczeń, za wyjątkiem przemnażania ich przez odpowiednie współczynniki zgodnie z wybranym rodzajem oddziaływania (EN1997, LRFD).

Obciążenia zewnętrzne oddziałujące na naziomie (na powierzchni terenu) należy definiować jako obciążenie.



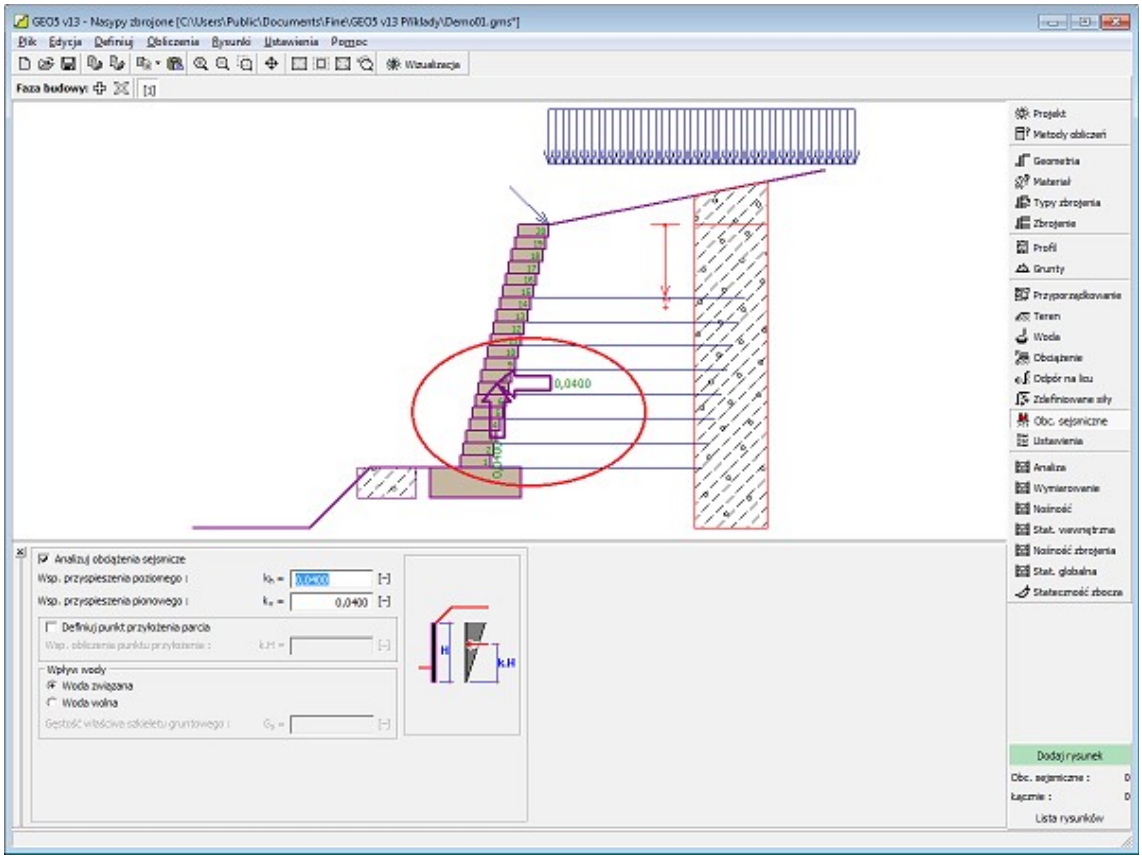
Ramka "Zdefiniowane siły"

Obciążenia sejsmiczne

Ramka "**Obciążenia sejsmiczne**" służy do wprowadzania parametrów obciążeń sejsmicznych. Kierunki skutków obciążeń sejsmicznych są wyświetlane na pulpicie.

Jeśli nie są dostępne wyniki pomiarów współczynniki k_h oraz k_v można wyznaczyć stosując opisane w pomocy podejście z normy EN 1998-5.

Metody analizy parcia gruntu z uwzględnieniem obciążeń sejsmicznych zostały opisane w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Wpływ obciążeń sejsmicznych".



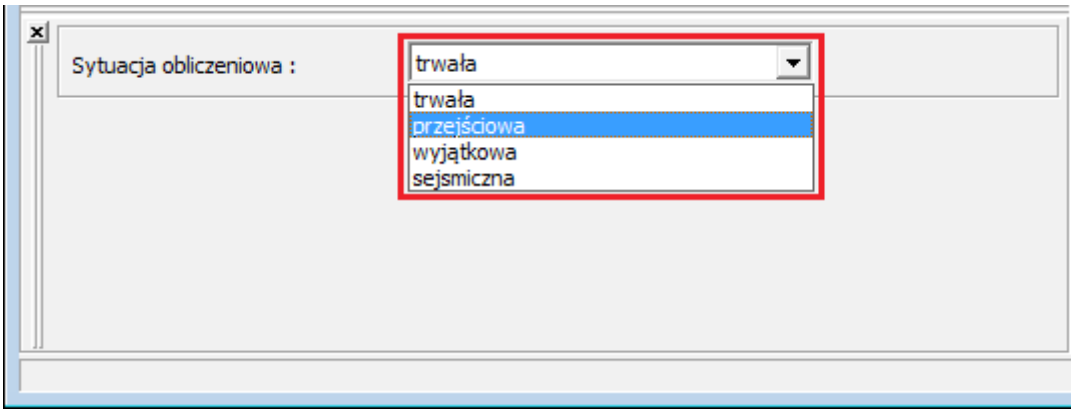
Ramka "Obciążenia sejsmiczne"

Ustawienia fazy

Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących tylko wybranej fazy obliczeniowej.

Wybrana sytuacja obliczeniowa determinuje zestaw współczynników częściowych, jakie będą zastosowane w obliczeniach danej fazy budowy.

Wygląd ramki zależy od wybranej metody analizy.



Ramka "Ustawienia fazy"

Analiza

Ramka **"Analiza"** pokazuje wyniki analizy.

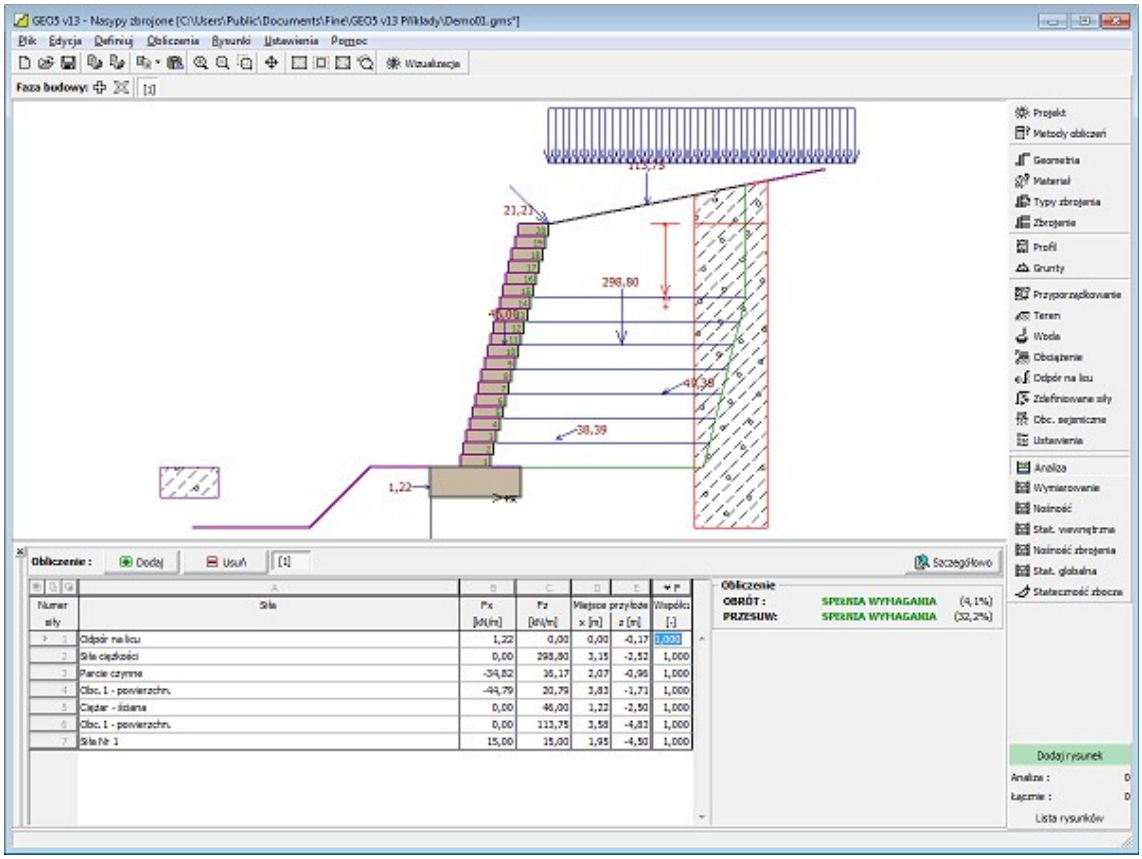
Dla wykonania weryfikacji stateczności zewnętrznej, program buduje **fikcyjną konstrukcję** (ścianę), która następnie sprawdzana jest pod kątem **obrotu i poślizgu**. Fikcyjna ściana tworzona jest przez lico przednie konstrukcji i krzywą łączącą punkty końcowe zbrojenia. Fikcyjna konstrukcja obciążana jest czynnym parciem gruntu. Procedura weryfikacji opisana jest szczegółowo w części teoretycznej instrukcji.

Wygląd ramki jest dostosowany do wybranej metodyki obliczeń:

- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa, lub zgodnie z teorią stanów granicznych - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia modyfikację współcznników obliczeniowych, przykładanych do wyznaczonych sił. Wartości tych sił są wyświetlane na ekranie i są automatycznie odświeżane przy każdej zmianie danych projektu lub ustawień w tablicy.
- Obliczenia według EN 1997 - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia zdefiniowanie czy obciążenie oddziałujące na konstrukcje jest uwzględniane jako drugorzędne. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w rozdziale "Kombinacje obciążeń".
- Obliczenia według LRFD - w tym przypadku ostatnia kolumna nie jest wyświetlana.

Istnieje możliwość przeprowadzenia dowolnej liczby analiz w obrębie jednego zadania. Wyniki analizy wyświetlane są na pulpicie i natychmiast aktualizowane dla dowolnej zmiany wprowadzonych danych bądź ustawień. Prawa część ramki przedstawia wyniki analizy ściany ze względu na **obrót i przesuw**. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które zawiera szczegółowe zestawienie wyników analizy.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Analiza"

Wymiarowanie

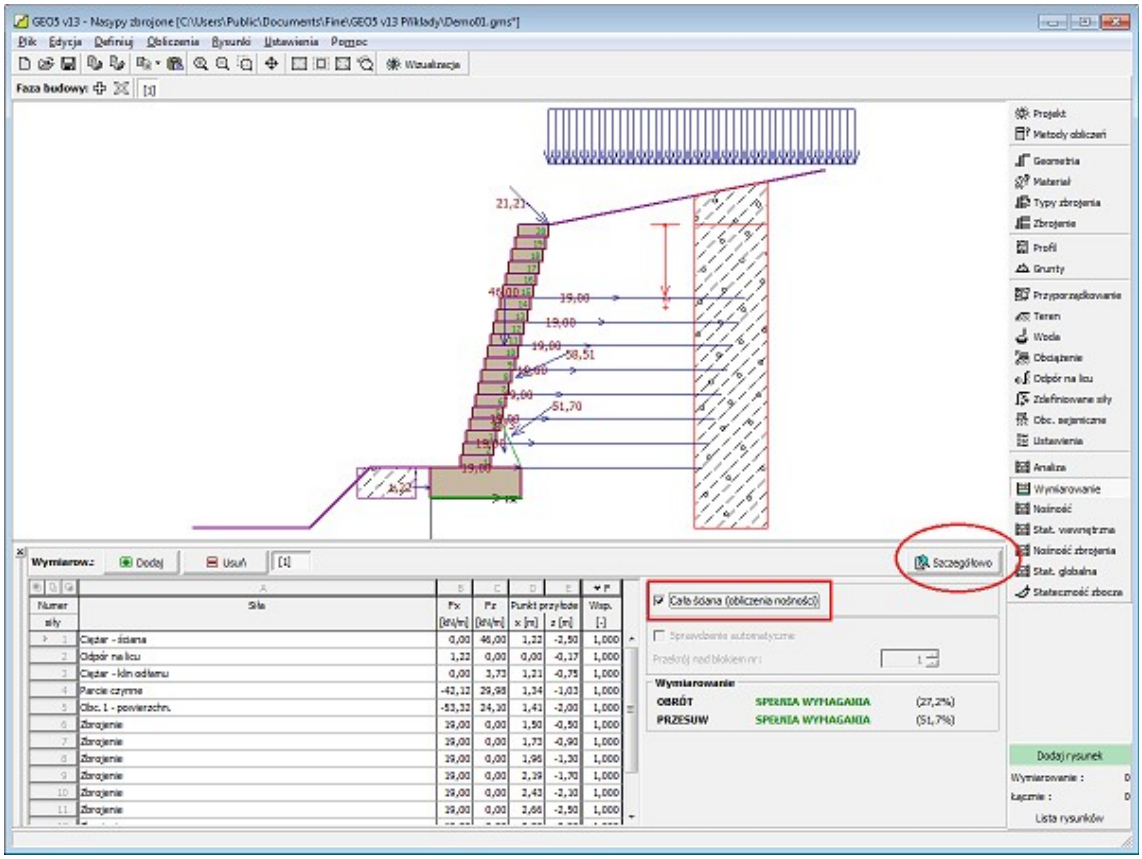
Ramka **"Wymiarowanie"** umożliwia sprawdzenie poszczególnych połączeń pomiędzy blokami na **obrót i poślizg**. Opcja **"Cała ściana"** pozwala na sprawdzenie całej konstrukcji powyżej fundamentu, jak również nośności podłoża gruntowego w ramce **"Nośność"**. Zaznaczenie opcji **"Sprawdzenie automatyczne"** powoduje sprawdzenie najbardziej krytycznego połączenia ponad blokiem. Możliwe jest również wybranie opcji **"Przekrój nad blokiem nr"**, w celu przeprowadzenia analizy wybranego połączenia. Procedura wymiarowania ścian opisana jest szczegółowo w części teoretycznej pomocy.

Wygląd ramki jest dostosowany do wybranej metodyki obliczeń.

- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa, lub zgodnie z teorią stanów granicznych - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia modyfikację współcznników obliczeniowych, przykładanych do wyznaczonych sił. Wartości tych sił są wyświetlane na ekranie i są automatycznie odświeżane przy każdej zmianie danych projektu lub ustawień w tablicy.
- Obliczenia według EN 1997 - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia zdefiniowanie czy obciążenie oddziałujące na konstrukcje jest uwzględniane jako drugorzędne. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w rozdziale "Kombinacje obciążeń".
- Obliczenia według LRFD - w tym przypadku ostatnia kolumna nie jest wyświetlana.

Ramka umożliwia wykonanie dowolnej liczby analiz dla poszczególnych połączeń bloków ściany. Można również podawać różne współczynniki obliczeniowe dla poszczególnych sił. Wynikowe siły wyświetlane są na ekranie i są one uaktualniane przy każdej zmianie danych, lub ustawień znajdujących się w ramce. Przycisk **"Szczegółowo"** otwiera okno dialogowe zawierające szczegółowe zestawienie wyników wymiarowania.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Wymiarowanie"

Nośność

Ramka **"Nośność"** wyświetla wyniki analizy nośności podłoża gruntowego. Naprężenia w podstawie fundamentu (założono stałe) wyznaczane są na podstawie wszystkich sił wyznaczonych w ramce "Analiza". W przypadku zdefiniowanego fundamentu, nośność wyznaczana jest na podstawie wszystkich sił wyznaczanych w ramce "Wymiarowanie" (musi być zaznaczona opcja **"Cała ściana")**. Program **"Fundament bezpośredni"** and "**Spread footing CPT**" przyjmuje poszczególne obliczenia, jako stany obciążeniowe (przypadki obciążenia).

W ramce "Nośność" dostępne są trzy podstawowe opcje analizy:

- **Definiuj nośność podłoża gruntowego** — W tym przypadku, nośność podłoża gruntowego definiowana jest przez użytkownika. Wyniki analizy fundamentu ze względu na **mimośród** oraz nośność podłoża wyświetlane są w prawej części ramki. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które wyświetla szczegółowe wyniki analizy nośności podłoża gruntowego.
- **Wyznacz nośność podłoża gruntowego programem "Fundament bezpośredni"** — Naciśnięcie przycisku "**Uruchom program Fundament bezpośredni"** uruchamia program "**Fundament bezpośredni**", który umożliwia obliczenie nośności gruntu lub osiadanie i obrót fundamentu. Naciśnięcie przycisku "**Zakończ i prześlij dane**" zamyka tryb analizy - wyniki obliczeń i wszystkie rysunki kopiowane są do programu wyjściowego, tj. "**Nasypy zbrojone**". Program

"**Fundament bezpośredni**" musi być zainstalowany, aby przycisk ten był dostępny. Przy wyborze tej opcji należy zdefiniować całkowitą długość fundamentu ściany.

Analyse bearing capacity by program "Spread footing CPT" The procedure is identical as if calculating soil bearing capacity by the **"Spread footing**" program.

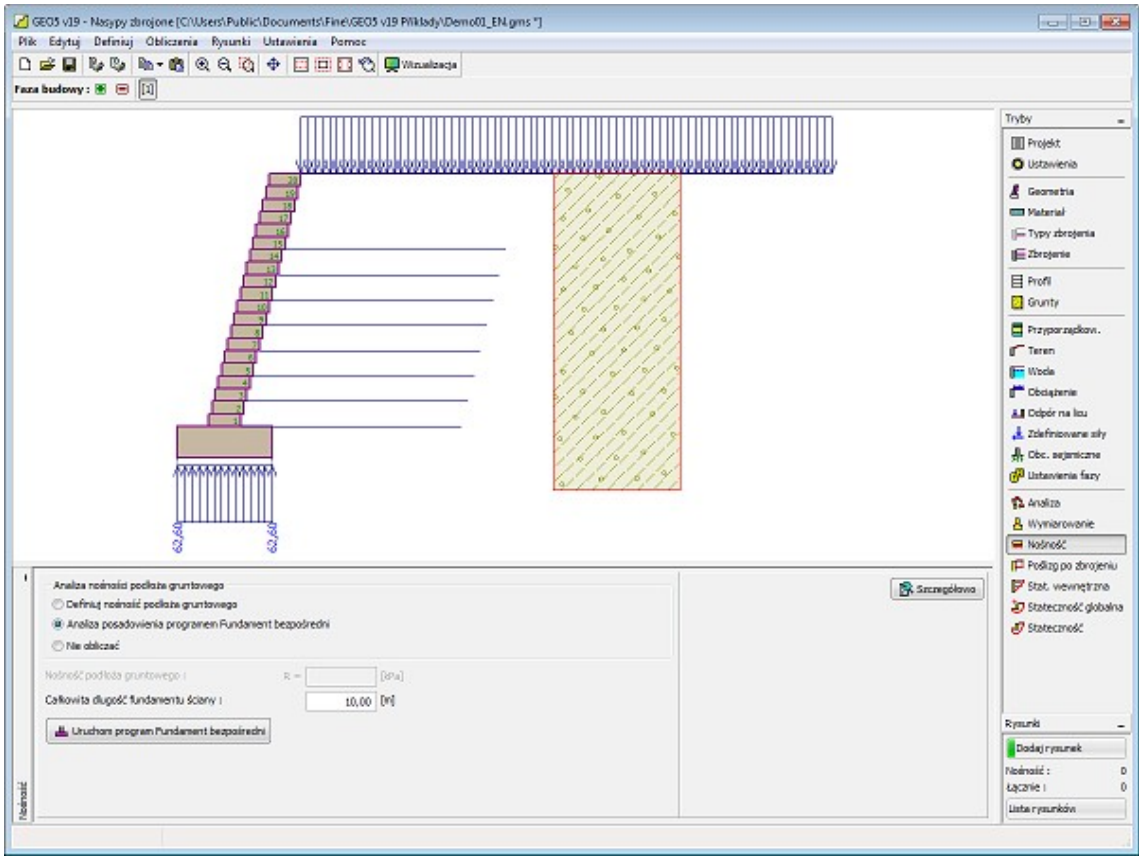
- **Nie obliczaj (fundament na palach)** Nośność podłoża gruntowego nie jest obliczana.

Program umożliwia określenie kształtu naprężenia kontaktowego w podstawie fundamentu.

Weryfikacja może być przeprowadzona w dwóch miejscach:

- pod podsypką wyrównawczą
- pod podstawą bloków

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Nośność"

Poślizg wzdłuż zbrojenia

Ramka **"Poślizg wzdłuż zbrojenia"** umożliwia sprawdzenie poślizgu zbrojonego bloku gruntu wzdłuż zbrojenia, po zaznaczeniu pola "**Zbrojenie nr"**. Wybranie opcji **"Sprawdzenie automatyczne"** zapewnia sprawdzenie najbardziej krytycznego zbrojenia. **Blok zbrojonego gruntu** wydzielony jest przez lico przednie ściany, sprawdzane zbrojenie, linię pionową przechodzącą przez punkt końcowy zbrojenia i teren. Zbrojony blok gruntu obciążany jest parciem czynnym i siłami utrzymującymi uzyskiwanymi ze zbrojenia wychodzącego poza

granice bloku.

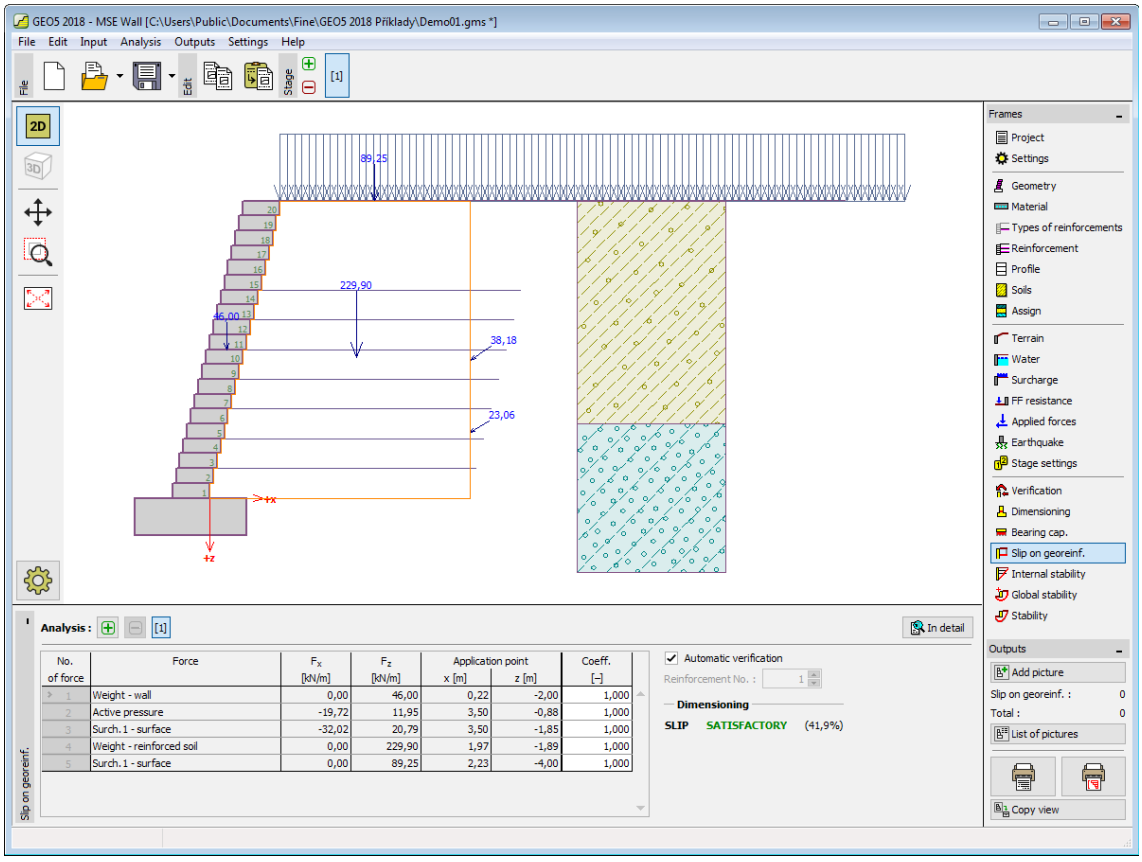
Procedura obliczeniowa analizy poślizgu wzdłuż zbrojenia opisana jest szczegółowo w teoretycznej części instrukcji.

Wygląd ramki jest dostosowany do wybranej metodyki obliczeń:

- Analiza według współczynnika bezpieczeństwa, lub zgodnie z teorią stanów granicznych - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia zdefiniowanie współczynników obliczeniowych, które przemnażają wyznaczone siły.
- Obliczenia według EN 1997 - ostatnia kolumna w tablicy umożliwia zdefiniowanie czy obciążenie oddziałujące na konstrukcję jest uwzględniane jako drugorzędne. Zagadnienie to zostało szerzej omówione w rozdziale "Kombinacje obciążeń".
- Obliczenia według LRFD - w tym przypadku ostatnia kolumna nie jest wyświetlana.

Ramka pozwala na wykonanie dowolnej liczby analiz sprawdzających, dla poszczególnych zbrojeń. Można również podawać różne współczynniki obliczeniowe dla poszczególnych sił. Wynikowe siły wyświetlane są na pulpicie i są one uaktualniane przy dowolnej zmianie danych, lub ustawień znajdujących się w ramce. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe zawierające szczegółowe zestawienie wyników dla stateczności wewnętrznej.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Poślizg wzdłuż zbrojenia"

Stateczność wewnętrzna

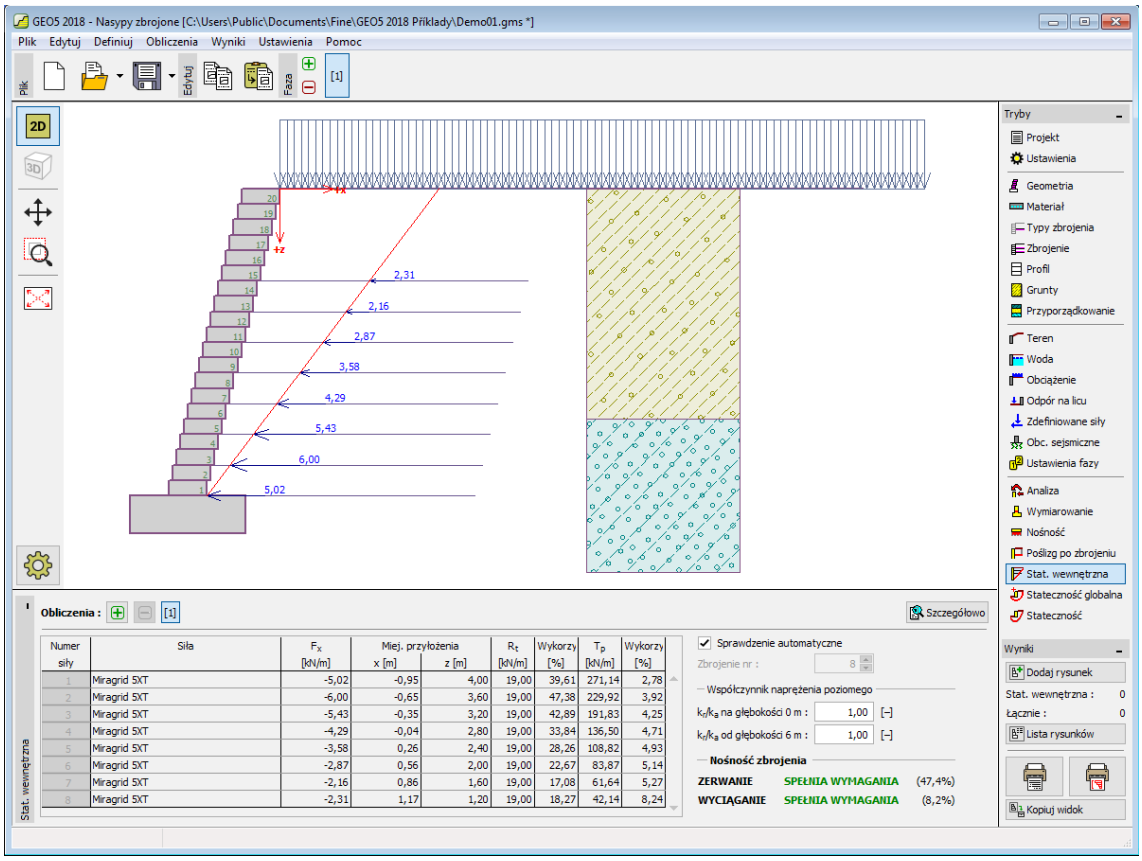
Ramka **"Stateczność wewnętrzna"** pozwala na sprawdzenie nośności zbrojenia na **wyciąganie** z gruntu oraz wytrzymałości połączeń. Zaznaczenie pola **"Zbrojenie**

nr" spowoduje sprawdzenie tylko wybranego zbrojenia. Wybór opcji **"Sprawdzenie automatyczne"** spowoduje sprawdzenie wszystkich zbrojeń. Wyniki dla najbardziej krytycznego zbrojenia wyświetlane są po prawej stronie ekranu. Procedura analizy stateczności wewnętrznej opisana jest w teoretycznej części instrukcji.

W tabeli pokazane są siły w poszczególnych zbrojeniach wywołane parciem czynnym działającym na lico ściany. Dla każdego zbrojenia pokazane są także punkty przyłożenia tych sił, nośność na **zerwanie** R_t, nośność na **wyciąganie z gruntu** T_p i związane z tym wynikowe wykorzystanie zbrojenia.

Ramka pozwala na wykonanie dowolnej liczby analiz sprawdzających, dla poszczególnych zbrojeń. Wyniki analizy (wyznaczone siły) wyświetlane są na ekranie i są automatycznie aktualizowane przy dowolnej zmianie wprowadzanych danych.
Przycisk **"Szczegółowo"** otwiera okno dialogowe zawierające szczegółowe zestawienie wyników obliczeń nośności zbrojenia.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku"



Ramka "Nośność zbrojenia"

Stateczność globalna

Ramka **"Stateczność globalna"** umożliwia wykonanie analizy sprawdzającej stateczności zbocza po kołowej powierzchni poślizgu. Konieczne jest wprowadzenie parametrów powierzchni poślizgu (definiowanie poprzez: środek i promień lub 3 punkty), oraz metody analizy (Spencer, Bishop).

Naciśnięcie przycisku **"Zastąp"** pozwala na zdefiniowanie punktów powierzchni poślizgu na pulpicie za pomocą myszki.

Zaznaczenie opcji **"Optymalizuj"** pozwala na analizę stateczności najbardziej krytycznej powierzchni poślizgu. Program umożliwia także "zachowanie" lokalizacji końcowych punktów powierzchni poślizgu (poprzez zaznaczenie odpowiednio pola **"Zachować lewy punkt powierzchni poślizgu"** lub **"Zachować prawy punkt powierzchni poślizgu"**).

"Początkowa powierzchnia poślizgu" umożliwia automatyczne wprowadzanie kołowej powierzchni poślizgu. Następnie obliczenia przeprowadzane są po naciśnięciu przycisku "**Oblicz**".

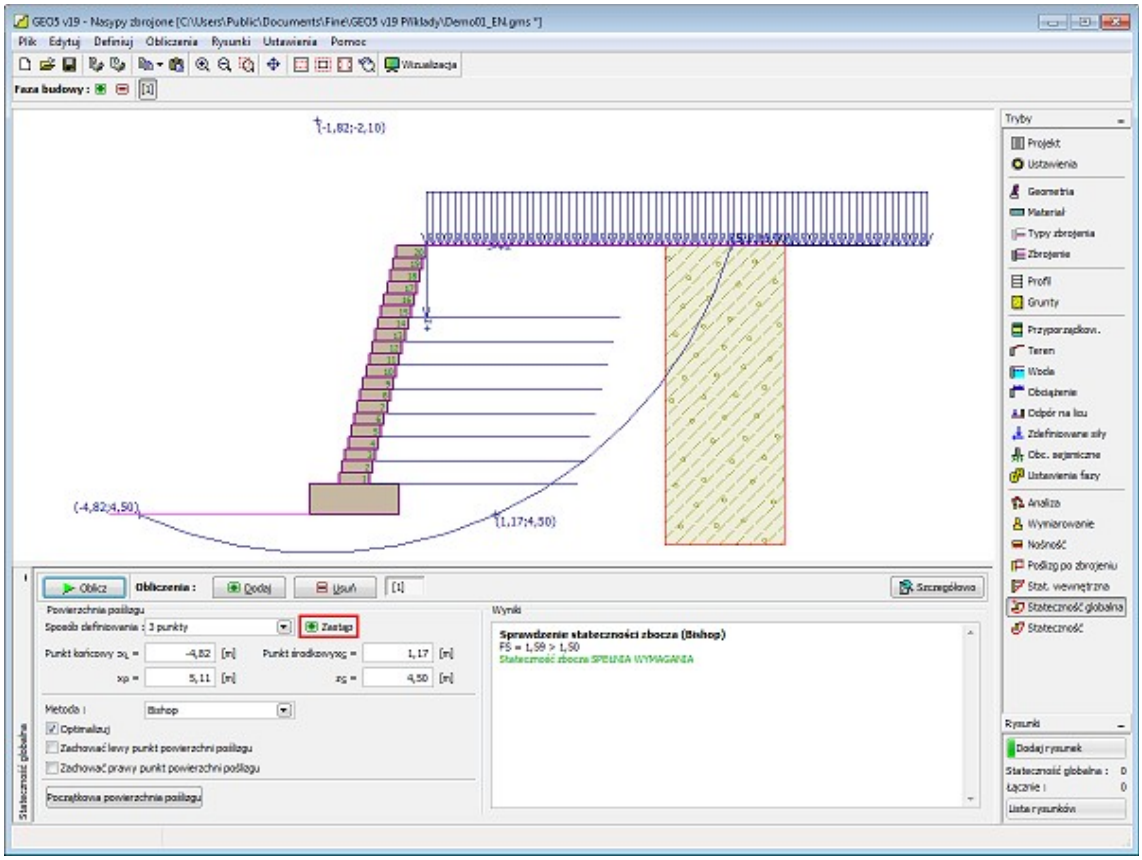
Obliczenia sprawdzające stateczność zbocza przeprowadzane są w zależności od ustawień w ramce "Analiza stateczności":

- Zgodnie z EN 1997, gdzie obciążenie redukowane jest poprzez częściowe współczynniki obliczeniowe, a obliczenie wykonywane jest z wykorzystaniem teorii stanów granicznych,
- Zgodnie z LRFD, gdzie analiza wykonywana jest podobnie jak w teorii stanów granicznych.
- Według **współczynnika bezpieczeństwa** / zgodnie z teorią **stanów granicznych** w zależności od ustawień dokonanych w zakładce "Konstrukcje oporowe".

W jednym zadaniu istnieje możliwość przeprowadzenia dowolnej liczby analiz.
Przycisk **"Szczegółowo"** otwiera okno dialogowe zawierające szczegółowe zestawienie wyników analizy stateczności, np. parametry wynikowej powierzchni poślizgu i współczynnik bezpieczeństwa lub zamiennie stopień wykorzystania (dla stanów granicznych).

Wyniki wyświetlane są po prawej stronie ramki, a zoptymalizowana powierzchnia poślizgu, na ekranie komputera.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku"

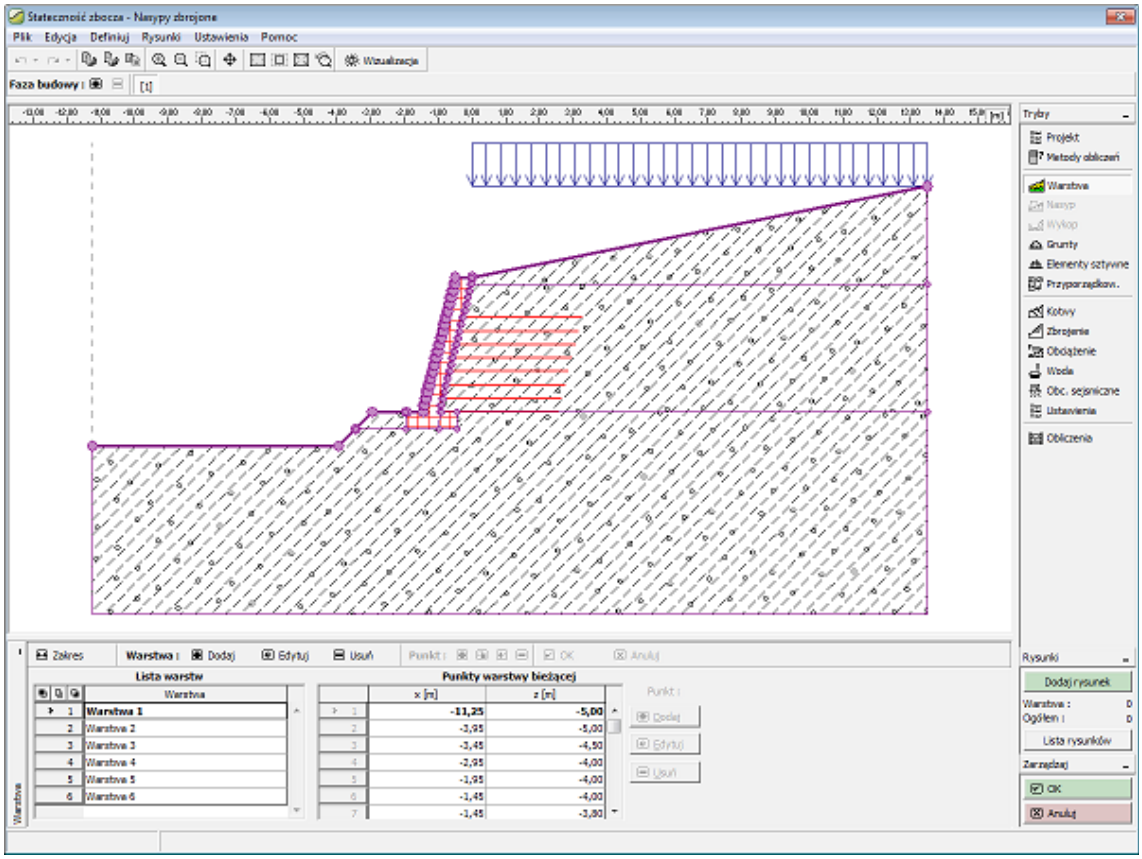


Ramka "Stateczność globalna"

Stateczność zbocza

Naciśnięcie przycisku "**Stateczność**" uruchamia program "**Stateczność zbocza**". Program ten umożliwia sprawdzenie ogólnej stateczności analizowanej konstrukcji. Przycisk jest dostępny, jeżeli program "**Stateczność zbocza**" został zainstalowany.

Po zakończeniu obliczeń stateczności w programie Stateczność zbocza należy kliknąć przycisk "**Zakończ i prześlij dane**" aby opuścić program - wszystkie dane są wówczas przenoszone do raportu z obliczeń w programie "**Nasypy zbrojone**".



Ramka "Stateczność zbocza"

Program Fundamenty bezpośrednie

Program ten służy do projektowania fundamentów bezośrednich poddanych ogólnym obciążeniom. Program wyznacza nośność pionową i poziomą fundamentu, jego osiadanie i obrót a także wymiaruje zbrojenie podłużne i zbrojenie na ścinanie (przebicie).

Pomoc w programie "Fundamenty bezpośrednie" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

  Projekt Ustawienia Profil Badania dylatometryczne DMT) Grunty Przyporządk Fundamentowanie

Obciążenie	Geometria	Podłoże fundamentowe	Podsypka piaskowo-żwirowa	Materiał	Obciążenie	Woda, podłoże nieściśliwe
Obciążenia sejsmiczne	Ustawienia fazy	Nośność	Osiadanie i obrót	Wymiarowanie		

- Normy i metody obliczeniowe
- Teoria obliczeniowa do programu "**Fundamenty bezpośrednie**":

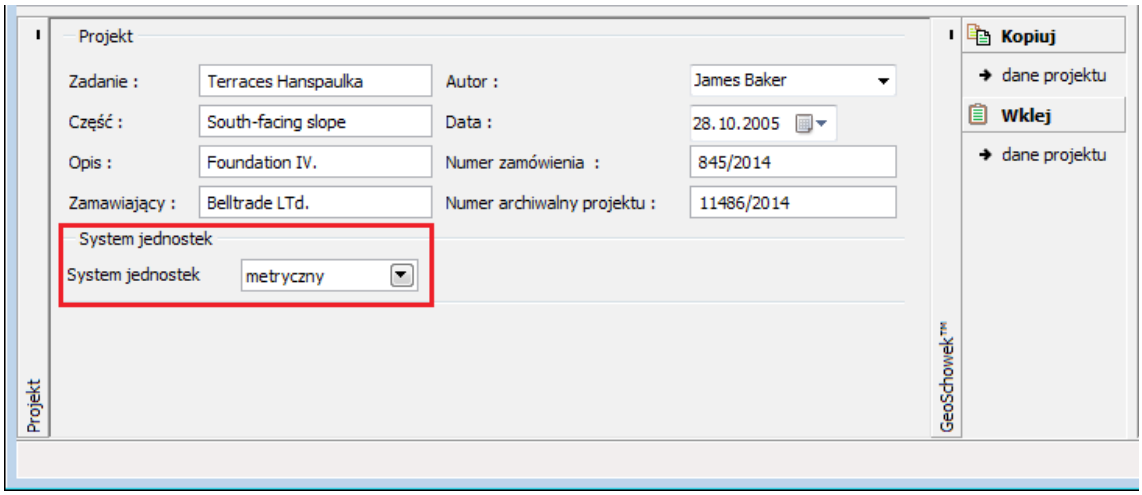
Naprężenia w gruncie	Parametry skał	Analiza nośności fundamentu	Analiza osiadania	Wymiarowanie konstrukcji betonowych

- Dane wyjściowe
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt" - zakładka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

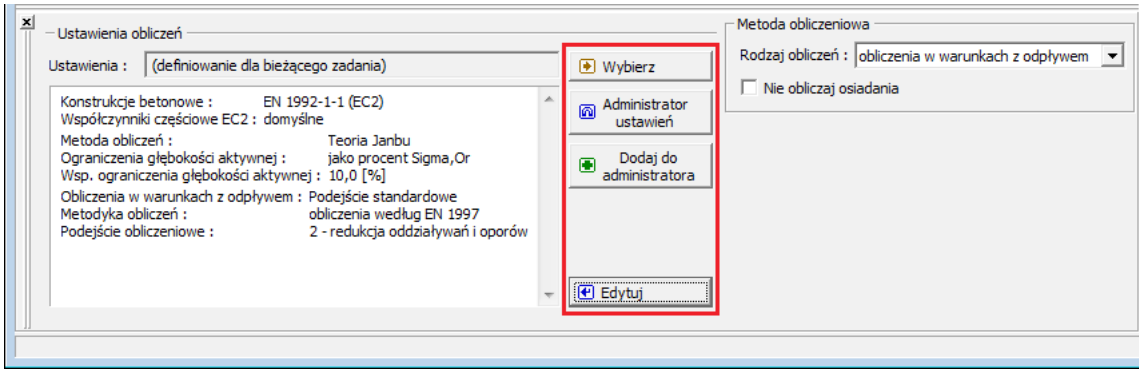
Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładkach "Materiały i normy", "Osiadania" oraz "Fundamenty bezpośrednie".

W programie dostępne są cztery rodzaje obliczeń nośności pionowej fundamentu bezpośredniego:

- **analiza w warunkach z odpływem**
- **analiza w warunkach bez odpływu**
- **analiza fundamentu posadowionego na podłożu skalnym**
- **definiowanie pionowej nośności podłoża gruntowego** R_d



Ramka "Ustawienia"

Profil

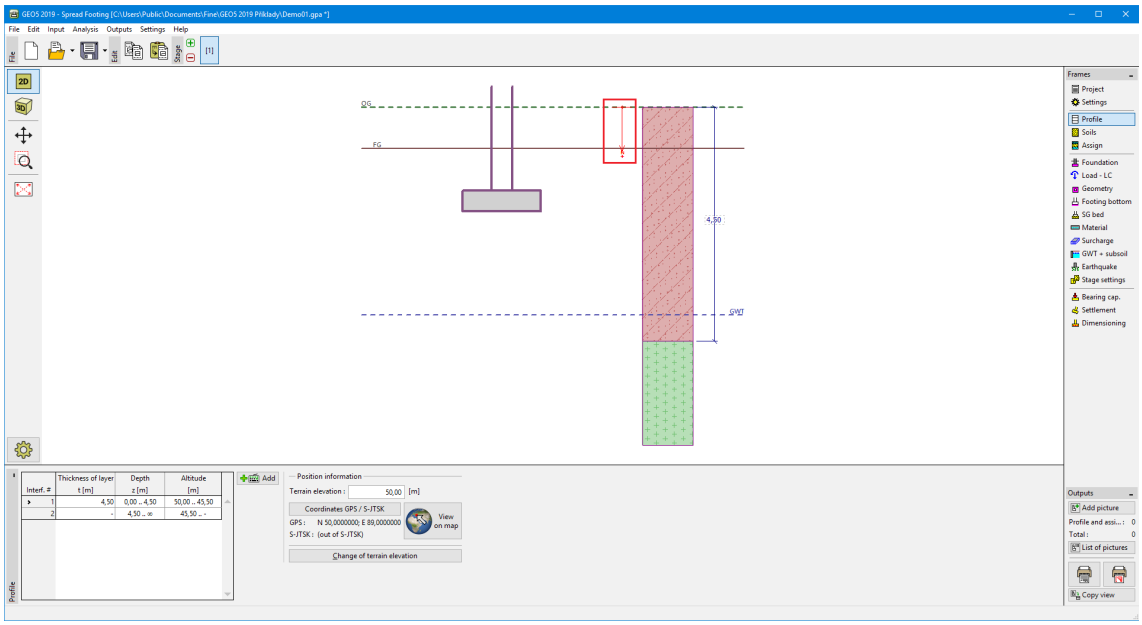
Ramka "**Profil**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych warstw. Po zdefinowaniu poszczególnych warstw można edytować ich miąższość za pomocą aktywnych wymiarów.

Dodawanie warstw wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowa warstwa**". Definiowana jest rzędna z mierzona od górnego punktu konstrukcji (oś-z).

In this frame it is also possible to enter optional information about the structure location:

- **terrain elevation** - an altitude column for the layers is displayed in the table after input of terrain elevation
- **GPS coordinates** - it is possible to show a structure on the Google Maps using "**View on map**" button after input of coordinates.

Program umożliwia obniżenie lub podniesienie górnego punktu konstrukcji w oknie dialogowym "**Zmiana rzędnej terenu**", a zdefiniowane warstwy będą wówczas przesunięte, jednocześnie zachowując swoją miąższość. Funkcja ta jest istotna podczas kopiowania profilu z programu "**Teren**".

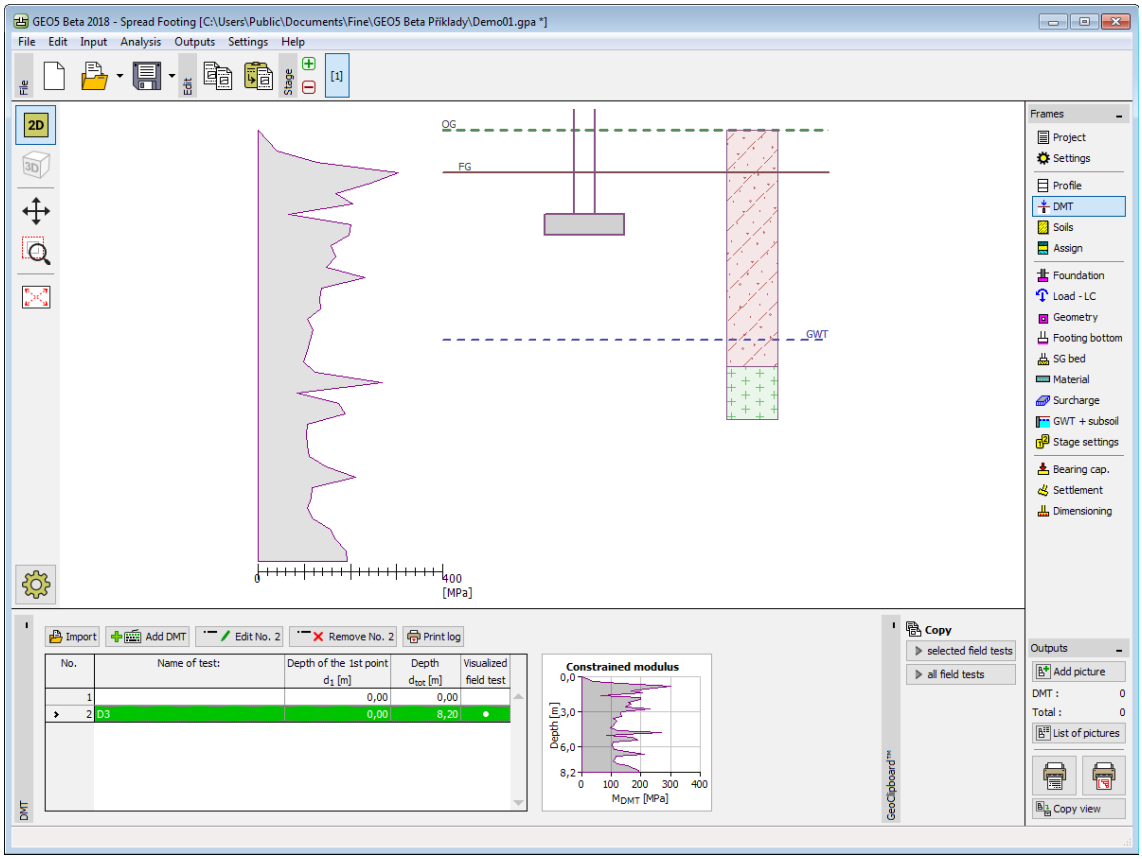


Ramka "Profil"

Badania dylatometryczne (DMT)

Ramka "**Badania DMT**" służy do definiowania metody wprowadzania modułu dylatometrycznego do programu. Do wyboru są dwie możliwości - albo jako parametr gruntu (poprzez wybór opcji "**Definiuj M_{DMT} jako parametr gruntu**"), lub poprzez import wyników badania dylatometrycznego (DMT).

Ramka zawiera tabelę z listą zdefiniowanych badań dylatometrycznych (DMT).



Ramka "Badania DMT"

W przypadku, gdy podczas badania dylatometrycznego zmierzona zostanie zerowa wartość modułu dylatometrycznego M_{DMT}, program umożliwia automatyczną korektę błędnych pomiarów - zamiast wartości zero, w obliczeniach przyjmowana jest średnia arytmetyczna najbliższej górnej i najbliższej

Wyniki badań dylatometrycznych (DMT) można importować do programu wstawiając pliki w formacie **UNI** (***.uni**).

Dane badań dylatometrycznych DMT można kopiować pomiędzy programami "**Fundamenty bezpośrednie**", "**Ściana analiza**", "**Pal stabilizujący**" oraz "**Stratygrafia 3D**" poprzez "GeoSchowek".

Uwaga: Ramka ta jest dostępna jedynie w przypadku, gdy w ramce "Ustawienia", wybrana jest metoda obliczeń "**dylatometr DMT**" (zakładka "Osiadania").

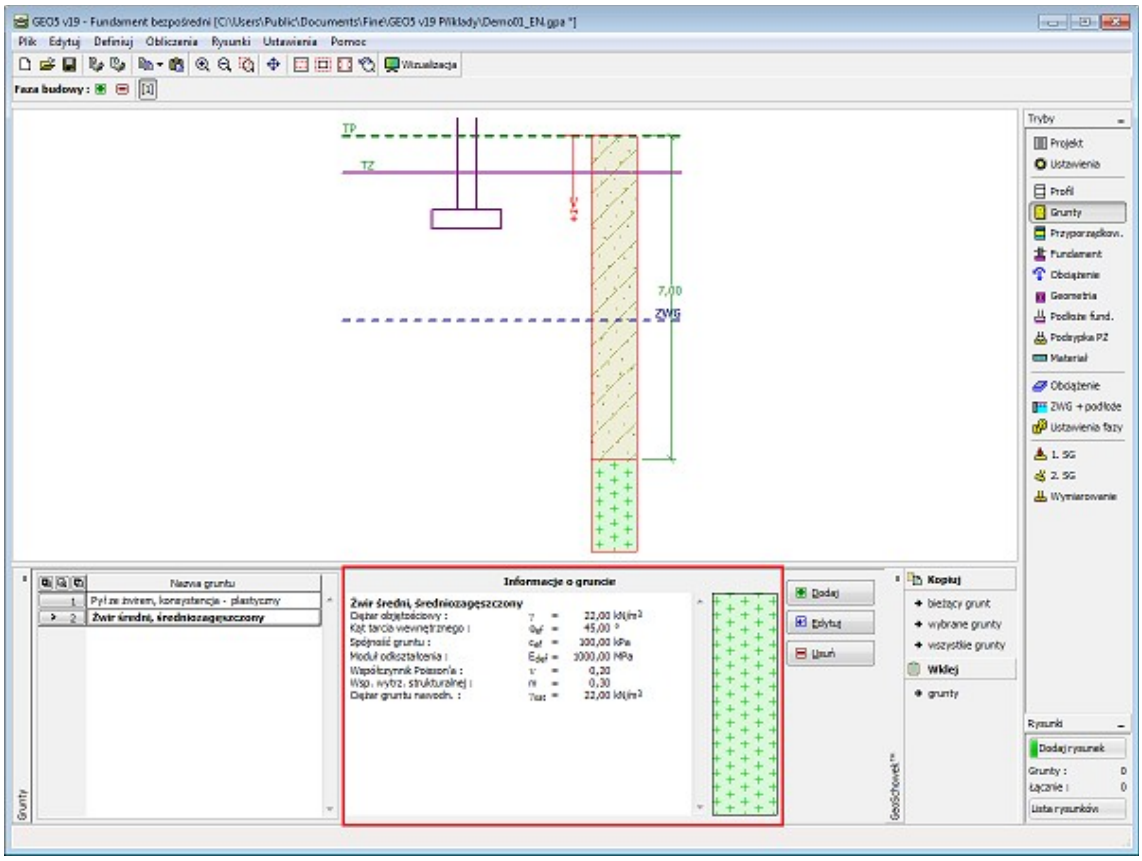
Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie (edycja) gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Dane podstawowe", "Naprężenie geostatyczne, wypór", "Nośność fundamentu" oraz "Osiadanie".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

Ta część okna dialogowego służy do definiowania podstawowych parametrów gruntów - **ciężaru objętościowego, kąta tarcia wewnętrznego** oraz **spójności**. Wartości te określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub in-situ dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wartości parametrów gruntów określone na podstawie doświadczenia oraz literatury światowej. Parametry skał nie zostały zawarte w tej bazie, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym.

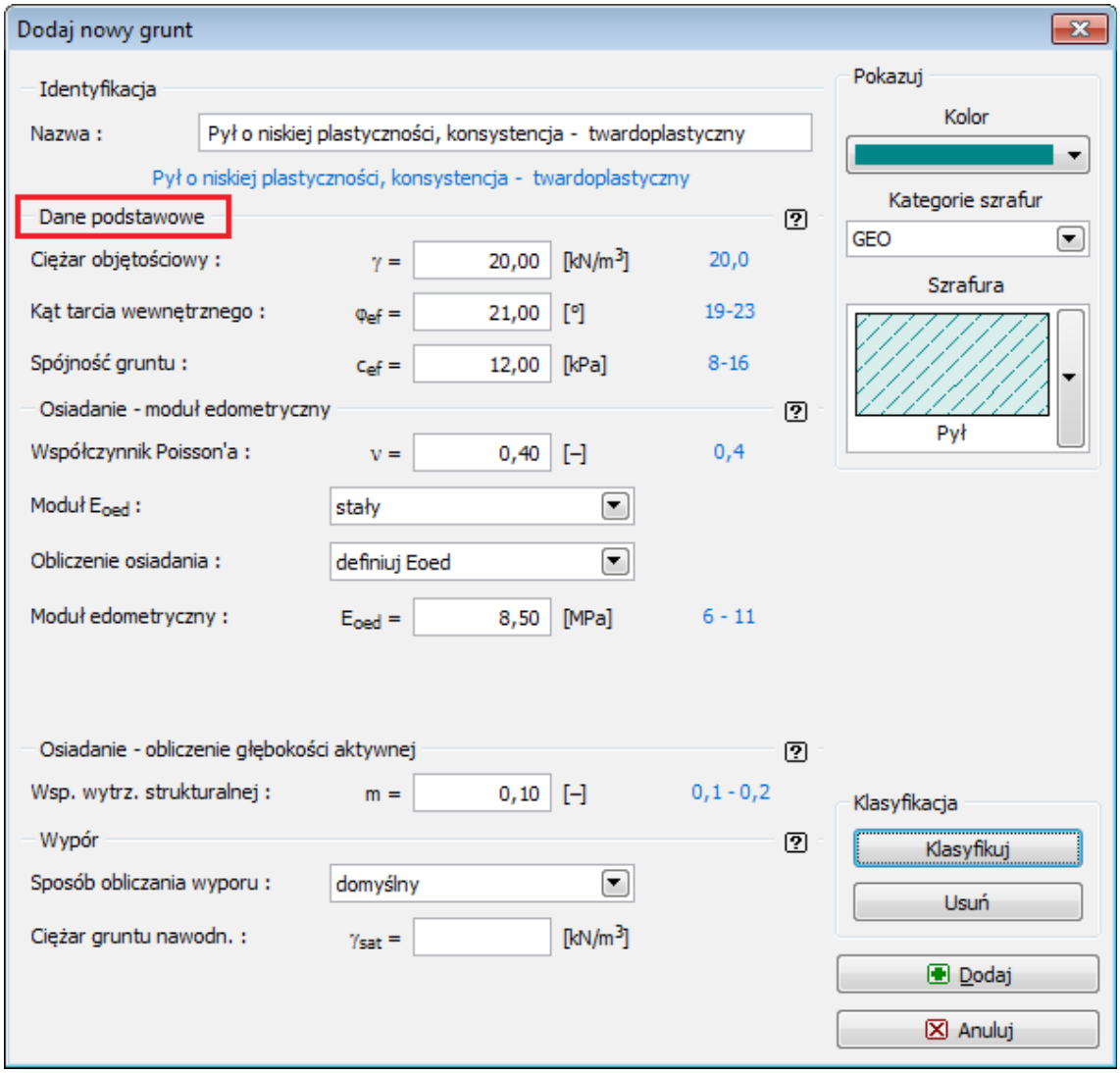
Parametry gruntu niezbędne do przeprowadzenia analizy różnią się w zależności od wybranego rodzaju analizy i metody obliczeniowej (ramka "Ustawienia", zakładka "Fundament bezpośredni" i "Osiadania").

Rodzaje analizy różnią się następująco:

- **analiza w warunkach z odpływem:** zwykle stosowane są parametry **efektywne** wytrzymałości gruntu na ścinanie c_{ef}, φ_{ef}.
- **analiza w warunkach bez odpływu:** nośność pionowa fundamentu zależy od wartości wytrzymałości gruntu na ścinanie **w warunkach bez odpływu** c_u. **Efektywny** kąt tarcia wewnętrznego gruntu φ_{ef} definiowany jest wyłącznie w celu wyznaczenia parcia gruntu przy obliczaniu nośności poziomej fundamentu.

- **analiza fundamentu na podłożu nieściśliwym:** dla tego rodzaju analizy program definiuje kąt tarcia wewnętrznego skały φ, wytrzymałość na ściskanie σ_c, współczynnik uszkodzenia masywu skalnego D, współczynnik wytrzymałości strukturalnej m_i oraz Indeks Wytrzymałości Geologicznej (GSI).

Podstawy teoretyczne dotyczące omawianego zaganienia opisano w rozdziale "Analiza nośności fundamentu".

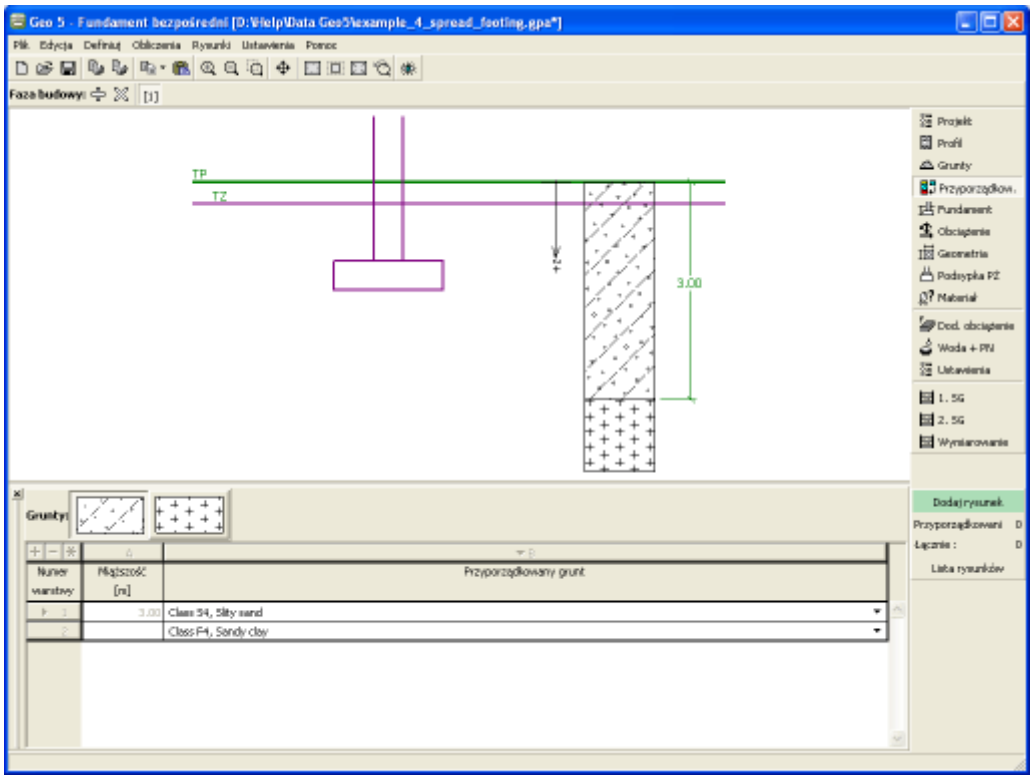


Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów".



Ramka "Przyporządkowanie"

Fundament

Ramka "**Fundament**" pozwala zdefiniować rodzaj (typ) i wymiary fundamentu. Wybrany rodzaj fundamentu z podpowiedzią graficzną ("**Schemat geometrii** ") wprowadzonych wymiarów wyświetlany jest w lewej części ramki. Wartości można edytować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól, lub na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.
Ramka **Fundament**" służy również do definiowania ciężaru objętościowego nadkładu gruntu nad fundamentem.

Istnieje możliwość wyboru następujących typów fundamentów:

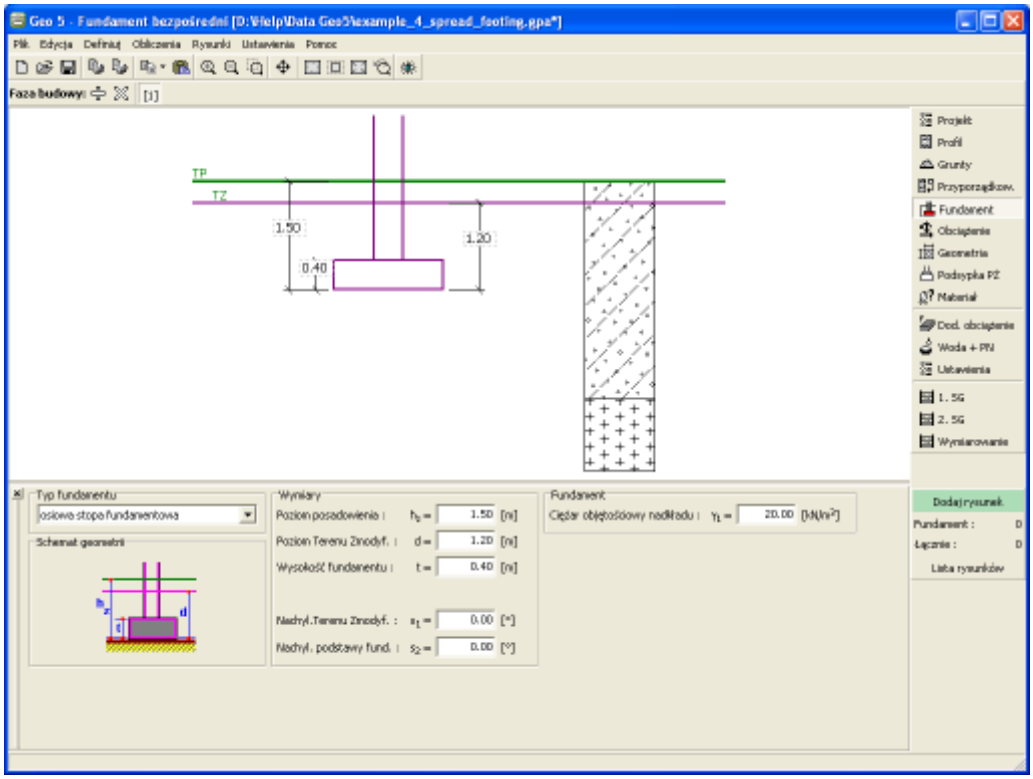
- **Osiowa stopa fundamentowa**
- **Mimośrodowa stopa fundamentowa**
- **Ława fundamentowa**
- **Osiowa stopa fundamentowa, schodkowa**
- **Mimośrodowa stopa fundamentowa, schodkowa**
- **Kołowa stopa fundamentowa**
- **Kołowa stopa fundamentowa, schodkowa**
- **Osiowa stopa fundamentowa ze skosem**
- **Mimośrodowa stopa fundamentowa ze skosem**

W programie Fundament bezpośredni profil gruntu definiuje się począwszy od **poziomu terenu pierwotnego**. Nośność fundamentów zależy natomiast głównie od zagłębienia **fundamentu poniżej poziomu terenu zmodyfikowanego**. Jeżeli poziom terenu zmodyfikowanego znajduje się ponad poziomem posadowienia, należy przypisać tę samą głębokość do poziomu terenu zmodyfikowanego i poziomu pierwotnego terenu oraz zdefiniować w podłożu dodatkową warstwę gruntu nasypowego. Ramka "**Fundament**"

umożliwia również zdefiniowanie **wysokości fundamentu**.

Po wykonaniu, fundament zazwyczaj zasypywany jest gruntem - w ramce "**Fundament**" należy określić jego ciężar objętościowy (**Ciężar objętościowy nadkładu** γ_1). Jeżeli do obliczeń wykorzystywana jest teoria stanów granicznych, ciężar nadkładu mnożony jest przez współczynnik częściowy $\gamma_{m\gamma}$ zdefiniowany w zakładce "Fundamenty bezpośrednie".

Dla fundamentów liczonych w warunkach z odpływem (typ obliczeń wybiera się w ramce "Ustawienia") istnieje możliwość wprowadzenia **nachylenia terenu zmodyfikowanego oraz nachylenia podstawy fundamentu**. We wszystkich pozostałych przypadkach teren jest poziomy, jedynie podstawa fundamentu może być nachylona.



Ramka "Fundament"

Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych obciążeń. Dodawanie obciążeń odbywa się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Przy definiowaniu sił należy zwrócić uwage na konwencję znaków wyświetlaną w prawej części tego okna dialogowego.

Istnieje możliwość wprowadzenia następujących typów obciążeń:

- obciążenie obliczeniowe służy do analizy nośności fundamentu (1.SG)
- obciążenie charakterystyczne służy do obliczenia osiadania i obrotu fundamentu.

Wymiarowanie zbrojenia przeprowadza się dla obu typów obciążenia.

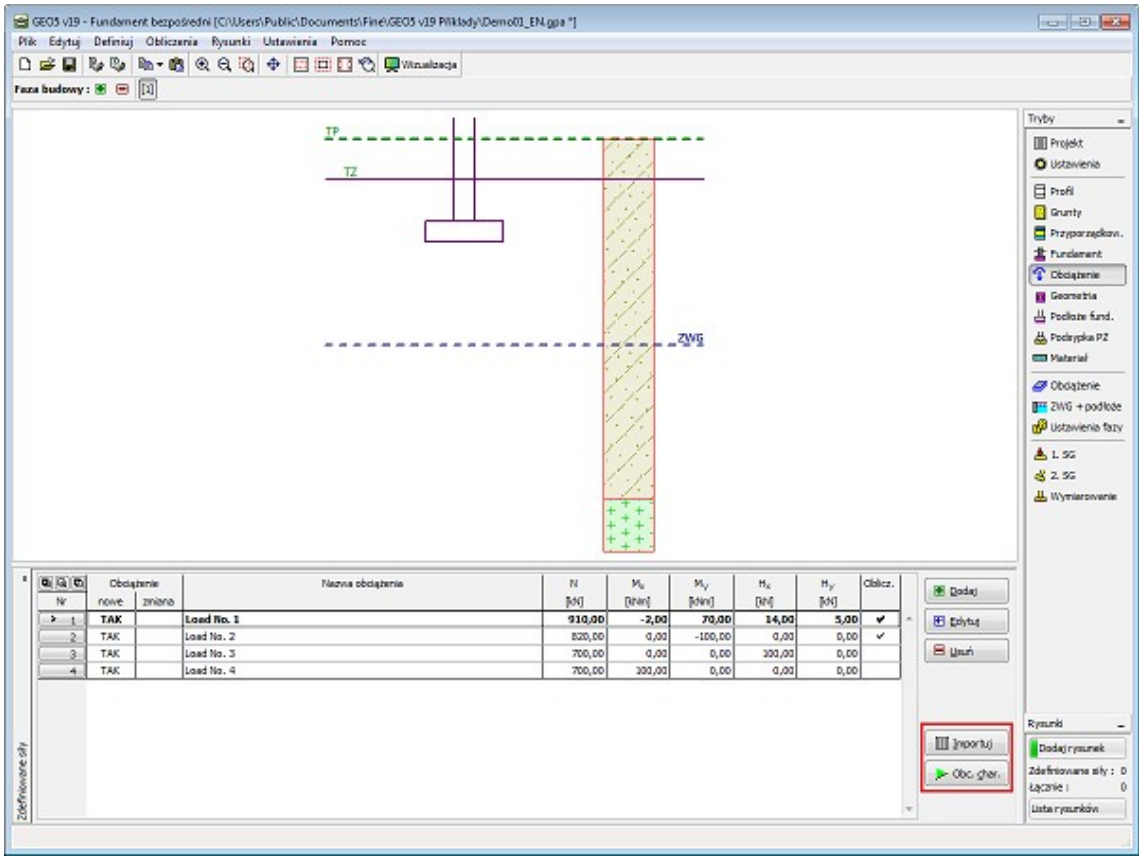
W przypadku prowadzenia analizy według **EN 1997 lub LRFD** (wybieranej w zakładce "Fundamenty bezpośrednie") zakłada się, że obciążenie obliczeniowe zostało określone przez projektanta zgodnie z obowiązującymi normami, tzn. że **przed wprowadzeniem do programu** poszczególne składowe obciążenia **były przemnożone** przez odpowiednie współczynniki częściowe - program w **żaden sposób nie modyfikuje** zdefiniowanych przez

użytkownika obciążeń.

Fundament jest zawsze obciążany na krawędzi połączenia słupa i fundamentu. Program automatycznie wyznacza **ciężar własny fundamentu** oraz **ciężar nadkładu gruntu nad fundamentem**.

Program umożliwia wyznaczenie obciążeń charakterystycznych na podstawie wcześniej zdefiniowanych obciążeń obliczeniowych za pomocą przycisku "**Obc. char.**" (dotyczy analizy według współczynnika bezpieczeństwa lub według teorii stanów granicznych).

Program umożliwia również importowanie obciążeń za pomocą przycisku "**Importuj**".



Ramka "Obciążenie"

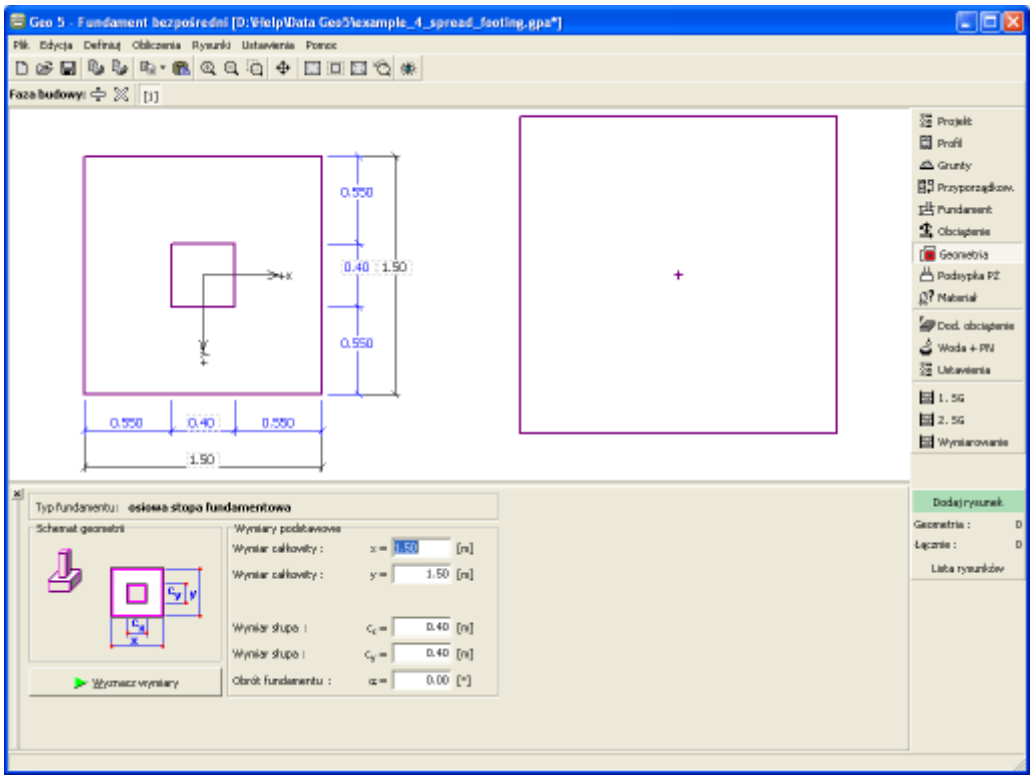
Geometria

Ramka "**Geometria**" umożliwia wybranie kształtu fundamentu poprzez wybór ikony. Wybrany kształt z podpowiedzią graficzną "**Schemat geometrii**" wprowadzonych wymiarów wyświetlany jest w lewej części ramki. Kształt ściany można edytować w ramce poprzez wprowadzenie wartości do pól danych bądź na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Typ fundamentu oraz jego **wysokość** określane są w ramce "Fundament".

Program automatycznie oblicza **ciężar fundamentu** oraz ciężar **nadkładu gruntu nad fundamentem**. Ciężar własny fundamentu definiuje się w ramce "Materiał". Jeżeli do obliczeń wykorzystywana jest teoria stanów granicznych, jego ciężar jest mnożony przez współczynnik częściowy zdefiniowany w ramce "Fundamenty bezpośrednie".

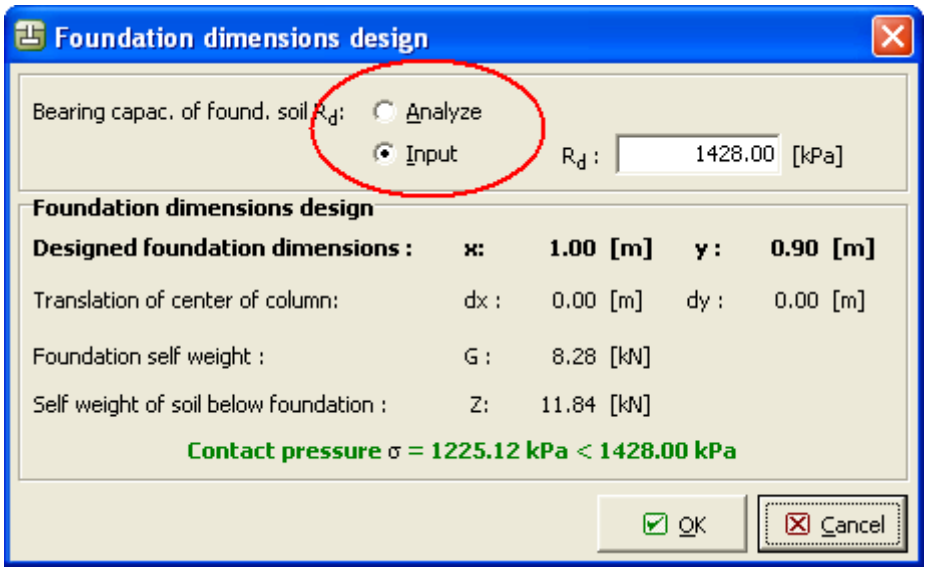
Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.



Ramka "Geometria"

Przycisk "**Wyznacz wymiary**" otwiera okno dialogowe "**Wyznaczanie wymiarów fundamentu**", które służy do obliczania wymiarów fundamentu z pomocą programu. W oknie tym można zdefiniować wytrzymałość gruntu pod fundamentem R_d lub wybrać opcję "**Wyznacz**". W takim przypadku, program określa wszystkie wymiaru fundamentu na podstawie wprowadzonych parametrów (grunty, profil, wpływ wody, podsypka piaskowo-żwirowa, ustawienia, itp.).

Po opuszczenia tego okna dialogowego przez naciśnięcie przycisku "**OK**", wyznaczone wymiary są wczytywane do ramki "**Geometria**".



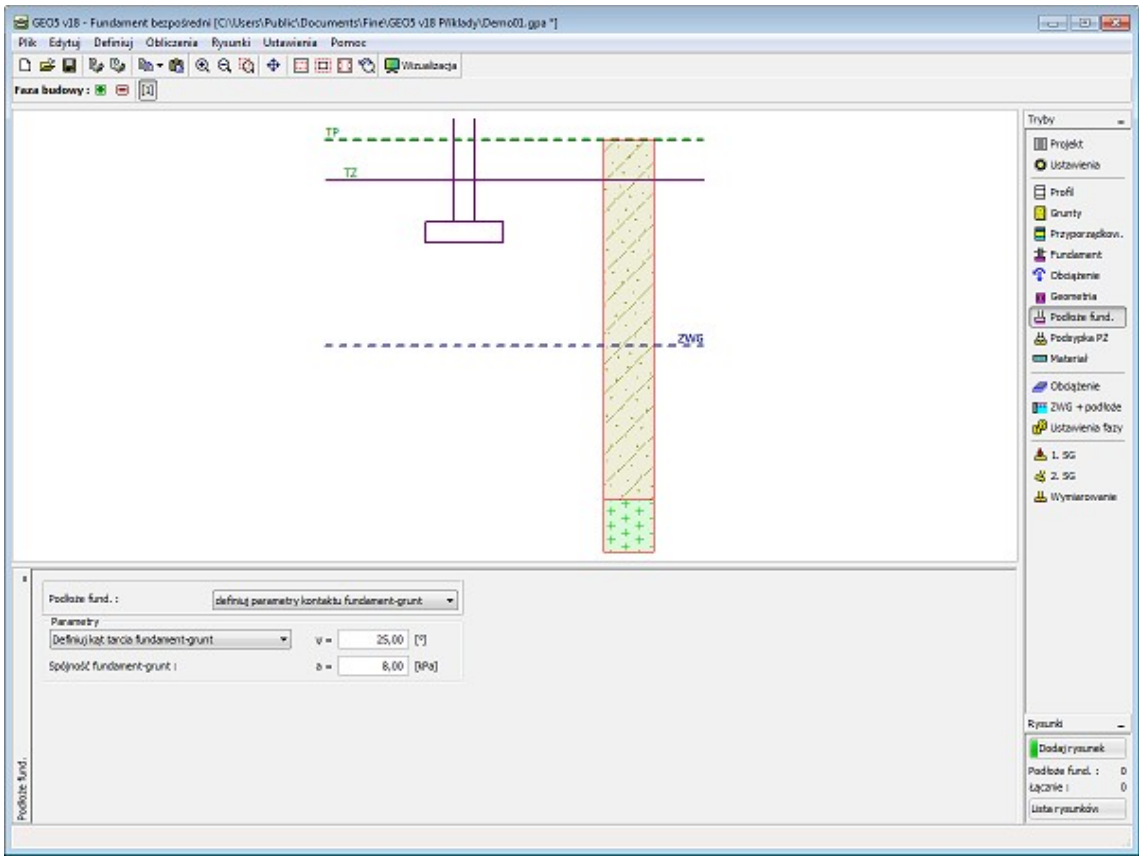
Okno dialogowe "Wyznaczanie wymiarów fundamentu"

Podłoże fundamentowe

Ramka "**Podłoże fundamentowe**" służy do definiowania charakterystyk oddziaływania podłoża fundamentowego w podstawie fundamentu:

- **grunt - z profilu geologicznego** - w tym przypadku fundament bezpośredni posadowiony jest na gruncie przyporządkowanym z profilu geologicznego zdefiniowanego w ramce "Profil".
- **grunt - definiuj parametry kontaktu** - przy wybraniu tej opcji definiowane są parametry kontaktu pomiędzy podłożem fundamentowym a fundamentem. Opcja "**definiuj kąt tarcia fundament-grunt**" wymaga zdefiniowania kąta tarcia ψ [°] pomiędzy fundamentem a gruntem. Opcja "**definiuj współczynnik tarcia**" wymaga natomiast zdefiniowania współczynnika tarcia μ [-]. W obydwu przypadkach natomiast niezbędne jest określenie spójności a [kPa] pomiędzy podstawą fundamentu a gruntem.

Dane wprowadzone w tej ramce wpływają na przebieg obliczeń nośności podłoża fundamentowego.



Ramka "Podłoże fundamentowe"

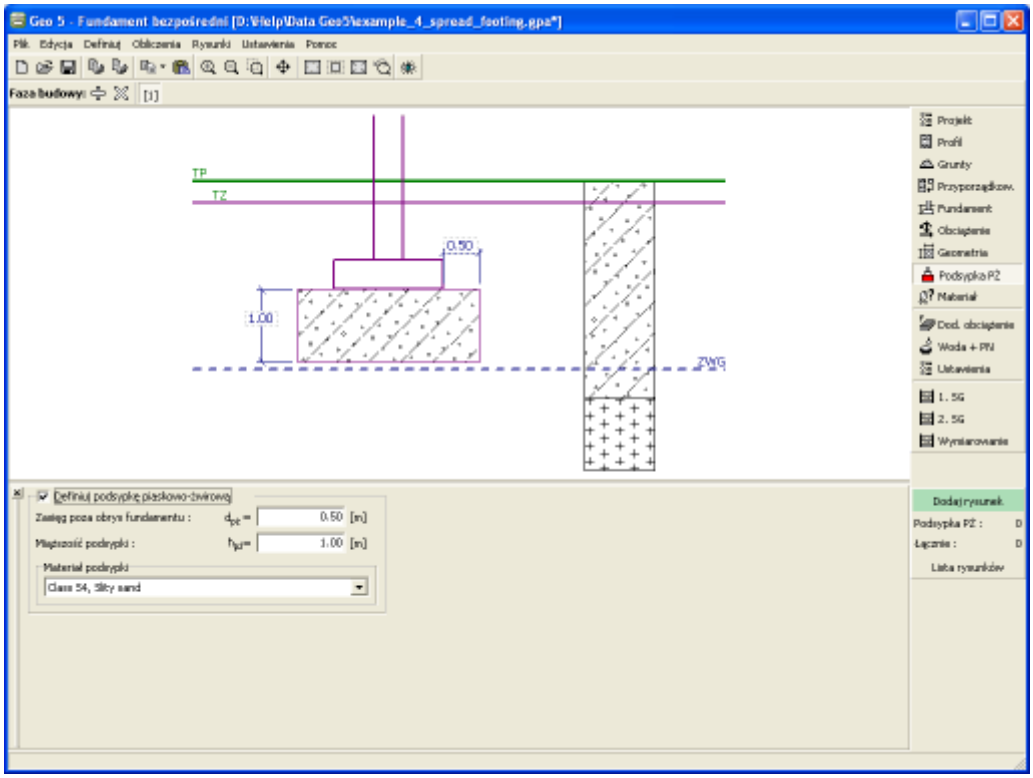
Podsypka piaskowo-żwirowa

Ramka "**Podsypka piaskowo-żwirowa**" umożliwia wprowadzenie parametrów podsypki piaskowo-żwirowej pod fundamentem. Wymagane jest podanie grubości podsypki oraz jej zasięgu poza obrys fundamentu. Wartości te można edytować w ramce poprzez wstawienie wartości do pól lub na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Wypełnienie podsypki można wybrać z rozwijanej listy, która zawiera grunty zdefiniowane w

trybie "Grunty".

Wprowadzona podsypka piaskowo-żwirowa wpływa na nośność fundamentu oraz osiadanie.



Ramka "Podsypka piaskowo-żwirowa"

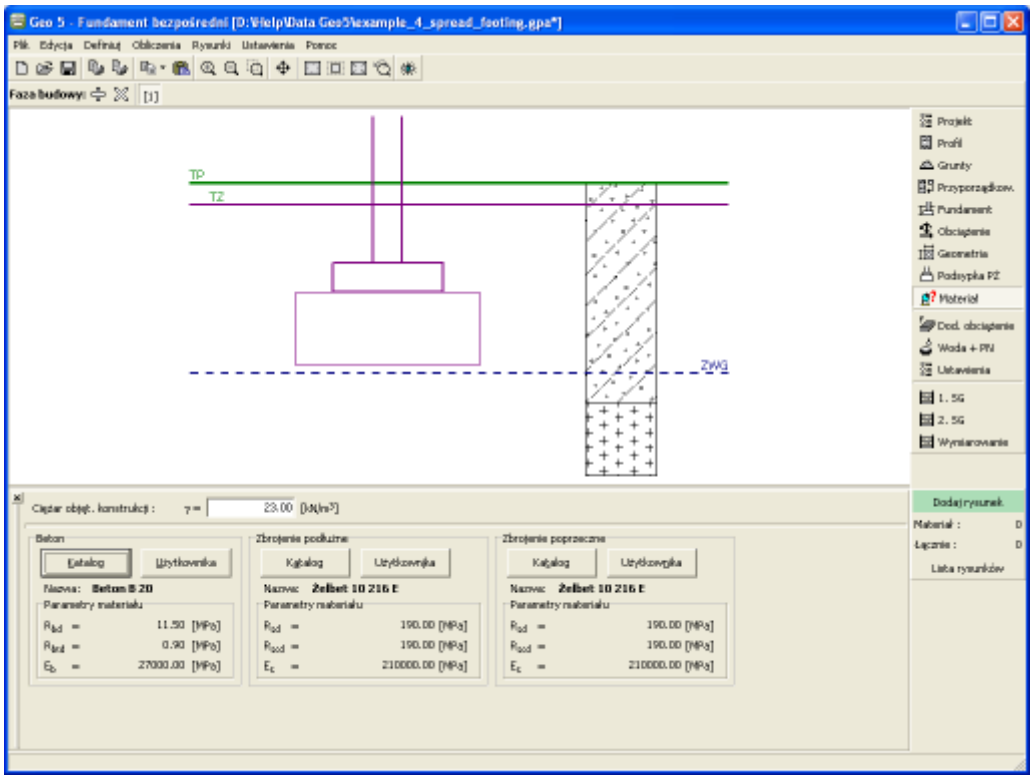
Materiał

Ramka "**Materiał**" pozwala na zdefiniowanie parametrów materiału. Pole, w górnej części ramki służy do definiowania **ciężaru objętościowego ściany**.

Program oferuje następujące dwie możliwości zdefiniowania parametrów materiałowych:

- Przycisk "**Katalog**" otwiera okno dialogowe "**Katalog materiałów**", z zamieszczonej w nim listy materiałów można dokonać wyboru materiału.
- Przycisk "**Użytkownika**" otwiera okno dialogowe "**Edytor materiału** ", które umożliwia ręczne określenie parametrów materiału przez użytkownika.

Zawartość katalogów zależy od wyboru odpowiedniej normy do wymiarowania konstrukcji betonowych i konstrukcji stalowych dokonanego w zakładce "Materiały i normy".



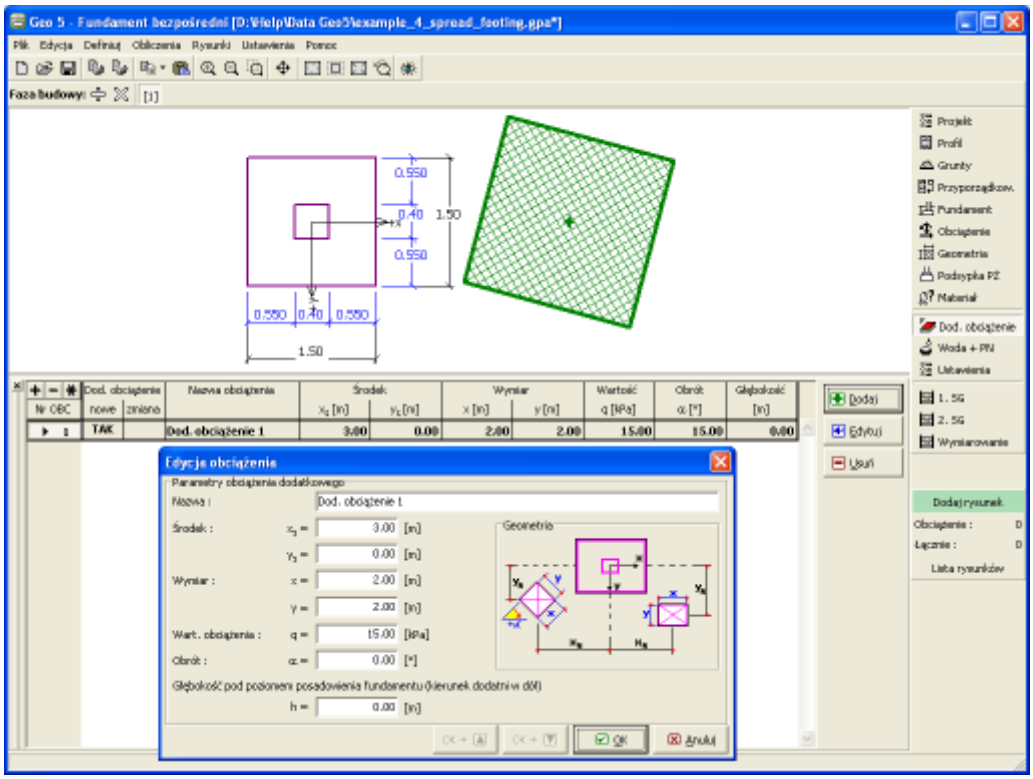
Ramka "Materiał"

Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych obciążeń. Dodawanie obciążenia wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Zdefiniowane obciążenia można edytować na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów lub aktywnych obiektów.

Przy definiowaniu obciążenia na innej głębokości niż głębokość posadowienia fundamentu, definowana jest współrzędna z tego obciążenia, mierzona od poziomu posadowienia konstrukcji (kierunek dodatni w dół).

Obciążenie obok fundamentu uwzględniane jest tylko podczas **obliczania osiadania** i obrotu fundamentu. W takim przypadku, obciążenie zwiększa naprężenie w gruncie pod fundamentem. Podczas **obliczania nośności fundamentu**, obciążenie takie nie jest uwzględniane - jego obecność zwiększyłaby nośność.



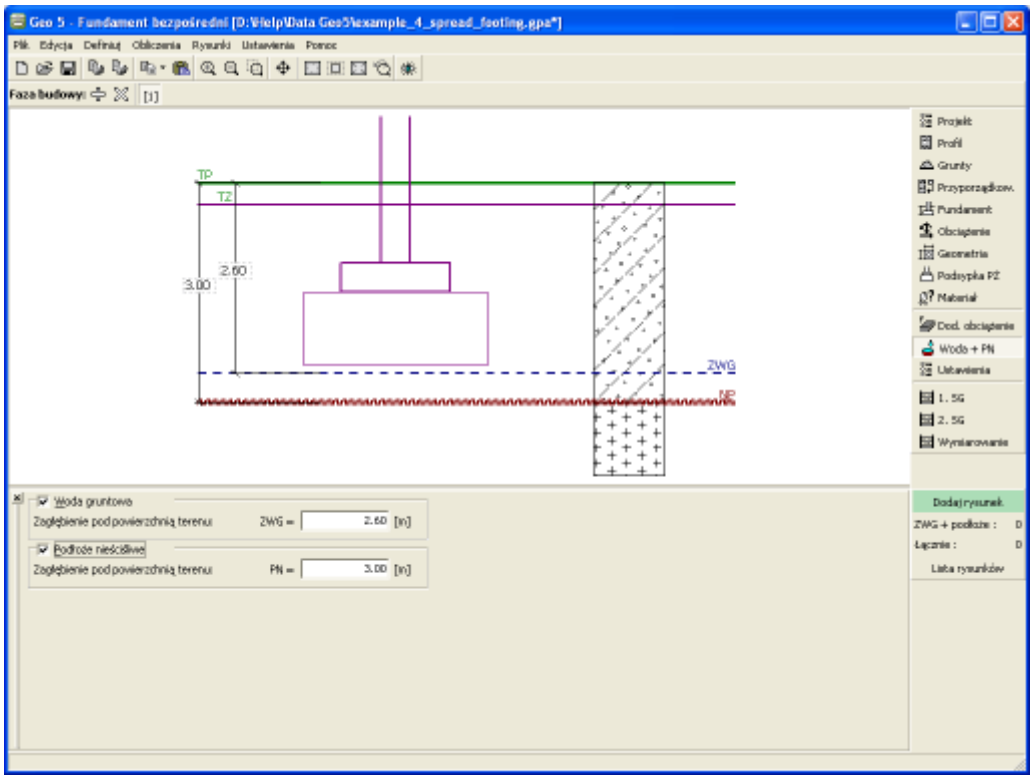
Ramka "Obciążenie"

Woda, podłoże nieściśliwe

Ramka "**Woda + PN**" służy do określania **głębokości zwierciadła wody gruntowej** oraz poziomu **podłoża nieściśliwego**. Wartości te można edytować w ramce poprzez wstawienie wartości do pól lub na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

Zdefiniowanie **ZWG** powoduje zmianę naprężeń geostatycznych w masywie gruntowym.

Podłoże nieściśliwe odcina **głębokość aktywną** pod fundamentem oraz wpływa na redukcję osiadania.



Ramka "Woda, podłoże nieściśliwe"

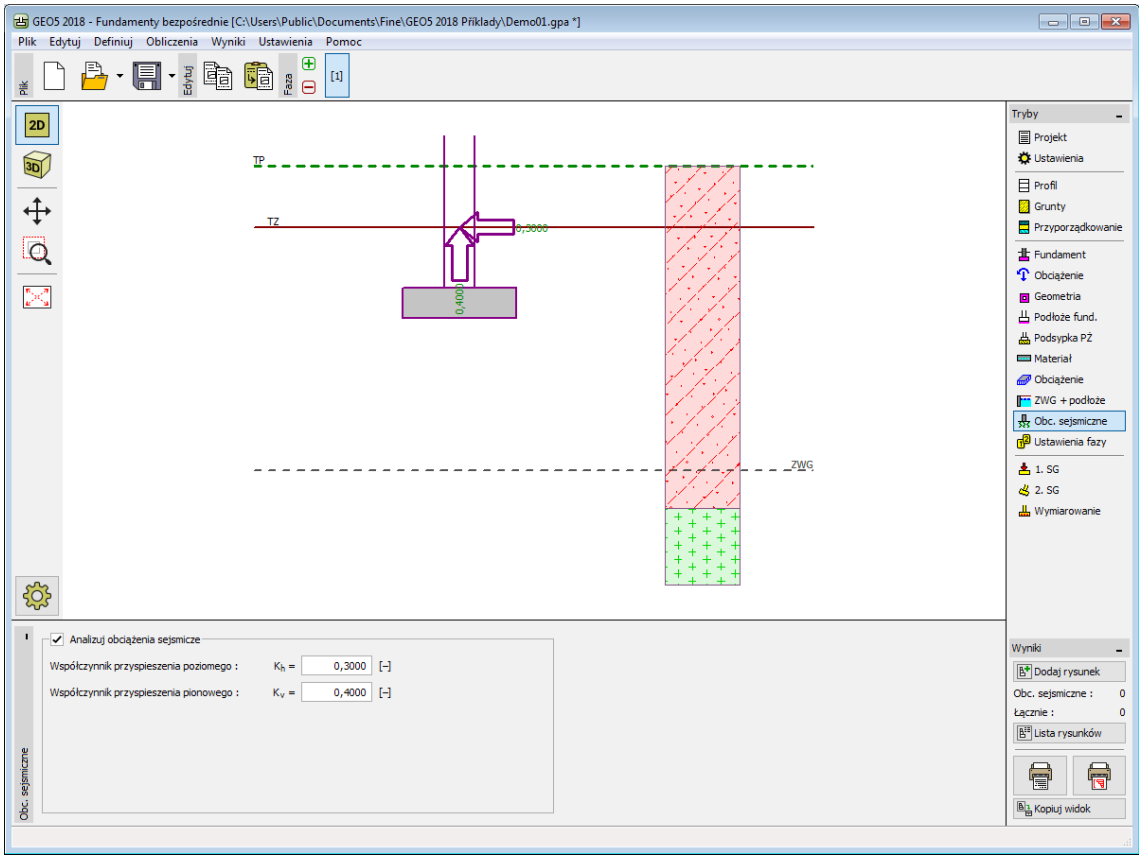
Obciążenia sejsmiczne

Ramka "**Obciążenia sejsmiczne**" służy do wprowadzania parametrów obciążeń sejsmicznych. Kierunki skutków obciążeń sejsmicznych są wyświetlane na pulpicie.

Jeśli nie są dostępne wyniki pomiarów współczynniki k_h oraz k_v można wyznaczyć stosując opisane w pomocy podejście z normy EN 1998-5.

Wyznaczanie nośności fundamentu z uwzględnieniem obciążeń sejsmicznych opisane jest w teoretycznej części pomocy, w rozdziale "Analiza nośności sejsmicznej".

Podczas **analizy sejsmicznej**, program wyznacza nośność fundamentu dla obydwu przypadków - z lub bez obciążeń sejsmicznych. Wynikowa nośność fundamentu jest niższą z tych dwóch wyznaczonych wartości.



Ramka "Obciążenia sejsmiczne"

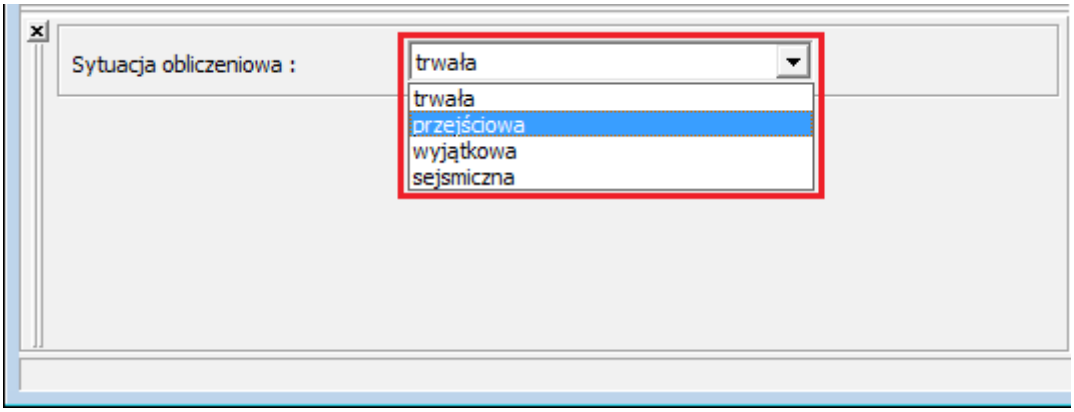
Uwaga: Ramka dostępna jest tylko w przypadku, gdy w ramce "Ustawienia" wybrana jest **analiza w warunkach z odpływem**.

Ustawienia fazy

Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących tylko wybranej fazy obliczeniowej.

Wybrana sytuacja obliczeniowa określa współczynniki bezpieczeństwa, które będą zastosowane w obliczeniach danej fazy budowy.

Wygląd ramki zależy od wybranej metody analizy.



Ramka "Ustawienia fazy"

1.SG - nośność

Ramka "**1. SG**" służy do sprawdzenia **pionowej i poziomej nośności fundamentu**. Istnieje możliwość wykonania dowolnej liczby obliczeń. Obliczenie można przeprowadzić dla poszczególnych zdefiniowanych sił lub też program automatycznie wybierze **najbardziej niekorzystne obciążenie** (opcja dostępna na liście rozwijanej zdefiniowanych obciążeń).

Program do analizy wykorzystuje podejście wybrane w zakładce "Fundamenty bezpośrednie". Zakładka ta umożliwia dokonanie wyboru metody obliczeń (według EN 1997, LRFD, współczynnika bezpieczeństwa lub według teorii stanów granicznych).

Analiza nośności pionowej wymaga wyboru kształtu naprężenia kontaktowego (dowolny, prostokątny). Kształt naprężenia kontaktowego wykreślany jest w lewej części pulpitu.

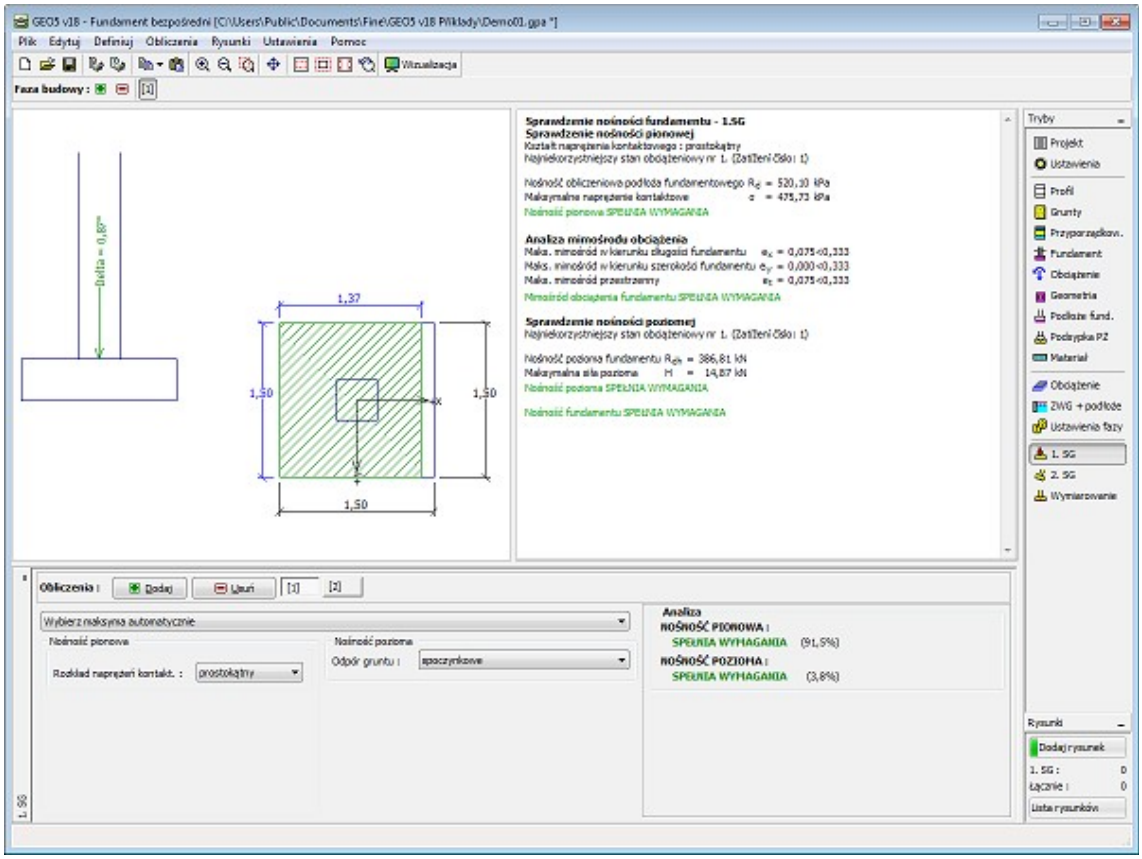
W przypadku obydwu stanów granicznych (nośności, użytkowania) program zakłada mimośrodowość fundamentu. Wartość maksymalnego dopuszczalnego mimośrodu fundamentu e_{alw} definiowana jest w ramce "**Ustawienia**" w zakładce "Fundamenty bezpośrednie".

Analiza nośności poziomej wymaga zdefiniowania odporu gruntu, który może być w postaci parcia **spoczynkowego, biernego** lub **zredukowanego biernego**.

W dalszej części ramki "1. SG" można także dokonać **redukcji parametrów gruntu** (kąta tarcia konstrukcja-grunt, spójności konstrukcja-grunt) do obliczania nośności poziomej fundamentu.

W przypadku analizy fundamentu rozciąganego widok okna dialogowego "**Analiza fundamentu rozciąganego**" jest zmienny w zależności od metody analizy wybranej w ramce "Ustawienia".

Szczegółowe wyniki obliczeń wyświetlane są w prawej części pulpitu. Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "1.SG - nośność"

2.SG - osiadanie i obrót fundamentu

Ramka "**2.SG**" służy do obliczania osiadania i obrotu fundamentu. Istnieje możliwość wykonania dowolnej liczby obliczeń. Obliczenie można przeprowadzić dla poszczególnych zdefiniowanych sił lub też program automatycznie wybierze **najbardziej niekorzystne obciążenie** (opcja dostępna na liście rozwijanej zdefiniowanych obciążeń).

Analizy osiadania i obrotu fundamentu wykonywana jest zgodnie z teorią wybraną w zakładce "Fundamenty bezpośrednie".

W przypadku obydwu stanów granicznych (nośności, użytkowania) program zakłada mimośrodowość fundamentu. Wartość maksymalnego dopuszczalnego mimośrodu fundamentu e_{alw} definiowana jest w ramce "**Ustawienia**" w zakładce "Fundamenty bezpośrednie".

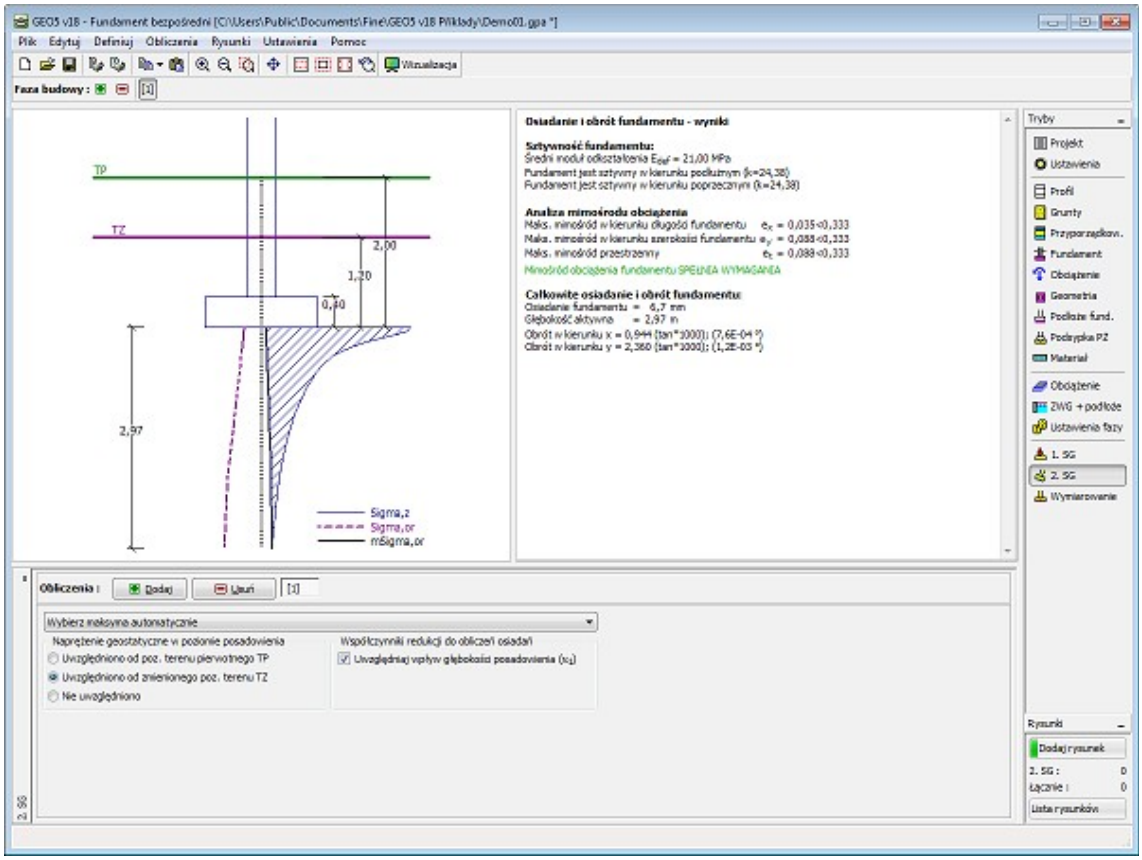
Naprężenie w poziomie posadowienia można odjąć od naprężenia geostatycznego określonego od:

- **terenu pierwotnego**
- **zmienionego terenu**
- **nie określone**

Rozkłady **naprężeń geostatycznych** oraz **przyrostu naprężenia** pod poziomem fundamentu wyświetlane są w lewej części pulpitu. Etykieta pod poziomem fundamentu reprezentuje **głębokość aktywną**. Naprężenie rysowane jest poniżej fundamentu w punkcie o charakterystycznym odkształceniu.

W ramce tej można również określić współczynnik redukcji obliczenia osiadania.

Szczegółowe wyniki analizy wyświetlane są w prawej części pulpitu. Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "2. SG - osiadanie i obrót fundamentu"

Wymiarowanie

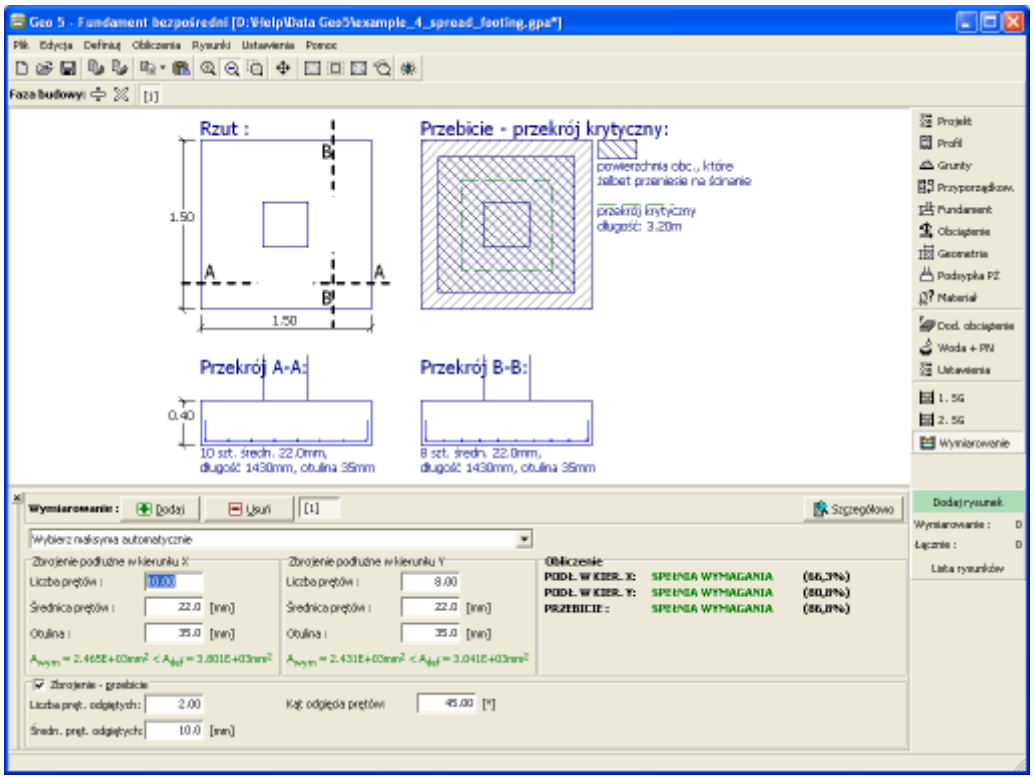
Ramka "**Wymiarowanie**" umożliwia zaprojektowanie i sprawdzenie zbrojenia podłużnego fundamentu oraz analizę fundamentu ze względu na przebicie. Istnieje możliwość wykonania dowolnej liczby obliczeń. Obliczenie można przeprowadzić dla poszczególnych zdefiniowanych sił lub też program automatycznie wybierze **najbardziej niekorzystne obciążenie** (opcja dostępna na liście rozwijanej zdefiniowanych obciążeń).

Program wyznacza naprężenie w przekrojach kontrolnych oraz siły wewnętrzne w wybranych przekrojach.

Wymiarowanie żelbetu przeprowadzane jest zgodnie z normą wybraną w zakładce "Materiały i normy".

Wynikowe informacje są wyświetlane na pulpicie i aktualizowane po dowolnej zmianie danych lub ustawień wykonanej w ramce. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które zawiera szczegółowe zestawienie wyników wymiarowania.

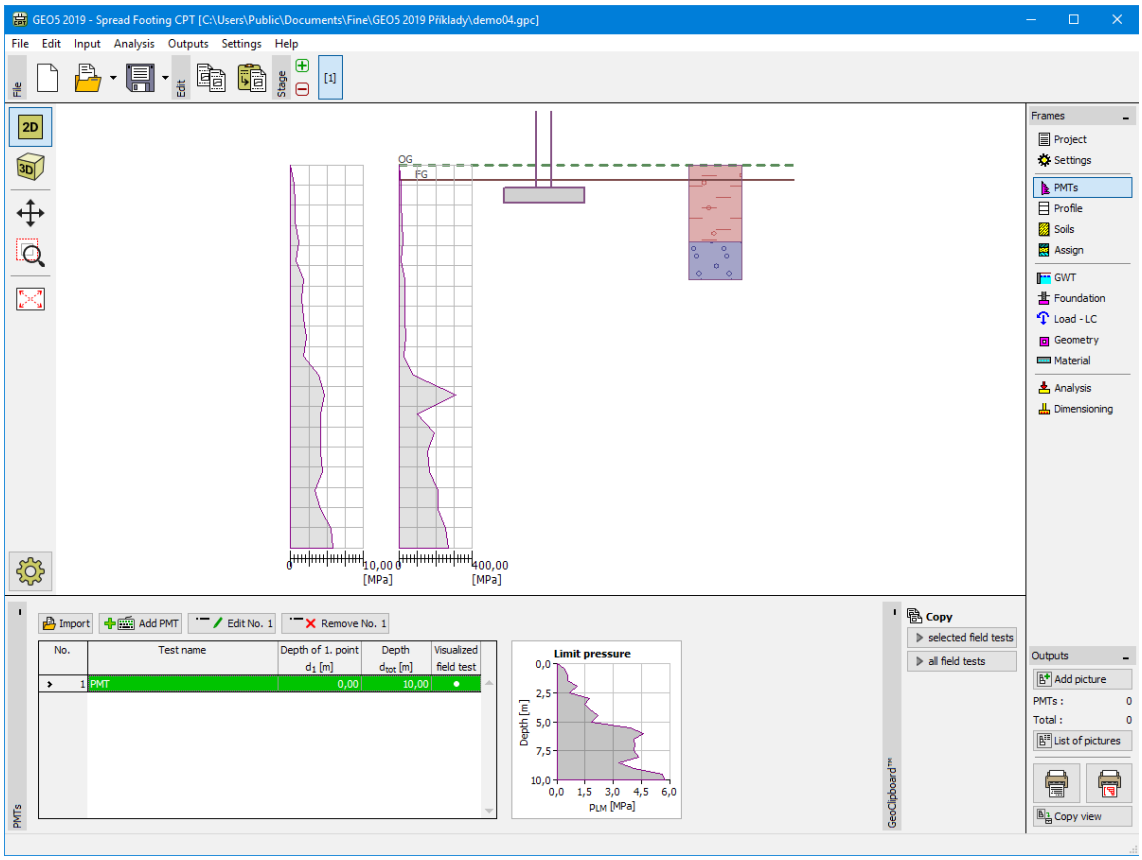
Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Wymiarowanie"

PMTs

The frame "**PMT**" contains a table with list of pressuremeter tests (PMT).



Frame "SPT"

The results of standard penetration tests (SPT) can be imported into the program by inserting the file in different formats (eg. ***.TXT, *.CSV, *.XLSX, *.ODS**).

Data of SPTs can be copied within "**Micropile**", "**Sheeting Check**", "**Anti-Slide Pile**" "**Spread Footing CPT**" and "**Stratigraphy**" programs using "GeoClipboard".

Klasyfikacja gruntów

Klasyfikacja gruntów według Robertsona (1986 lub 2010) pozwala określić typ sposobu zachowania gruntu (SBT) oraz inne parametry bezpośrednio na podstawie badania CPT - definiowanie parametrów gruntów jest wówczas zbędne. Zalecamy jednak sprawdzenie wygenerowanych parametrów gruntu przed wykonaniem obliczeń.

W ramce "**Klasyfikacja gruntów**" wybrane jest **badanie do klasyfikacji** (zdefiniowane w ramce "Badania CPT"). Klasyfikacja gruntów wykonywana jest według Robertsona (1986 lub 2010).

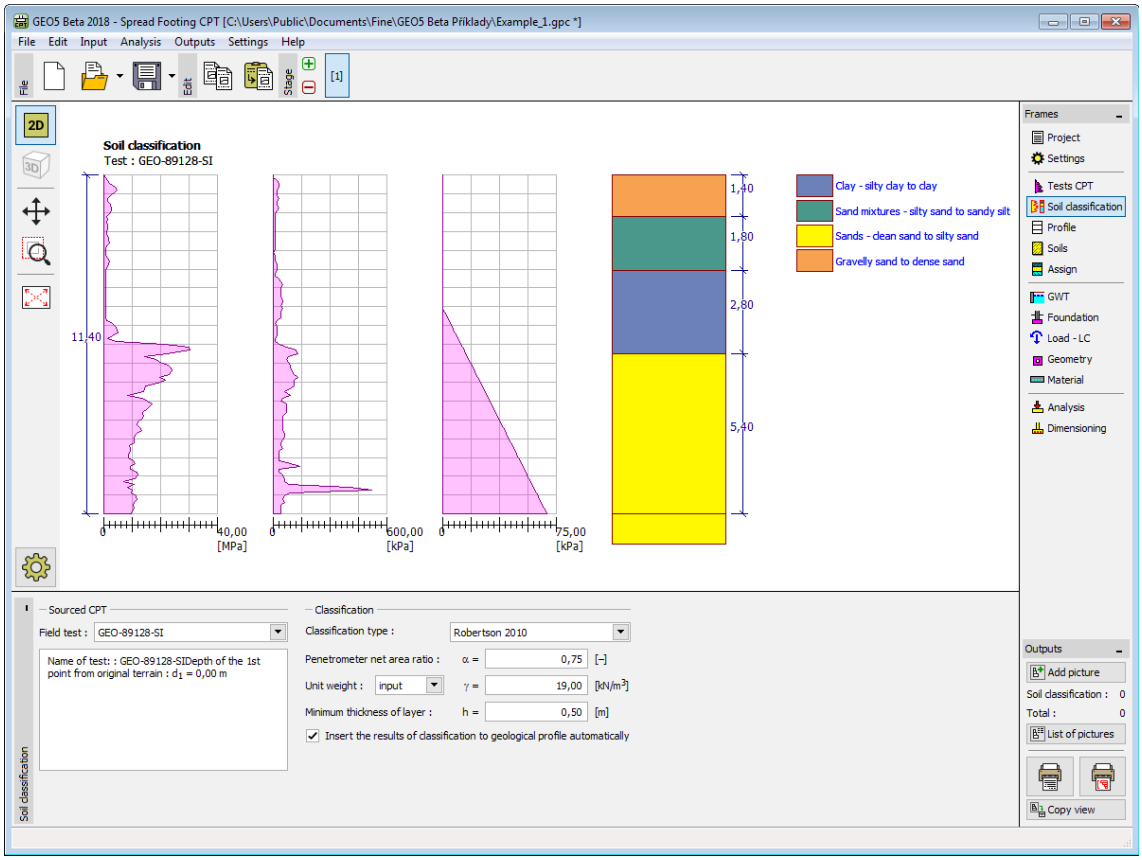
Ramka ta służy do definiowania współczynnika powierzchni netto penetrometru α [-].

Istnieje możliwość zdefiniowania jednakowego ciężaru objętościowego gruntu γ dla wszystkich warstw lub może on być automatycznie wyznaczony na podstawie badań CPT (dla każdej warstwy osobno). W ramce należy także zdefiniować minimalną miąższość warstwy gruntu h. Wartość ta wpływa na rozkład oraz liczbę poszczególnych warstw gruntu w profilu geologicznym analizowanego zadania.

Wybór opcji "**Wstawiaj automatycznie wyniki klasyfikacji gruntów do profilu geologicznego**" powoduje automatyczne przyporządkowanie wygenerowanego profilu do

bieżącego zadania (przy zmianie dowolnych danych w ramce).

W przypadku deaktywacji powyższej opcji należy ręcznie przyporządkować grunty do profilu wciskając przycisk "**Wstaw profil i grunty**".



Ramka "Klasyfikacja gruntów"

Program Pal

Program ten służy do analizy nośności pionowej pojedynczych pali ściskanych i rozciąganych, a także osiadania oraz nośności poziomej pojedynczych pali.

Pomoc w programie "Pal" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

Projekt	Ustawienia	Profil	Moduł reakcji podłoża	Grunty	Przyporządkowanie	Obciążenie
Geometria	Materiał	Woda, podłoże nieściśliwe	Tarcie negatywne	Ustawienia fazy	Nośność pionowa (rozwiązanie analityczne)	Nośność pionowa (metoda sprężysta)
Osiadanie (Poulos)	Osiadanie (Masopust)	Nośność pozioma	Nośność pozioma			

(metoda Bromsa)

- Normy i metody obliczeniowe
- Teoria obliczeniowa do programu "**Pal**":

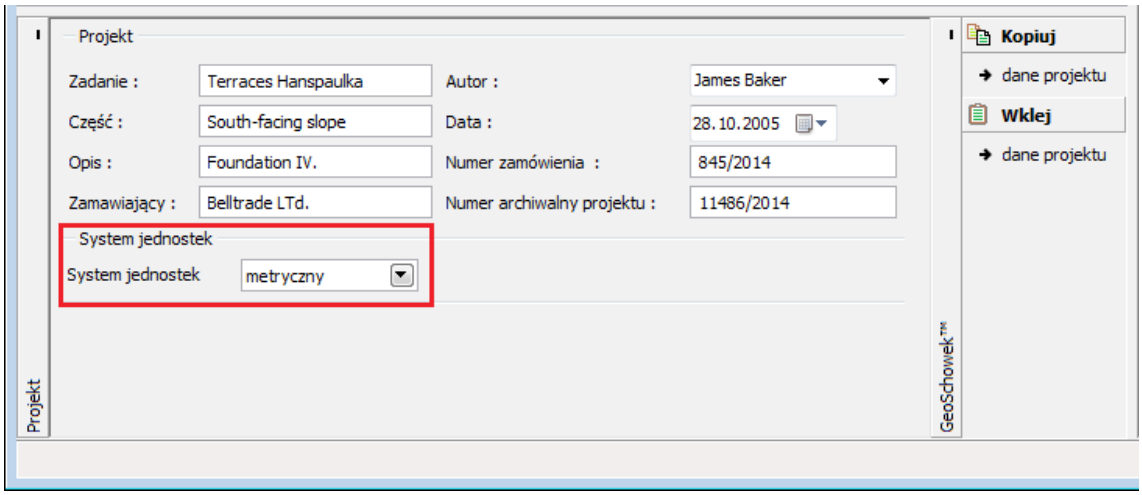
  Naprężenia w gruncie | Analiza pala | Wymiarowanie konstrukcji betonowych

- Dane wyjściowe
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

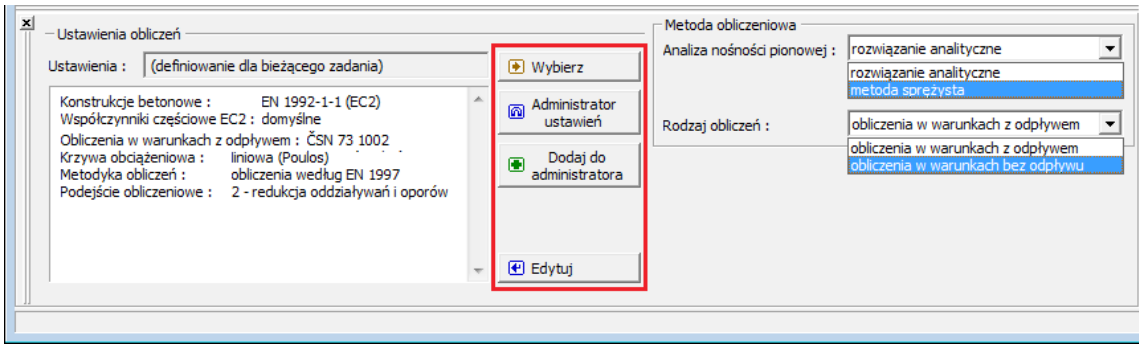
Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładkach "Materiały i normy" oraz "Pale".

Nosność pionową pala można wyznaczyć zarówno korzystając z teorii konwencjonalnej (rozwiązań analitycznych) lub metody sprężystej (MES). W programie dostępne są dwa rodzaje obliczeń:

- **analiza w warunkach z odpływem** (CSN 73 1002, Effective stress method, NAVFAC DM 7.2)
- **analiza w warunkach bez odpływu** (Tomlinson, NAVFAC DM 7.2)



Ramka "Ustawienia"

Profil

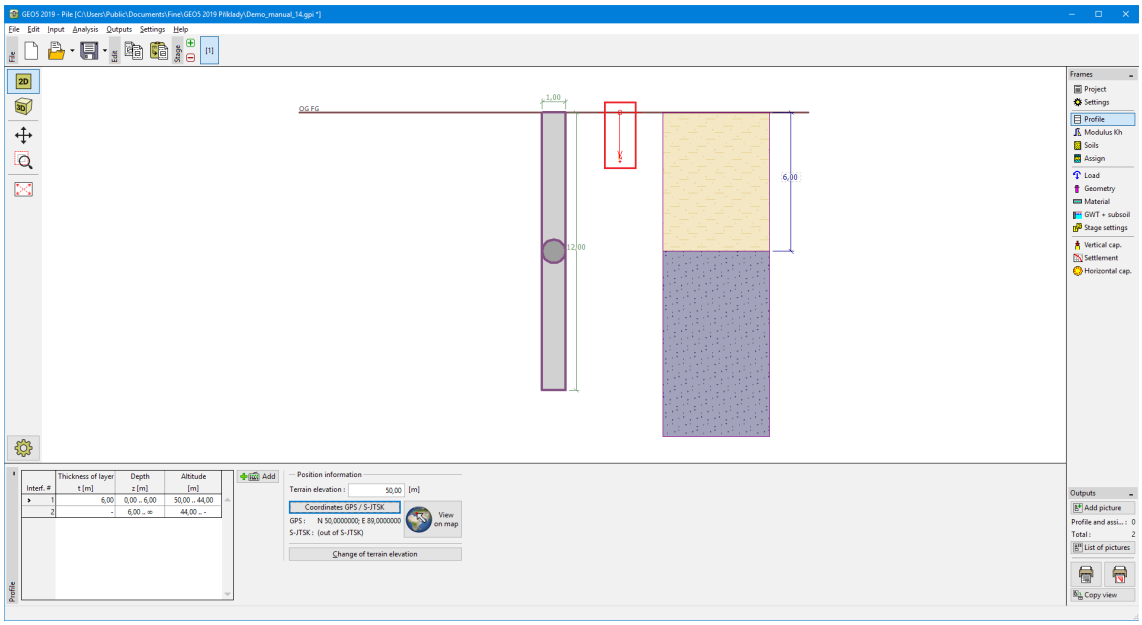
Ramka "**Profil**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych warstw. Po zdefinowaniu poszczególnych warstw można edytować ich miąższość za pomocą aktywnych wymiarów.

Dodawanie warstw wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowa warstwa**". Definiowana jest rzędna z mierzona od górnego punktu konstrukcji (oś-z).

In this frame it is also possible to enter optional information about the structure location:

- **terrain elevation** - an altitude column for the layers is displayed in the table after input of terrain elevation
- **GPS coordinates** - it is possible to show a structure on the Google Maps using "**View on map**" button after input of coordinates.

Program umożliwia obniżenie lub podniesienie górnego punktu konstrukcji w oknie dialogowym "**Zmiana rzędnej terenu**", a zdefiniowane warstwy będą wówczas przesunięte, jednocześnie zachowując swoją miąższość. Funkcja ta jest istotna podczas kopiowania profilu z programu "**Teren**".

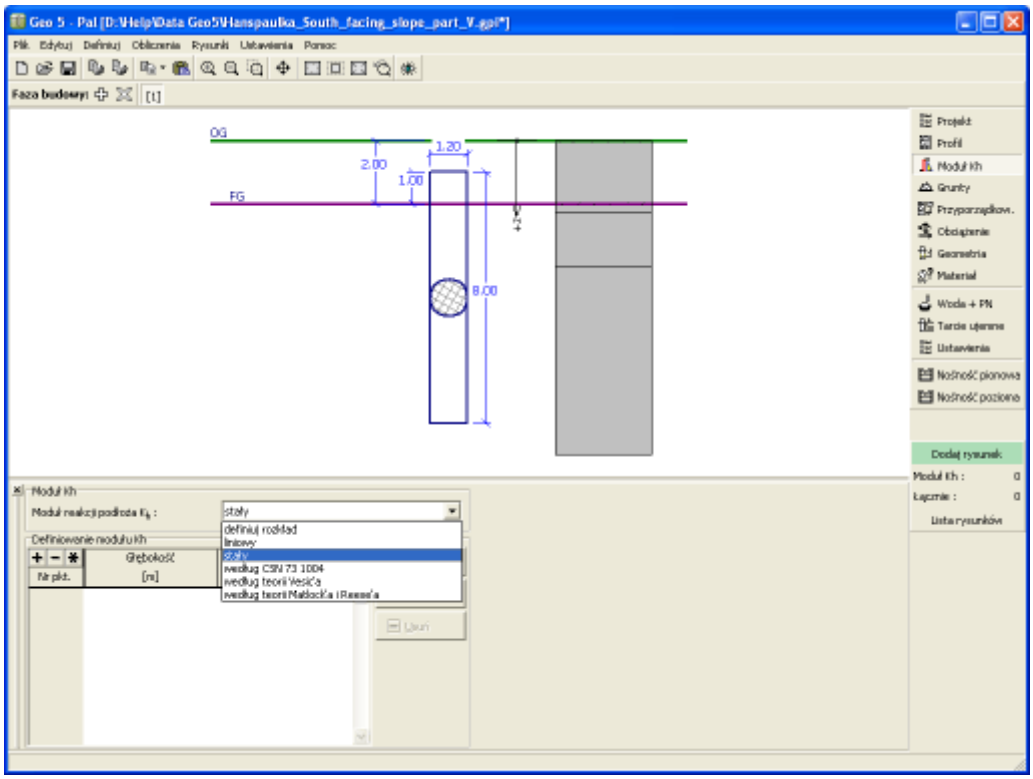


Ramka "Profil"

Moduł reakcji podłoża

Ta rozwijana lista służy do wyboru jednej z **metod wyznaczania** modułu reakcji podłoża. W zależności od wybranej metody - niezbędne parametry gruntu definiuje się następnie w ramce "Grunty".

Wybór opcji "**Definiuj rozkład**" otwiera tabelę, która umożliwia definiowanie dowolnych wartości modułu reakcji podłoża wzdłuż pala.



Ramka "Moduł reakcji podłoża"

Grunty

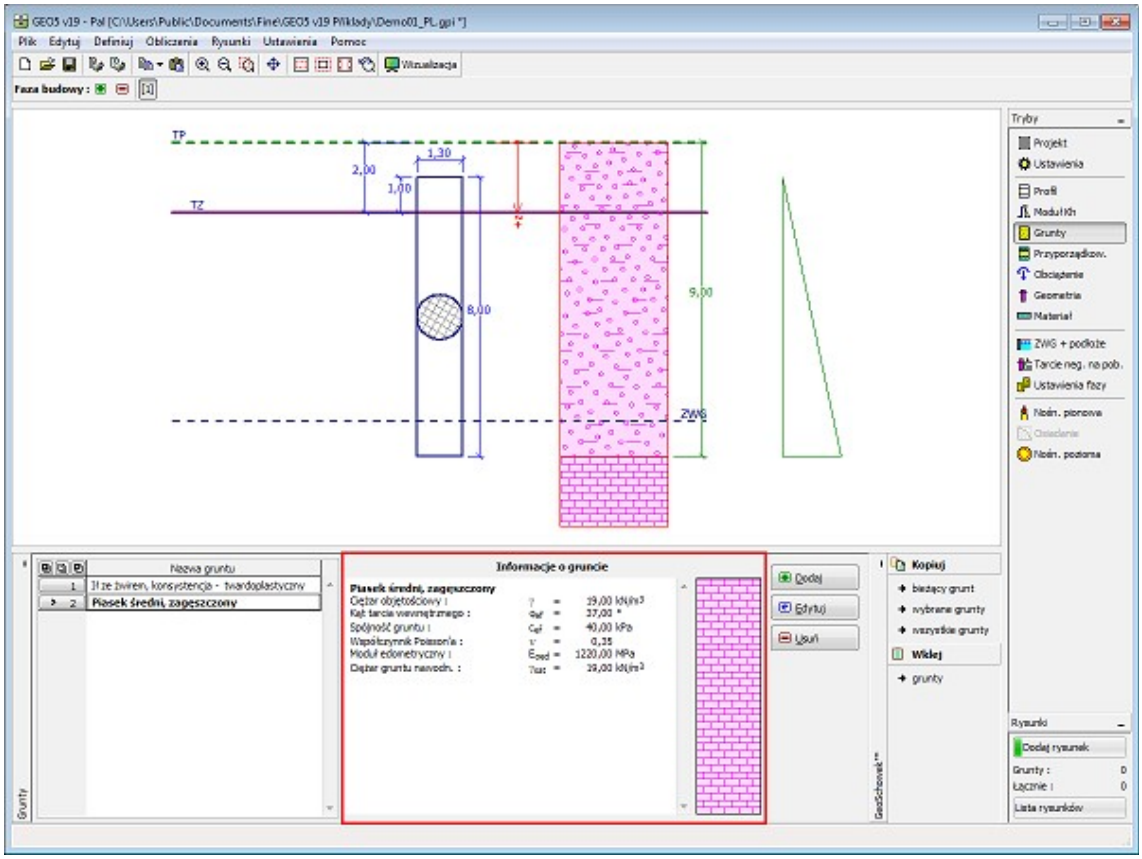
Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie (edycja) gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Dane podstawowe", "Naprężenie geostatyczne, wypór", "Moduł edometryczny", "Moduł reakcji podłoża", "Empiryczny współczynnik adhezji" oraz "Współczynnik konsystencji".

Podane parametry zależą od ustawień dotyczących modułu reakcji podłoża oraz wyboru teorii obliczeniowej dokonanego w zakładce "Pale".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

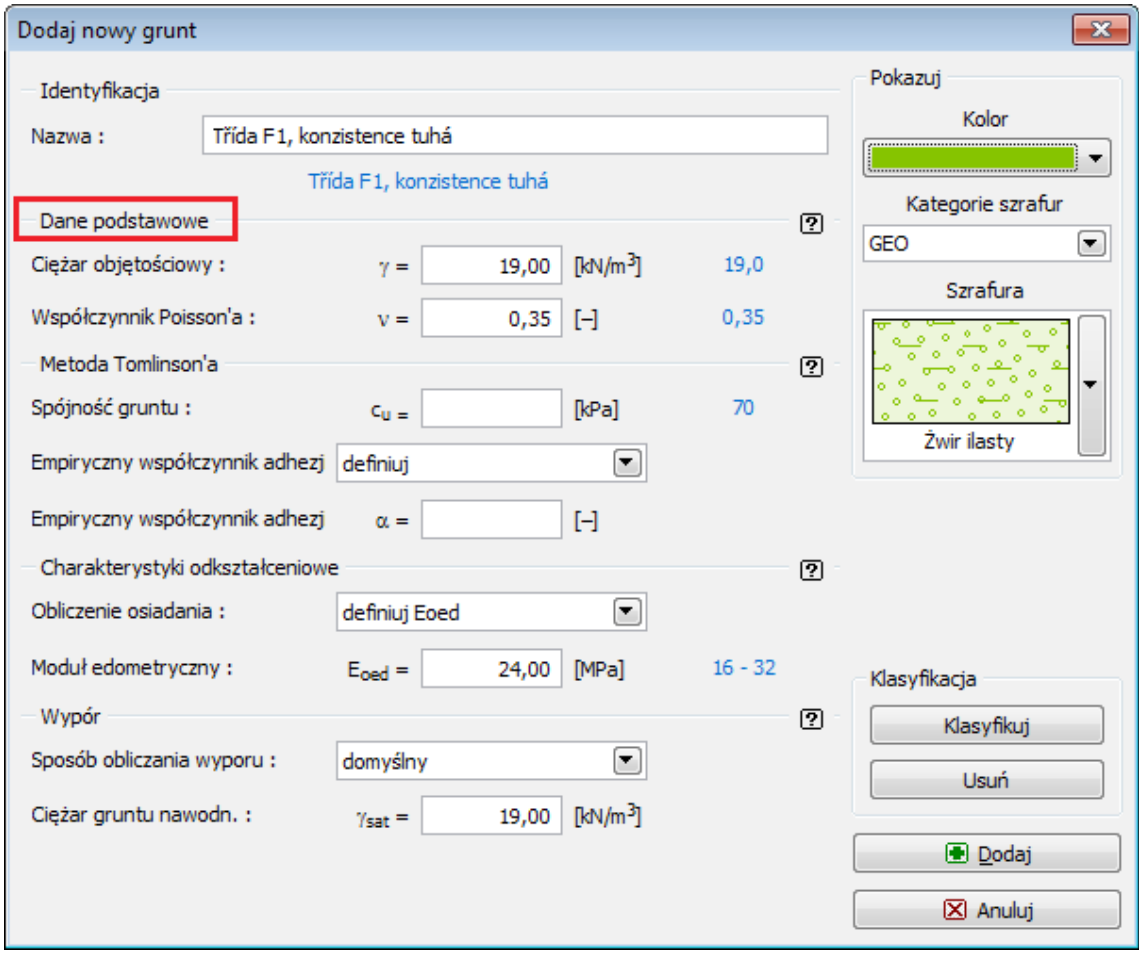
Ta część okna dialogowego służy do definiowania podstawowych parametrów gruntów - **ciężaru objętościowego, kąta tarcia wewnętrznego** oraz **spójności**. Wartości te określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub in-situ dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wartości parametrów gruntów określone na podstawie doświadczenia oraz literatury światowej. Parametry skał nie zostały zawarte w tej bazie, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym.

Definiowanie parametrów w dalszej kolejności zależy od wybranego rodzaju analizy i metody obliczeniowej (określanych w ramce "Ustawienia" i zakładce "Pale").

Rodzaje analizy różnią się następująco:

- **Analiza w warunkach z odpływem:** zwykle stosowane są parametry **efektywne** wytrzymałości gruntu na ścinanie c_{ef}, φ_{ef}. ("CSN 73 1002","Naprężenia efektywne").
- **Analiza w warunkach bez odpływu:** w programie definiowana jest całkowita wytrzymałość na ścinanie gruntu c_u ("Tomlinson").
- **Metoda NAVFAC DM 7.2** : metoda ta łączy powyższe dwa rodzaje analizy. Dla każdej warstwy gruntu definiuje się czy grunt będzie uwzględniany (analizowany) w warunkach z odpływem (niespoisty) czy bez odpływu (spoisty).

Podstawy teoretyczne dotyczące omawianego zaganienia opisano w rozdziale "Analiza pala".

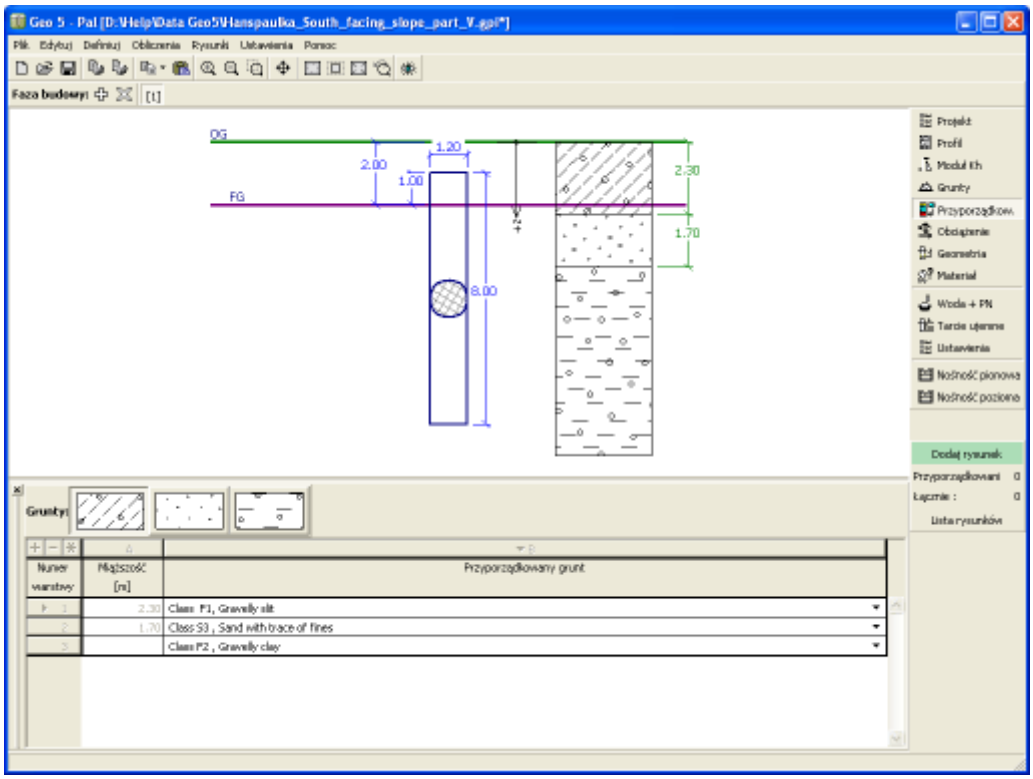


Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów".



Ramka "Przyporządkowanie"

Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych obciążeń. Dodawanie obciążenia wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Siły definiowane są zgodnie z pokazaną w górnej części okna dialogowego konwencją znaków.

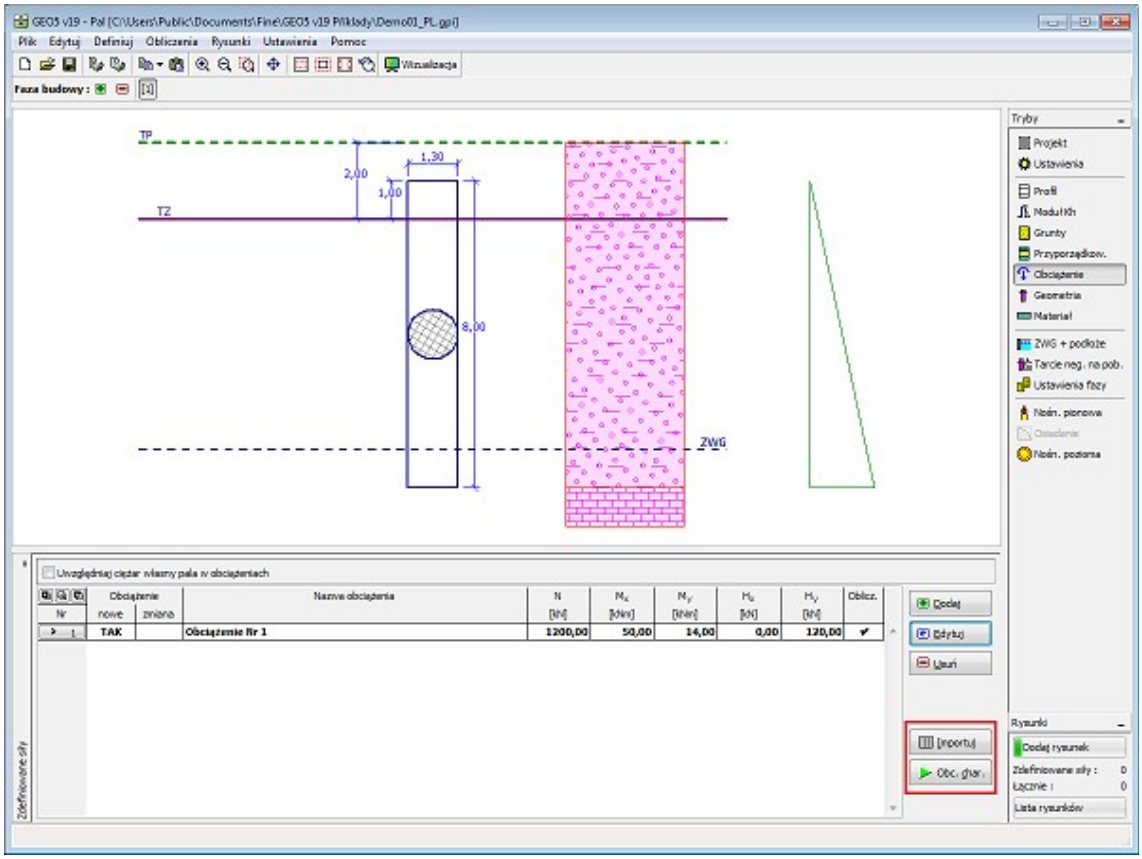
W ramce "Obciążenie" można zdefiniować następujące rodzaje obciążeń:

- obciążenie obliczeniowe służące do sprawdzenia nośności pionowej i poziomej
- obciążenie charakterystyczne słuzące do obliczenia osiadań pala (Poulos, Masopust)

W przypadku prowadzenia analizy według **EN 1997 lub LRFD** (wybieranej w zakładce "Pale") zakłada się, że obciążenie obliczeniowe zostało określone przez projektanta zgodnie z obowiązującymi normami, tzn. że **przed wprowadzeniem do programu** poszczególne składowe obciążenia **były przemnożone** przez odpowiednie współczynniki częściowe - program **w żaden sposób nie modyfikuje** zdefiniowanych przez użytkownika obciążeń.

Program umożliwia wyznaczenie obciążeń charakterystycznych na podstawie wcześniej zdefiniowanych obciążeń obliczeniowych za pomocą przycisku "**Obc. char.**" (dotyczy analizy według współczynnika bezpieczeństwa lub według teorii stanów granicznych).

Program umożliwia również importowanie obciążeń za pomocą przycisku "**Importuj**".



Ramka "Obciążenie"

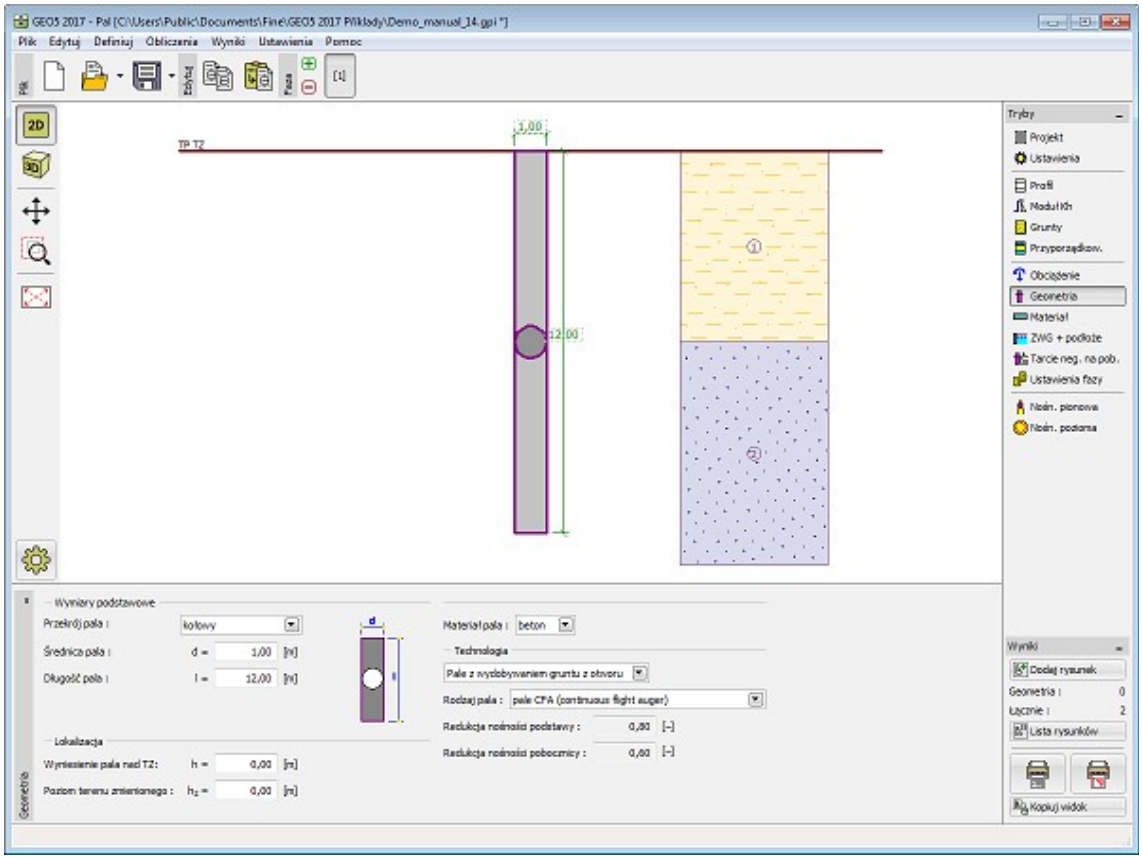
Geometria

Ramka "**Geometria**" umożliwia zdefiniowanie **przekroju pala** (kołowy, kołowy zmienny, rurowy, kwadratowy, prostokątny, I-przekrój, użytkownika).

Następnie, dla zdefiniowanego przekroju pala należy dokonać wyboru materiału (beton, stal, drewno) oraz technologii wykonania (wiercone, wbijane, CFA).

W ramce tej można także określić lokalizację pala (poziom terenu zmodyfikowanego oraz wyniesienie pala nad PTZ). Wyniesienie głowicy pala może być również ujemne - oznacza to, że pal jest zakończony poniżej poziomu terenu zmienionego (docelowego).

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.



Ramka "Geometria"

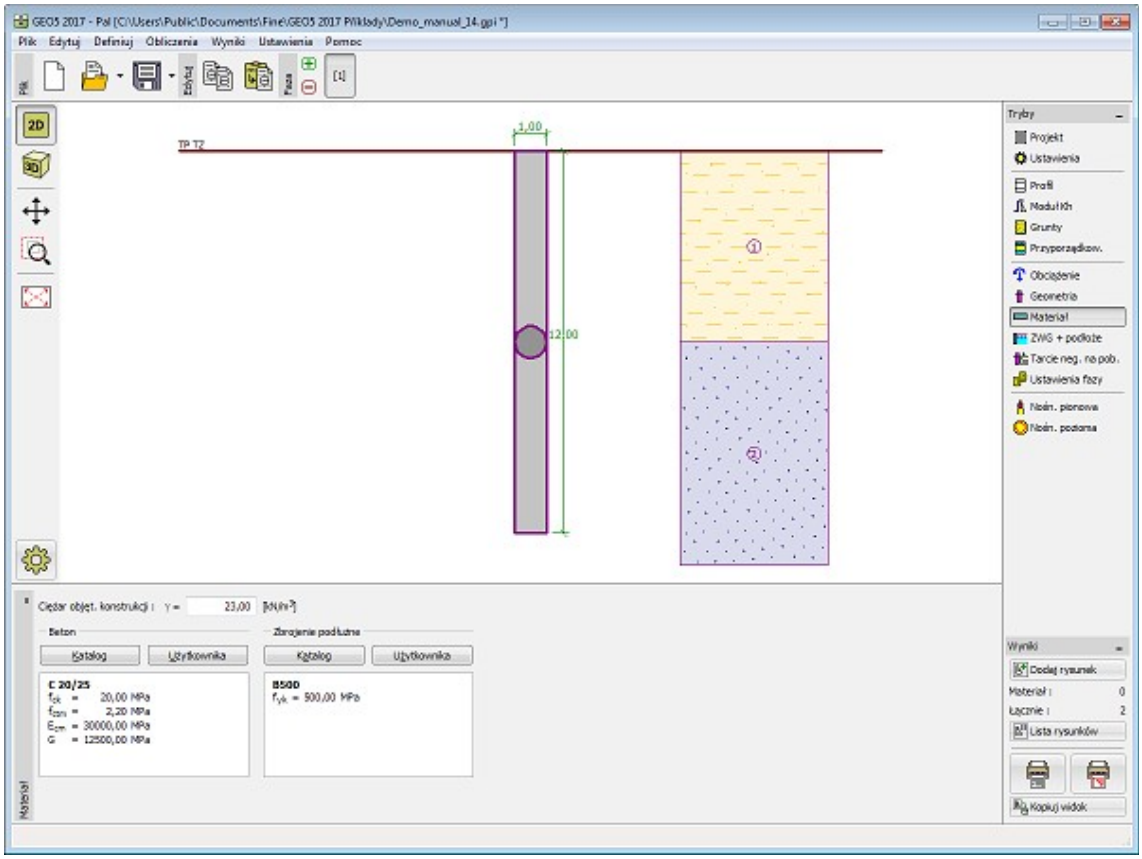
Materiał

Ramka "**Materiał**" umożliwia zdefiniowanie parametrów materiału. **Ciężar objętościowy konstrukcji** oraz materiał pala (**beton, drewno, stal**) definiuje się w polach w górnej części ramki. Wygląd tej ramki jest zmienny i zależy od rodzaju materiału (**beton, stal, drewno**) wybranego w ramce "Geometria".

Dostępne są dwie opcje wyboru rodzaju materiału:

- Przycisk "**Katalog**" otwiera okno dialogowe "**Katalog materiałów**", w którym z zamieszczonej w listy materiałów można dokonać wyboru materiału.
- Przycisk "**Użytkownika**" otwiera okno dialogowe "**Edytor materiału**", które umożliwia ręczne zdefiniowanie parametrów materiału.

Zawartość katalogów zależna jest od wyboru normy do wymiarowania konstrukcji betonowych, stalowych, drewnianych lub plastikowych. Wyboru normy dokonuje się w zakładce "Materiały i normy".



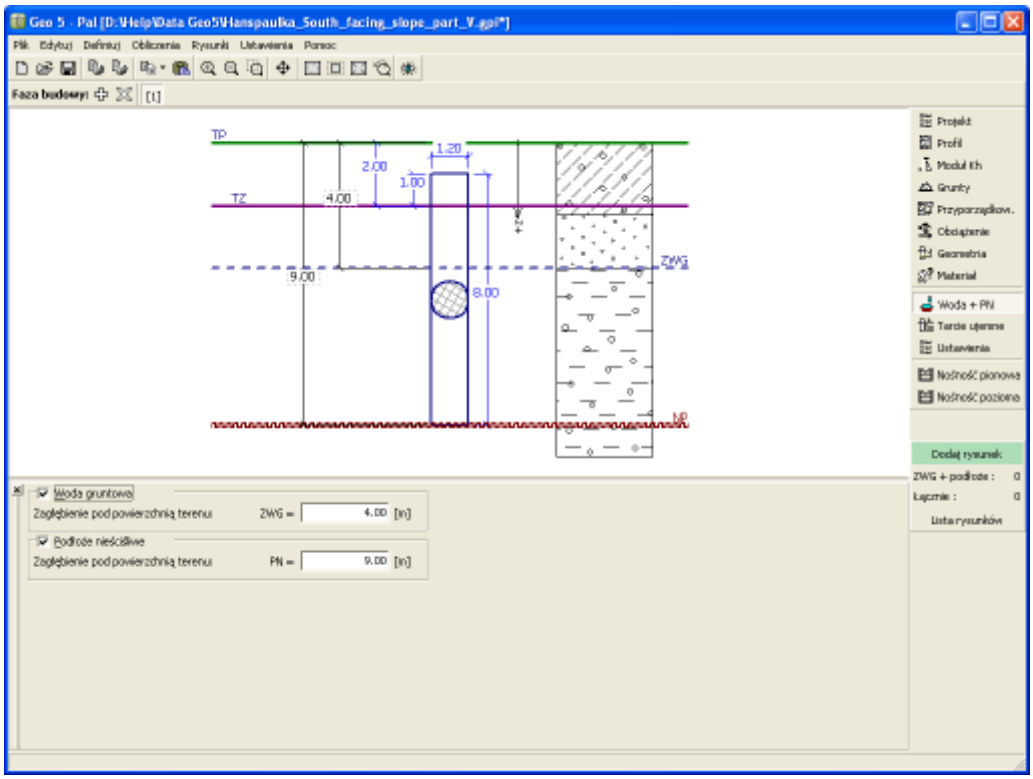
Ramka "Materiał"

Woda, podłoże nieściśliwe

Ramka "**Woda + PN**" służy do określania **głębokości zwierciadła wody gruntowej** oraz poziomu **podłoża nieściśliwego**. Wartości te można edytować w ramce poprzez wstawienie wartości do pól lub na pulpicie za pomocą aktywnych wymiarów.

Zdefiniowanie **ZWG** powoduje zmianę naprężeń geostatycznych w masywie gruntowym.

Podłoże nieściśliwe odcina **głębokość aktywną** pod poziomem fundamentu oraz wpływa na redukcję osiadania.

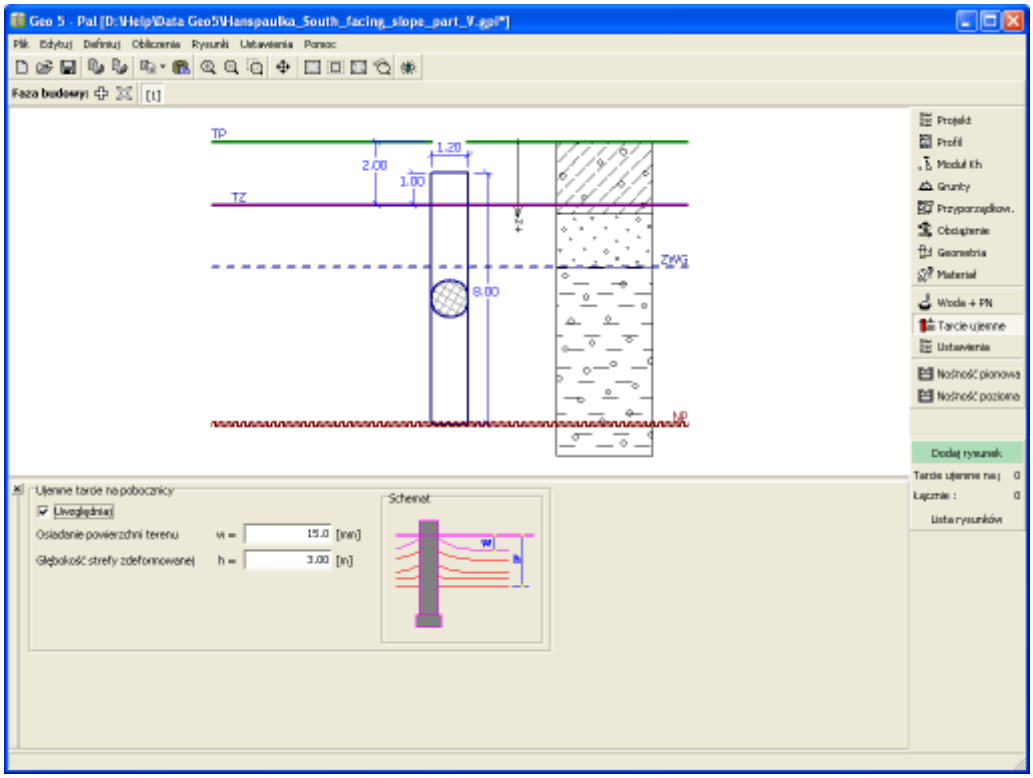


Ramka "Woda, podłoże nieściśliwe"

Tarcie negatywne

Ramka "**Tarcie negatywne**" służy do określenia osiadania terenu otaczającego pal oraz głębokości aktywnej. Szczegółowe informacje na temat wpływu tarcia ujemnego na pobocznicy można znaleźć w części teoretycznej pomocy.

Ramka ta jest aktywna, tylko gdy do obliczeń wybrana została **metoda elementów skończonych** w ramce "Ustawienia".

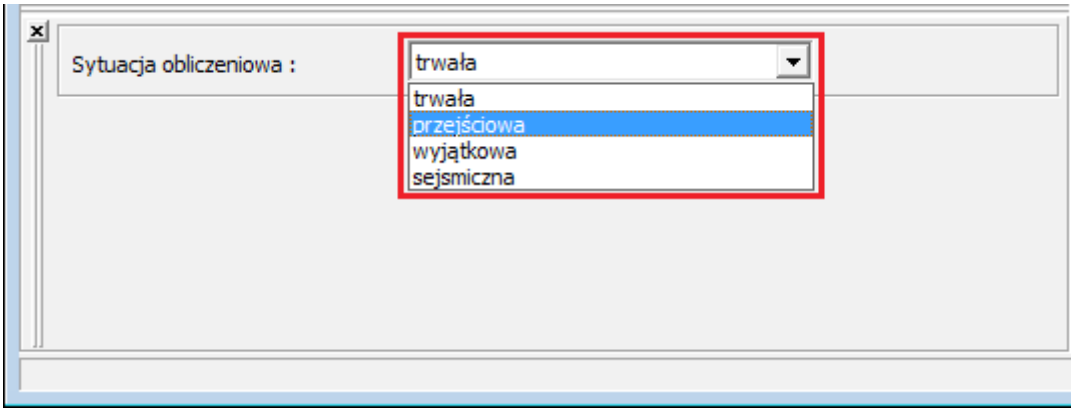


Ramka "Tarcie ujemne"

Ustawienia fazy

Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących tylko wybranej fazy obliczeniowej.

Wybrana sytuacja obliczeniowa określa współczynniki bezpieczeństwa, które będą zastosowane w obliczeniach danej fazy budowy.



Ramka "Ustawienia fazy"

Nośność pionowa - rozwiązanie analityczne

Ramka "**Nośność pionowa**" służy do wyznaczania nośności pionowej pojedynczego pala. Istnieje możliwość wykonania dowolnej liczby obliczeń. Obliczenie można przeprowadzić

dla poszczególnych zdefiniowanych sił lub też program automatycznie wybierze **najbardziej niekorzystne obciążenie** (opcja dostępna na liście rozwijanej zdefiniowanych obciążeń). Układ ramki "**Nośność pionowa**" zmienia się w zależności od ustawień dokonanych w ramce "Ustawienia".

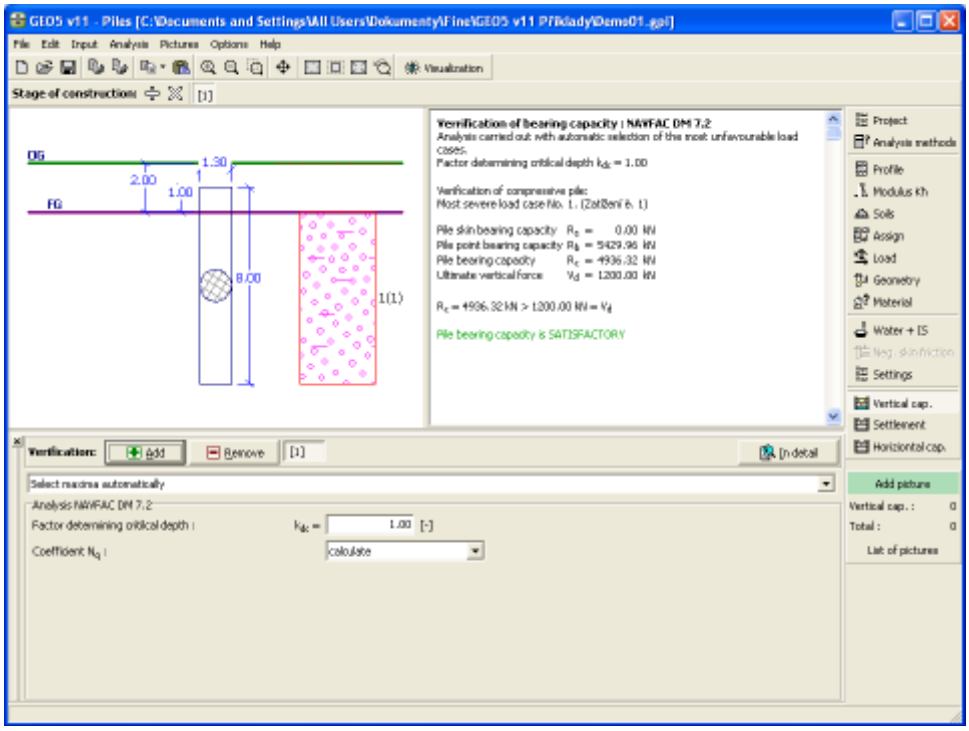
Obliczenia przeprowadzane są z wykorzystaniem teorii obliczeniowych wybranych w zakładce "Pale". Zakładka ta służy do dokonania wyboru metody analizy (EN 1997-1, współczynnik bezpieczeństwa, stany graniczne).

Analiza nośności pionowej pala z wykorzystaniem rozwiązań analitycznych wykonywana jest dla:

- **warunków z odpływem** (CSN 73 1002, Metoda naprężeń efektywnych, NAVFAC DM 7.2)
- **warunków bez odpływu** (Tomlinson, NAVFAC DM 7.2)

Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które prezentuje szczegółowe wyniki obliczeń. Wyniki analizy wyświetlane są w prawej górnej części pulpitu i natychmiast aktualizowane dla dowolnej zmiany wprowadzonych danych bądź ustawień.

Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Nośność pionowa" - obliczenia z zastosowaniem metody klasycznej

Nośność pionowa MES

Ramka "**Nośność pionowa**" umożliwia wykonanie sprawdzenia **nośności pionowej** pala. Analiza jest przeprowadzana automatycznie po przejściu do tej ramki. Istnieje możliwość wykonania dowolnej liczby obliczeń. Obliczenie można przeprowadzić dla poszczególnych zdefiniowanych sił lub też program automatycznie wybierze **najbardziej niekorzystne obciążenie** (opcja dostępna na liście rozwijanej zdefiniowanych obciążeń).

Analiza przeprowadzana jest za pomocą metody elementów skończonych. Wyniki są automatycznie aktualizowane po zmianie jednego z parametrów analizy "**Maksymalne**

osiadanie", "**Współczynnik zwiększania tarcia granicznego na skutek technologii**" lub "**Parametry wyznaczania zasięgu strefy wpływu**".

Dostępne są dwie metody wyznaczania zasięgu strefy wpływu:

- Domyślnie, analiza przeprowadzana jest zgodnie z procedurą opisaną w teoretycznej części pomocy, w rozdziale "Głębokość strefy wpływu". Głębokość strefy wpływu jest k-tą wielokrotnością średnicy pala. Wartość k rośnie od 1 w przypadku zerowego obciążenia do 2,5 przy przekroczeniu nośności granicznej pobocznicy.
- Druga metoda zakłada, że strefa wpływu poniżej podstawy pala oraz na pobocznicy jest przyjmowana konserwatywnie jako k-ta wielokrotność średnicy pala, a wartość k może być wybrana. Podczas zwiększania obciążenia pala wartość k dla zasięgu strefy wpływu na pobocznicy pala jest w sposób ciągły zmieniana od 1 na początku obciążania do określonej wartości przy przekroczeniu nośności granicznej pobocznicy. Wartość k dla zasięgu strefy wplywu poniżej podstawy pala pozostaje stała w toku obliczeń.

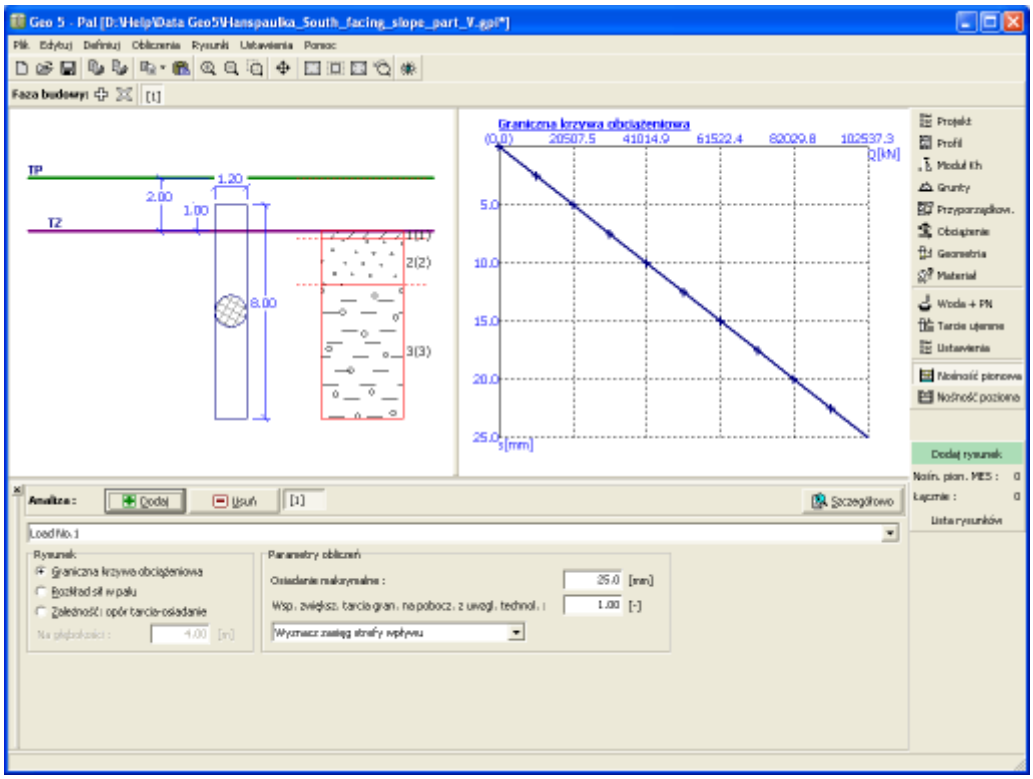
Druga metoda zakłada, że strefa wpływu jest k-tą wielokrotnością średnicy pala. Podczas stopniowego zwiększania obciążenia pala, głębokość aktywna stale zmienia się od zera przy zadanym obciążeniu do k-tej wielokrotności średnicy pala przy przekraczaniu całkowitego obciążenia.

Druga metoda, pierwotnie stosowana w starszej wersji GEO4, z wartością $k = 2{,}5$ zapewnia mniej dokładne wyniki i zazwyczaj niedoszacowuje nośności pala. Dlatego też, nowa opcja, która umożliwia określenie głębokości strefy wpływu przez analizę, została wprowadzona i jest zalecana jako ustawienie domyślne.

Przełączanie pomiędzy wynikami możliwe jest w lewej części ramki (graniczna krzywa obciążeniowa (obciążenie-osiadanie), rozkład sił wewnętrznych w palu, zależność: opór tarcia-osiadanie). Zależność tarcie - osiadanie uzyskiwana jest dla danej głębokości mierzonej od głowicy pala. Wyniki są automatycznie aktualizowane po zmianie głębokości.

Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe zawierające szczegółowe zestawienie wyników obliczeń.

Wyniki analizy są wyświetlane w prawej części pulpit. Wizualizacja wyników może być skonfigurowana w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Nośność pionowa - analiza MES"

Osiadanie - liniowa krzywa obciążenie-osiadanie (Poulos)

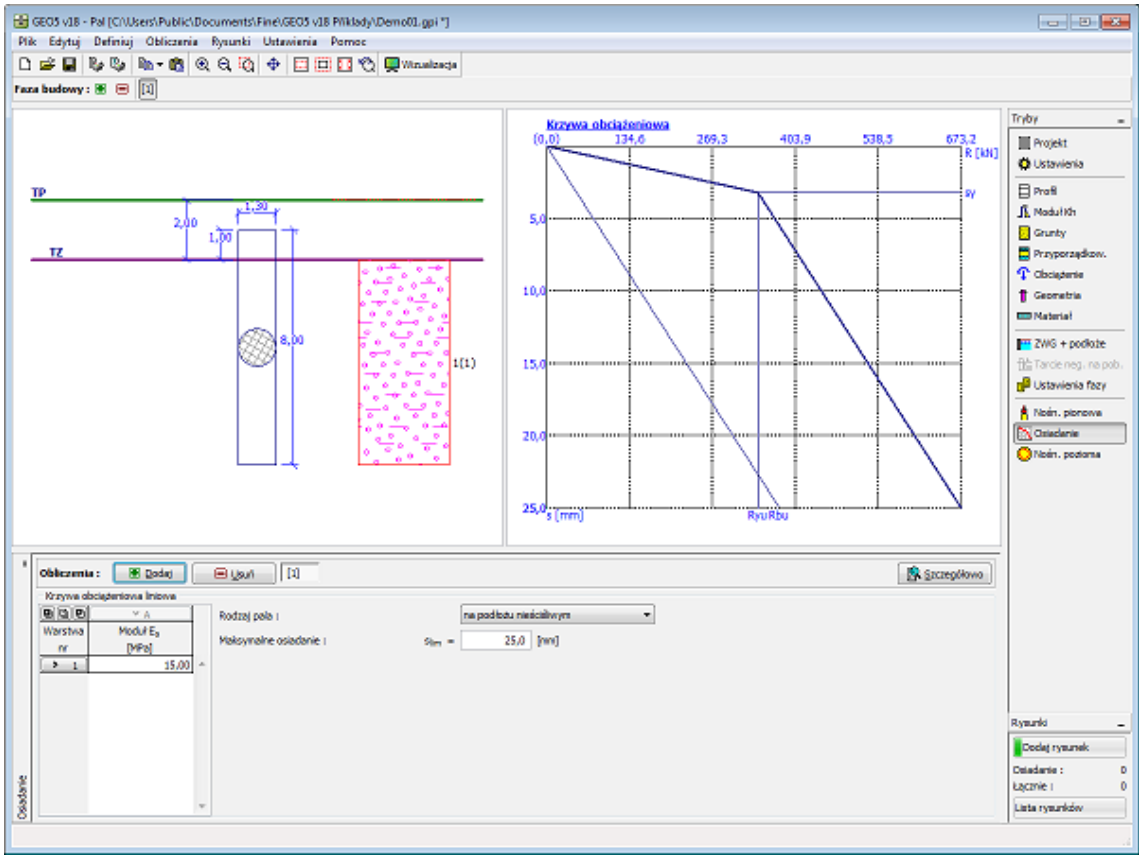
Ramka "**Osiadanie**" służy do wyznaczenia **krzywej obciążeniowej pala** (zależności osiadania od obciążenia). Istnieje możliwość wykonania dowolnej liczby obliczeń.

Przy wyznaczaniu krzywej obciążeniowej konieczne jest przede wszystkim określenie osiadania granicznego. Program **wykreśla krzywą obciążeniową (obciążenie-osiadanie) pala** zawsze w taki sposób, aby **osiadanie graniczne zostało osiągnięte**.

Obliczenia wykonywane są zgodnie z wybraną teorią wyznacznia osiadań (liniowa). Wyboru teorii obliczeniowej należy dokonać w zakładce "Pale". Tablica umieszczona w dolnej części ramki umożliwia bezpośrednie definiowanie wartości siecznego modułu odkształcenia, dla poszczególnych warstw gruntu.

Wyniki analizy wyświetlane są w prawej górnej części pulpitu. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które prezentuje szczegółowe wyniki obliczeń.

Wyniki analizy (krzywa obciążeniowa; obciążenie-osiadanie dla pala) wyświetlane są w prawej górnej części pulpitu. Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Osiadanie" - liniowa krzywa obciążeniowa (obciążenie-osiadanie) pala (Poulos)

Osiadanie - nieliniowa krzywa obciążenie-osiadanie (Masopust)

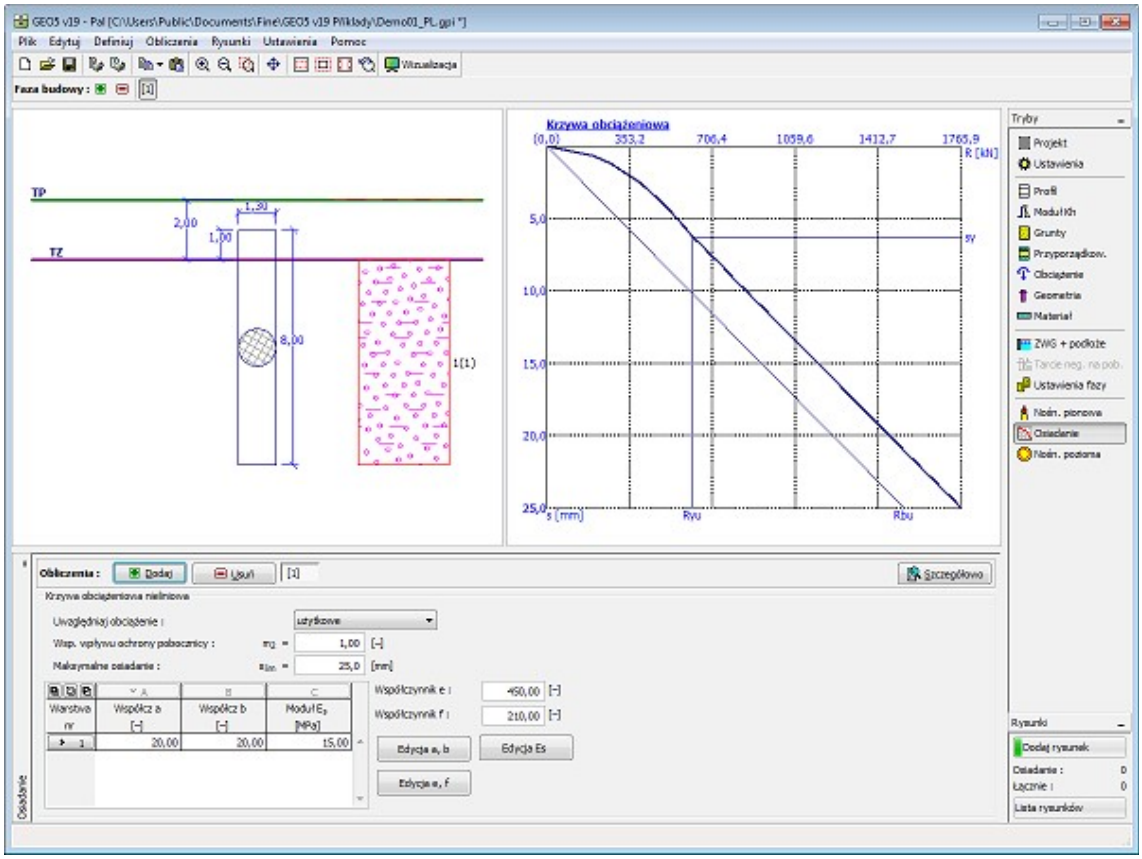
Ramka "**Osiadanie**" służy do wyznaczenia **krzywej obciążeniowej pala** (zależności osiadania od obciążenia). Istnieje możliwość przeprowadzenia dowolnej liczby obliczeń z uwzględnieniem różnych ustawień.

Lista rozwijana umożliwia wybór rodzaju obciążenia (**obliczeniowe, charakterystyczne**). Można również określić współczynnik wpływu ochrony pobocznicy pala. Obliczenia krzywej obciążeniowej pala (wykres obciążenie-osiadanie) są wykonywane zawsze jedynie do **granicznej wartości osiadania wynoszącej** 25 mm.

Obliczenia wykonywane są zgodnie z wybraną teorią wyznacznia osiadań (nieliniowa). Wyboru teorii obliczeniowej należy dokonać w zakładce "Pale". Tablica umieszczona w dolnej części ramki umożliwia bezpośrednią edycję zdefiniowanych parametrów. Przyciski "**Edycja** a, b", "**Edycja** e, f" oraz "**Edycja** E_S" otwierają okna dialogowe zawierające pomoc dotyczącą doboru wartości definiowanych parametrów - współczynnikow regresji oraz siecznego modułu odkształcenia. Kliknięcie przycisku "**OK**" w tym oknie **zachowuje wprowadzone parametry** dla danej warstwy gruntu i zapisuje je w tablicy.

Wyniki analizy wyświetlane są w prawej górnej części pulpitu. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które prezentuje szczegółowe wyniki obliczeń.

Wyniki analizy (krzywa obciążenie-osiadanie dla pala) wyświetlane są w prawej górnej części pulpitu. Wizualizację wyników można skonfigurować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Osiadanie" - nieliniowa krzywa obciążenie-osiadanie pala (Masopust)

Nośność pozioma - podłoże sprężyste

Program wyznacza siły wewnętrzne w palu oraz wymiaruje nośność przekroju (betonowego, stalowego lub drewnianego).

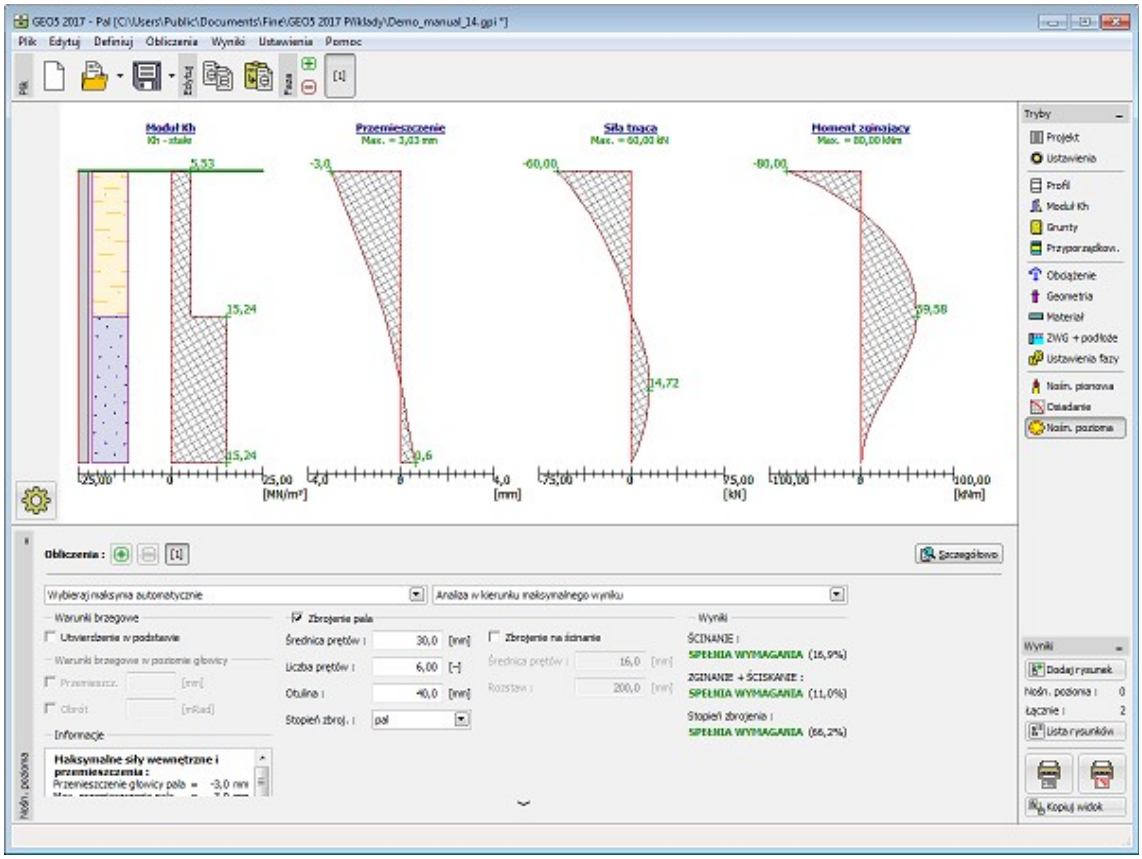
Siły wewnętrzne mogą być wyznaczane dla następujących rodzajów obciążeń:

- poszczególnych zdefiniowanych obciążeń
- obciążenia przemieszczeniowego
- najbardziej niekorzystnego obciążenia

W przypadku obciążenia typu przemieszczeniowego konieczne jest zdefiniowanie **warunków brzegowych w poziomie głowicy pala** (przemieszczenie i obrót).

Warunek brzegowy typu **utwierdzenie w podstawie pala** może być zdefiniowany dla wszystkich rodzajów obciążeń.

Dodatkowo, lista rozwijana umożliwia wybór kierunku, w ktorym pal będzie wymiarowany (x, y lub w najbardziej obciążonym kierunku).



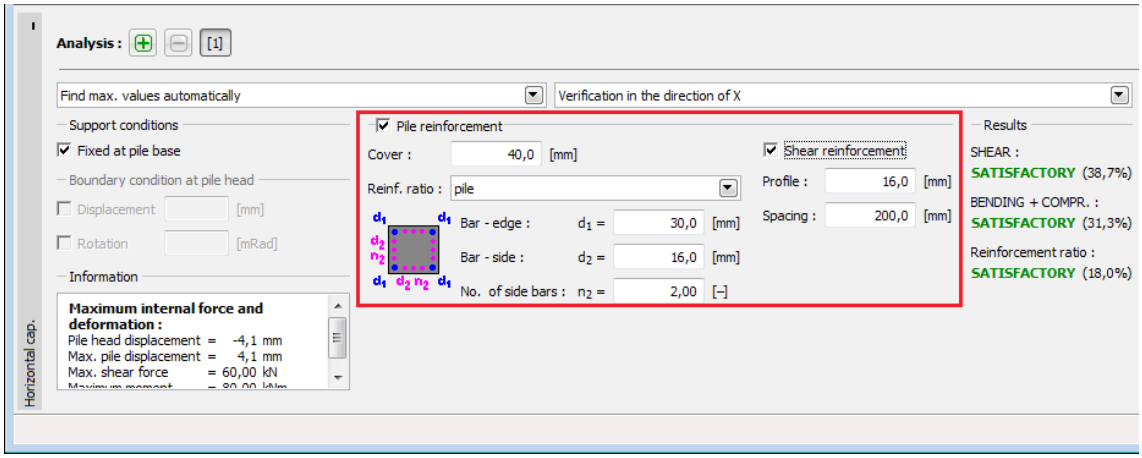
Ramka "Nośność pozioma" - Podłoże sprężyste

Program przeprowadza wymiarowanie nośności pala odpowiednio dla zdefiniowanego przekroju oraz materiału. (Wyboru przekroju oraz materiału pala dokonuje się w ramce "Geometria".). W wyjątkowych przypadkach (przekrój własny zdefiniowany przez użytkownika, rury betonowe) wyświetlane są wyznaczone siły wewnętrzne i przemieszczenia, natomiast wymiarowanie nie może być przeprowadzone.

Żelbet

Program wymiaruje zbrojenie na podstawie norm wybranych w zakładce "Materiały i normy". Sprawdzane są trzy warunki: **ścinanie**, **zginanie ze ściskaniem** oraz **stopień zbrojenia**. Zbrojenie definiuje się po wybraniu opcji (zaznaczeniu pola wyboru) "**Zbrojenie pala**".

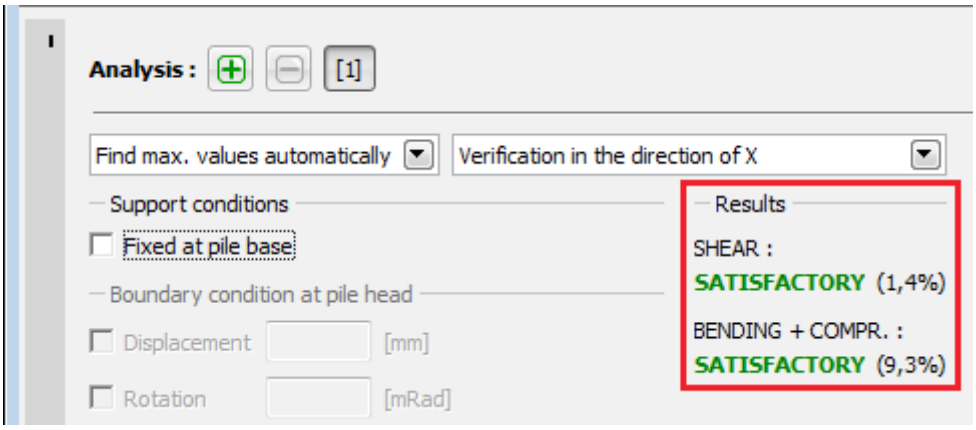
W przypadku pali kołowych należy zdefiniować **średnicę prętów, liczbę prętów oraz otulinę**. Sposób definiowania zbrojenia pali kwadratowych pokazany jest na rysunku poniżej.



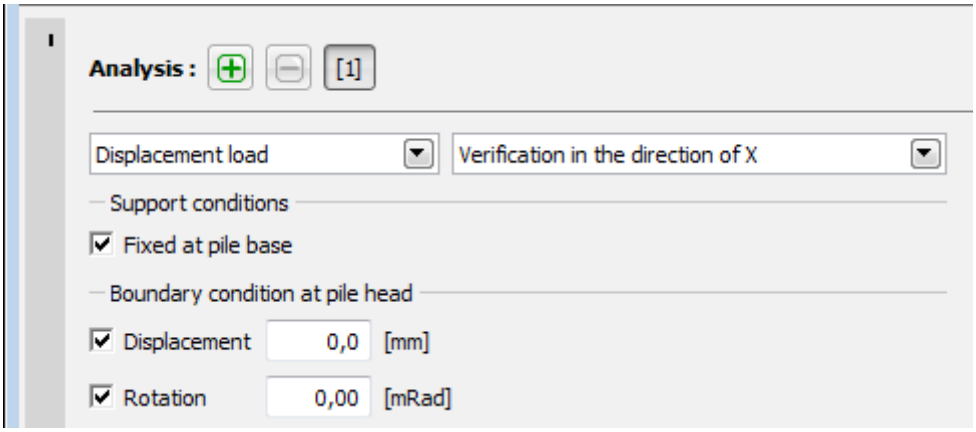
Wymiarowanie pali żelbetowych - definiowanie parametrów zbrojenia

Stal, drewno

W przypadku pali stalowych i drewnianych sprawdzane są następujące warunki **ścinanie oraz zginanie ze ściskaniem.**



Sprawdzenie ścinania oraz zginania ze ściskaniem



Nie wykonane wymiarowanie pala

Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe zawierające szczegółowe zestawienie wyników obliczeń. Wyniki analizy są wyświetlane w prawej części pulpitu. Sposób wizualizacji wyników może być skonfigurowany w ramce "Konfiguracja rysunku".

Nośność pozioma - metoda Bromsa

Nośność pozioma pala sprawdzana jest w ramce "**Nośność pozioma**". Istnieje możliwość wykonania dowolnej liczby obliczeń. Obliczenie można przeprowadzić dla poszczególnych zdefiniowanych obciążeń, w tym także obciążenia przemieszczeniowego lub też program automatycznie wybierze **najbardziej niekorzystne obciążenie** (opcja dostępna na liście rozwijanej zdefiniowanych obciążeń). Przy definiowaniu obciążenia przemieszczeniowego niezbędne jest określenie **warunków brzegowych w poziomie głowicy pala** (przemieszczenie i obrót).

Dla **pali żelbetowych**, program wymaga zdefiniowania **średnicy i liczby prętów zbrojeniowych oraz grubości otuliny zbrojenia**, które decydują o sztywności pala na zginanie.

Parametrami wejściowymi do obliczeń nośności poziomej pala są **charakterystyki materiałowe pala** (moduł sprężystości oraz wytrzymałość danego materiału), **geometria pala** (długość pala l oraz jego średnica d) a także oczywiście **obciążenie pala** siłą tnącą i momentem zginającym.

W przypadku prowadzenia obliczeń z zastosowaniem **metody Bromsa** program pomija zdefiniowane wcześniej warstwy gruntu i sprawdza nośność poziomą pojedynczego pala wyłącznie dla gruntu zdefiniowanego w ramce "**Nośność pozioma**". Parametry gruntu dla tego obliczenia definiowane są odpowiednio dla różnych **rodzajów gruntu**:

- **spoiste** - należy zdefiniować spójność całkowitą bez odpływu c_u, moduł rekacji podłoża k_h, współczynnik nośności przekroju γ_k oraz współczynnik redukcji nośności γ_{Qu}.
- **niespoiste** - wymagane jest zdefiniowanie efektywnego kąta tarcia wewnętrznego gruntu φ, ciężaru objętościowego gruntu γ a także współczynnika reakcji podłoża n_h, współczynnika nośności przekroju γ_k oraz współczynnika redukcji nośności γ_{Qu}.

W dalszej części ramki istnieje możliwość zdefiniowania **kryteriów typu pala**:

- **domyślny** - w tym przypadku współczynnik sztywności pala $\beta*l$ lub odpowiednio $\eta*l$ wyznaczany jest przez program automatycznie.
- **użytkownika** - opcja ta pozwala użytkownikowi na własne zdefiniowanie współczynnika sztywności pala $\beta*l$ lub odpowiednio $\eta*l$ w celu sprawdzenia zarówno pali krótkich jak i średniej długości.

Sposób pracy **głowicy pala** może być zdefiniowany dwojako:

- **swobodna** - obrót głowicy pala nie jest ograniczony
- **utwierdzona** - obrót głowicy pala jest wówczas zablokowany. Są to zwykle przypadki pali pracujących w grupie.

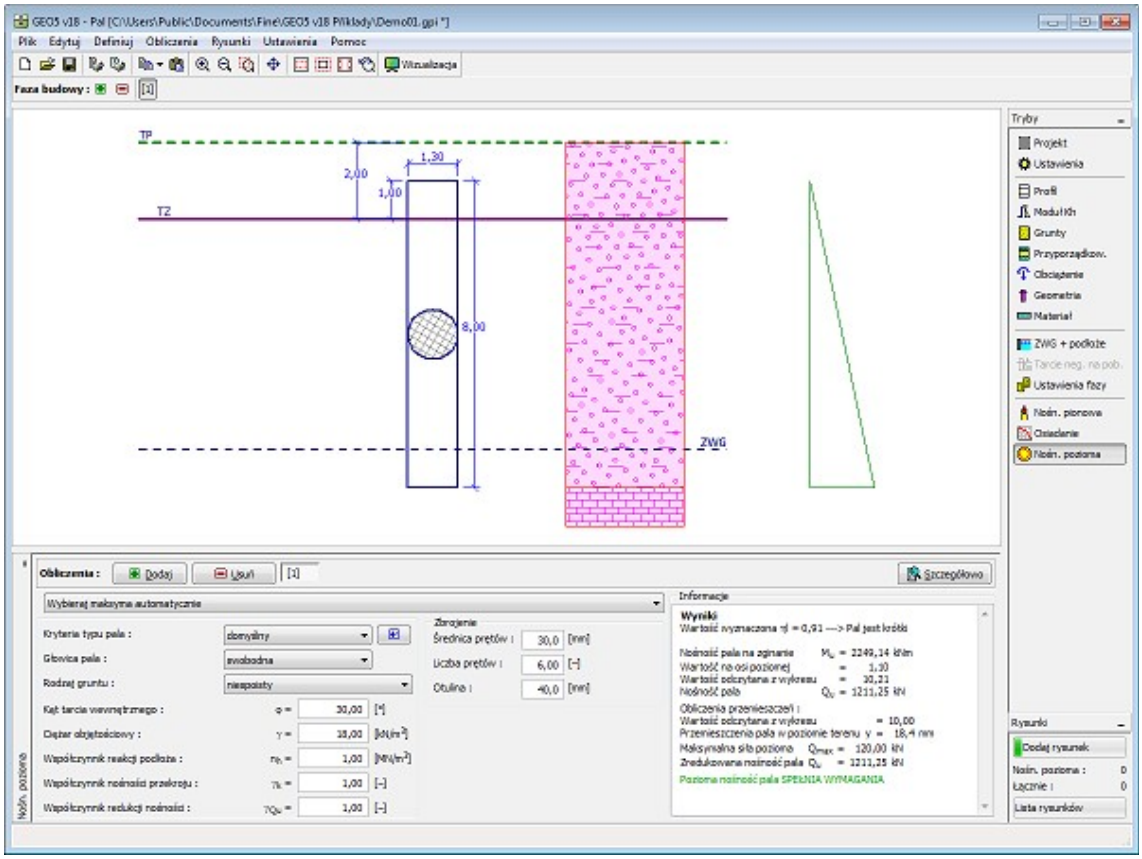
Współczynnik redukcji nośności przekroju γ_k służy do redukowania nośności giętnej M_u.

Współczynnik redukcji nośności γ_{Qu} pozwala zredukować całkowitą wartość nośności poziomej pojedynczego pala Q_u.

Wynikiem przeprowadzonej analizy jest hnośność pozioma pojedycznego pala Q_u oraz wartość przemieszczenia pala w poziomie terenu u.

Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe zawierające szczegółowe zestawienie wyników obliczeń.

Wyniki analizy są wyświetlane w prawej części pulpitu. Sposób wizualizacji wyników może być skonfigurowany w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Nośność pozioma" - metoda Bromsa

Program Pal CPT

Program ten służy do analizy nośności pionowej i osiadania pojedynczych pali lub grupy pali, z wykorzystaniem wyników sondowań statycznych (CPT).

Pomoc w programie "Pal CPT" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

  Projekt Ustawienia Badania CPT ZWG+NSF Klasyfikacja gruntów Profil Grunty

  Przyporządkowanie Konstrukcja Geometria Nośność Osiadanie

- Normy i metody obliczeniowe

- Teoria obliczeniowa do programu "**Pal CPT**":

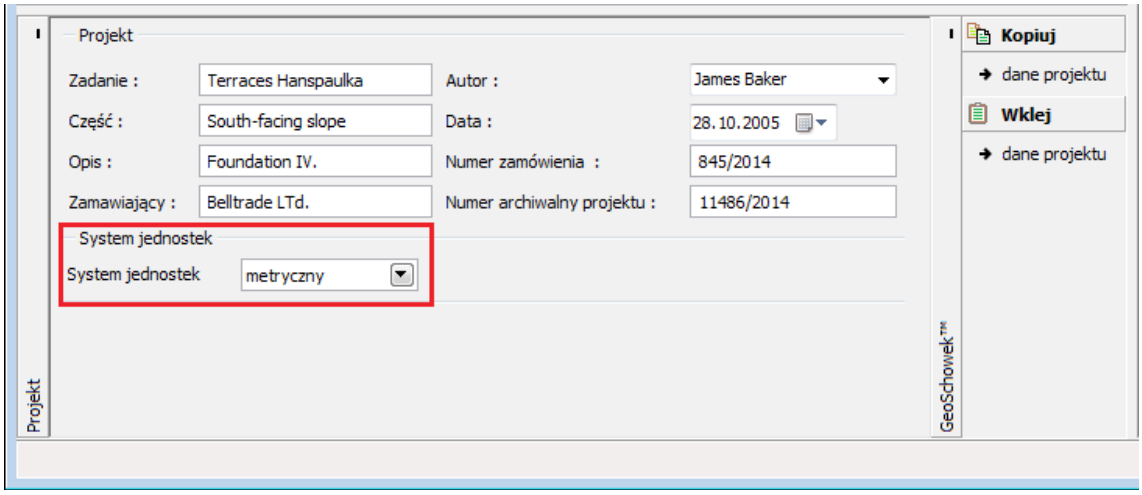
  Naprężenia w gruncie Pal CPT

- Dane wyjściowe
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**Definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładce "Pale CPT".

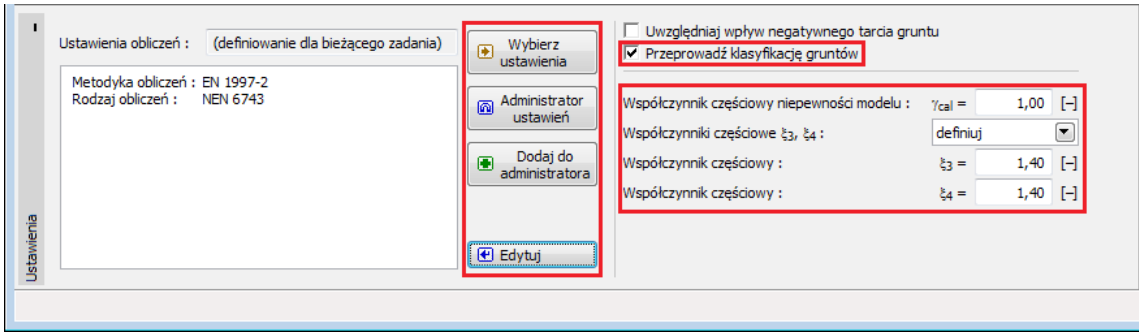
W ramce "Ustawienia" można również wybrać opcję wprowadzenia do obliczeń negatywnego tarcia gruntu. Parametry negatywnego tarcia gruntu definiuje się następnie w ramce "ZWG+NSF".

Ramka ta umożliwia również wprowadzenie typu zachowania gruntu (SBT) - klasyfikacji gruntów, która przeprowadzana jest w ramce "Klasyfikacja gruntów".

W przypadku, gdy obliczenia wykonywane są **według EN 1997**, należy także zdefiniować dodatkowe współczynniki częściowe:

Współczynnik częściowy niepewności modelu γ_{cal} redukuje nośność pionową pojedynczego pala.

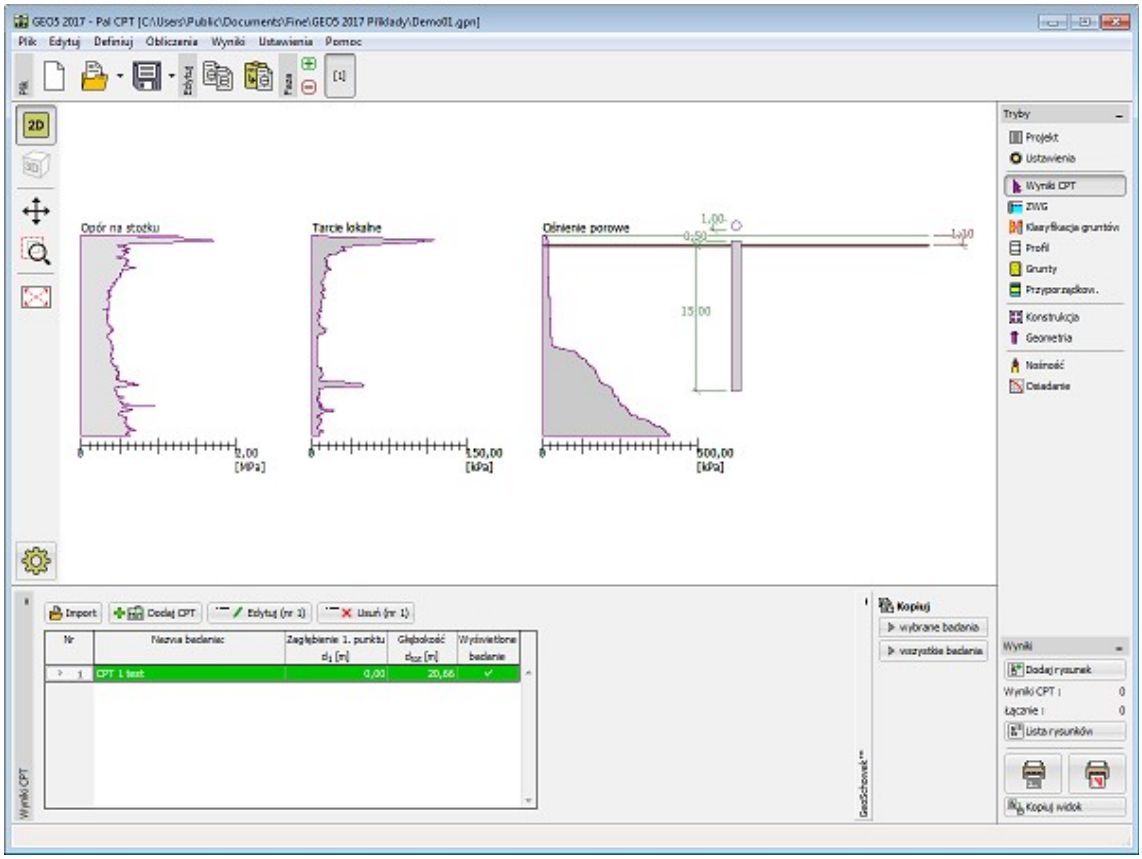
Współczynniki częściowe ξ_3 oraz ξ_4 mogą być definiowane przez użytkownika lub też program może przyjąć wartości domyślne wynikające z liczby wykonanych badań CPT.



Ramka "Ustawienia"

Badania CPT

Ramka "**Badania CPT**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych sondowań statycznych CPT.



Ramka "Wyniki CPT"

Wyniki sondowań statycznych (CPT) można importować do programu wstawiając pliki w różnych formatach (np. ***.TXT**, ***.CPT**, ***.GEF, *.AGS**).

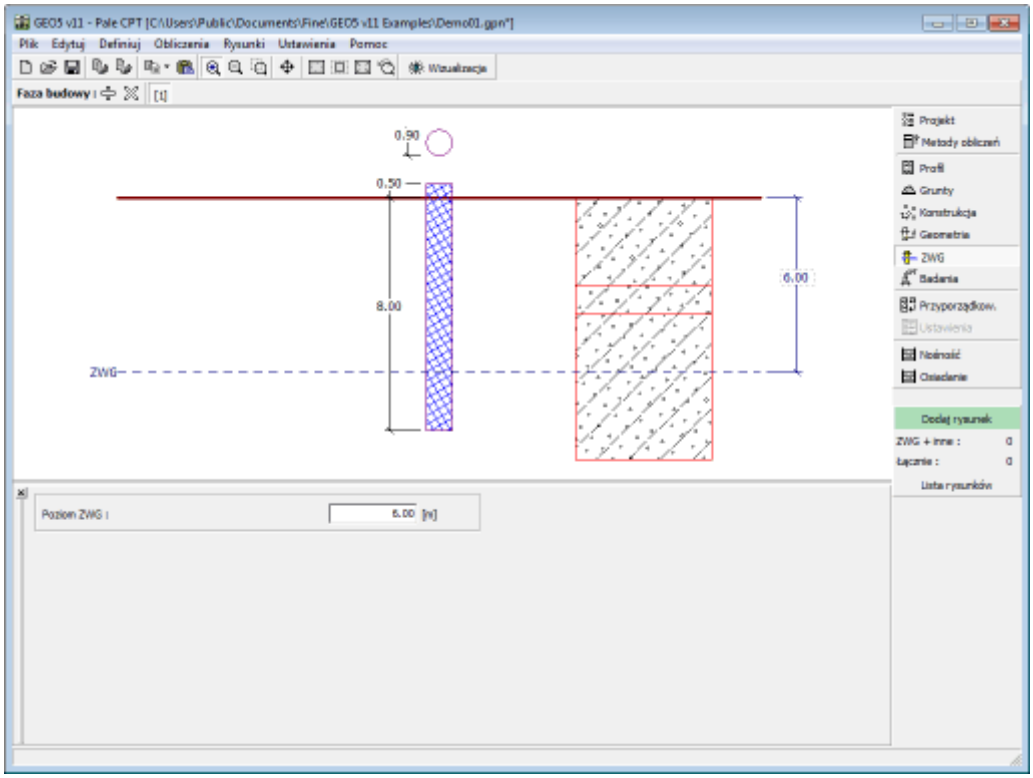
Dane badań CPT można kopiować pomiędzy programami "**Pal CPT**", "**Fundamenty bezpośrednie CPT**", oraz "**Stratygrafia 3D**" poprzez "GeoSchowek".

ZWG + NSF

Ramka "**ZWG**" ("**ZWG + NSF**") służy do definiowania **głębokości zwierciadła wód podziemnych** i położenia **podłoża nieściśliwego**.

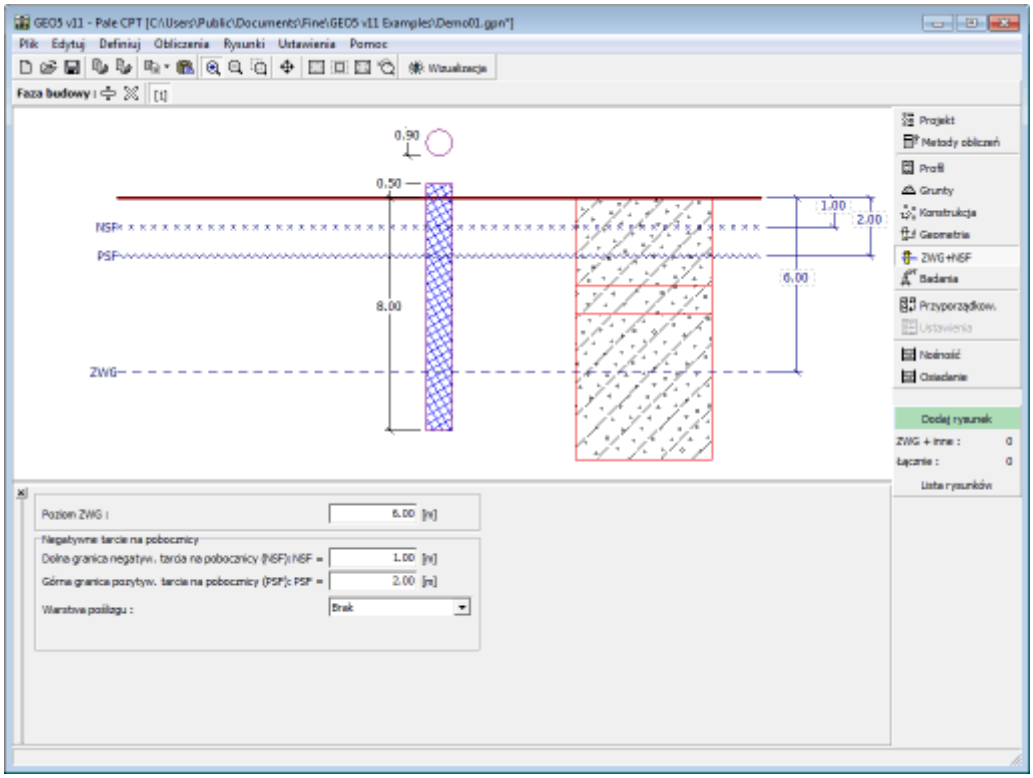
Wartości poszczególne można edytować w odpowiednich polach umieszczonych w ramce, albo na ekranie za pomocą wymiarów aktywnych. Zdefiniowanie **ZWG** powoduje zmianę naprężeń geostatycznych w masywie gruntowym.

Podłoże nieściśliwe odizolowuje **strefę wpływu** poniżej fundamentu. Wpływa również na zmniejszenie osiadania.



Ramka "ZWG" - bez wpływu NSF

Zaznaczenie opcji "**Uwzględniaj wpływ negatywnego tarcia na pobocznicy**" w ramce "Ustawienia" pozwala na wprowadzenie parametrów negatywnego tarcia na pobocznicy za pomocą ramki "**ZWG + NSF**" - granic obszaru, w którym uwzględniamy wpływ negatywnego tarcia na pobocznicy lub warstwy poślizgu wraz z materiałem i wartością spójności.



Ramka "ZWG" - z uwzględnieniem wpływu NSF

Klasyfikacja gruntów

Klasyfikacja gruntów według Robertsona (1986 lub 2010) pozwala określić typ sposobu zachowania gruntu (SBT) oraz inne parametry bezpośrednio na podstawie badania CPT - definiowanie parametrów gruntów jest wówczas zbędne. Zalecamy jednak sprawdzenie wygenerowanych parametrów gruntu przed wykonaniem obliczeń.

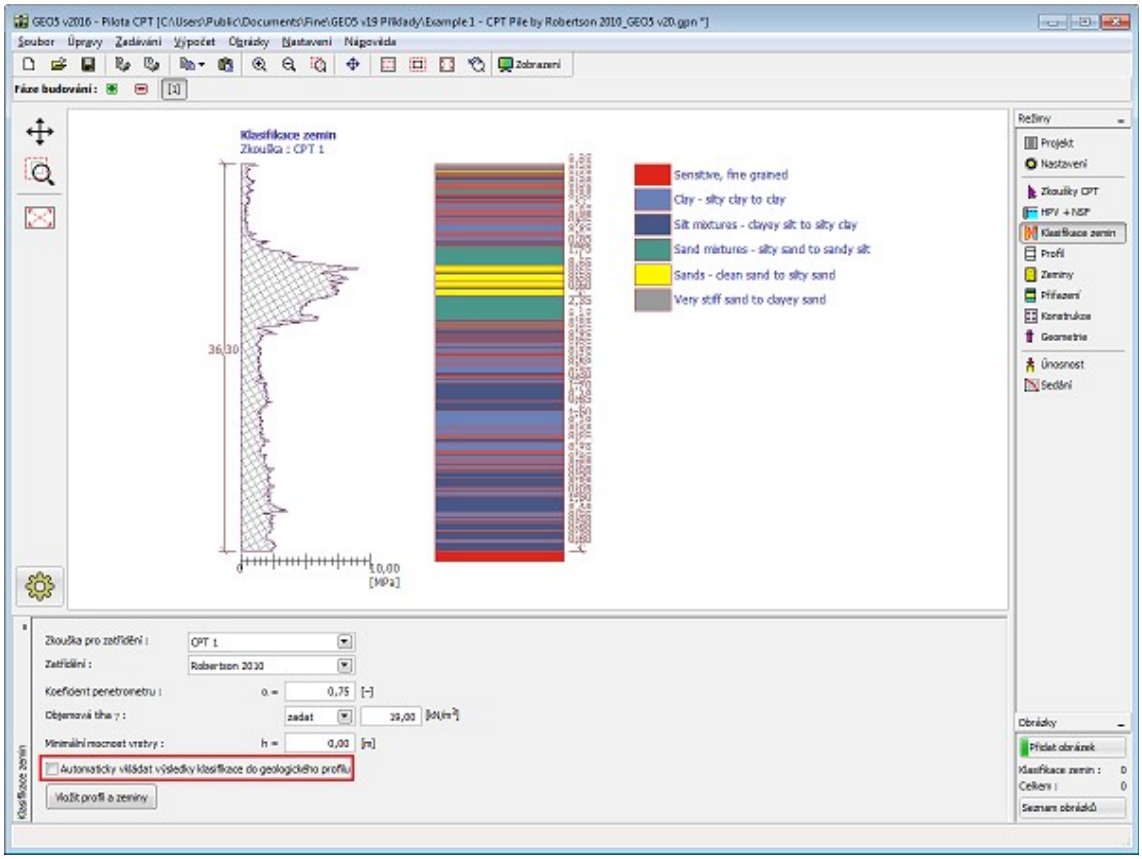
W ramce "**Klasyfikacja gruntów**" wybrane jest **badanie do klasyfikacji** (zdefiniowane w ramce "Badania CPT"). Klasyfikacja gruntów wykonywana jest według Robertsona (1986 lub 2010).

Ramka ta służy do definiowania współczynnika powierzchni netto penetrometru α [-].

Istnieje możliwość zdefiniowania jednakowego ciężaru objętościowego gruntu γ dla wszystkich warstw lub może on być automatycznie wyznaczony na podstawie badań CPT (dla każdej warstwy osobno). W ramce należy także zdefiniować minimalną miąższość warstwy gruntu h. Wartość ta wpływa na rozkład oraz liczbę poszczególnych warstw gruntu w profilu geologicznym analizowanego zadania.

Wybór opcji "**Wstawiaj automatycznie wyniki klasyfikacji gruntów do profilu geologicznego**" powoduje automatyczne przyporządkowanie wygenerowanego profilu do bieżącego zadania (przy zmianie dowolnych danych w ramce).

W przypadku deaktywacji powyższej opcji należy ręcznie przyporządkować grunty do profilu wciskając przycisk "**Wstaw profil i grunty**".



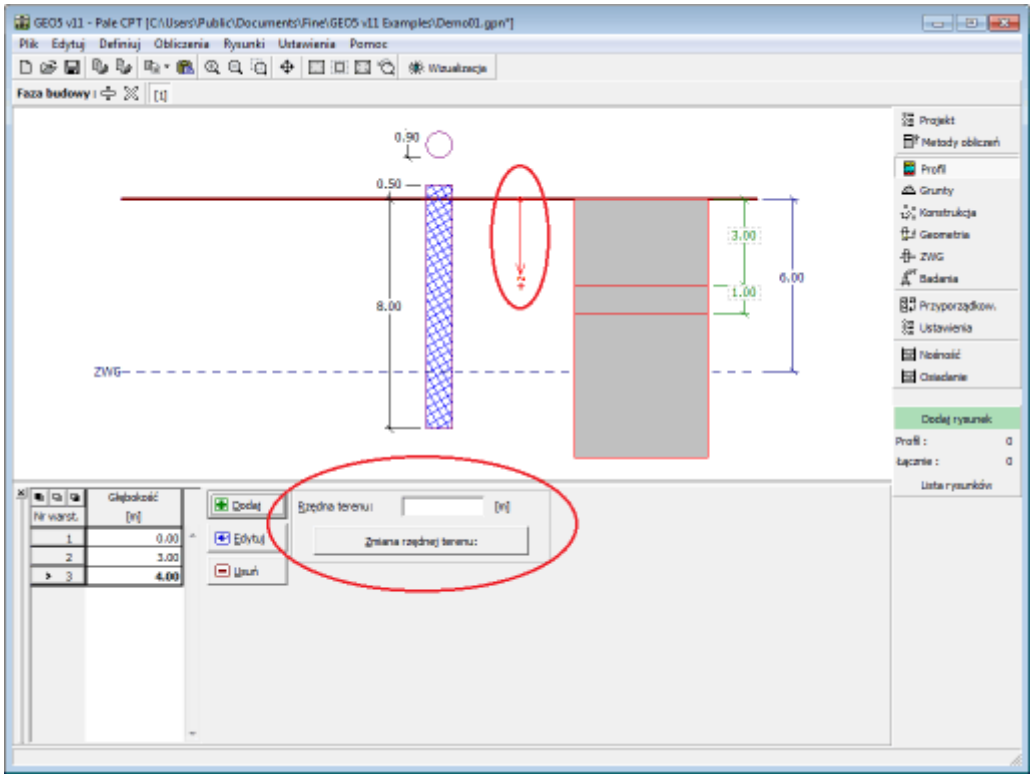
Ramka "Klasyfikacja gruntów"

Profil

Ramka "**Profil**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych warstw. Po zdefinowaniu poszczególnych warstw można edytować ich miąższość za pomocą aktywnych wymiarów.

Dodawanie warstw wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowa warstwa**". Definiowana jest rzędna z mierzona od górnego punktu konstrukcji (oś-z).

Program umożliwia obniżenie lub podniesienie górnego punktu konstrukcji w oknie dialogowym "**Zmiana rzędnej terenu**", a zdefiniowane warstwy będą wówczas przesunięte, jednocześnie zachowując swoją miąższość. Funkcja ta jest istotna podczas kopiowania profilu z programu "**Teren**".



Ramka "Profil"

Grunty

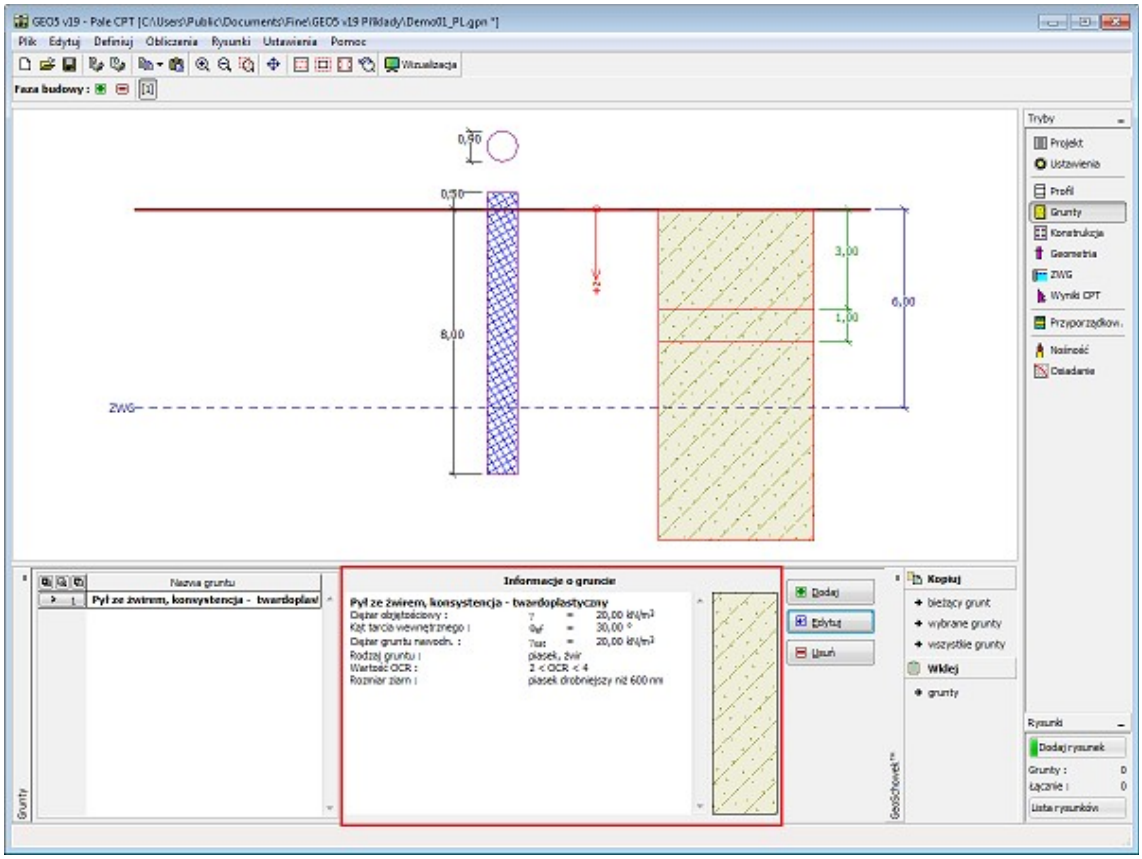
Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie (edycja) gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Dane podstawowe" oraz "Naprężenie geostatyczne, wypór".

Parametry te zależą od teorii obliczeniowej zdefiniowanej w zakładce "Pale CPT".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



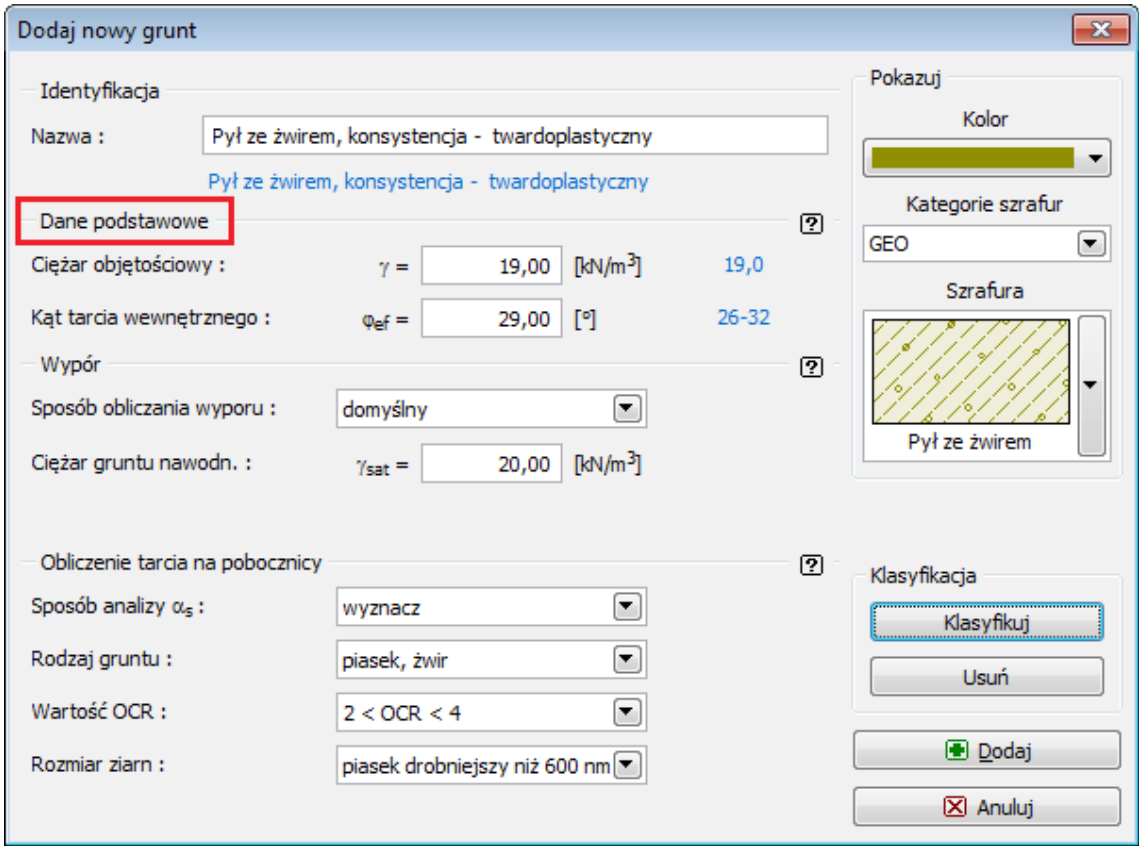
Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

Ta część okna dialogowego służy do definiowania podstawowych parametrów gruntów - **ciężaru objętościowego, kąta tarcia wewnętrznego** oraz **spójności**. Wartości te określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub in-situ dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wartości parametrów gruntów określone na podstawie doświadczenia oraz literatury światowej. Parametry skał nie zostały zawarte w tej bazie, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym.

Podstawy teoretyczne dotyczące omawianego zaganienia opisano w rozdziale "Obliczenia programie Pale CPT".

Do obliczeń nośności pobocznicy według EN 1997-2, NEN 6743 oraz LCPC (Bustamante) należy następnie określić współczynnik redukcji tarcia na pobocznicy α_s. Dla gruntów grubo ziarnistych - **piasków** oraz **żwirów** istnieje także konieczność zdefiniowania wartości wskaźnika prekonsolidacji (OCR) oraz rozmiaru ziarn.

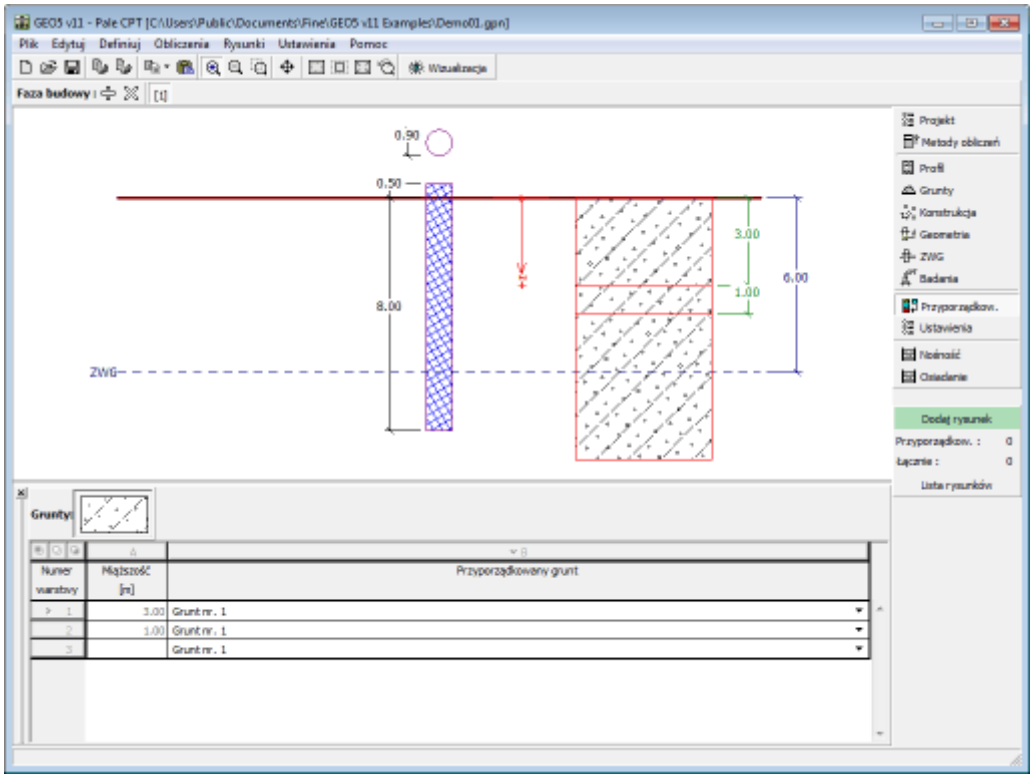


Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów"**.**

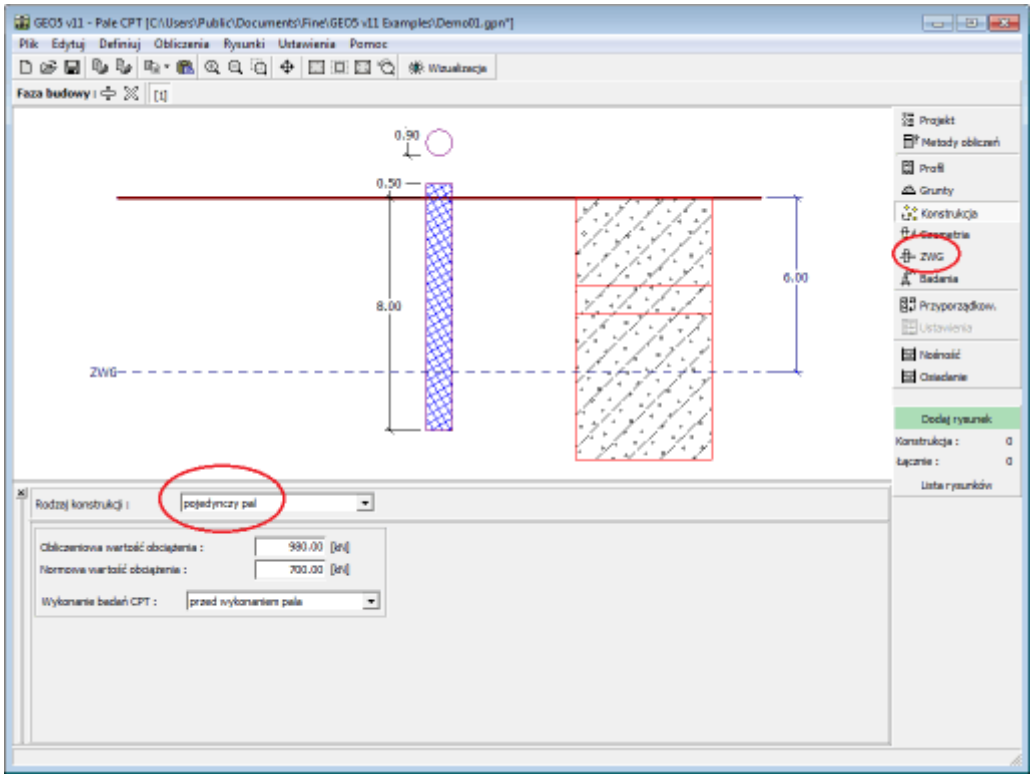


Ramka "Przyporządkowanie"

Konstrukcja

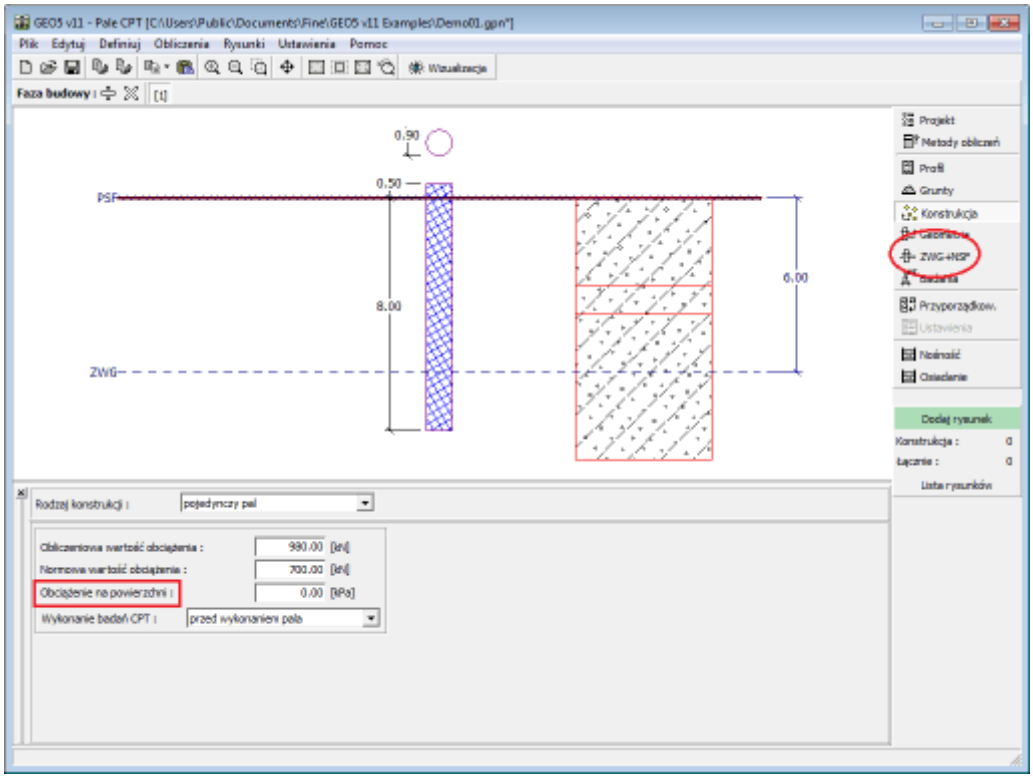
Ramka **"Konstrukcja"** służy do dokonania wyboru rodzaju konstrukcji - pal pojedynczy lub groupa pali. W ramce tej definiuje się także wartości obciążeń pali - obliczeniowe oraz normowe. Wartość obliczeniowa obciążeń wykorzystywana jest do wyznaczania nośności pali, a wartość normowa do wyznaczania osiadań. W przypadku wykonywania obliczeń zgodnie z NEN obydwa rodzaje obciążenia są uwzględniane (stan 1B i 2).

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.



Ramka "Konstrukcja" - pojedynczy pal

Jeśli w ramce "Ustawienia" zaznaczona jest opcja **"Uwzględniaj wpływ negatywnego tarcia gruntu" (NSF)**, wówczas w ramce "Konstrukcja" można również zdefiniować wartość **obciążenia na powierzchni,** a w ramce "ZWG+NSF" dalsze parametry tarcia negatywnego.

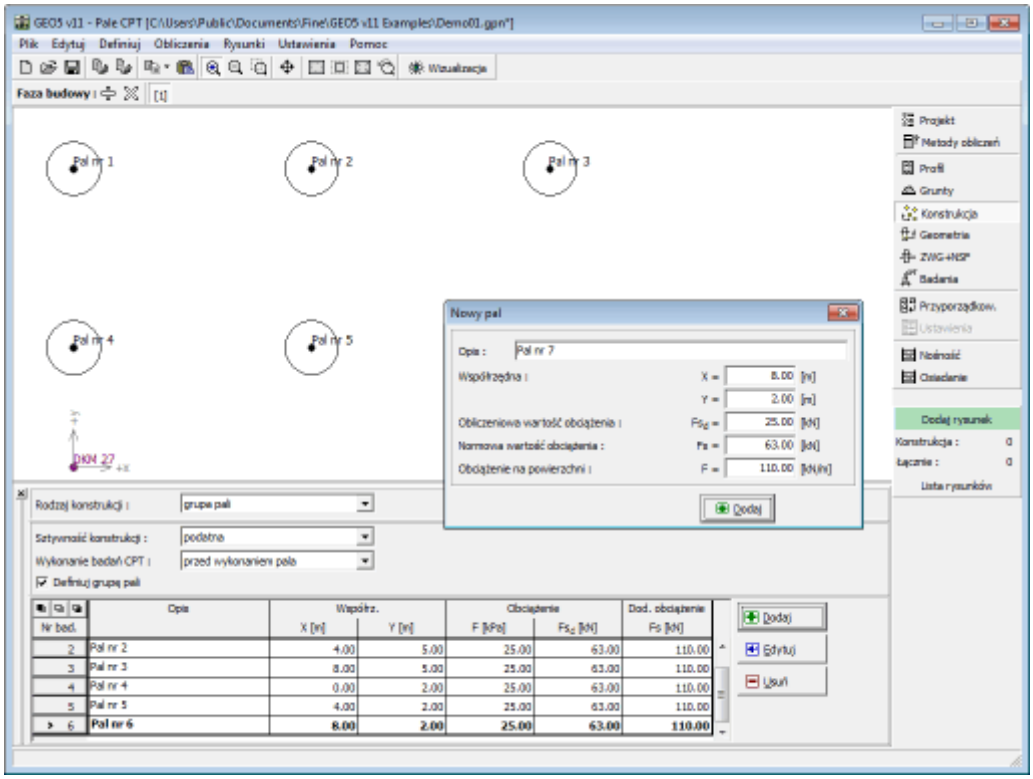


Ramka "Konstrukcja" - pojedynczy pal (wpływ NSF)

Grupa pali

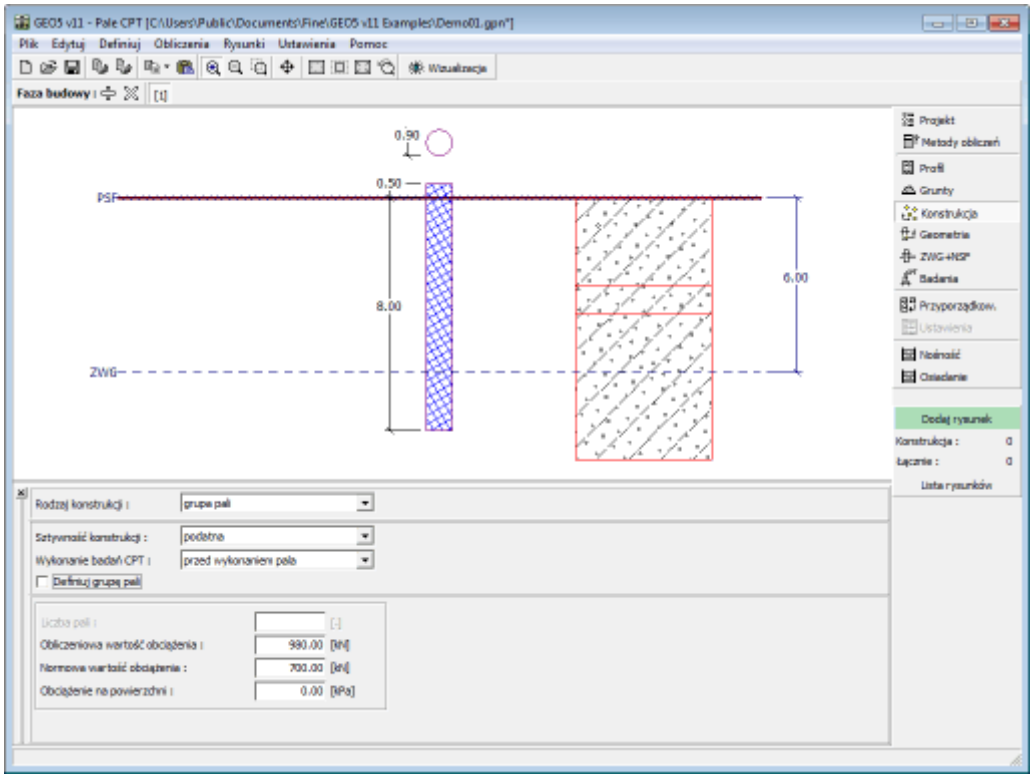
Zdefiniowanie grupy pali wymaga określenia sztywności konstrukcji, która z kolei ma decydujący wpływ na obliczenia i analizę konstrukcji. Podstawowym założeniem jest, że przy sztywnej konstrukcji oczepu wszystkie pale mają jednakowe osiadanie, podczas gdy przy konstrukcji podatnej każdy pal osiada niezależnie. W przypadku wykonywania obliczeń zgodnie z normą NEN6473 ramka ta służy również do wybrania sposobu wykonywania badań CPT.

Zarówno dla konstrukcji sztywnych, jak i podatnych program umożliwia definiowanie lokalizacji poszczególnych pali za pomocą współrzędnych. W takim wypadku do zdefiniowania pali niezbędne są wartości współrzędnych lokalizacji każdego pala (w układzie współrzędnych x,y) oraz obciążeń oddziałujących na poszczególne zdefiniowane pale. Zaznaczenie opcji "**Uwzględniaj wpływ negatywnego tarcia na pobocznicy**" w ramce "Ustawienia" pozwala na wprowadzenie **obciążenia powierzchniowego** w ramce "**Konstrukcja**". Dodawanie nowego pala wykonywana jest w oknie dialogowym "**Nowy pal**".



Ramka "Grupa pali" - definiowanie lokalizacji pali za pomocą współrzędnych

Jeżeli użytkownik nie zdefiniuje współrzędnych lokalizacji pali, to ich parametry zostaną wprowadzone bezpośrednio w ramce dotyczącej konstrukcji. Wybór konstrukcji sztywnej pozwala na podanie liczby pali pod konstrukcją (pale zostaną wtedy rozmieszczone w sposób równomierny).



Ramka "Grupa pali"

Geometria

Ramka "**Geometria**" służy do definiowania **przekroju pala** (kołowy, prostokątny, kołowy zmienny, prostokątny z poszerzoną podstawą) i rodzaju pala (pale wiercone betonowane in situ lub prefabrykowane, pale CFA i inne). Następnie, w odpowiednich polach definiuje się rozmiary wybranego przekroju.

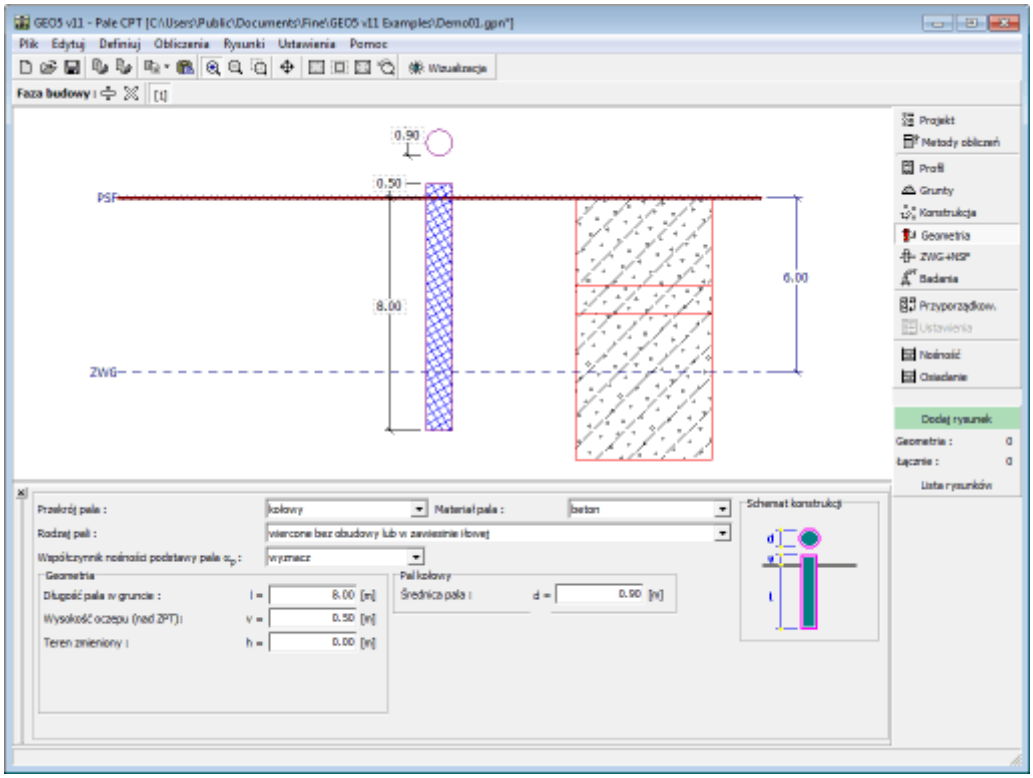
W tej ramce definiuje się również **materiał pala** (drewno, beton, stal), **geometrię pozycji pala** (długość pala w gruncie, wysokość oczepu i poziom terenu zmienionego). W prawej części ramki wyświetla się wybrany kształt wraz z graficznym zaznaczeniem zdefiniowanych wartości.

W przypadku, gdy poziom pierwotny terenu, z którego wykonywane były sondowania CPT, został obniżony przed wykonywaniem pali (niwelacja), zmierzone wartości oporów na stożku q_c są redukowane ze względu na zmniejszenie naprężenia geostatycznego.

W środkowej części ramki definiuje się współczynnik nośności podstawy pala α_p. Domyślnie, współczynnik jest obliczany w sposób automatyczny według wybranej metody, przy uwzględnieniu rodzaju pala i otaczającego gruntu.

Przy analizie pali o przekroju prostokątnym, wprowadza się współczynnik kształtu s w celu redukcji nośności podstawy. Podczas analizy pali z poszerzoną podstawą, wprowadzany jest współczynnik podstawy pala β, służący do korekcji nośności podstawy poszerzonej.

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.



Ramka "Geometria"

Efekt obniżenia poziomu terenu

W przypadku, gdy poziom pierwotny terenu, z którego wykonywane były sondowania CPT, został obniżony przed wykonywaniem pali (niwelacja), zmierzone wartości oporów na stożku q_c są redukowane ze względu na zmniejszenie naprężenia geostatycznego w punktach badawczych, w sposób następujący:

$$q_{c,i,red} = q_{c,i} \cdot x_i$$

gdzie: $q_{c,i,red}$ - zredukowany opór na stożku w i^{tej} warstwie

$q_{c,i}$ - oryginalny opór na stożku w i^{tej} warstwie

χ_i - współczynnik redukcji w i^{tej} warstwie

Współczynnik redukcji w i^{tej} warstwie χ_i określany jest w sposób następujący:

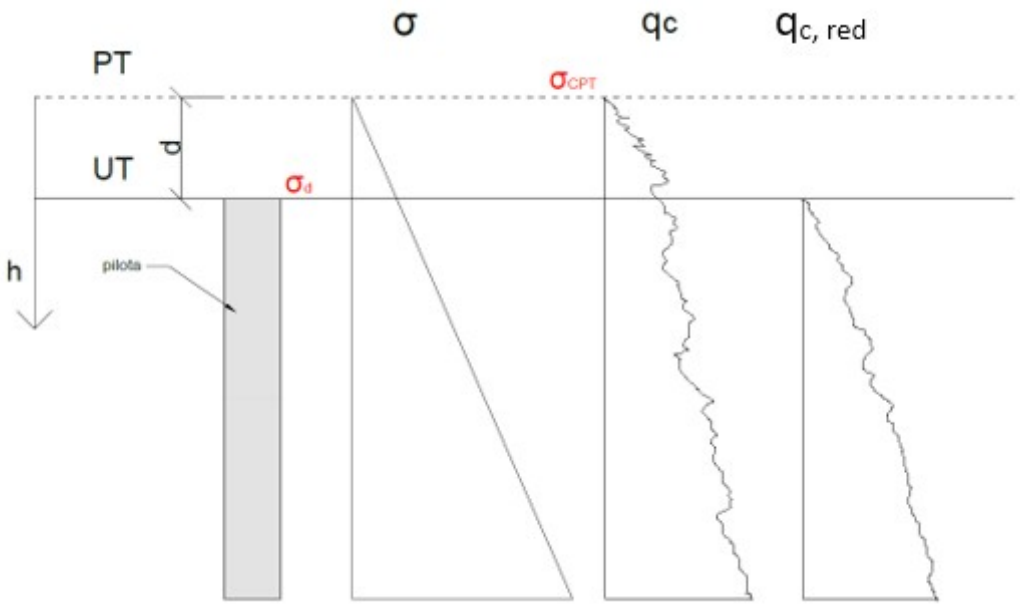
$$x_i = \frac{\sigma_{z,i} - \sigma_d + \sigma_{CPT}}{\sigma_{z,i}}$$

$$x \in (0,1)$$

gdzie: $\sigma_{z,i}$ - pierwotne naprężenie geostatyczne w i^{tej} warstwie

σ_d - pierwotne naprężenie geostatyczne w poziomie terenu zmodyfikowanego (na głębokości d)

σCPT - pierwotne naprężenie geostatyczne w poziomie pierwszego punktu badania CPT

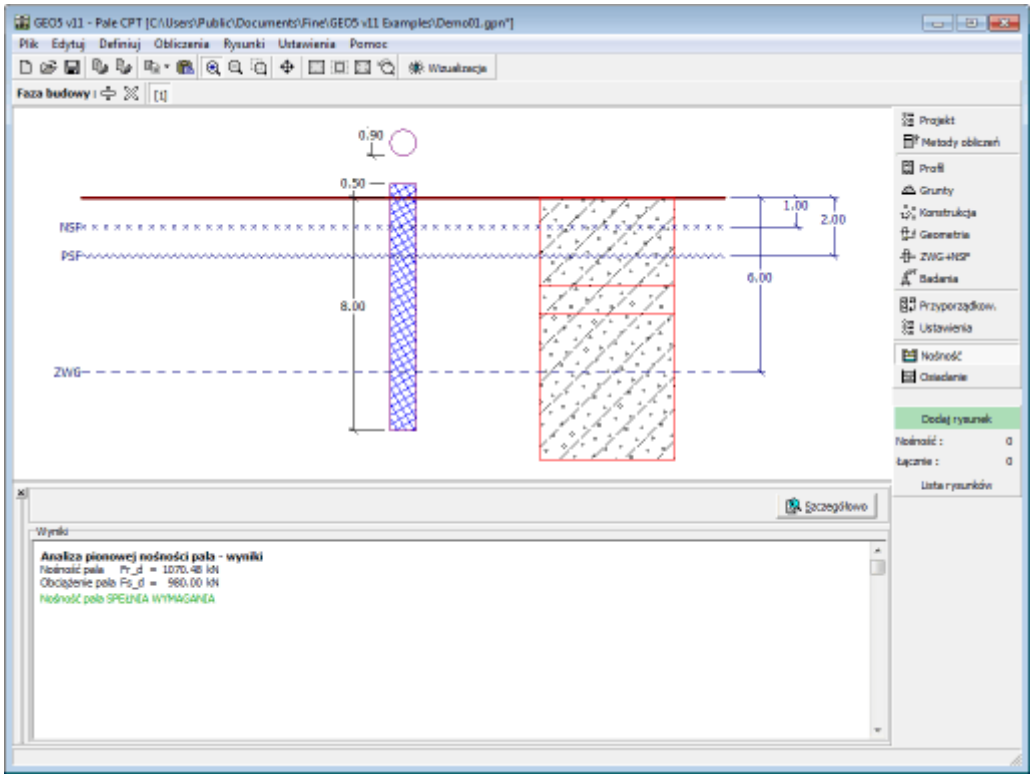


Redukcja oporu na stożku ze względu na obniżenie poziomu terenu

Nośność

Ramka "**Nośność**" służy do analizy **pionowej nośności pala**. Wyniki analizy są przedstawiane w prawej dolnej części ramki. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno zawierające szczegółowy wydruk wyników analizy.

Styl rysunku można zdefiniować w ramce "Konfiguracja rysunku".



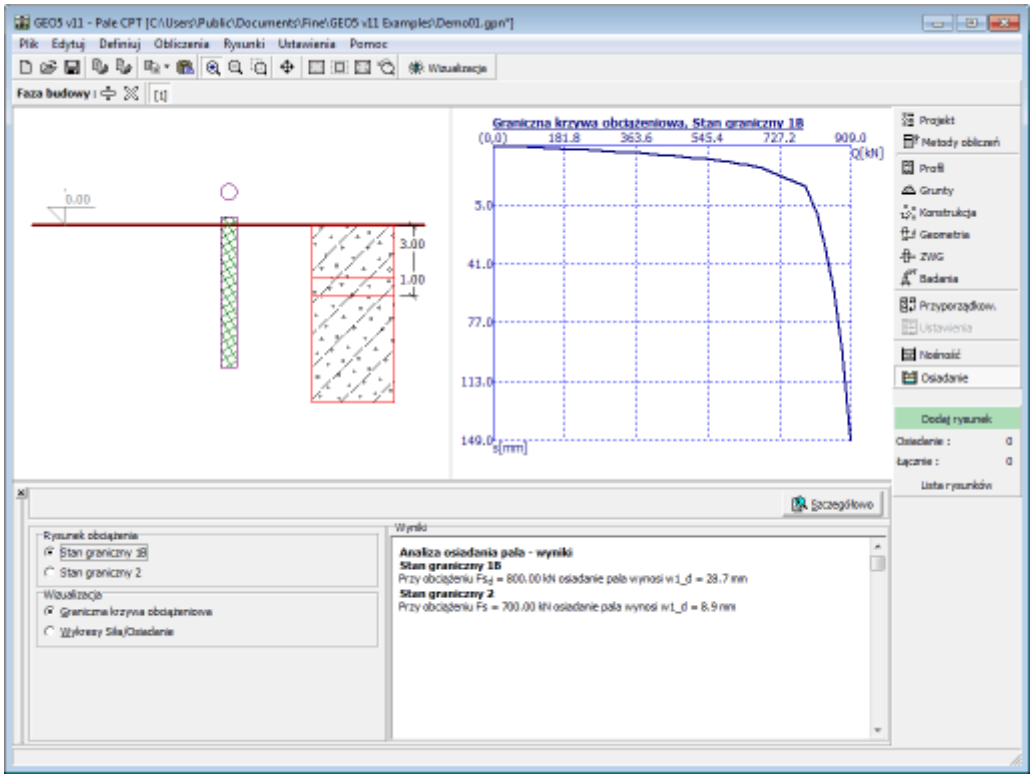
Ramka "Nośność"

Osiadanie

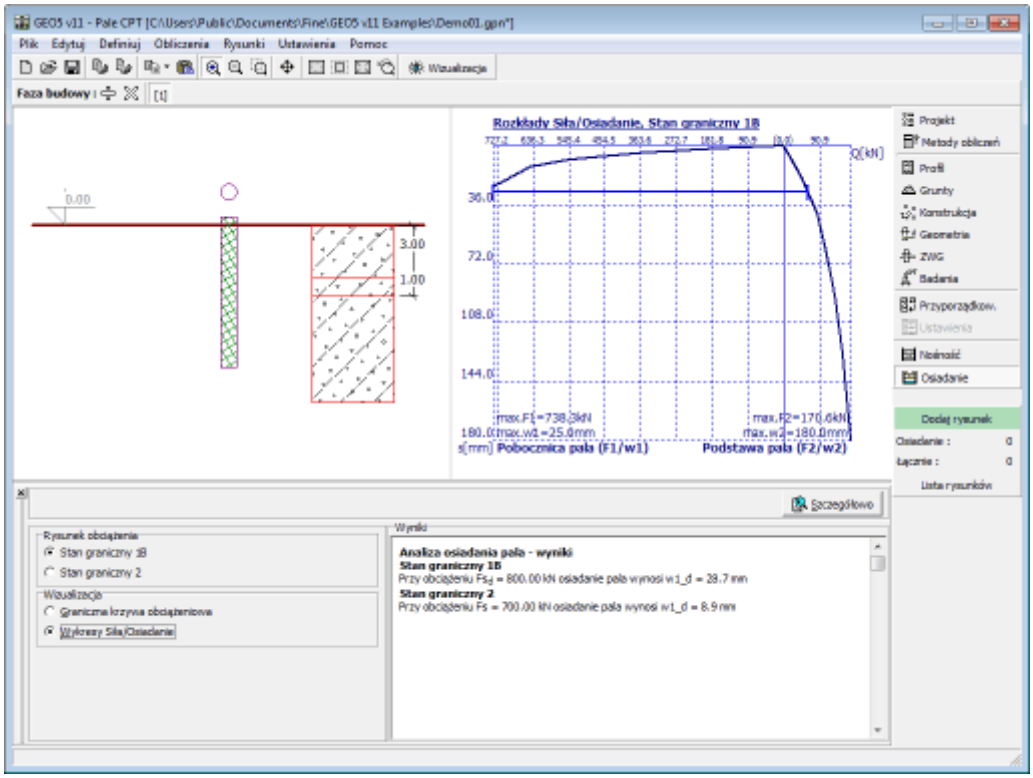
Ramka "**Osiadanie**" służy do analizy osiadania pala. Wyniki analizy są przedstawiane w prawej dolnej części ramki. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno zawierające szczegółowy wydruk wyników analizy.

W przypadku obliczania osiadania według normy NEN6743 program wykreśla, oprócz granicznej krzywej obciążenie-osiadanie, również wykres obciążenia (**krzywa siła/przemieszczenie**).

Wyniki analizy są przedstawiane w górnej części ramki. Styl rysunku można zdefiniować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Osiadanie" - Graniczna krzywa obciążenie-osiadanie



Ramka "Osiadanie" - Rozkłady Siła/Osiadanie

Program Grupa pali

Program ten służy do analizy grupy pali (fundamentu palowego ze sztywnym oczepem), z wykorzystaniem zarówno metody sprężystej (MES) jak i rozwiązań analitycznych. Analizowane mogą być pale zawieszone oraz utwierdzone w podłożu.

Pomoc w programie "Grupa pali" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

Projekt	Ustawienia	Konstrukcja	Geometria	Materiał	Obciążenie	Profil
Grunty	Przyporządkowanie	Woda	Tarcie ujemne	Sprężyny pionowe	Moduł poziomy	Ustawienia fazy
Nośność pionowa	Osiadanie (grunt spoisty)	Osiadanie (grunt niepoisty)	Analiza (metoda sprężysta)	Wymiarowanie	Nośność	

- Normy i metody obliczeniowe
- Teoria obliczeniowa do programu "**Grupa pali**":

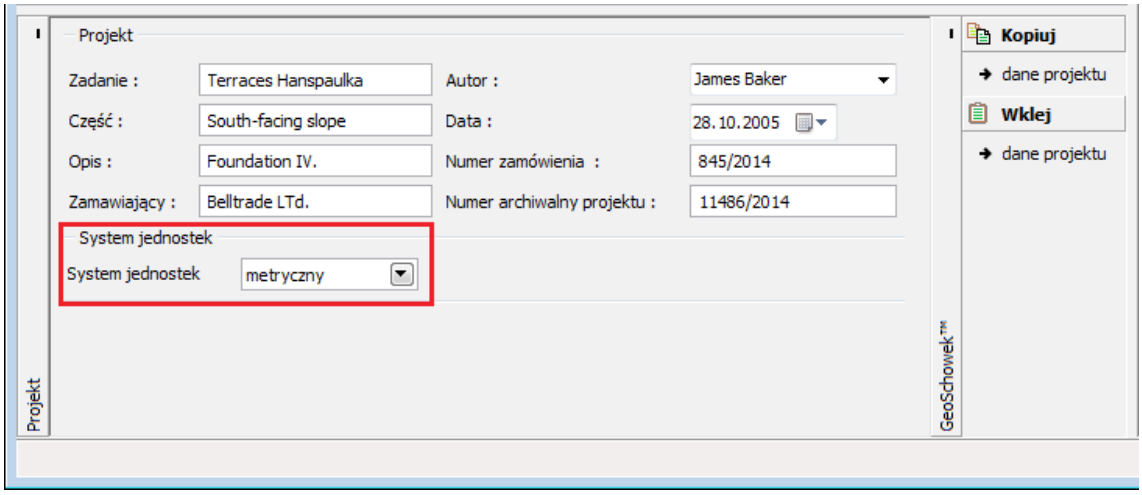
Naprężenia w gruncie	Grupa pali	Wymiarowanie konstrukcji betonowych

- Dane wyjściowe
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**definiowaniee dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładkach "Materiały i normy" oraz "Grupa pali".

W prawej części ramki można dokonać wyboru metody obliczeniowej - teorii konwencjonalnej (rozwiązań analitycznych) lub metody sprężystej (MES).

Rozwiązanie analityczne wymaga zdefiniowania rodzaju podłoża gruntowego:

- grunt niespoisty (analiza w warunkach z odpływem)

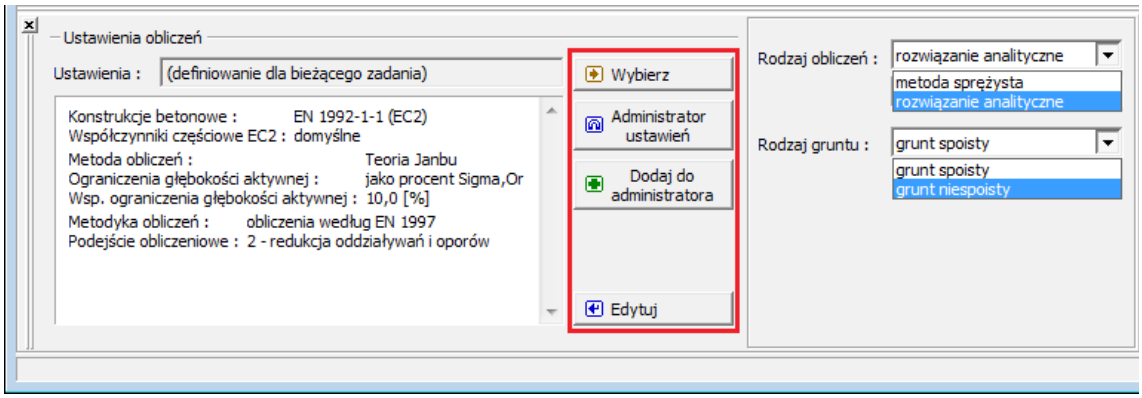
- grunt spoisty (analiza w warunkach bez odpływu)

Metoda sprężysta wymaga zdefiniowania:

- typu pala (pal pracuje w pionie)
- sposobu połączenia pala z oczepem
- modułu reakcji podłoża (pal pracuje w poziomie)

Metoda sprężysta - w odniesieniu do mikropali wymaga zdefiniowania:

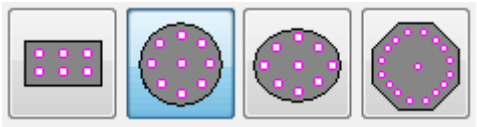
- połączenia pali z płytą
- modułu reakcji podłoża (pal pracuje w poziomie)



Ramka "Ustawienia"

Konstrukcja

Ramka "Konstrukcja" służy do wprowadzania **wymiarów oczepu (płyty)** zgodnie z wybranym schematem**, liczby i średnicy pali** oraz **rozstawu pali**.



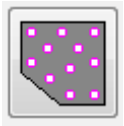
Zdefiniowane kształty grupy pali

Pale

Poszczególne pale w grupie mają te same średnice. Prawidłowy i rzetelny projekt grupy pali wymaga spełnienia zasad konstrukcyjnych w zakresie:

- liczby pali w grupie (3 - 20)
- średnicy pali (od $0{,}3m$ do $4{,}0\ m$)
- rozstawu pali ($s = 1{,}5d$ do $6d$) - d jest średnicą poszczególnych pali w grupie
- wystawania oczepu/płyty poza oś pali zewnętrznych ($o = 0$ do $2d$)

Jeśli żaden z dostępnych, predefiniowanych kształtów oczepu grupy pali nie spelnia wymagań projektu, istnieje możliwość zdefiniowania własnego, dowolnego kształtu grupy pali. Własny, dowolny kształt oczepu definiowany jest za pomocą współrzędnych punktów. Współrzędne oczepu mogą być również wygenerowane (przycisk "**Generuj własny kształt**") z wykorzystaniem istniejącego predefiniowanego kształtu oczepu.



Definiowanie dowolnego kształtu oczepu

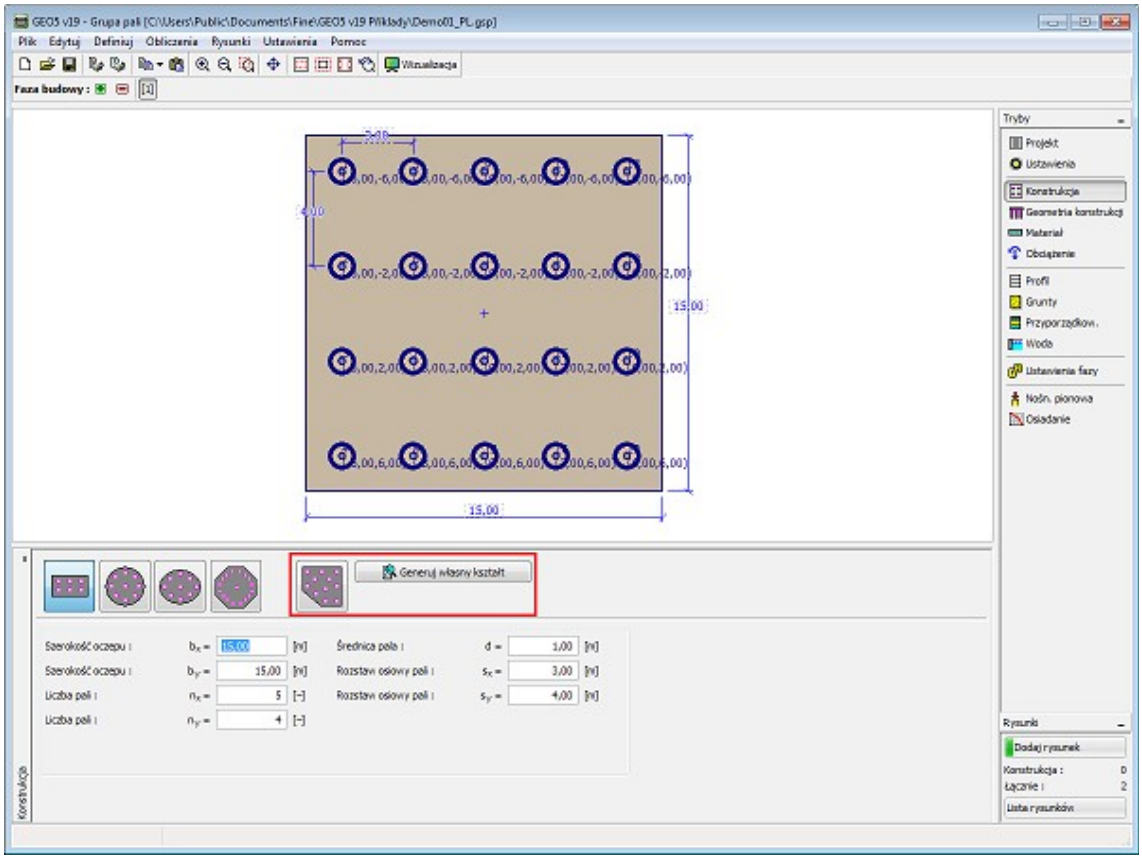
Jeśli wybrany został dowolny kształt oczepu pali, istnieje dodatkowo możliwość zdefiniowania nachylenia pali. Ta opcja ($\alpha \neq 0°$) dostępna jest wyłącznie przy zastosowaniu w obliczeniach metody sprężystej, a nie rozwiązań analitycznych. W obliczeniach z zastosowaniem rozwiązań analitycznych wszystkie pale uwzględniane są jaki pionowe ($\alpha = 0°$). Co oznacza, że przy wyznaczaniu nośności pionowej pali lub osiadania grupy pali pochylenie pali nie jest uwzględniane.

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.

Mikropale

Poszczególne mikropale w grupie mają te same średnice. Prawidłowy projekt grupy mikropali wymaga spełnienia następującej zasady konstrukcyjnej:

- liczba pali w grupie (3 - 20)



Ramka "Konstrukcja"

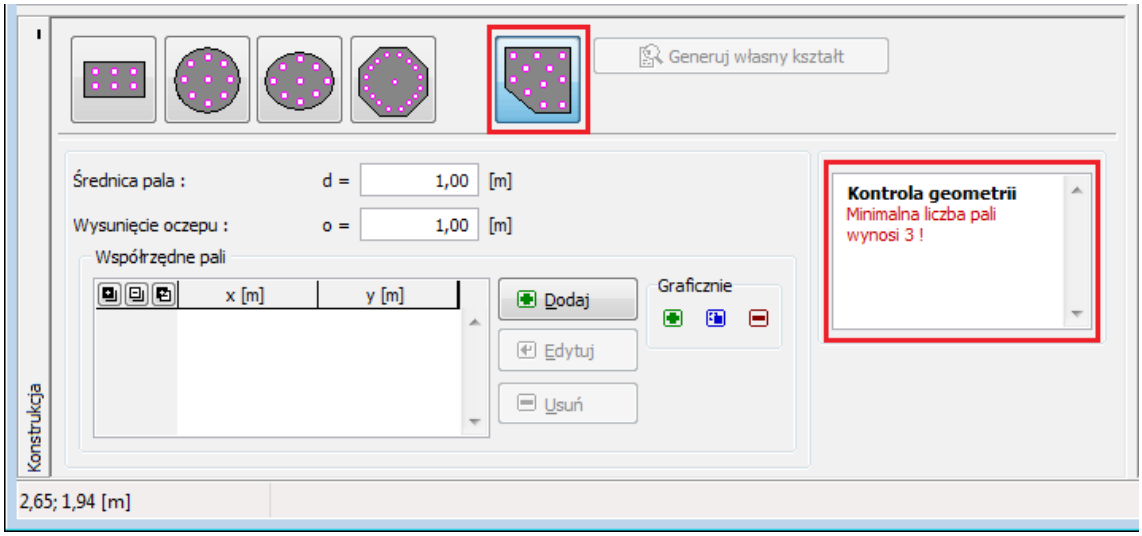
Dowolny kształt grupy pali

Definiowanie dowolnego kształtu grupy pali w nowym zadaniu

W programie dostępne są dwie metody definiowania własnego kształtu grupy pali:

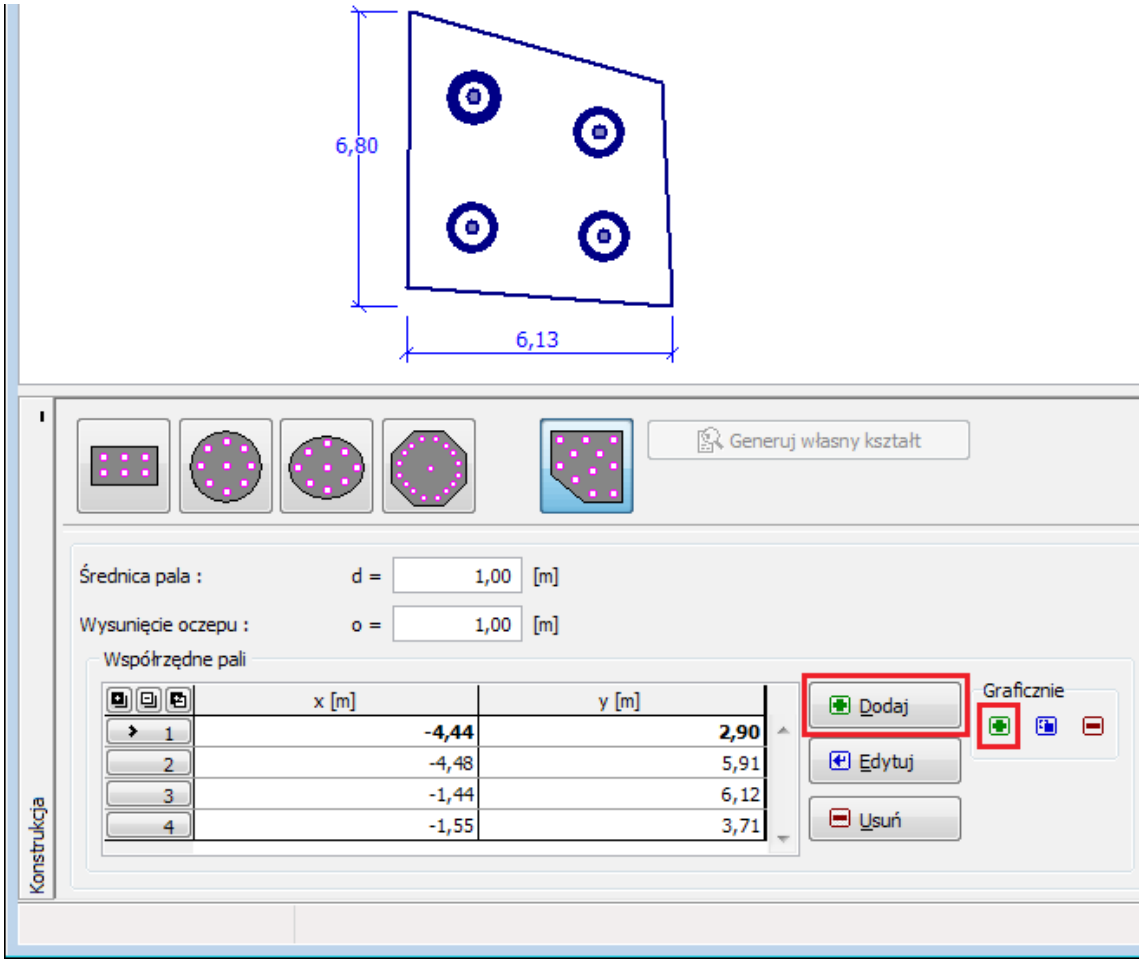
1. Definiowanie dowolnego kształtu grupy pali za pomocą punktów

Przyciśnięcie na pasku narzędzi ikony definiowania dowolnego kształtu grupy pali (rysunek poniżej) spowoduje wyczyszczenie pulpitu i pojawienie się tabeli definiowania współrzędnych pali. Minimalna liczba zdefiniowanych w ten sposób pali wynosi 3 (w przypadku gdy zdefiniowano mniejszą liczbę pali program wyświetla informację o błędzie).



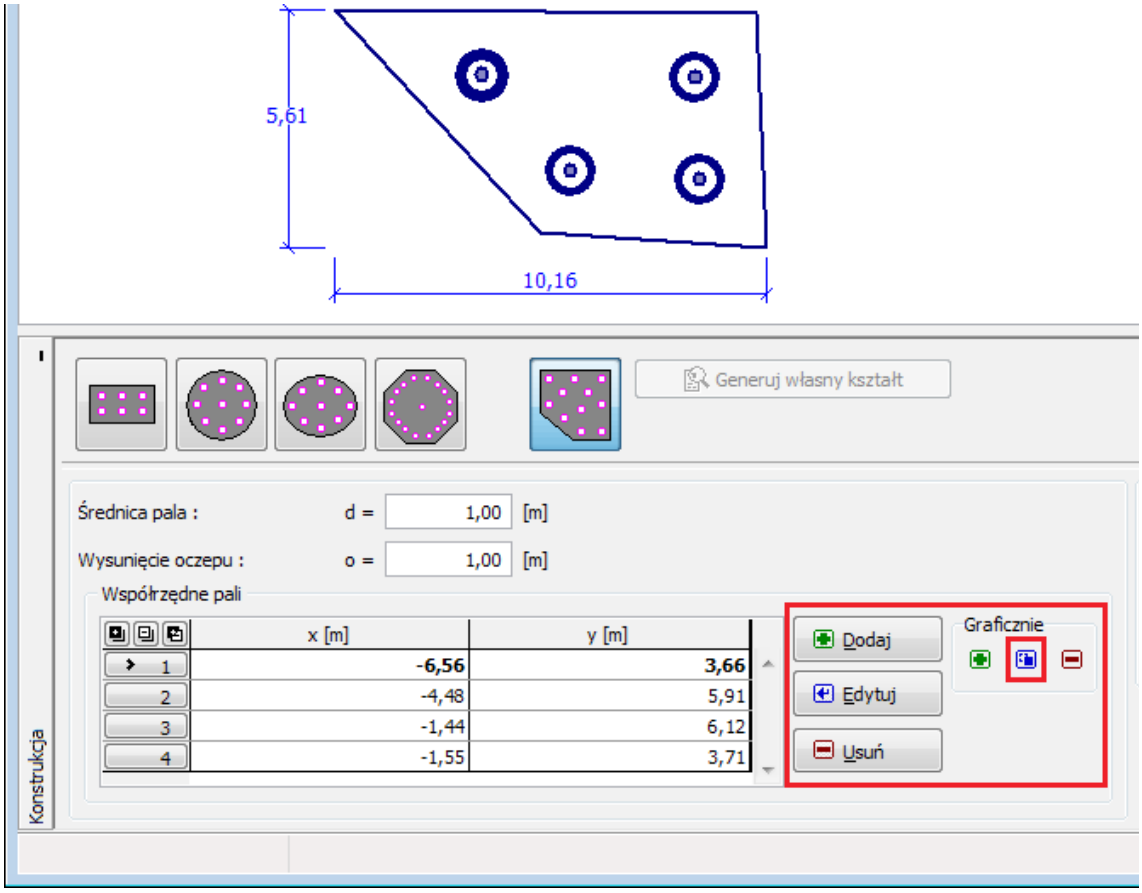
Ramka "Konstrukcja" - nowe zadanie

Przyciśnięcie przycisku "Dodaj" otworzy okno dialogowe "Nowy punkt", w którym definiowane są współrzędne środków poszczególnych pali. Istnieje także możliwość definiowania pali bezpośrednio na pulpicie poprzez klikanie myszką.



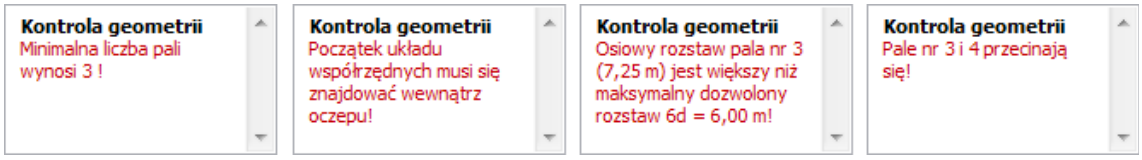
Ramka "Konstrukcja" - definiowanie dowolnego kształtu grupy pali za pomocą punktów

Zdefiniowane punkty dodawane są do listy wyświetlanej w formie tabelarycznej. Punkty zawarte w tabeli można edytować lub usuwać korzystając odpowiednio z przycisków **"Edytuj"** lub **"Usuń".** Punkty można także modyfikować (w odpowiednim trybie graficznym) bezpośrednio na pulpicie**.** Po wybraniu ikony zdefiniowane wcześniej punkty można przesuwać myszką na pulpicie.



Ramka "Konstrukcja" - edycja punktów

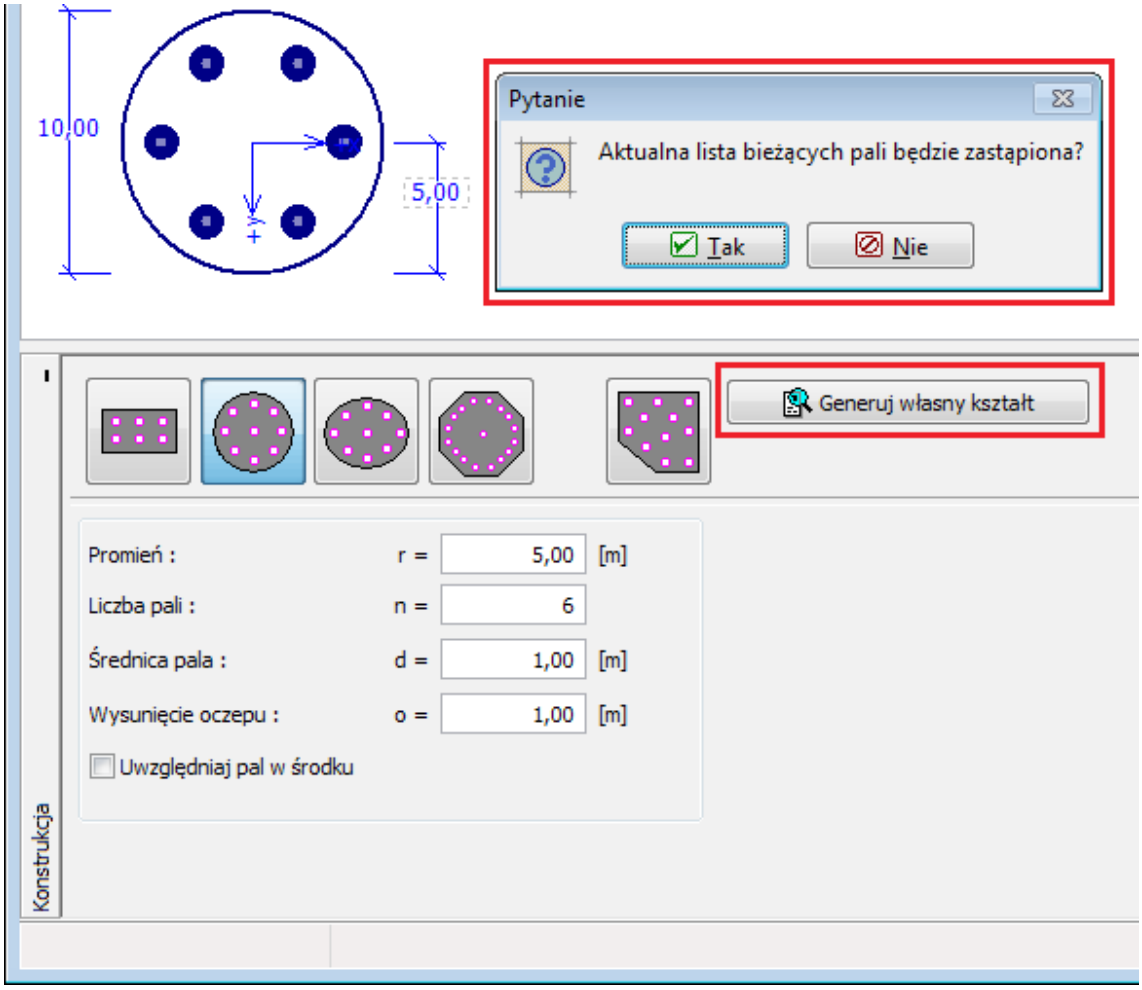
Minimalna dozwolona w programie liczba pali w grupie wynosi 3. W przypadku wystąpienia błędów w trakcie definiowania grupy pali (przekroczenie maksymalnego dozwolonego rozstawu pali, przecinanie się pali, itp) program sprawdza geometrię i pokazuje komunikat o błędzie. W takim przypadku, należy poprawić definiowanie poprzez korektę lokalizacji pali.



Ramka "Konstrukcja" - informacje o błędach definiowania własnego kształtu grupy pali

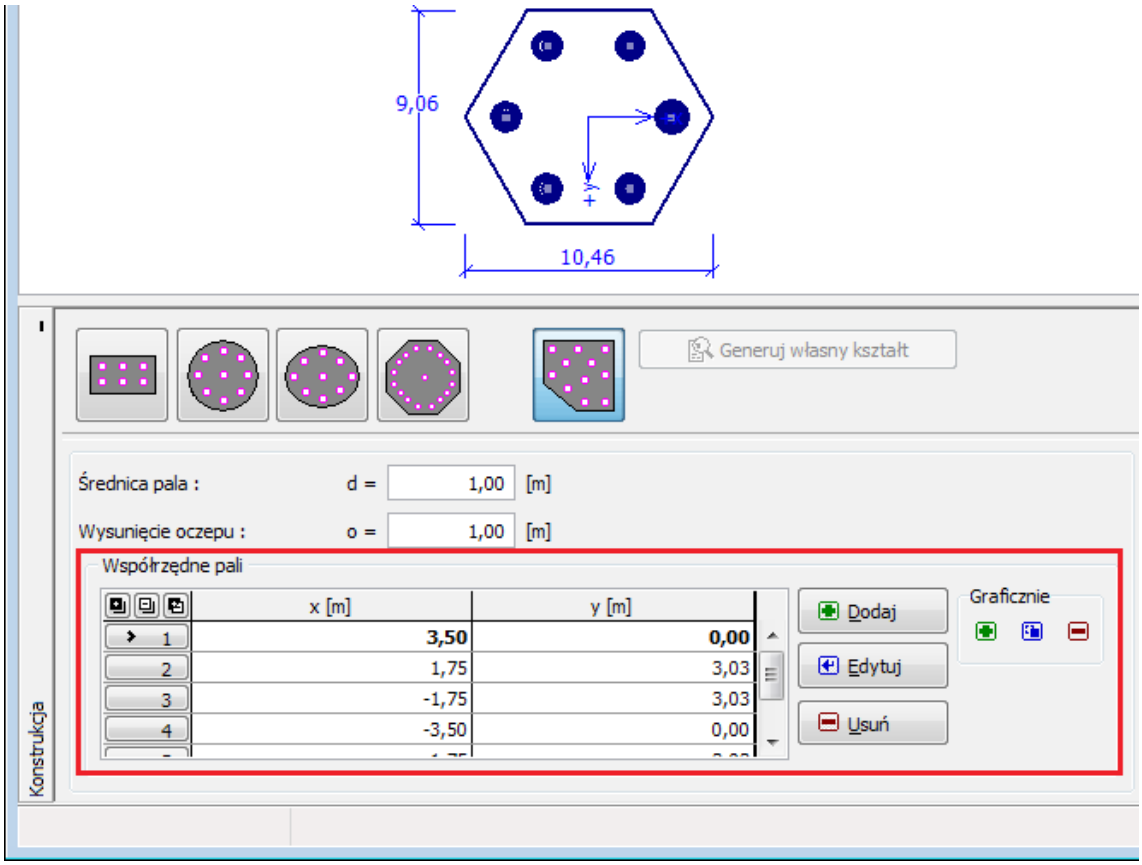
2. Definiowanie własnego kształtu grupy pali z zastosowaniem generatora własnego kształtu

Istnieje możliwość wykorzystania istniejącego (predefiniowanego) schematu geometrii konstrukcji i jej wymiarów do definiowania własnego kształtu grupy pali, w tym celu należy przycisnąć przycisk "**Generuj własny kształt**". Nowo wygenerowane punkty można następnie modyfikować, a także edytować własny kształt oczepu pali.



Ramka "Konstrukcja" - definiowanie kształtu grupy pali z zastosowaniem generatora własnego kształtu

Wygląd ramki zmienia się podobnie jak w pierwszym wariancie definiowania własnego kształtu grupy pali. Od tej chwili można dalej modyfikować kształt konstrukcji w taki sam sposób jak opisano powyżej.



Ramka "Konstrukcja" - wygląd ramki po zdefiniowaniu punktów

Geometria konstrukcji

Ramka "**Geometria konstrukcji**" umożliwia zdefiniowanie parametrów pali (lub mikropali). Wygląd ramki różni się w zależności od sposobu obliczeń wybranego w ramce "Ustawienia" (metoda sprężysta, rozwiązanie analityczne, metoda sprężysta - mikropale).

Rozwiązanie analityczne oraz metoda sprężysta wymagają zdefiniowania następujących parametrów:

- poziom posadowienia (zagłębienie poniżej poziomu terenu)
- wyniesienie głowicy pala
- grubość płyty fundamentowej
- długość pali

Metoda sprężysta - mikropale wymaga zdefiniowania następujących parametrów:

- grubość płyty fundamentowej
- długość mikropali
- średnica buławy
- długość buławy
- opór podłoża fundamentowego - ten parametr jest niezwykle istotny i ma znaczący wpływ na wyniki obliczeń - wartość oporu podłoża zależy od rodzaju gruntu, metody budowy konstrukcji oraz historii obciążenia. Siła N odejmowana jest od wprowadzonego obciążenia

we wszystkich stanach obciążenia.

$$N = A\,R$$

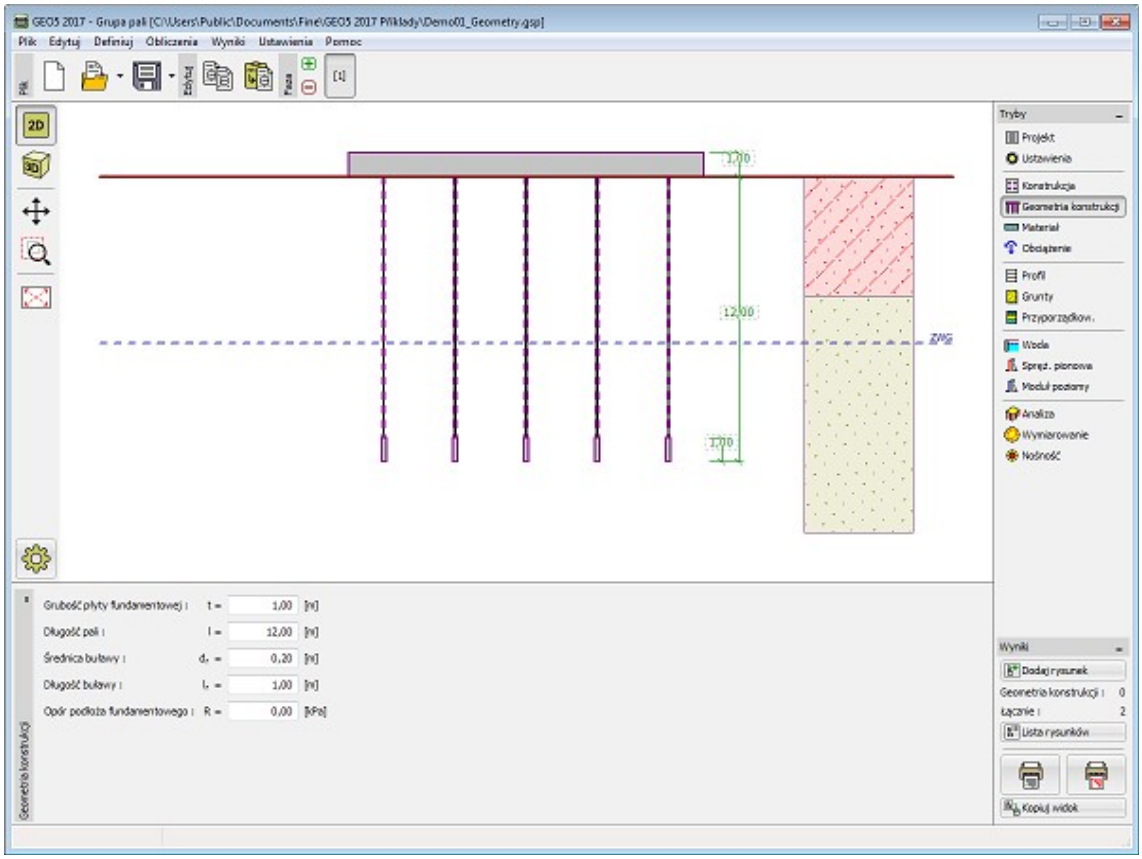
gdzie: A -powierzchnia fundamentu

R -zdefiniowany opór podłoża fundamentowego

Wartości graniczne oporu podłoża

- zdefiniowany opór podłoża wynosi zero => całe obciążenie przekazywane jest na mikropale, podłoże pod fundamentem nie jest uwzględniane
- zdefiniowany opór podłoża jest większy niż obciążenie całkowite łącznie z ciężarem własnym płyty => obciążenie nie jest przekazywane na mikropale i osiadanie fundamentu jest zerowe.

Poszczególne pale w grupie są zawsze jednakowej **długości**.



Ramka "Geometria konstrukcji"

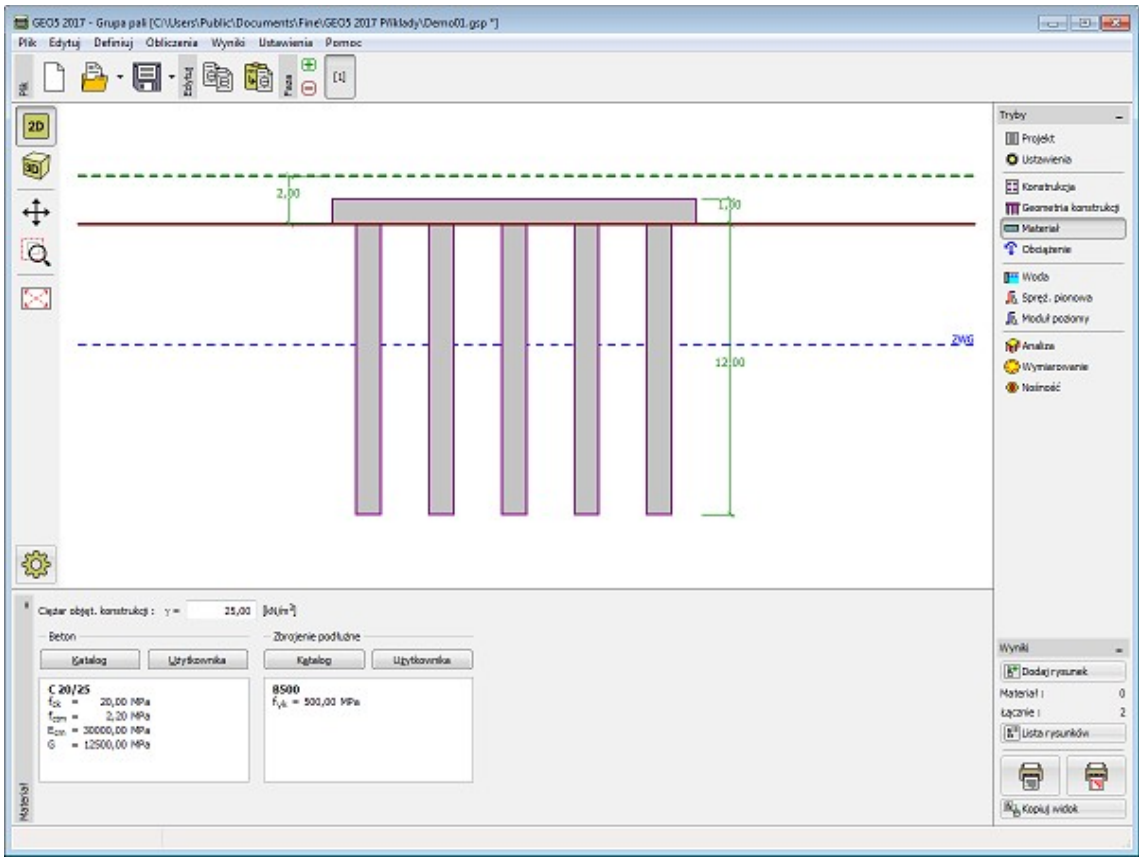
Materiał

Ramka "**Materiał**" umożliwia wybór parametrów stosowanych materiałów.

Dostępne są dwie opcje wyboru rodzaju materiału:

- Przycisk "**Katalog**" otwiera okno dialogowe "**Katalog materiałów**"; z zamieszczonej w nim listy materiałów można dokonać wyboru materiału.
- Przycisk "**Użytkownika**" otwiera okno dialogowe "**Edytor materiału**", które umożliwia ręczne określenie parametrów materiału.

Zawartość katalogów zależna jest od wyboru normy do wymiarowania konstrukcji betonowych, lub stalowych, dokonanego w zakładce "Materiały i normy". Pole danych w górnej części ramki służy do zdefiniowania ciężaru objętościowego ściany.



Ramka "Materiał"

Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych obciążeń. Dodawanie (edycję) obciążeń wykuje się w oknie dialogowym "**Nowe (edycja) obciążenie**". Siły wprowadza się zgodnie z konwencją znaków wyświetloną z prawej strony okna dialogowego.

Program pozwala również na importowanie obciążeń za pomocą przycisku "**Importuj**".

Obciążenie przykładane do grupy pali działa na poziomie górnej krawędzi oczepu - w punkcie [0,0]. Punkt ten nie może znajdować się poza obrysem oczepu/płyty. Wartości te można łatwo uzyskać z analizy wykonanej przez dowolny program do obliczeń statycznych.

The program automatically back-calculates the **pile cap self weight** to be added to the already existing load. This program further enables to **consider the self weight of pile** (using the button in the left part of the desktop)

Program automatycznie wylicza **ciężar własny oczepu**, który ma być dodany do wcześniej zdefiniowanego obciążenia. Program pozwala na **uwzględnienie ciężaru własnego pala** (stosując przycisk po lewej stronie ekranu komputera).

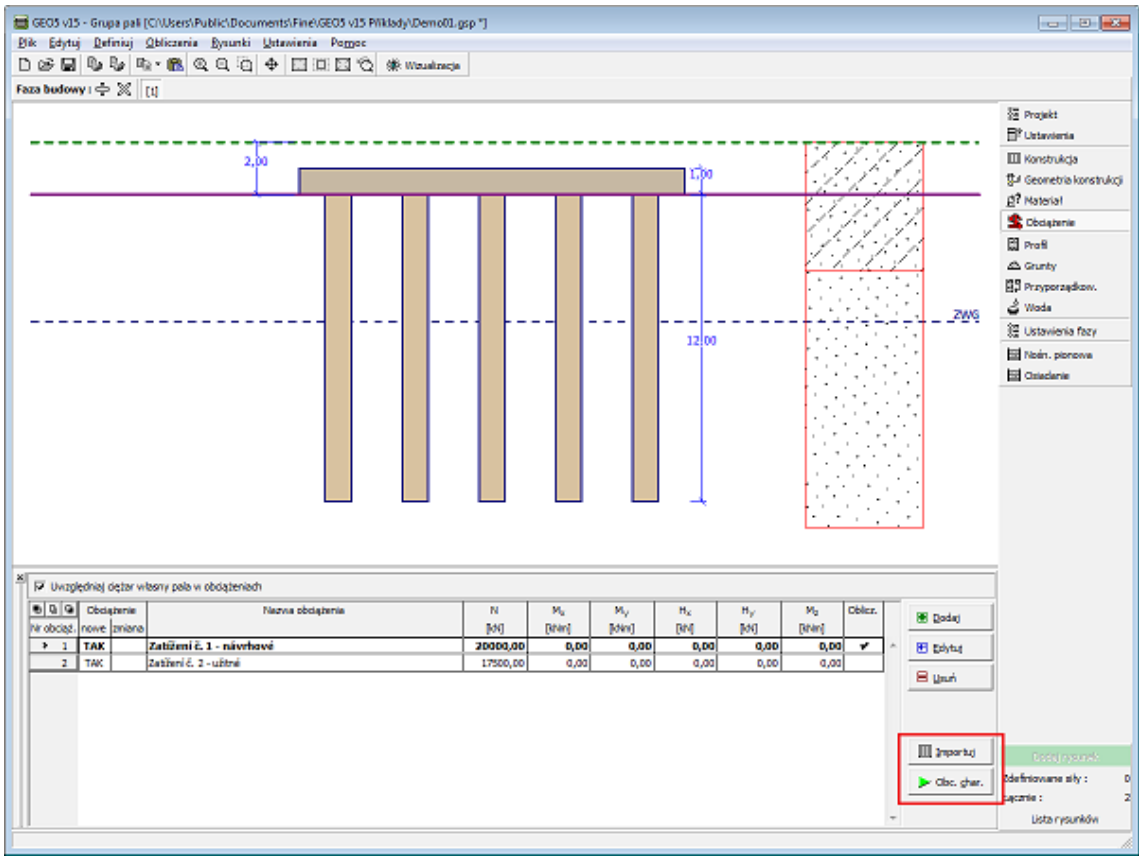
Ciężar własny oczepu G_{cap} uzyskujemy ze wzoru:

$$G_{cap} = A_{cap} t \gamma$$

gdzie: A_{cap} - powierzchnia podstawy oczepu/płyty $[m^2]$

t - grubość oczepu/płyty $[m]$

γ - ciężar objętościowy konstrukcji $[kN/m^3]$



Ramka "Obciążenie"

Obciążenie działające na grupę pali

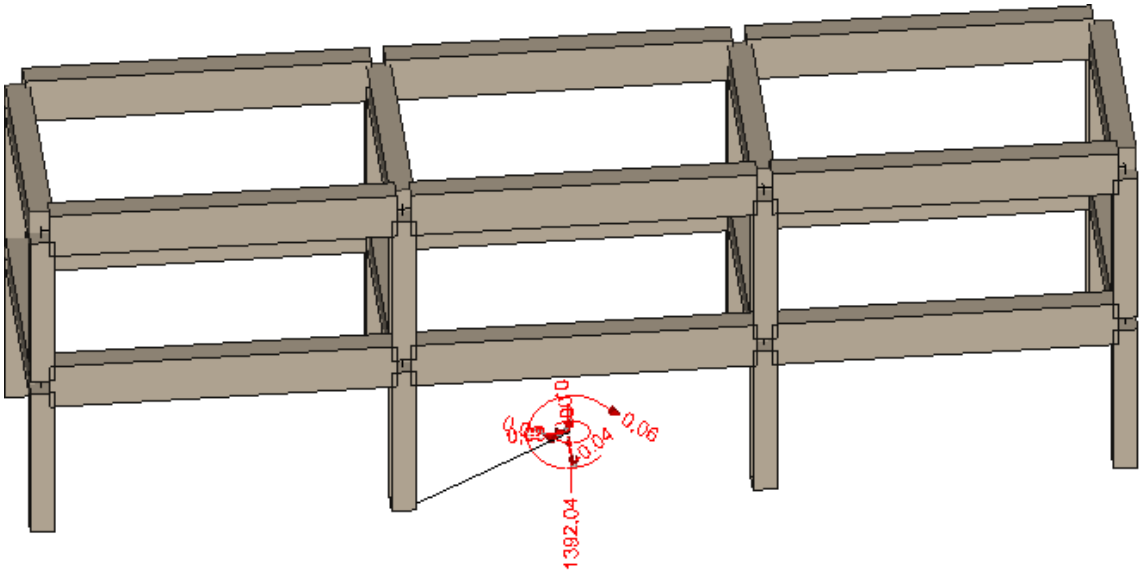
Grupa pali może być stosowana zarówno przy posadowieniach podpór mostowych, jak i w dowolnych konstrukcjach inżynierskich. Wyznaczenie obciążenia działającego na grupę pali może być skomplikowane. Obciążenie może być nakładane w kilku lokalizacjach, jako obciążenie skupione (słup), rozłożone wzdłuż linii (ściana), lub na powierzchni. Poniższa procedura pokazuje prosty sposób wyznaczania obciążenia dla danego punktu, poprzez zastosowane dowolnego programu do obliczeń statycznych.

1. Rozpoczynamy od modelu konstrukcji w programie do obliczeń statycznych
2. Jeśli nie ma zdefiniowanego połączenia **w środku oczepu**, to je wprowadzamy
3. Do połączenia tego przypisywane jest **sztywne podparcie (utwierdzenie) we wszystkich sześciu kierunkach** (sztywne, sztywne, sztywne, sztywne, sztywne, sztywne)
4. Jeśli połączenie nie znajduje się na oczepie (model belkowy), łączymy je z aktualną konstrukcją (sztywność powinna odpowiadać innym elementom)
5. Oprócz nowego połączenia usuwamy **wszystkie warunki brzegowe** z analizowanego

modelu

6. Wykonujemy analizę - **reakcje w połączeniu odpowiadają obciążeniu**, które jest wprowadzone do programu "Grupa pali" - można również zastosować funkcję importowania obciążeń

Uwaga: **wewnętrzne przeguby** znajdujące się w konstrukcji muszą być zamienione na podpory sztywne dla programu obliczeń statycznych, aby uzyskać rozwiązanie.



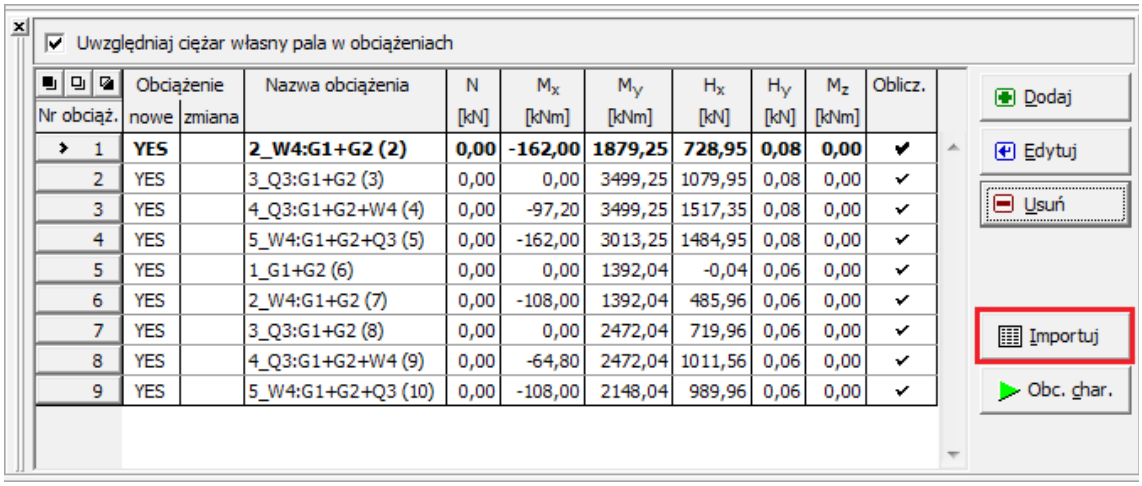
Konstrukcja z podparciem sztywnym

Load - NotePad

File Modify Format Display Hint

G1+G2	0,00	0,00	1879,25	-0,05	0,08	0,00
W4:G1+G2	0,00	-162,00	1879,25	728,95	0,08	0,00
Q3:G1+G2	0,00	0,00	3499,25	1079,95	0,08	0,00
Q3:G1+G2+W4	0,00	-97,20	3499,25	1517,35	0,08	0,00
W4:G1+G2+Q3	0,00	-162,00	3013,25	1484,95	0,08	0,00
G1+G2	0,00	0,00	1392,04	-0,04	0,06	0,00
W4:G1+G2	0,00	-108,00	1392,04	485,96	0,06	0,00
Q3:G1+G2	0,00	0,00	2472,04	719,96	0,06	0,00
Q3:G1+G2+W4	0,00	-64,80	2472,04	1011,56	0,06	0,00
W4:G1+G2+Q3	0,00	-108,00	2148,04	989,96	0,06	0,00

Reakcje podpór gotowe do importu do programu "Grupa pali"



Nr obciąż.	Obciążenie nowe	Obciążenie zmiana	Nazwa obciążenia	N [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	H_x [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	Oblicz.
1	**YES**		**2_W4:G1+G2 (2)**	**0,00**	**-162,00**	**1879,25**	**728,95**	**0,08**	**0,00**	✔
2	YES		3_Q3:G1+G2 (3)	0,00	0,00	3499,25	1079,95	0,08	0,00	✔
3	YES		4_Q3:G1+G2+W4 (4)	0,00	-97,20	3499,25	1517,35	0,08	0,00	✔
4	YES		5_W4:G1+G2+Q3 (5)	0,00	-162,00	3013,25	1484,95	0,08	0,00	✔
5	YES		1_G1+G2 (6)	0,00	0,00	1392,04	-0,04	0,06	0,00	✔
6	YES		2_W4:G1+G2 (7)	0,00	-108,00	1392,04	485,96	0,06	0,00	✔
7	YES		3_Q3:G1+G2 (8)	0,00	0,00	2472,04	719,96	0,06	0,00	✔
8	YES		4_Q3:G1+G2+W4 (9)	0,00	-64,80	2472,04	1011,56	0,06	0,00	✔
9	YES		5_W4:G1+G2+Q3 (10)	0,00	-108,00	2148,04	989,96	0,06	0,00	✔

Obciążenia importowane do "Grupy pali" w ramce "Obciążenie"

Profil

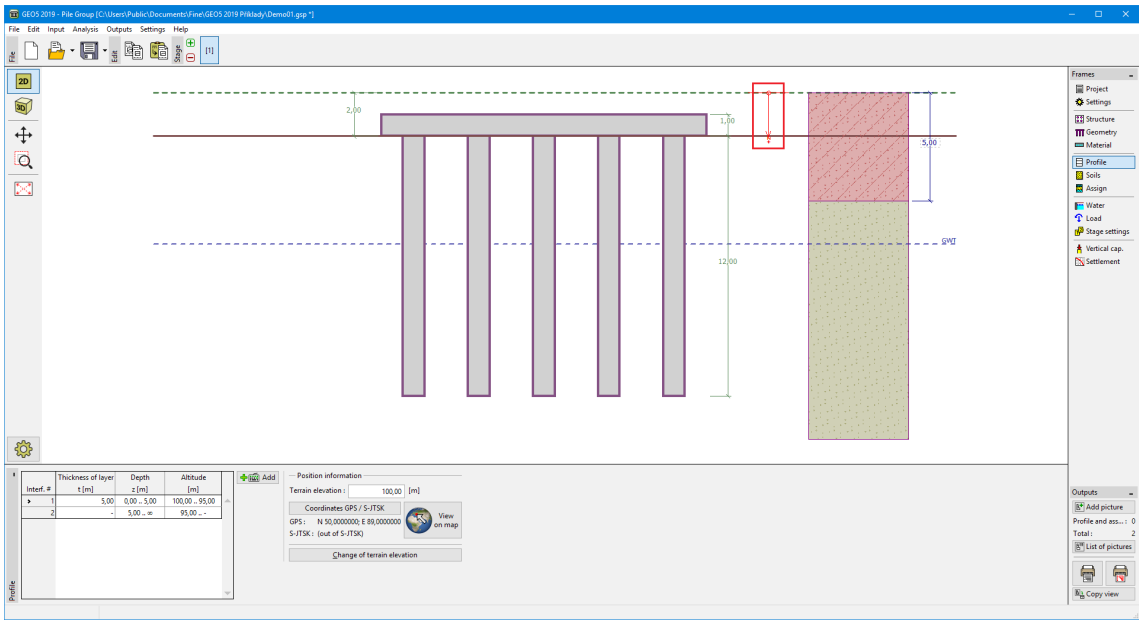
Ramka "**Profil**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych warstw. Po zdefinowaniu poszczególnych warstw można edytować ich miąższość za pomocą aktywnych wymiarów.

Dodawanie warstw wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowa warstwa**". Definiowana jest rzędna z mierzona od górnego punktu konstrukcji (oś-z).

In this frame it is also possible to enter optional information about the structure location:

- **terrain elevation** - an altitude column for the layers is displayed in the table after input of terrain elevation
- **GPS coordinates** - it is possible to show a structure on the Google Maps using "**View on map**" button after input of coordinates.

Program umożliwia obniżenie lub podniesienie górnego punktu konstrukcji w oknie dialogowym "**Zmiana rzędnej terenu**", a zdefiniowane warstwy będą wówczas przesunięte, jednocześnie zachowując swoją miąższość. Funkcja ta jest istotna podczas kopiowania profilu z programu "**Teren**".



Ramka "Profil"

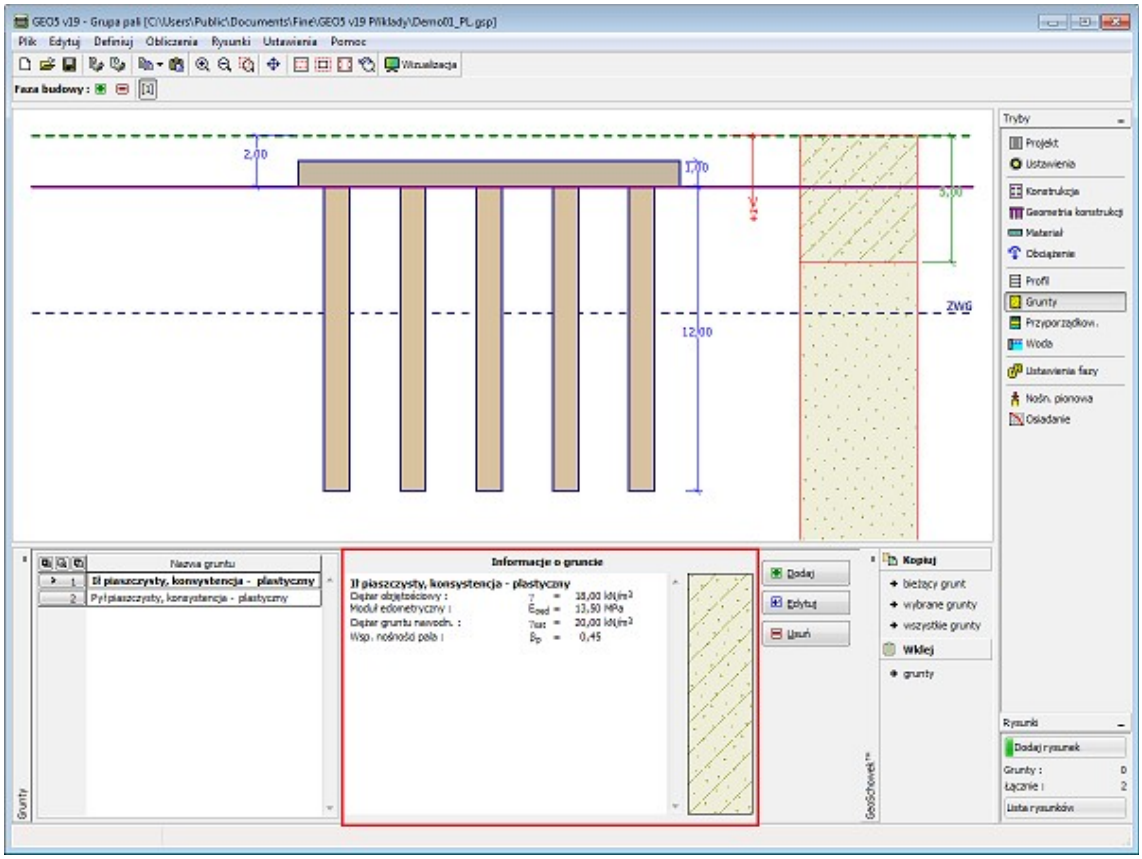
Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie (edycja) gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Dane podstawowe", "Naprężenie geostatyczne, wypór", "Osiadanie", "Moduł reakcji podłoża". Parametry te zależą od rodzaju gruntu zdefiniowanego w ramce "Ustawienia" i teorii analizy wybranej w zakładce "Grupa pali".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

Ta część okna służy do definiowania podstawowych parametrów gruntów - **ciężaru objętościowego, kąta tarcia wewnętrznego i spójności**. Poszczególne wartości uzyskiwane są z badań geotechnicznych, lub z badań laboratoryjnych. Jeśli dane te nie są dostępne, można przeszukać wbudowaną (do programu) bazę danych gruntów, która zawiera wartości wybranych parametrów gruntów.

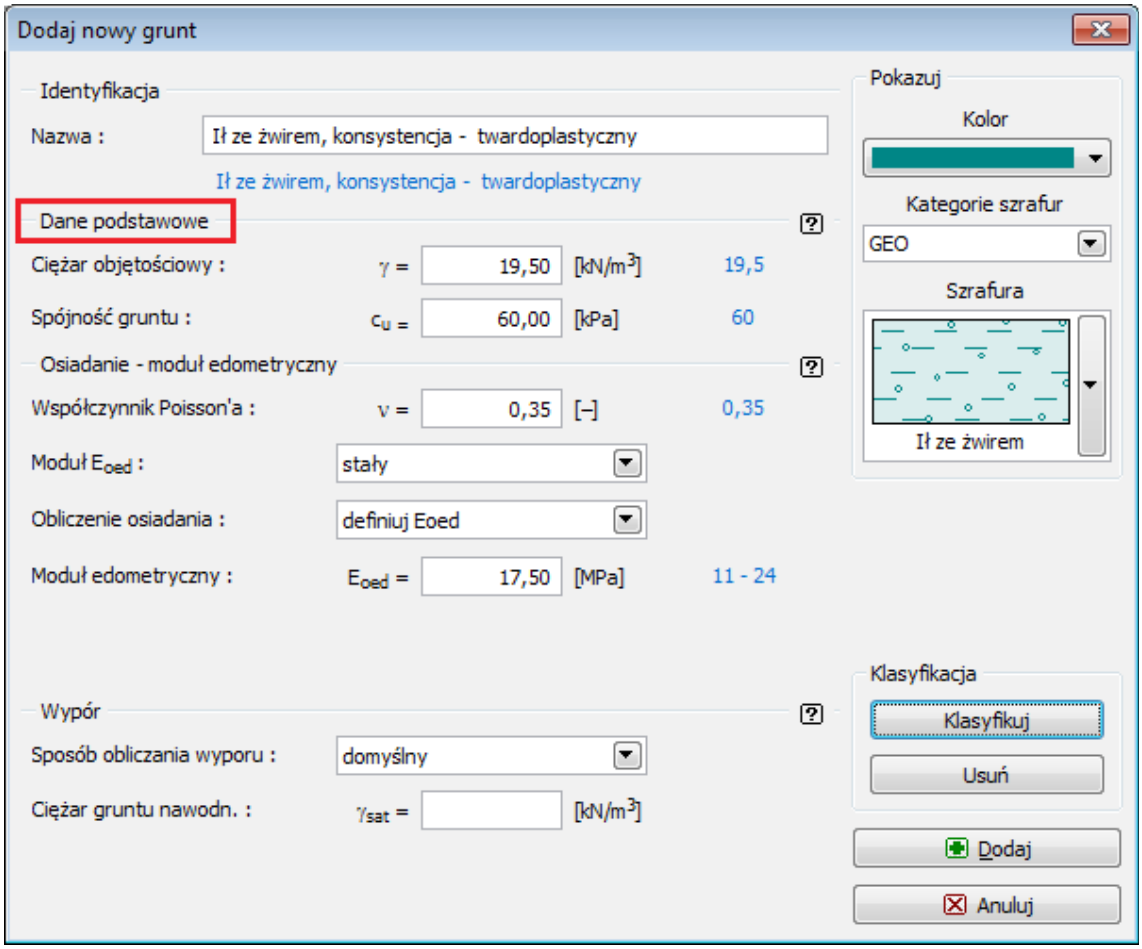
Parametry skał nie zostały zawarte w tej bazie, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym.

Analiza "Grupy pali" różni się w zależności od rodzaju podłoża gruntowego w sposób następujący:

- **grunty niespoiste:** zwykle stosowane są wartości **efektywne** parametrów wytrzymałościowych gruntu c_{ef}, φ_{ef}.
- **grunty spoiste:** w programie definiuje się jedynie wartość **całkowitej** wytrzymałości na ścinanie gruntu c_u, która determinuje nośność pionową grupy pali (lub bloku gruntowego).

Dodatkowe parametry wprowadzane są w zależności od ustawień z ramki "Ustawienia" i w zakładce "Grupa pali".

Podstawy teoretyczne dotyczące omawianego zaganienia opisano szczegółowo w rozdziale "Grupa pali".

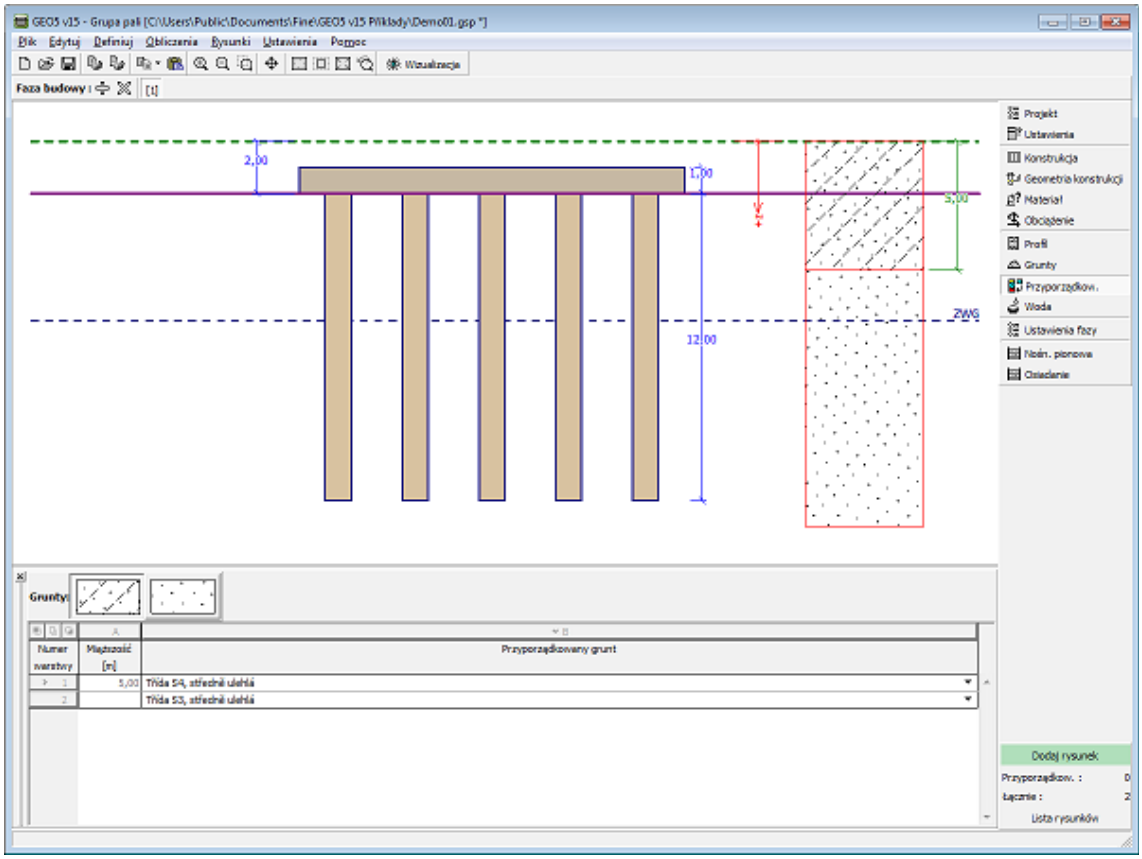


Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów"**.**



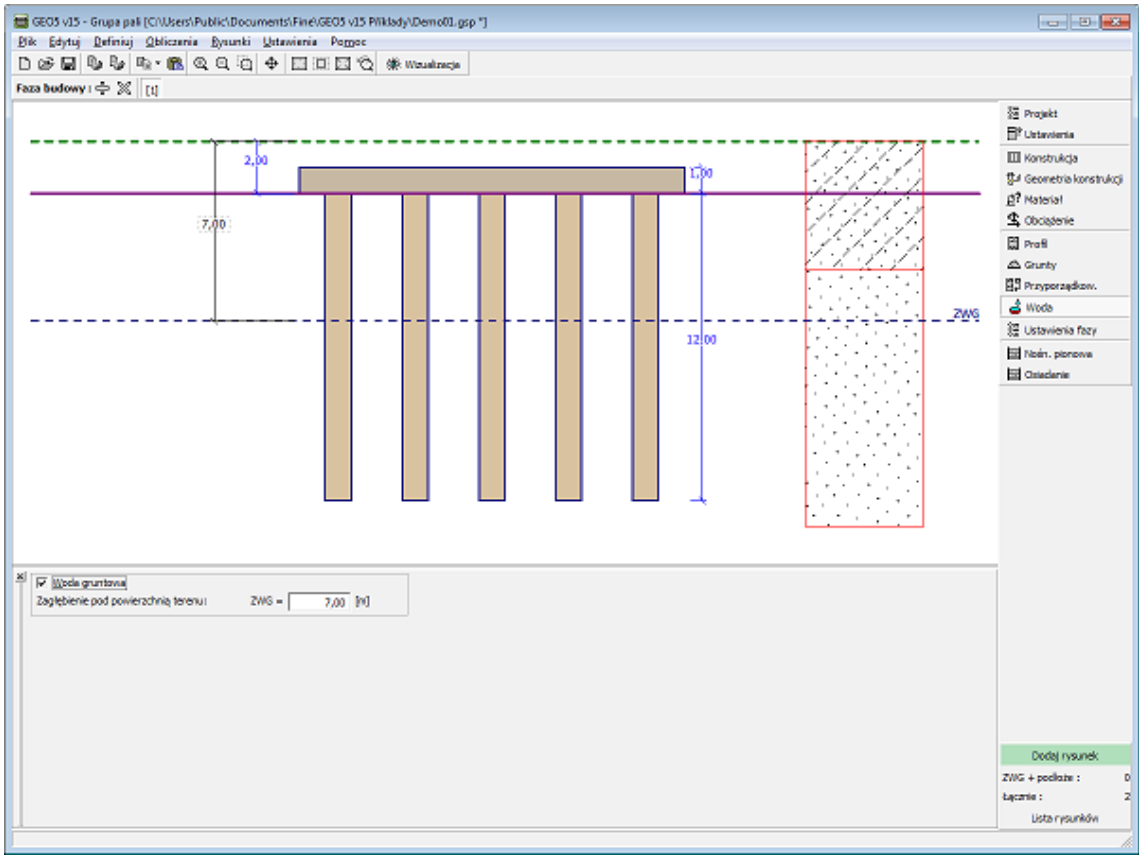
Ramka "Przyporządkowanie"

Woda

Ramka "**Woda**" służy do definiowania **zagłębienia zwierciadła wody gruntowej** pod powierzchnią terenu.

Wartości można edytować w ramce za pomocą pola do definiowania, lub na ekranie komputera za pomocą aktywnych wymiarów.

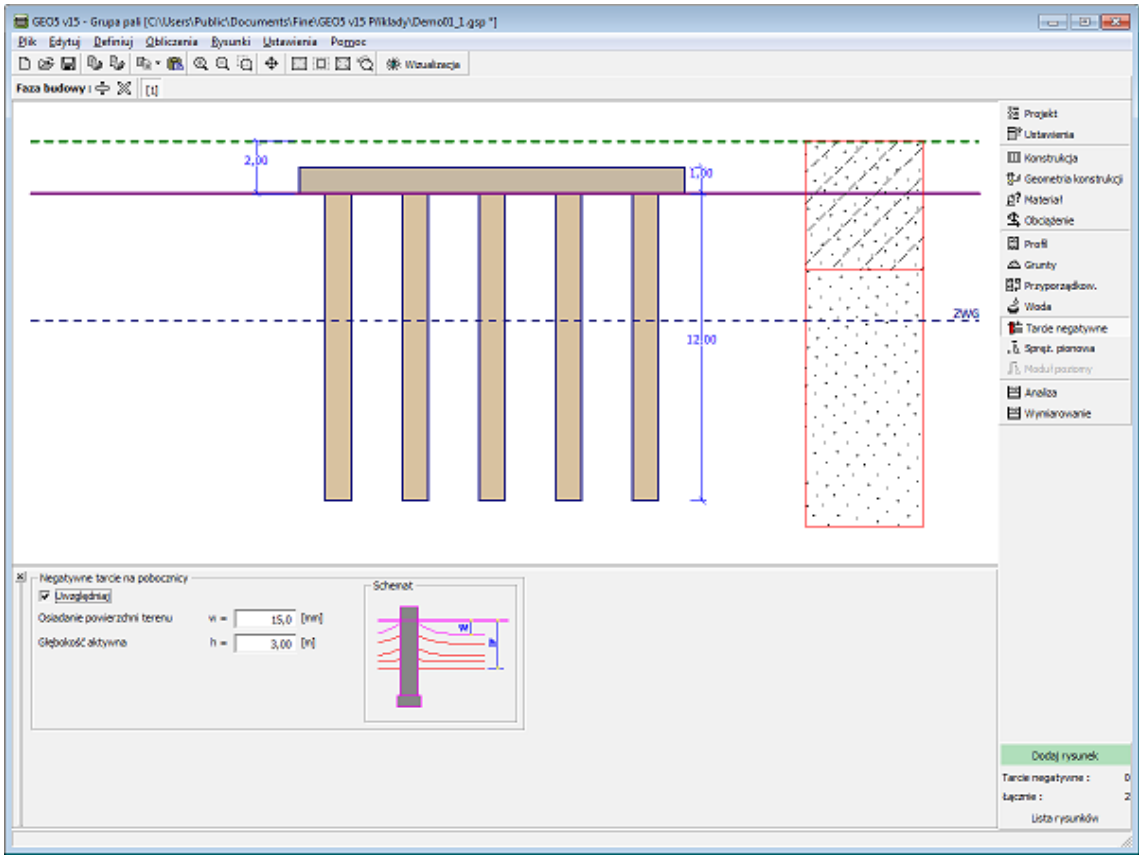
Zdefiniowanie **ZWG** powoduje zmianę naprężeń geostatycznych w masywie gruntowym.



Ramka "Woda"

Tarcie negatywne

Ramka "**Tarcie negatywne**" służy do określenia osiadania terenu otaczającego pal oraz głębokości aktywnej. Szczegółowe informacje na temat wpływu tarcia ujemnego na pobocznicy można znaleźć w części teoretycznej pomocy.



Ramka "Tarcie negatywne"

Sprężyny pionowe

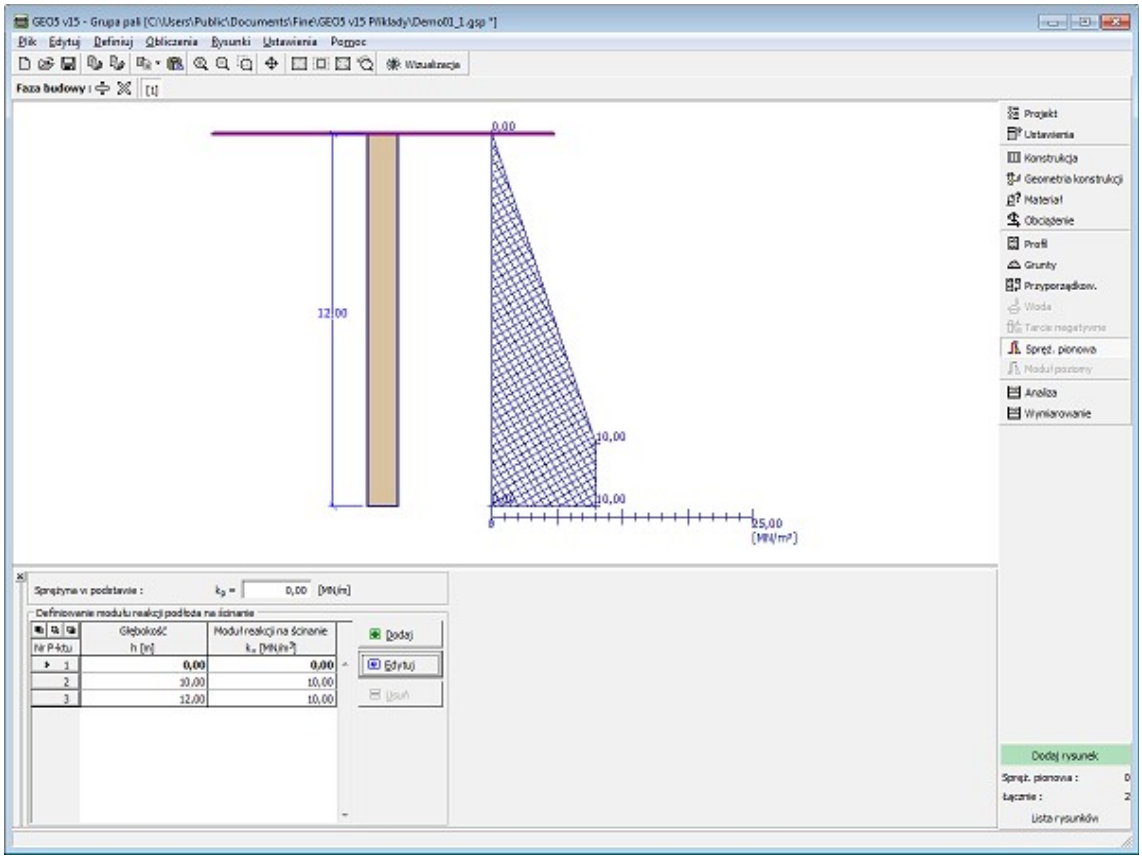
Ramka "**Sprężyny pionowe**" jest aktywna tylko przy analizowaniu **pali zawieszonych**. Zdefiniowane sprężyny (podpory sprężyste) wyświetlane są w tabeli.

Opcja "**definiuj sztywności sprężyn**" wymaga zdefiniowania:

- sprężyny w podstawie $[MN/m]$
- modułu reakcji podłoża na ścinanie wzdłuż pala $[MN/m^3]$.

Zdefiniowane wartości są takie same dla wszystkich pali. W analizie, sztywności pionowe pali wewnętrznych i zewnętrznych w grupie są redukowane za pomocą poszczególnych współczynników.

Opcja "**sztywności sprężyn wyznacz na podstawie parametrów gruntów**" wymaga zdefiniowania obciążenia typowego w celu uzyskania sztywności sprężyn na podstawie obliczeń.

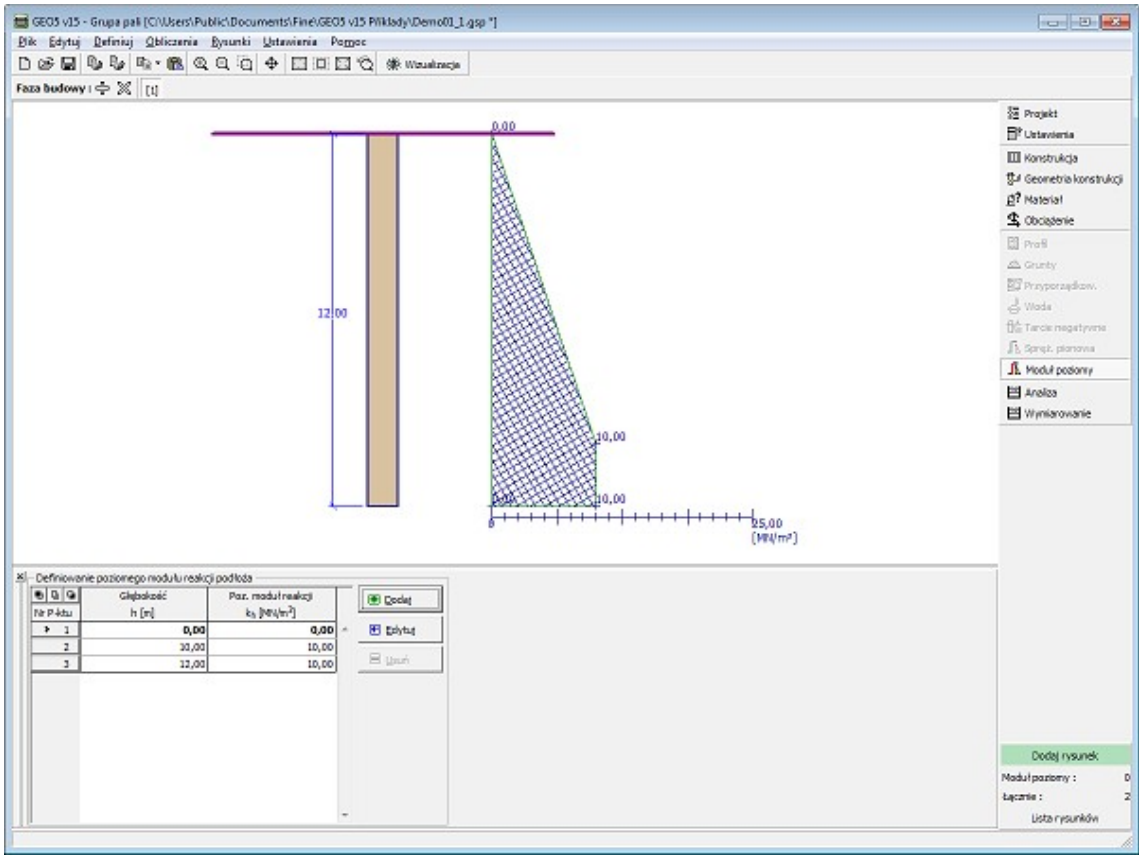


Ramka "Sprężyny pionowe"

Moduł poziomy

Ramka "**Moduł poziomy**" służy do definiowania poziomego modułu reakcji podłoża charakteryzującego reakcję pala w kierunku poziomym.

Zdefiniowane wartości modułu reakcji podłoża na danych głębokościach profilu wyświetlane są w tabeli.

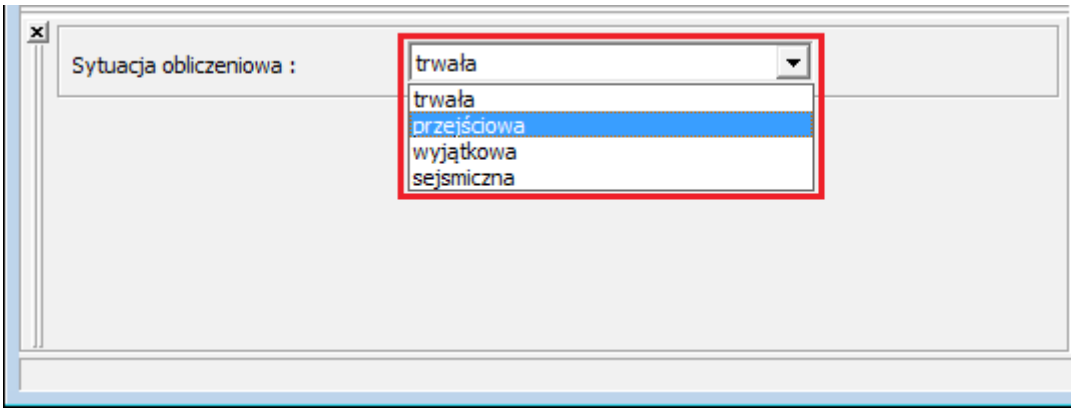


Ramka "Moduł poziomy"

Ustawienia fazy

Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących tylko wybranej fazy obliczeniowej.

Wybrana sytuacja obliczeniowa określa współczynniki bezpieczeństwa, które będą zastosowane w obliczeniach danej fazy budowy.



Ramka "Ustawienia fazy"

Nośność pionowa - rozwiązanie analityczne

Ramka "**Nośność pionowa - rozwiązanie analityczne**" służy do weryfikacji nośności pionowej grupy pali. W ramce istnieje możliwość przeprowadzenia kilku obliczeń.

Analizę sprawdzającą można przeprowadzić dla poszczególnych obciążeń, lub też program może zidentyfikować **najbardziej krytyczne** (wyboru można dokonać z listy rozwijanej).

Analiza wykonywana jest zgodnie z teorią ustawioną w ramce "Ustawienia" rozwiązanie analityczne):

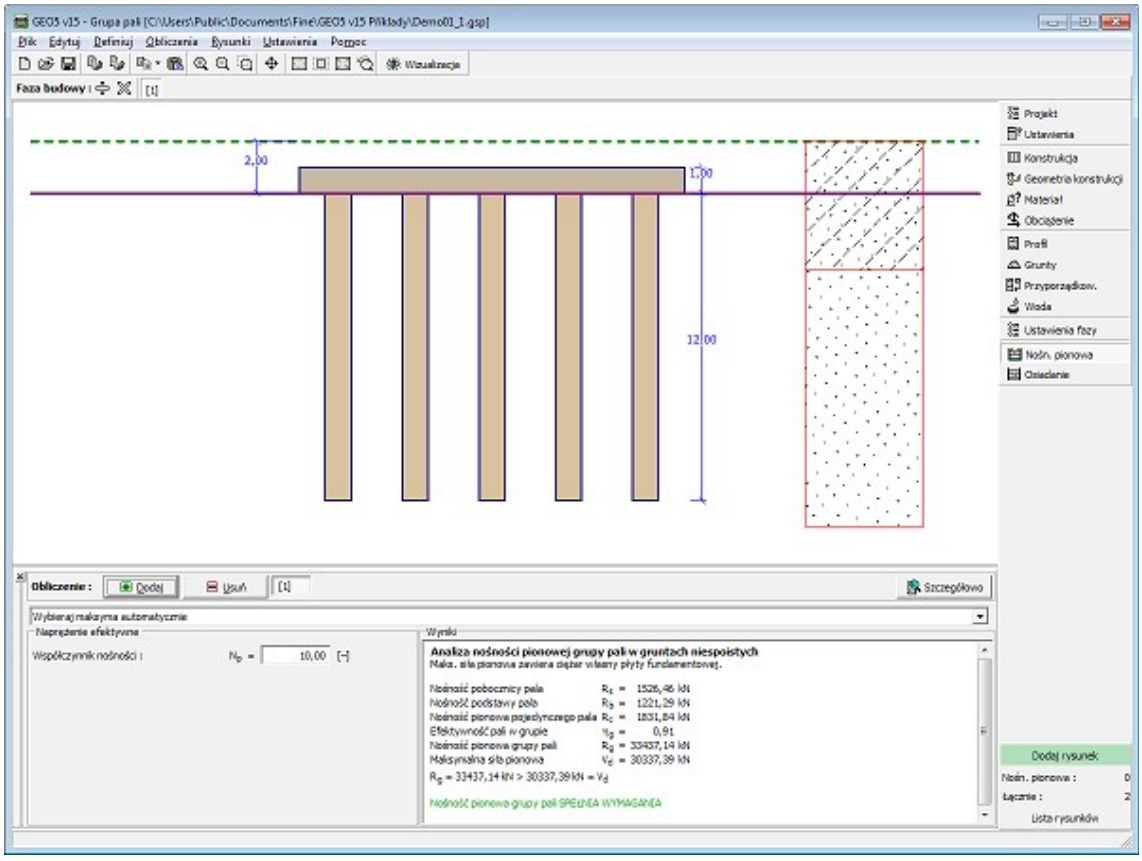
- dla gruntu spoistego (w warunkach bez odpływu) - analiza nośności bloku gruntu zgodnie z FHWA
- dla gruntu niespoistego (w warunkach z odpływem) - NAVFAC DM 7.2, Naprężenia efektywne, CSN 73 1002

Parametry potrzebne do analizy grupy pali definiowane są dla poszczególnych metod w lewej części ramki.

Analiza sprawdzająca wykonywana jest zgodnie z metodologią wybraną w zakładce "Grupa pali" (współczynnik bezpieczeństwa, teoria stanów zależnych, EN 1997-1).

Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe zawierające szczegółowe zestawienie wyników obliczeń.

Wyniki analizy wyświetlane są po prawej stronie ekranu komputera.

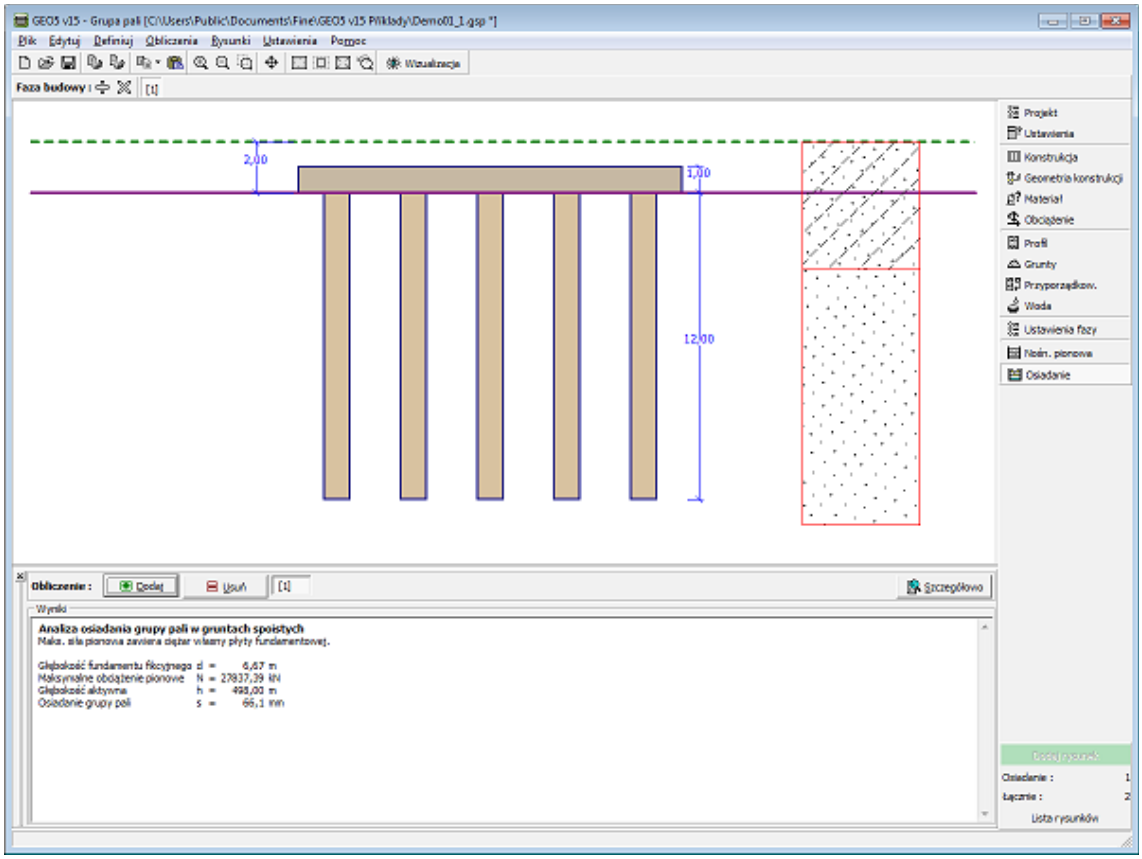


Ramka "Nośność pionowa" - rozwiązanie analityczne

Osiadanie - grunt spoisty

Ramka "Osiadanie" (grunt spoisty), służy do wyliczania osiadania grupy pali w gruntach spoistych. Analiza osiadania wykonywana jest zgodnie z teorią ustawioną w zakładce "Grupa pali". Wyniki analizy wyświetlane są w prawej części ekranu komputera.

Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe zawierające szczegółowy opis wyników analizy obliczeniowej.



Ramka "Osiadanie - grunt spoisty"

Osiadanie - grunt niespoisty (krzywa obciążenie-osiadanie)

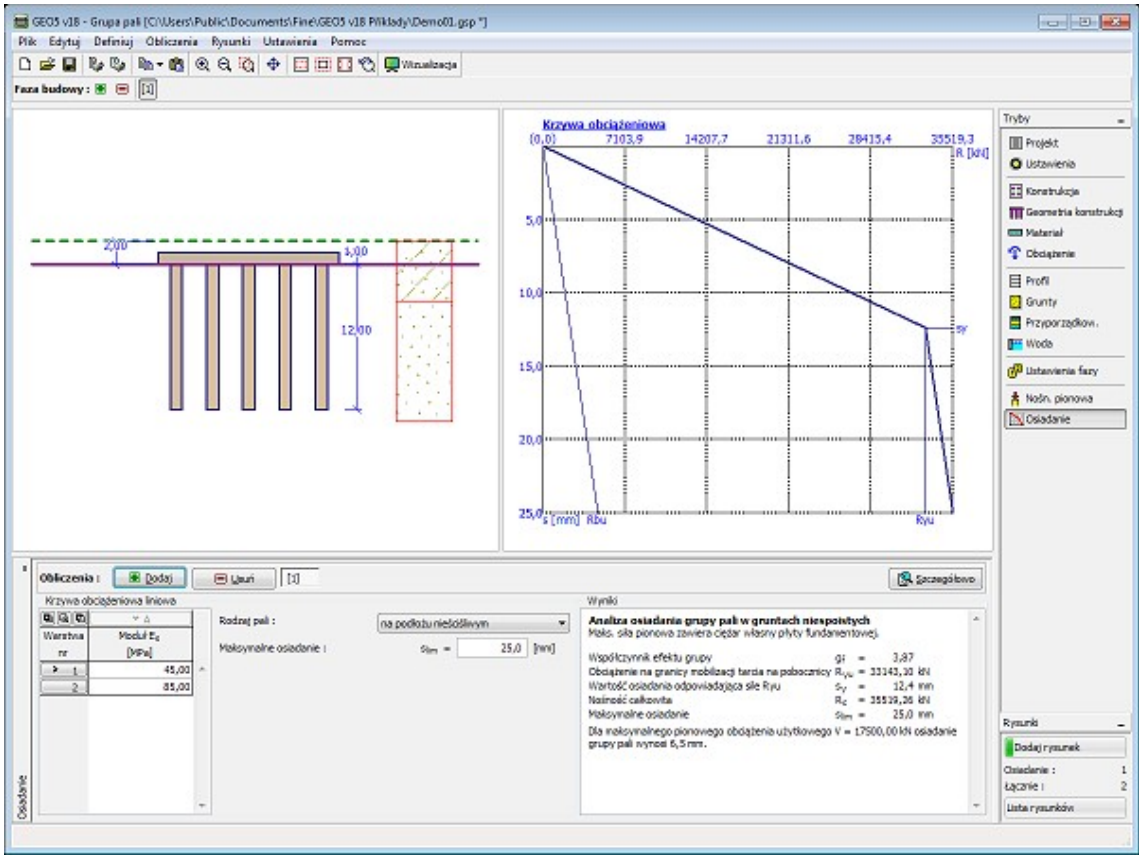
Ramka "**Osiadanie**" wyświetla liniową krzywą obciążeniową (obciążenie-osiadanie) dla osiadania grupy pali w gruntach niespoistych. W ramce można przeprowadzić kilka analiz.

Krzywa obciążeniowa (zależność obciążenie-osiadanie) dla grupy pali wyliczana jest zawsze dla zdefiniowaniego **osiadania granicznego**.

Tabela w lewej dolnej części ramki pozwala na bezpośrednie definiowanie siecznego modułu odkształcenia dla poszczególnych warstw gruntu.

Wyniki analizy wyświetlane są w prawej górnej części pulpitu. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które prezentuje szczegółowe wyniki analizy obliczeniowej.

Wyniki analizy (krzywa obciążeniowa, wykres obciążenie-osiadanie dla grupy pali) wyświetlane są w prawej części pulpitu.



Ramka "Osiadanie" - grunt niespoisty (krzywa obciążeniowa; wykres obciążenie-osiadanie dla grupy pali)

Analiza - metoda sprężysta

Ramka "Analiza" (metoda sprężysta) służy do analizy grupy pali za pomocą metody sprężystej. Analiza wykonywana jest po naciśnięciu przycisku "**Obliczenia**".

Po wykonaniu analizy wyniki pokazane są w prawej części ramki ("**Wyniki**") gdzie podane są informacje o **maksymalnych siłach wewnętrznych, przemieszczeniach i obrocie konstrukcji**. Pprzedstawione w oknie dialogowym przemieszczenia konstrukcji wyznaczane są dla obciążeń charakterystycznych. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe, które prezentuje szczegółowe wyniki analizy obliczeniowej.

W lewej części ramki istnieje możliwość zdefiniowania sposobu prezentacji wyników na ekranie:

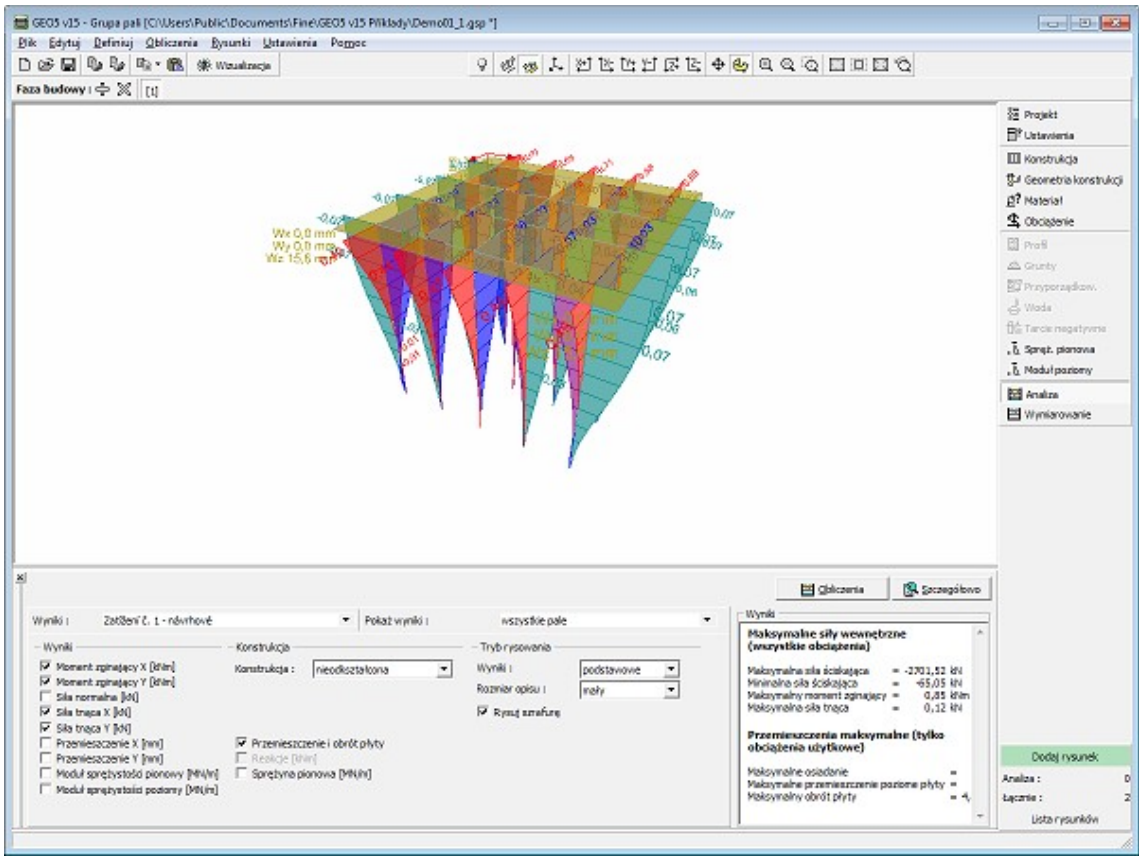
- **Wyniki** - wyniki mogą być wyświetlane dla poszczególnych przypadków obciążeń lub ich obwiedni.
- **Pokaż wyniki** - wyniki mogą być wyświetlone dla wszystkich pali, lub tylko dla poszczególnych pali
- **Wyniki (wartości)** - wizualizacja wartości poszczególnych zmiennych (momenty, siły normalne i tnące, przemieszczenia, sprężyny, itp..)
- **Konstrukcja** - pozwala na pokazanie zdeformowanej konstrukcji (dla obwiedni obciążeń może być wyświetlona tylko konstrukcja nie zdeformowana), następnie możliwe jest pokazanie wartości odchylenia oczepu pala, reakcje oraz wartości sprężyn w podstawie

pala

- **Tryb rysowania** - definiuje styl prezentacji wyników

Wyświetlane wyniki mogą być w dowolnym momencie dodane do "Listy rysunków" a następnie wykorzystane w raporcie z obliczeń.

Obrót, przybliżenie (zoom) i podświetlenie konstrukcji można dostosowywać za pomocą poziomego paska narzędzi "Wizualizacja". Wizualizację wyników można również modyfikować w ramce "Konfiguracja rysunku".



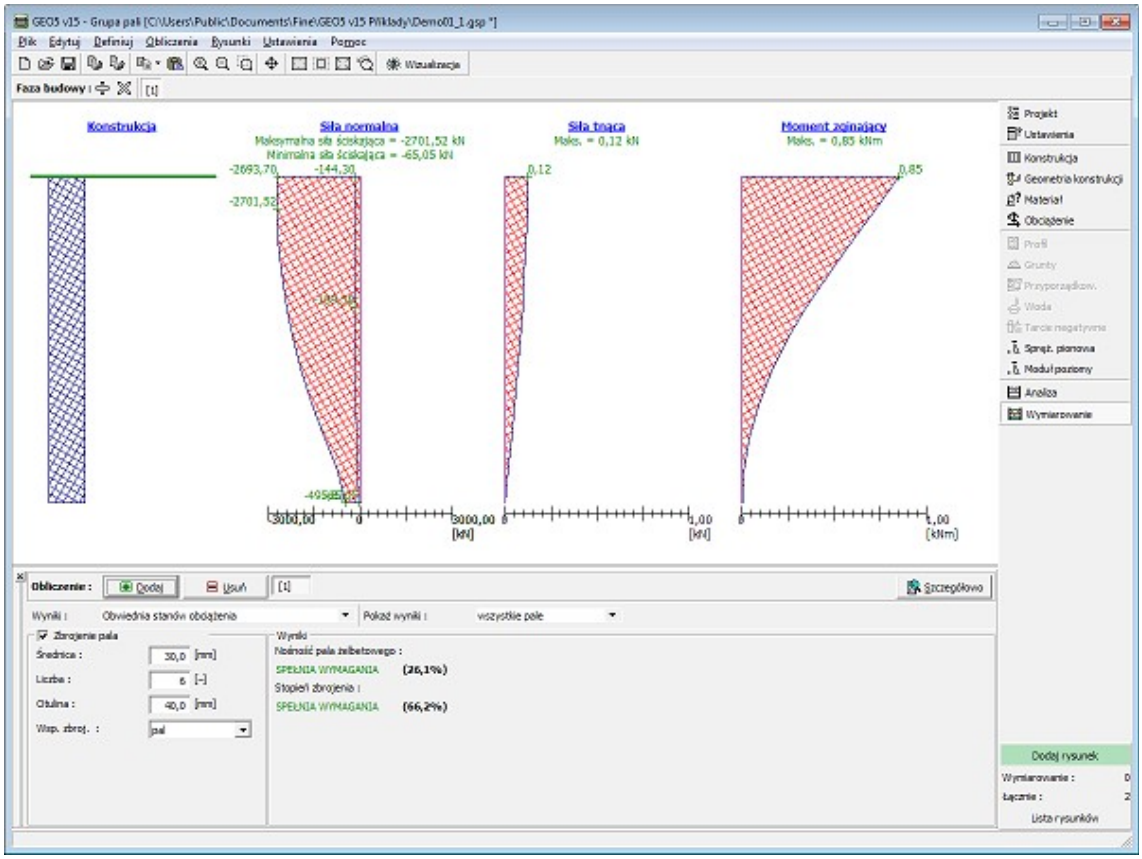
Ramka "Analiza" - metoda sprężysta

Wymiarowanie

Ramka "**Wymiarowanie**" pozwala programom na przyjęcie wyników obliczeń wykonanych w ramce "Analiza" do wymiarowania zbrojenia. Zarówno obwiednie stanów obciążenia, jak i poszczególne przypadki obciążenia moga byc wybrane do wymiarowania. Zbrojenie można zaprojektować dla wybranego pala, można też przyjąć to samo zbrojenie dla wszystkich pali w grupie.

Wymiarowanie pali żelbetowych wykonywane jest zgodnie z normą wybraną w zakładce "Materiały i normy".

Wizualizację wyników można również modyfikować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Wymiarowanie" - metoda sprężysta

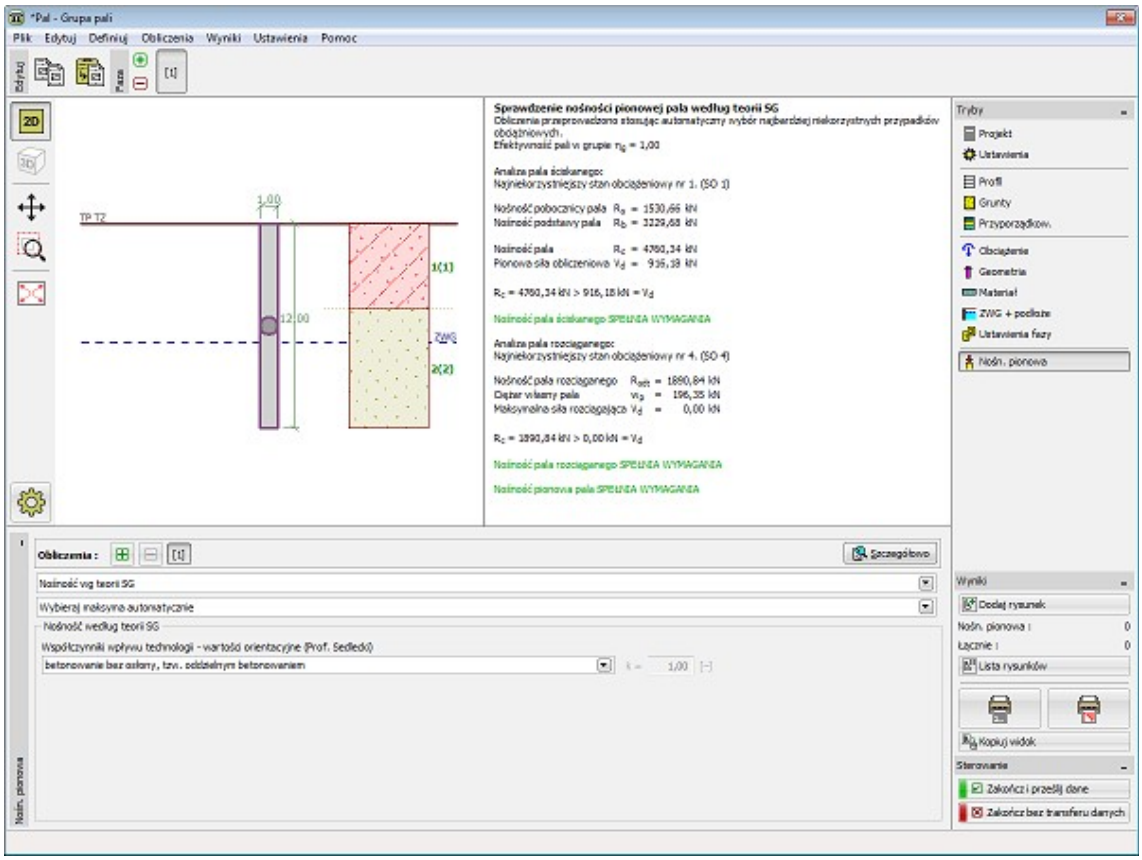
Nośność

W zależności od wyboru dokonanego w ramce "Ustawienia" (metoda sprężysta, metoda sprężysta - mikropale) program "**Pal**" lub "**Mikropal**" uruchamiany jest automatycznie po kliknięciu pozycji "**Nośność**".

Pal

Wciśnięcie przycisku "**Nośność**" uruchamia program "**Pal**" i wszystkie niezbędne do analizy dane są automatycznie przenoszone do tego programu. W programie "**Pal**" można wykonać obliczenia **nośności pionowej** pala. Jeśli program "**Pal**" nie jest zainstalowany, przycisk "Nośność" jest niedostępny.

Po wykonaniu obliczeń w programie "Pal" należy wcisnąć przycisk "**Zakończ i prześlij dane**", wówczas wyniki obliczeń zostaną automatycznie przesłane do dokumentacji obliczeniowej generowanej w programie "**Grupa pali**".

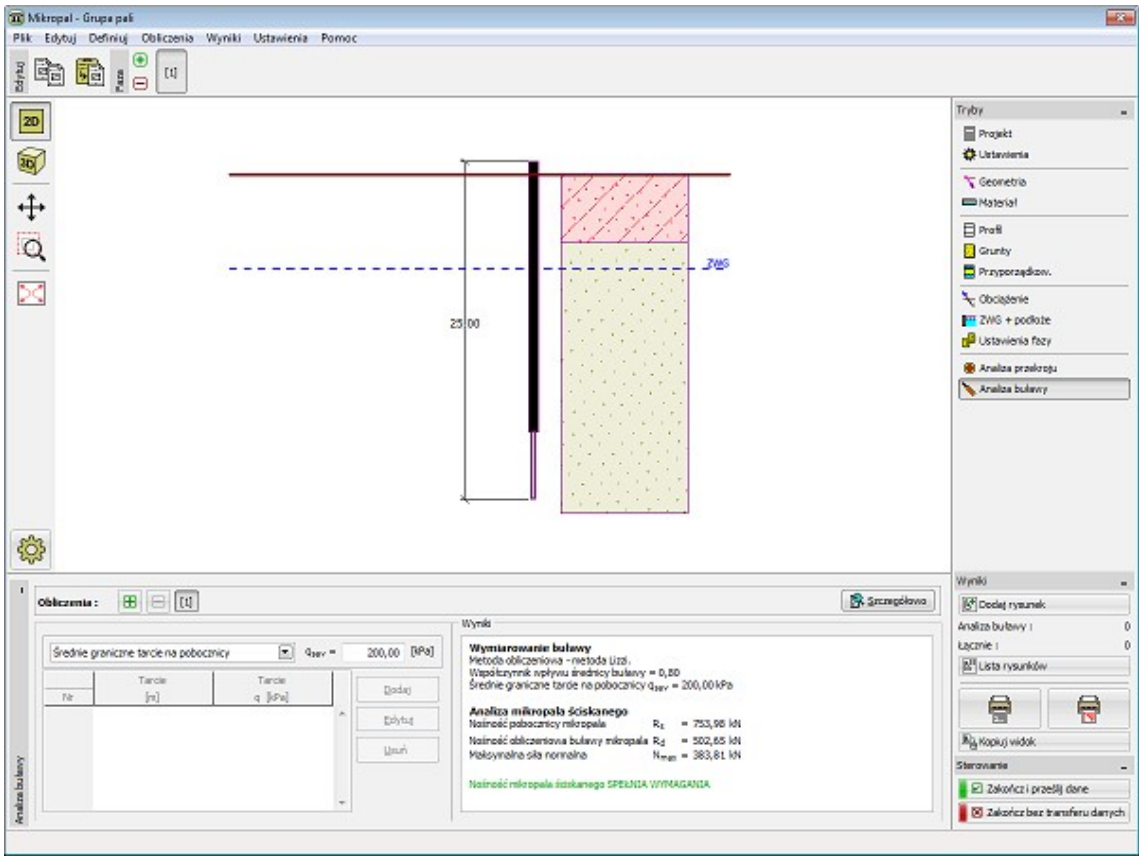


Program "Pal"

Mikropal

Wciśnięcie przycisku "**Nośność**" uruchamia program "**Mikropal**" i wszystkie niezbędne do analizy dane są automatycznie przenoszone do tego programu. W programie "Mikropal" można wykonać obliczenia **nośności buławy i przekroju mikropala**. Jeśli program "**Mikropal**" nie jest zainstalowany, przycisk "Nośność" jest niedostępny.

Po wykonaniu obliczeń w programie "Mikropal" należy wcisnąć przycisk "**Zakończ i prześlij dane**", wówczas wyniki obliczeń zostaną automatycznie przesłane do dokumentacji obliczeniowej generowanej w programie "**Grupa pali**".



Program "Mikropal"

Program Mikropal

Program ten służy projektowania mikropali w osłonie rury stalowej. W obliczeniach nośności mikropala program sprawdza zarówno nośność buławy jak i rury osłonowej.

Pomoc w programie "Mikropal" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

  Projekt | Ustawienia | Profil | Grunty | Geometria | Materiał | Przyporządkowanie

  Obciążenie | Woda | Badania SPT | Badania presjometryczne | Analiza przekroju | Analiza buławy

- Normy i metody obliczeniowe

- Teoria obliczeniowa do programu "**Mikropal**":

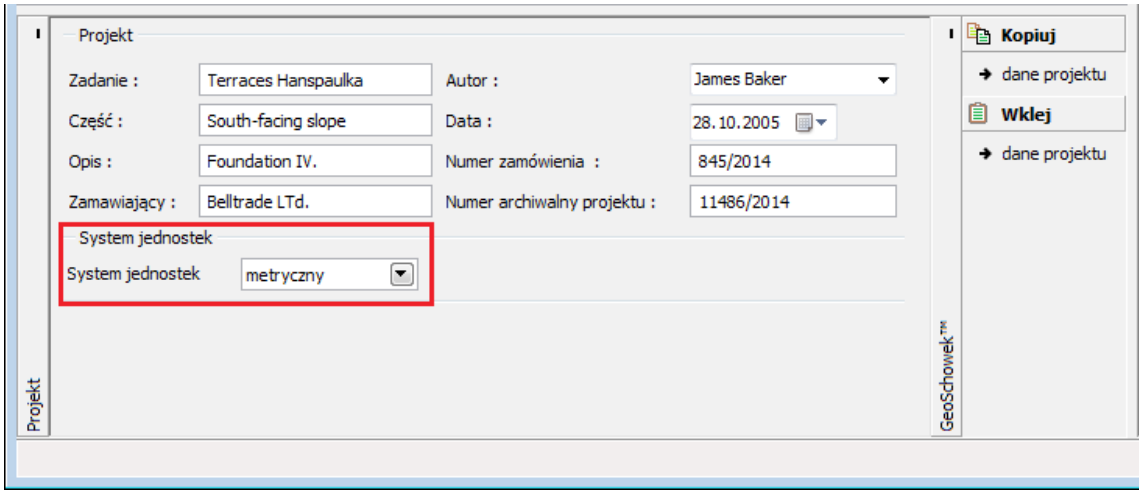
  Mikropal | Badania polowe

- Dane wyjściowe
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z

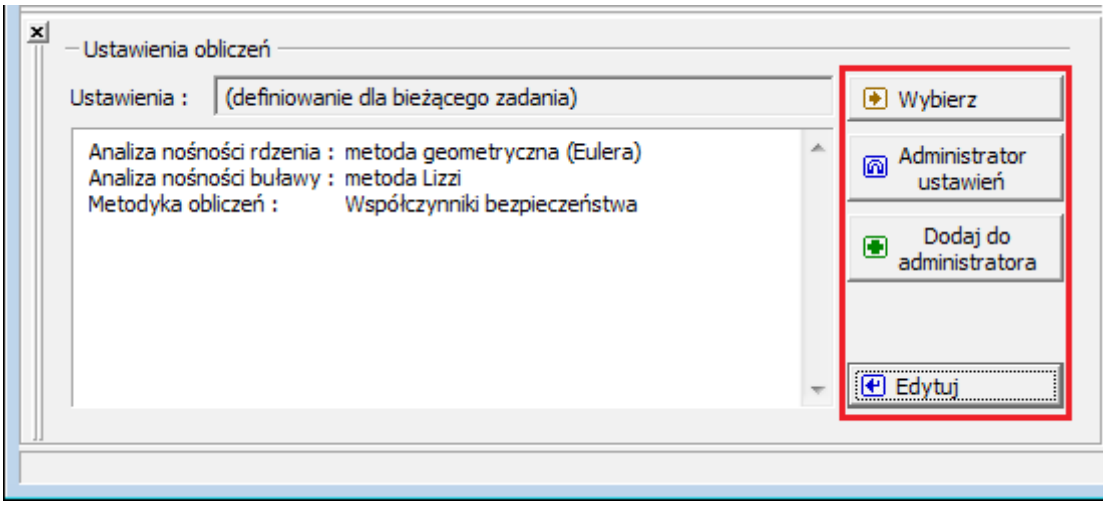
Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładce "Mikropale".



Ramka "Ustawienia"

Profil

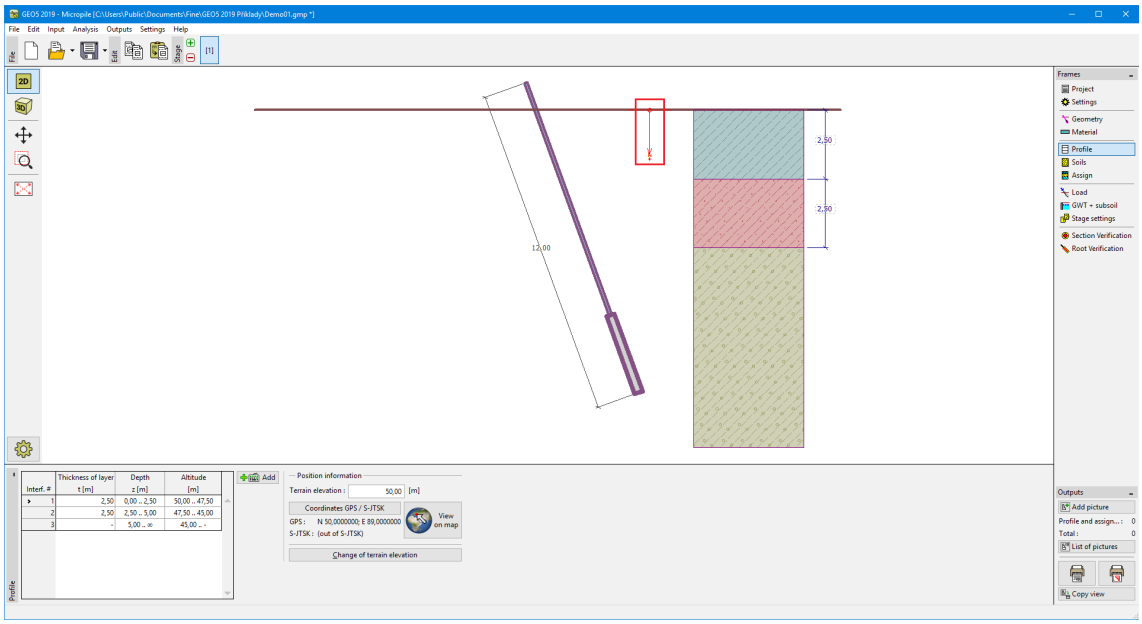
Ramka "**Profil**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych warstw. Po zdefinowaniu poszczególnych warstw można edytować ich miąższość za pomocą aktywnych wymiarów.

Dodawanie lub edycję warstw wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowa warstwa**". Definiowana jest rzędna *z* mierzona od górnego punktu konstrukcji (oś-*z*).

In this frame it is also possible to enter optional information about the structure location:

- **terrain elevation** - an altitude column for the layers is displayed in the table after input of terrain elevation
- **GPS coordinates** - it is possible to show a structure on the Google Maps using "**View on map**" button after input of coordinates.

Program umożliwia obniżenie lub podniesienie górnego punktu konstrukcji w oknie dialogowym "**Zmiana rzędnej terenu**", a zdefiniowane warstwy będą wówczas przesunięte, jednocześnie zachowując swoją miąższość. Funkcja ta jest istotna podczas kopiowania profilu z programu "**Teren**".



Ramka "Profil"

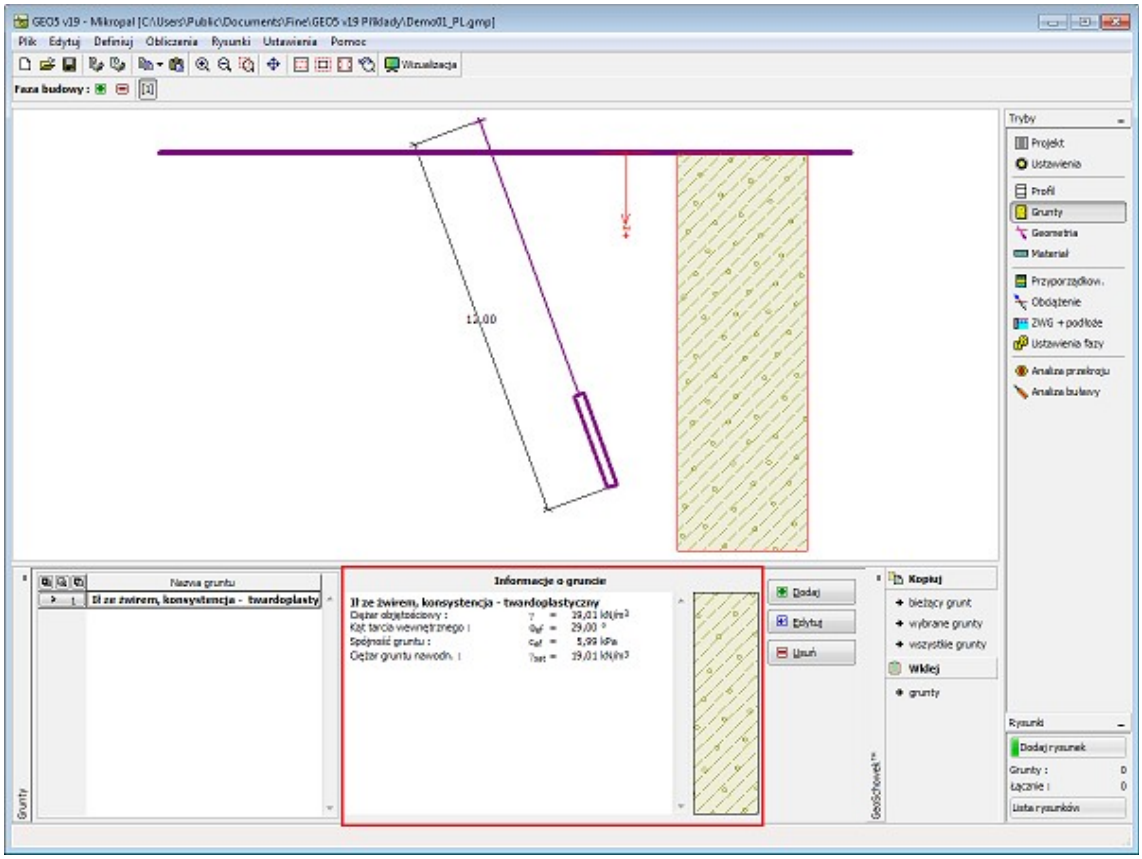
Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie (edycja) gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Dane podstawowe" oraz "Naprężenie geostatyczne, wypór". Parametry te uzależnione są od teorii obliczeniowej wybranej w zakładce "Mikropale".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



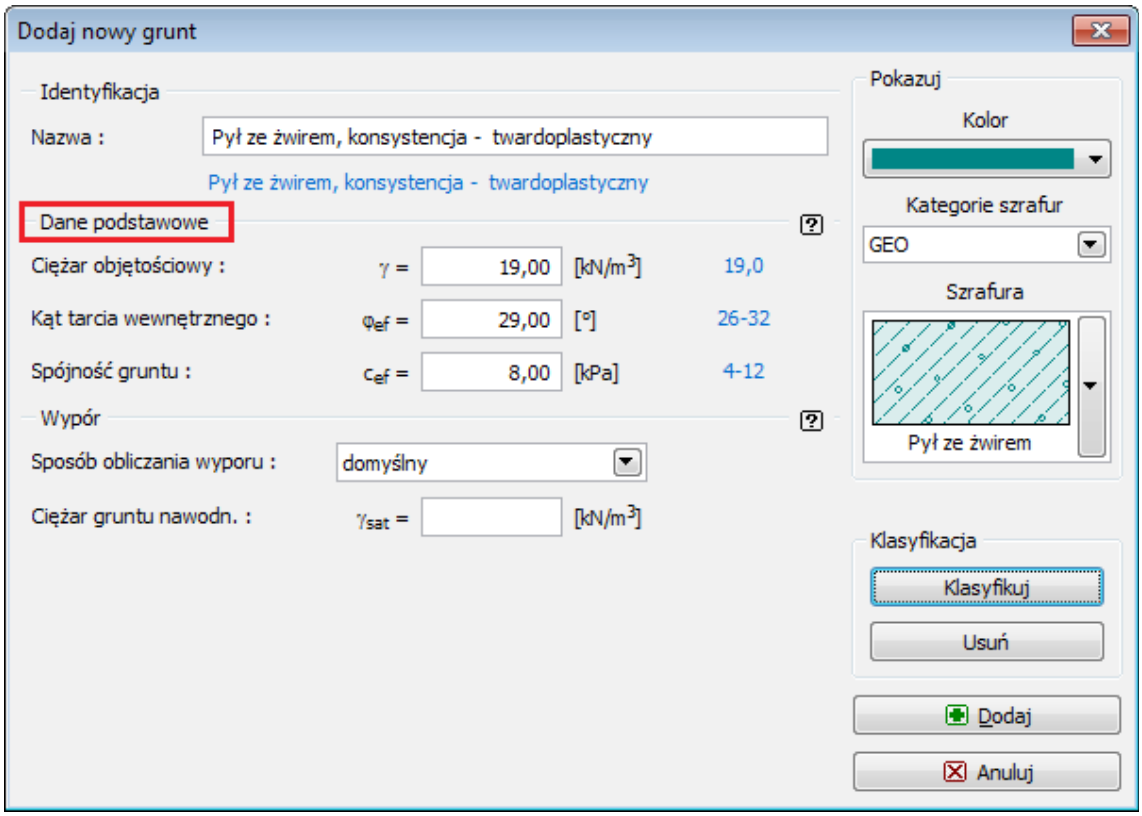
Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

Ta część okna dialogowego służy do definiowania podstawowych parametrów gruntów - **ciężaru objętościowego, kąta tarcia wewnętrznego** oraz **spójności**. Wartości te określane są na podstawie badań laboratoryjnych lub in-situ dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wartości parametrów gruntów określone na podstawie doświadczenia oraz literatury światowej. Parametry skał nie zostały zawarte w tej bazie, należy je definiować ręcznie. Szacunkowe parametry skał podano w podręczniku teoretycznym.

Przy obliczaniu nośności rdzenia z zastosowaniem metody Salas'a dodatkowo definiowany jest moduł sprężystości E.

Podstawy teoretyczne dotyczące omawianego zaganienia opisano w rozdziale "Mikropal".



Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

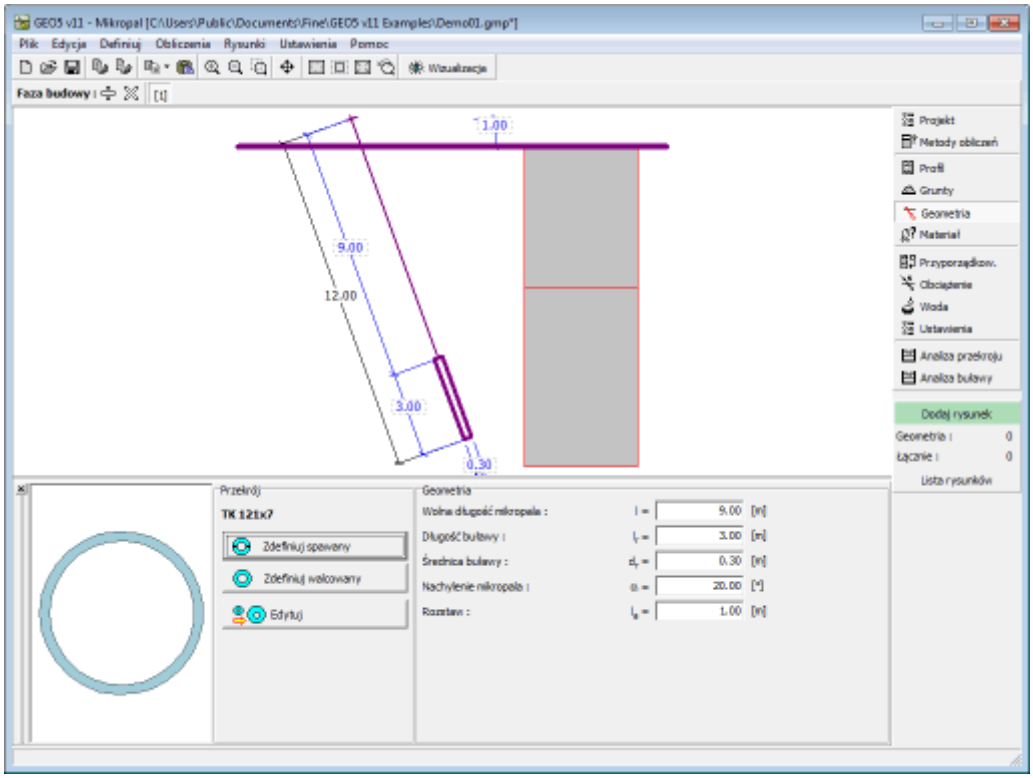
Geometria

Ramka "**Geometria**" służy do definiowania **przekroju mikropala** (spawany, walcowany). Wybrany kształt przekroju wraz z podpowiedzią graficzną zdefiniowanych parametrów wyświetlany jest w lewej części ramki. Wyboru przekroju dokonuje się w oknie dialogowym otwierającym się po naciśnięciu przycisku "**Zdefiniuj spawany**" lub "**Zdefiniuj walcowany**" (wyboru przekrojów walcowanych dokonuje się w oknie dialogowym z umieszczonego tam katalogu profili). W oknie tym, przycisk "**Informacje**" aktywuje okno, w którym wyświetlana jest szczegółowa lista parametrów wybranego przekroju. Wybrane dane można również zmodyfikować po dokonaniu wyboru rodzaju przekroju mikropala.

W prawej, górnej części ramki wyszczególnione są podstawowe dane geometryczne przekroju:

- długość wolna mikropala (odległość od głowicy mikropala do początku buławy mikropala)
- długość buławy
- średnica buławy
- nachylenie mikropala (w zakresie od $-60°$ do $60°$ mierzone od pionu, wartość dodatnia kąta mierzona jest przeciwnie do kierunku wskazówek zegara)
- rozstaw (odległość między głowicami mikropali ponad powierzchnią terenu, w zakresie od 0 do $10m$).

Program umożliwia również eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.



Ramka "Geometria"

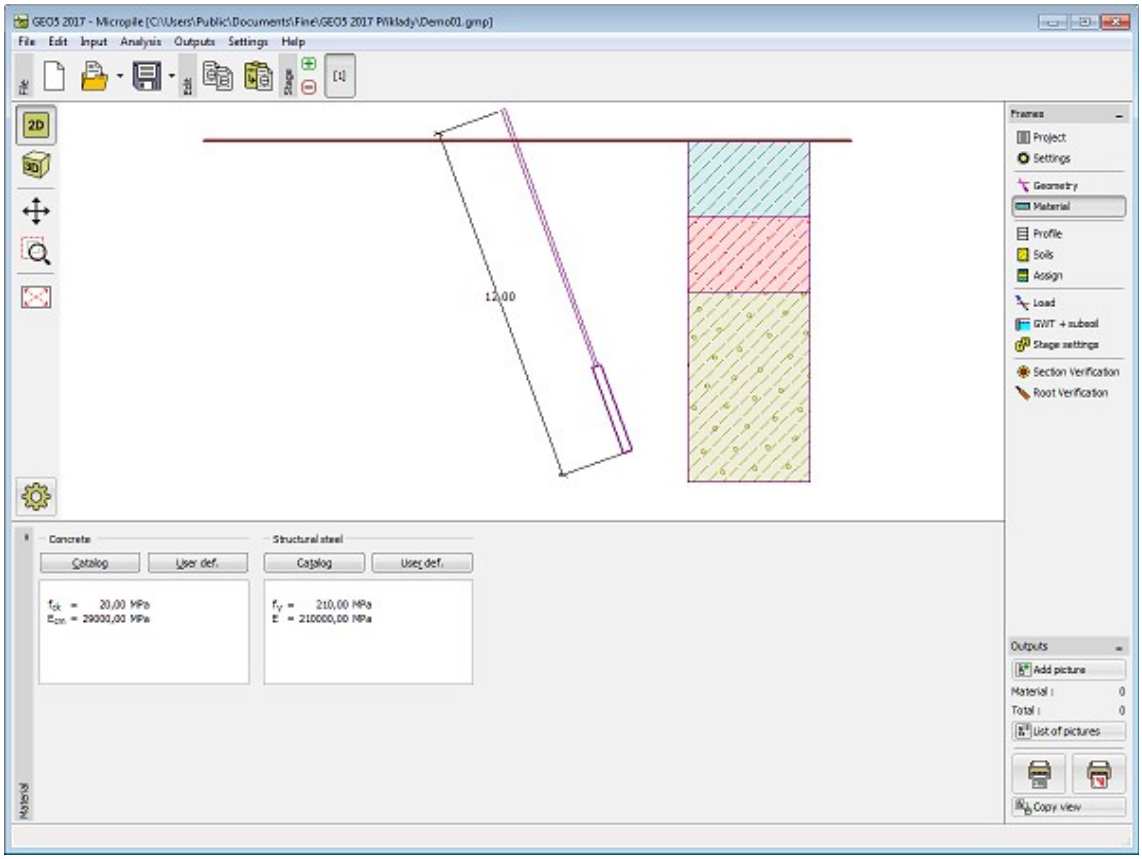
Materiał

Ramka "**Materiał**" umożliwia wybór stosowanych materiałów - betonu oraz stali konstrukcyjnej.

W ramce "**Materiał**" dostępne są dwie opcje wyboru rodzaju materiału:

- Przycisk "**Katalog**" otwiera okno dialogowe "**Katalog materiałów**", z zamieszczonej w nim listy materiałów można dokonać wyboru materiału.
- Przycisk "**Użytkownika**" otwiera okno dialogowe "**Edytor materiału**", które umożliwia ręczne określenie parametrów materiału przez użytkownika.

Zawartość katalogu zależna jest od wyboru odpowiedniej normy do wymiarowania konstrukcji betonowych lub stalowych, dokonywanego w zakładce "Materiały i normy".

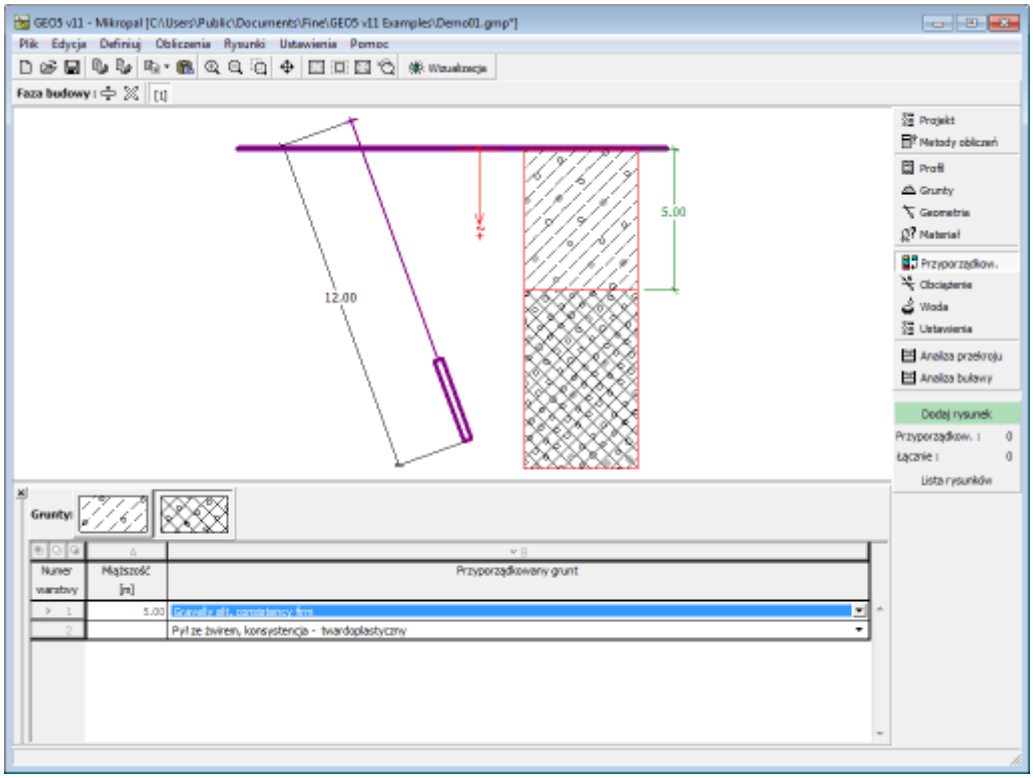


Ramka "Materiał"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

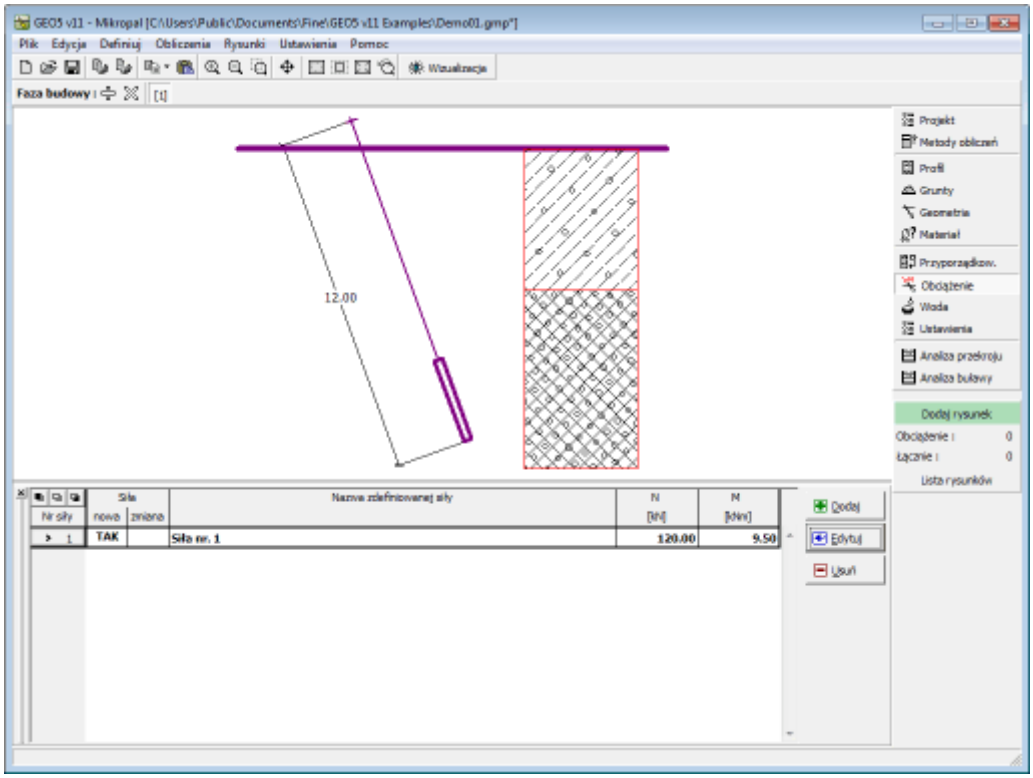
Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów"**.**



Ramka "Przyporządkowanie"

Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych obciążeń. Dodawanie sił wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Siły oraz momenty należy definiować zgodnie z konwencją znaków pokazaną w prawej części okna dialogowego.

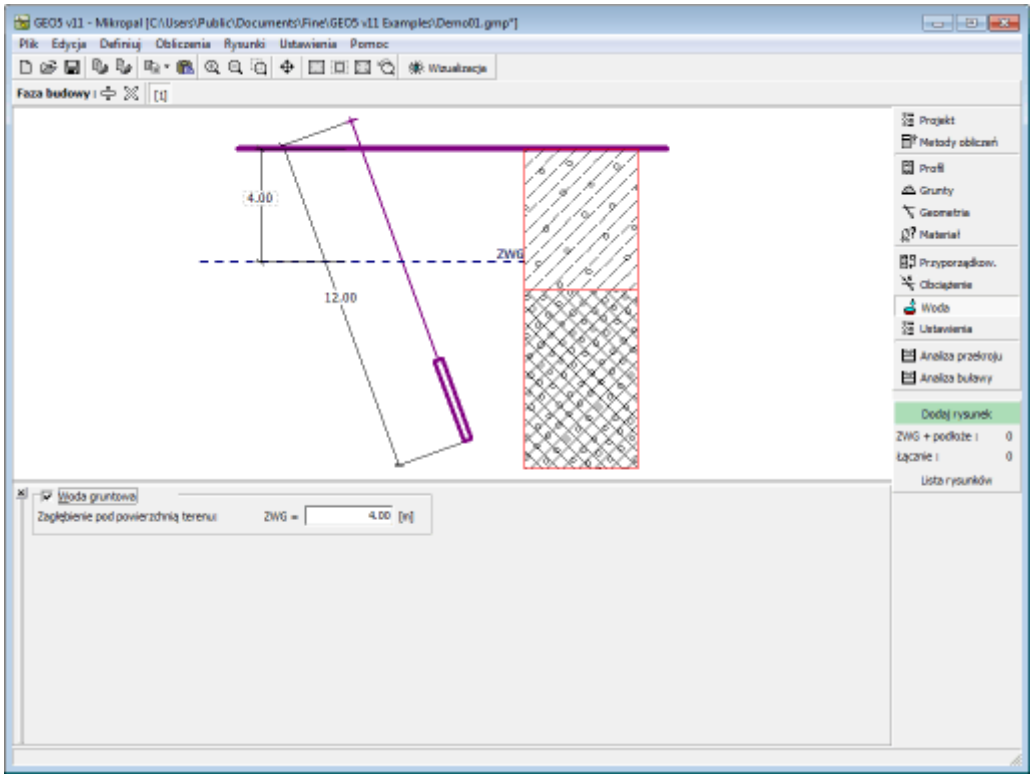


Ramka "Obciążenie"

Woda

Ramka "**Woda**" służy do definiowania **zagłębienia zwierciadła wody gruntowej** poniżej powierzchni terenu.

Wartości można definiować zarówno w odpowiednich polach w ramce, jak również na pulpicie wykorzystując wymiary aktywne.

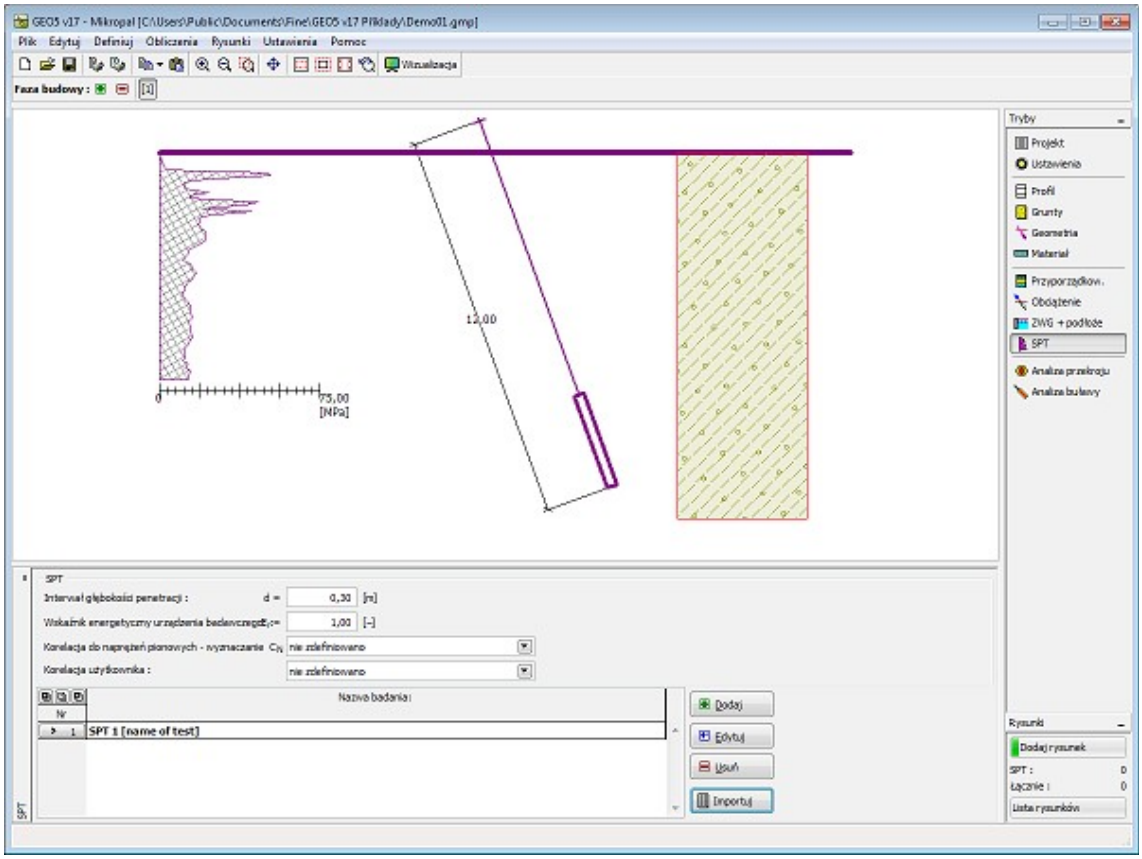


Ramka "Woda"

Badania SPT

Ramka "**Badania SPT**" zawiera tabelę z listą sondowań penetrometrycznych (SPT).

Wyniki badań SPT wykorzystywane są w analizie z zastosowaniem metody Bustamante.



Ramka "SPT"

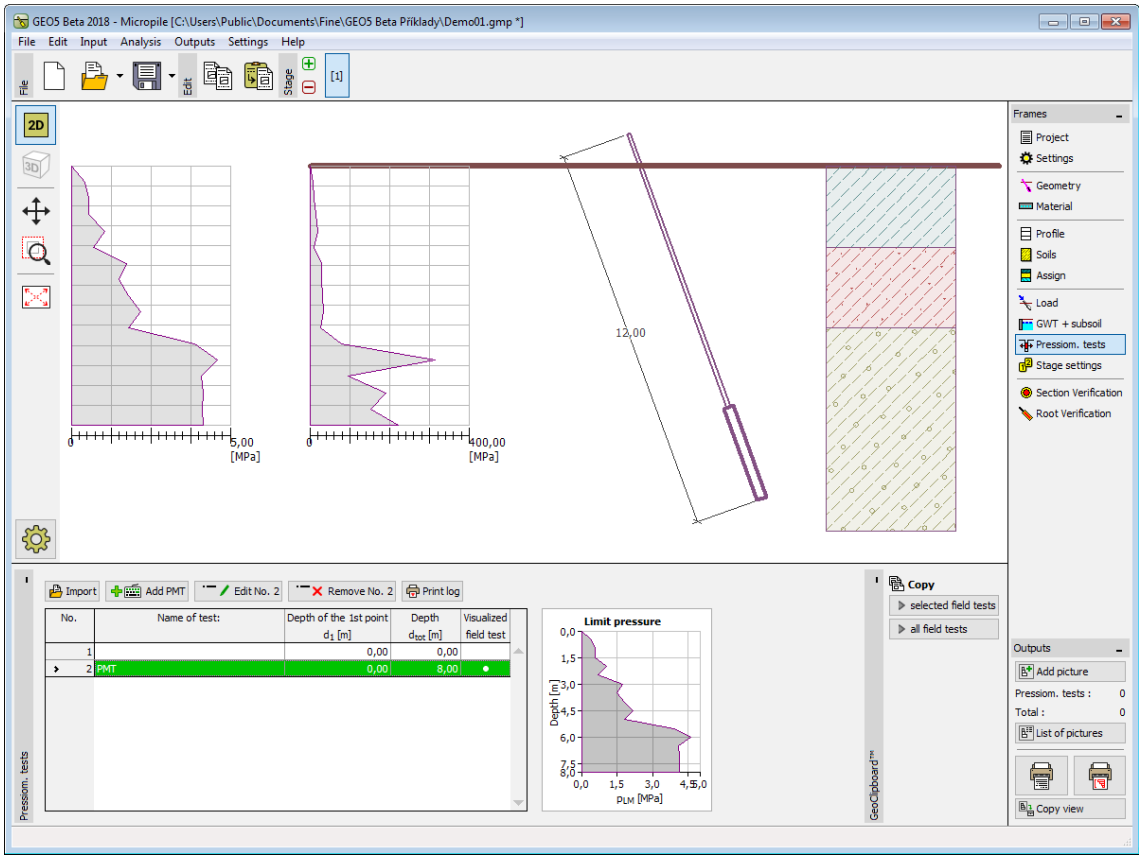
Wyniki sondowań penetrometrycznych (SPT) można importować do programu wstawiając pliki w różnych formatach (np. ***.TXT, *.CSV, *.XLSX, *.ODS**).

Dane badań SPT można kopiować pomiędzy programami "**Mikropal**", "**Fundamenty bezpośrednie CPT**", oraz "**Stratygrafia 3D**" poprzez "GeoSchowek".

Badanie presjometryczne

Ramka "**Badanie presjometryczne**" zawiera tablicę z listą zdefiniowanych punktów badań presjometrycznych (PMT).

Wyniki badań presjometrycznych wykorzystywane są w analizie z zastosowaniem metody Bustamante.



Ramka "Badanie presjometryczne"

Wyniki badań presjometrycznych (PMT) można importować do programu wstawiając pliki różnorodnych formatów (np. ***.TXT, *.CSV, *.XLSX, *.ODS**).

Dane z sondowań presjometrycznych można kopiować pomiędzy programami "**Mikropal**", "**Ściana analiza**", "**Pal stabilizujący**" i "**Stratygrafia 3D**" wykorzystując "GeoSchowek".

Analiza przekroju

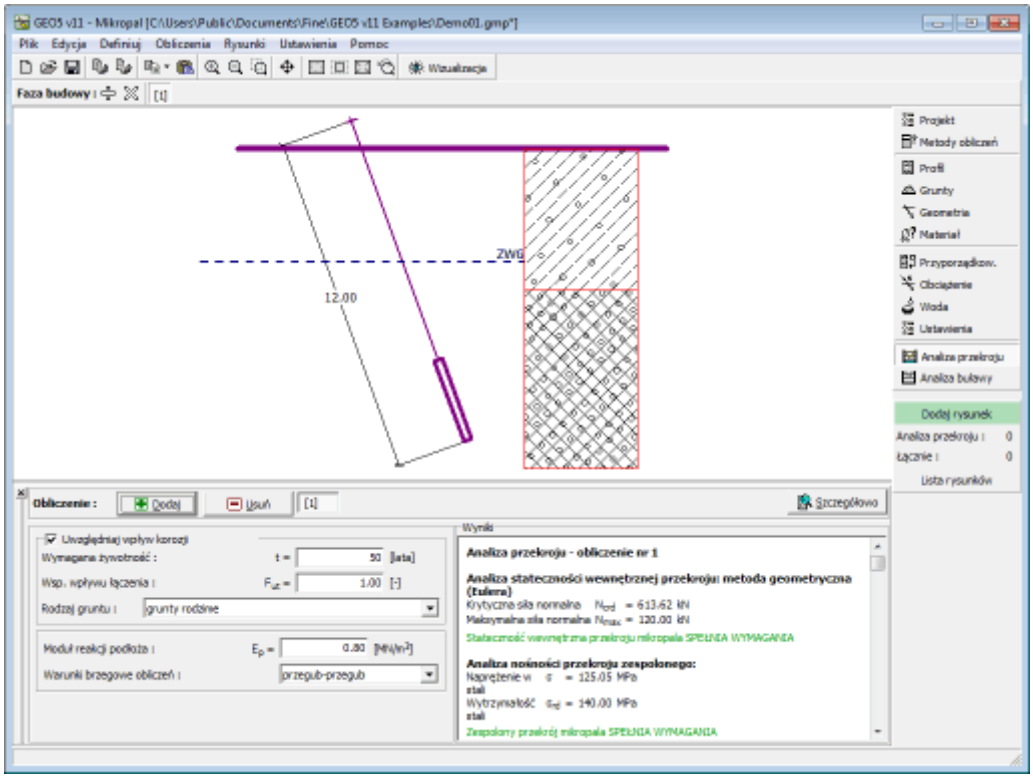
Wyniki analizy nośności przekroju wolnego (rury) mikropala obciążonego siłą ściskającą lub rozciągającą wyświetlane są w ramce "**Analiza przekroju**". W obrębie jednego zadania możliwe jest przeprowadzenie dowolnej liczby obliczeń. Lewa część ramki umożliwia zdefiniowanie modułu reakcji podłoża oraz wybranie opcji uwzględniania wpływu korozji w obliczeniach.

Przy obliczaniu nośności rury (przekroju poprzecznego) rozróżnia się obliczenia mikropali ściskanych i rozciąganych.

W przypadku rozciągania program określa nośność przekroju złożonego (wytrzymałość mieszanki cementowej nie jest uwzględniana).

W przypadku ściskania program sprawdza zarówno nośność przekroju złożonego jak i nośność wewnętrzną przekroju, w zależności od metody wybranej w zakładce "Mikropale".

Wyniki obliczeń wyświetlane są w prawej cześci okna. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe ze szczegółowym zestawieniem wyników obliczeń. Wizualizację wyników można również modyfikować w ramce "Konfiguracja rysunku".



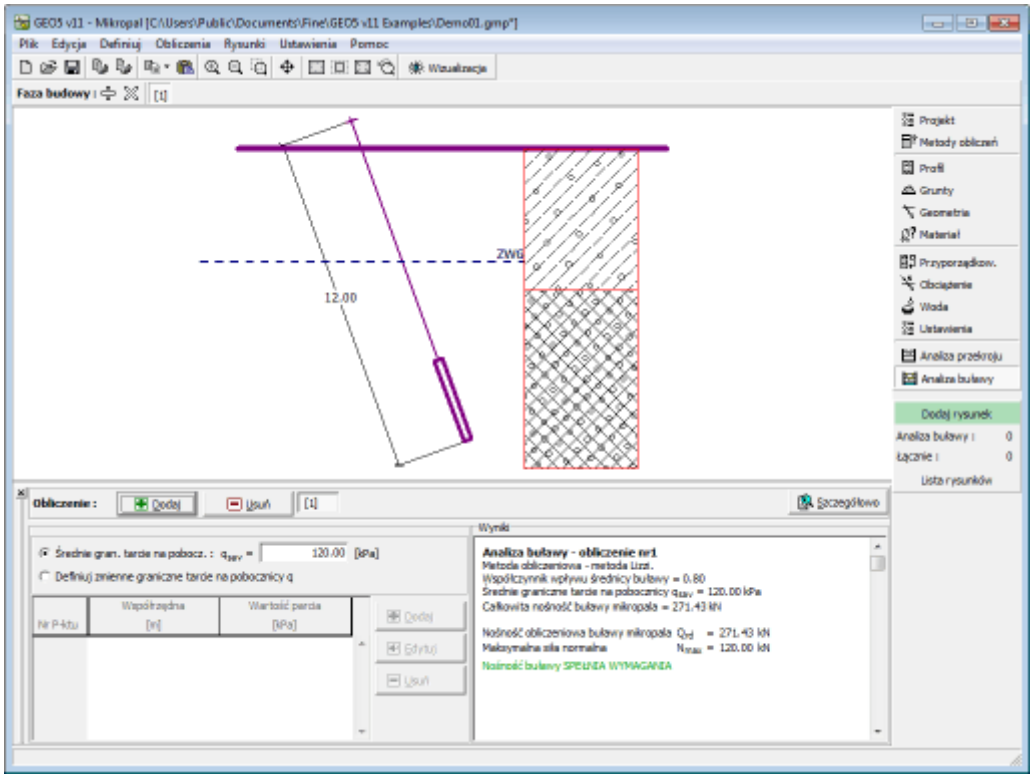
Ramka "Analiza przekroju"

Analiza buławy

Wyniki obliczeń buławy wyświetlane są w ramkę "**Analiza buławy**". W obrębie jednego zadania możliwe jest przeprowadzenie dowolnej liczby obliczeń. W lewej części ramki istnieje możliwość zdefiniowania granicznego tarcia na pobocznicy mikropala.

Metody obliczeniowe dotyczące analizy buławy mikropali opisane są szczegółowo w dalszej części instrukcji.

Wyniki obliczeń wyświetlane są w prawej cześci okna. Przycisk "**Szczegółowo**" otwiera okno dialogowe ze szczegółowym zestawieniem wyników obliczeń. Wizualizację wyników można również modyfikować w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Analiza buławy"

Program Płyta

Program Płyta służy do analizy płyt fundamentowych oraz płyt dowolnego kształtu na podłożu sprężystym, z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych.

Pomoc w programie "Płyta" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

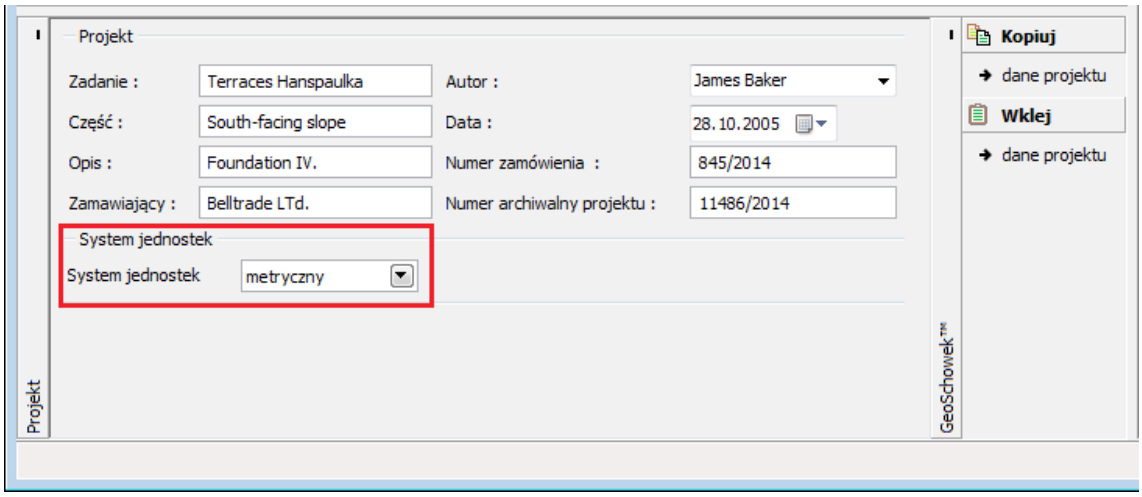
Projekt	Ustawienia	Węzły	Linie	Makroelementy	Otwory	Zagęszczenia węzłów
Zagęszczenie linii	Zagęszczenia makroelementów	Generacja siatki	Podpory w węzłach	Podpory linii	Elementy belkowe	Przeguby wewnętrzne
Podłoże makroelementu	Stany obciążeniowe	Obciążenia węzłów	Obciążenia linii	Obciążenia makroelementu	Swobodne obciążenia punktowe	Swobodne obciążenia liniowe
Swobodne obciążenia powierzchniowe	Kombinacja SGN	Kombinacja SGU	Parametry wymiarowania	Wymiarowanie makroelementu	Analiza	Wyniki
Rozkłady						

- Normy i metody obliczeniowe
- Teoria obliczeniowa dotycząca wymiarowania konstrukcji betonowych
- Dane wyjściowe
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" stosowana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu i określenia ogólnych ustawień wykonywanej analizy. Ramka posiada formularz definiowania, w którym można wpisać podstawowe dane dotyczące analizowanego zadania, tzn. informacje o projekcie, opis projektu, datę, itp. Informacje te są następnie zawarte w dokumentacji tekstowej i w preyentacji graficznej.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

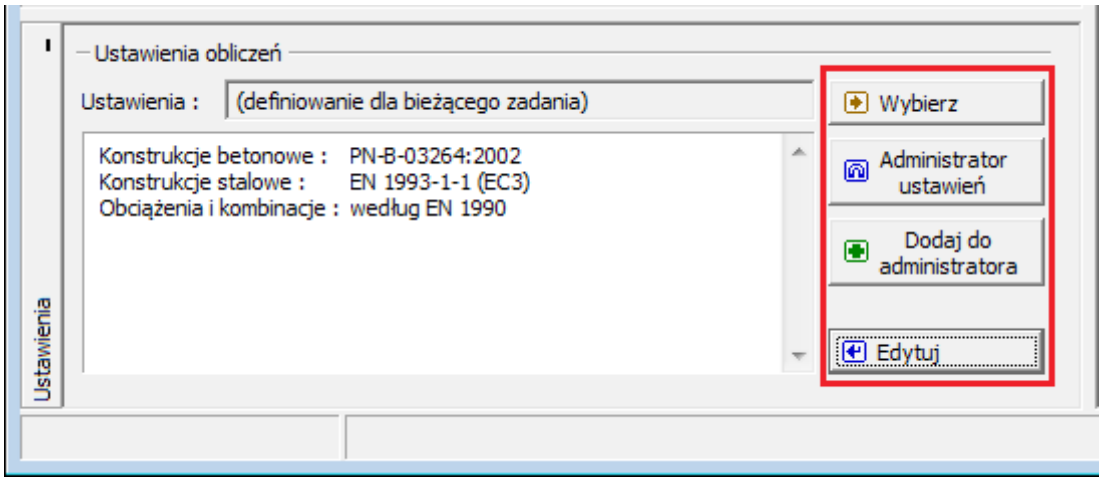
Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładce "Materiały i normy".

Program umożliwia użytkownikowi określenie wymiarów podpór oraz redukcję momentów zginających.

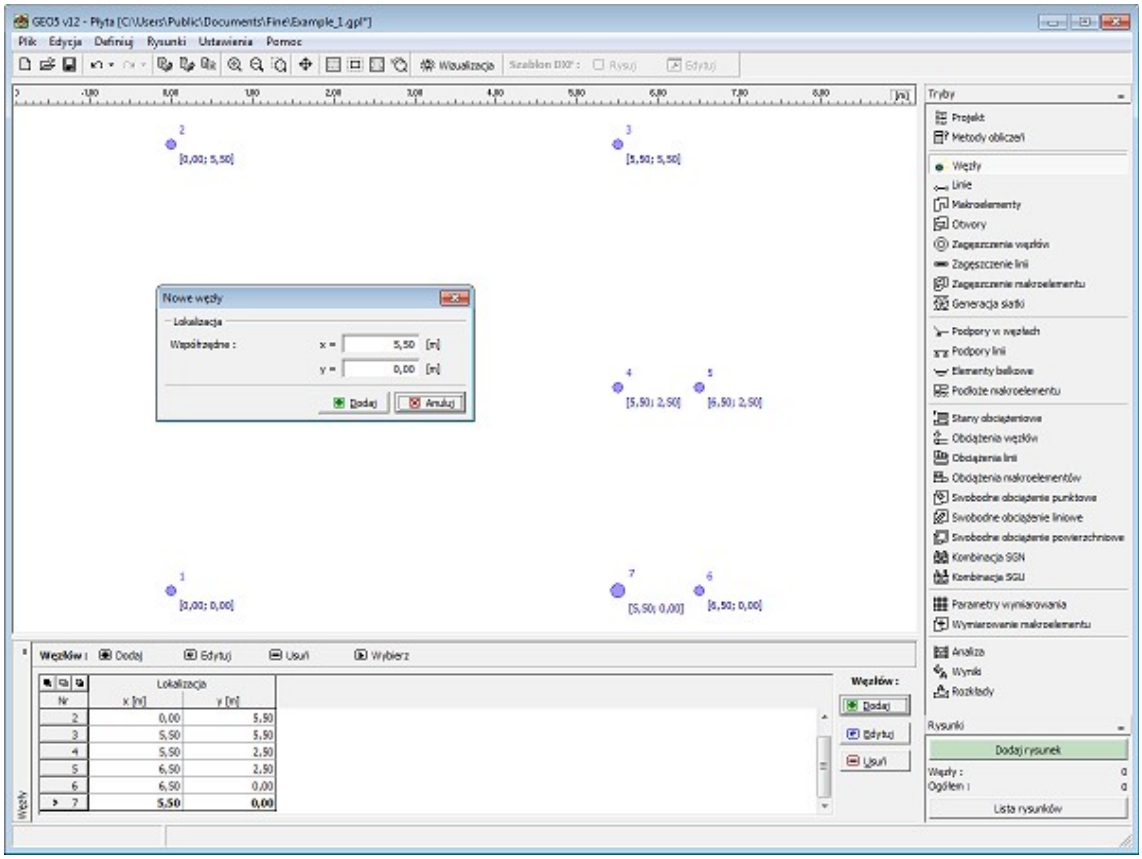


Ramka "Ustawienia"

Węzły

Ramka "**Węzły**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych węzłów. Dodawanie węzłów wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe węzły**".

Zdefiniowane węzły można również edytować na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.



Ramka "Węzły"

Linie

Ramka "**Linie**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych linii. Dodawanie linii wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe linie**".

Linie (odcinki, łuki, okrągi) definiowane są **pomiędzy poszczególnymi punktami** lub wokół poszczególnych punktów (okręgi). Linie mogą dowolnie krzyżować się, lub stykać ze sobą - przecięcia zdefiniowanych linii są automatycznie identyfikowane przez program podczas korekcji wprowadzonej geometrii.

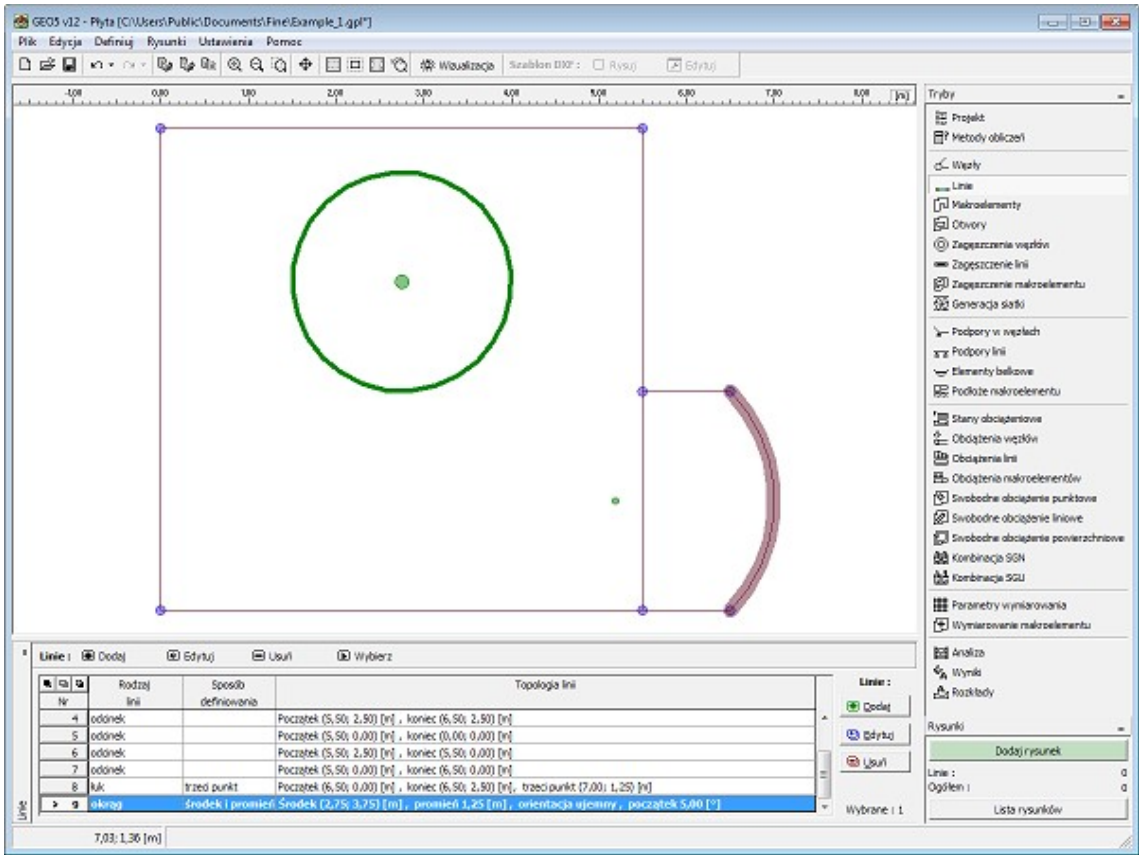
W celu dokonania wyboru rodzaju listy należy posłużyć się listą rozwijaną. Dostępne są podane poniżej tryby:

- **Rodzaj linii** Do wybrania pożądanego rodzaju linii (odcinek, łuk, okrąg) służy lista rozwijalna.

  - **odcinek** Kliknięcie lewego przycisku myszki na węźle wprowadza umiejscowienie linii.
  - **łuk** W celu wybrania danego trybu definiowania odcinka łuku (trzeci punkt, środek, promień, wysokość, kąt zawarty) korzystamy z listy rozwijanej. Następnie, kliknięcie lewego przycisku myszki, wybiera punkty definiujące łuk. Jeśli wybierzemy jedną z opcji, takich jak środek, promień, lub kąt zawarty, poproszeni zostaniemy o wybranie orientacji (dodatnia, ujemna) z listy rozwijanej.
  - **okrąg** W celu wybrania danego trybu definiowania odcinka okręgu (środek i

promień, trzy punkty) korzystamy z listy rozwijanej. Następnie, kliknięcie lewego przycisku myszki, wybiera punkty definiujące okrąg. Aby wybrać orientację (dodatnia, ujemna), korzystamy z listy rozwijanej.

Linie można również edytować na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.



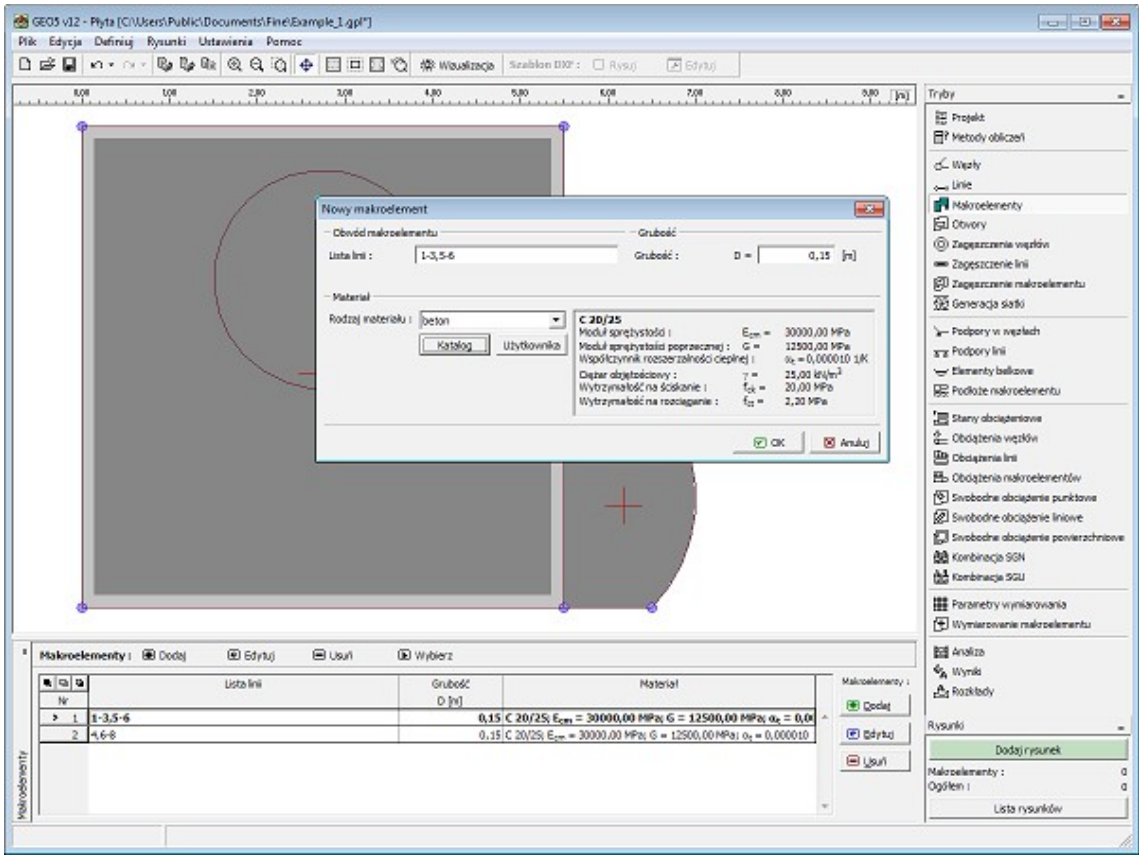
Ramka "Linie"

Makroelementy

Ramka **"Makroelementy"** zawiera tabelę z listą zdefiniowanych makroelementów. Dodawanie makroelementów wykonywane jest w oknie dialogowym **"Nowe makroelementy"**.

Okno dialogowe służy do definiowania listy linii określających kształt makroelementu, grubość i materiał. Materiał makroelementu można wybrać z katalogu materiałów lub zdefiniować ręcznie podając jego parametry, przy wykorzystaniu okna dialogowego **"Edytor materiału"**.

Zdefiniowane makroelementy można również edytować na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.

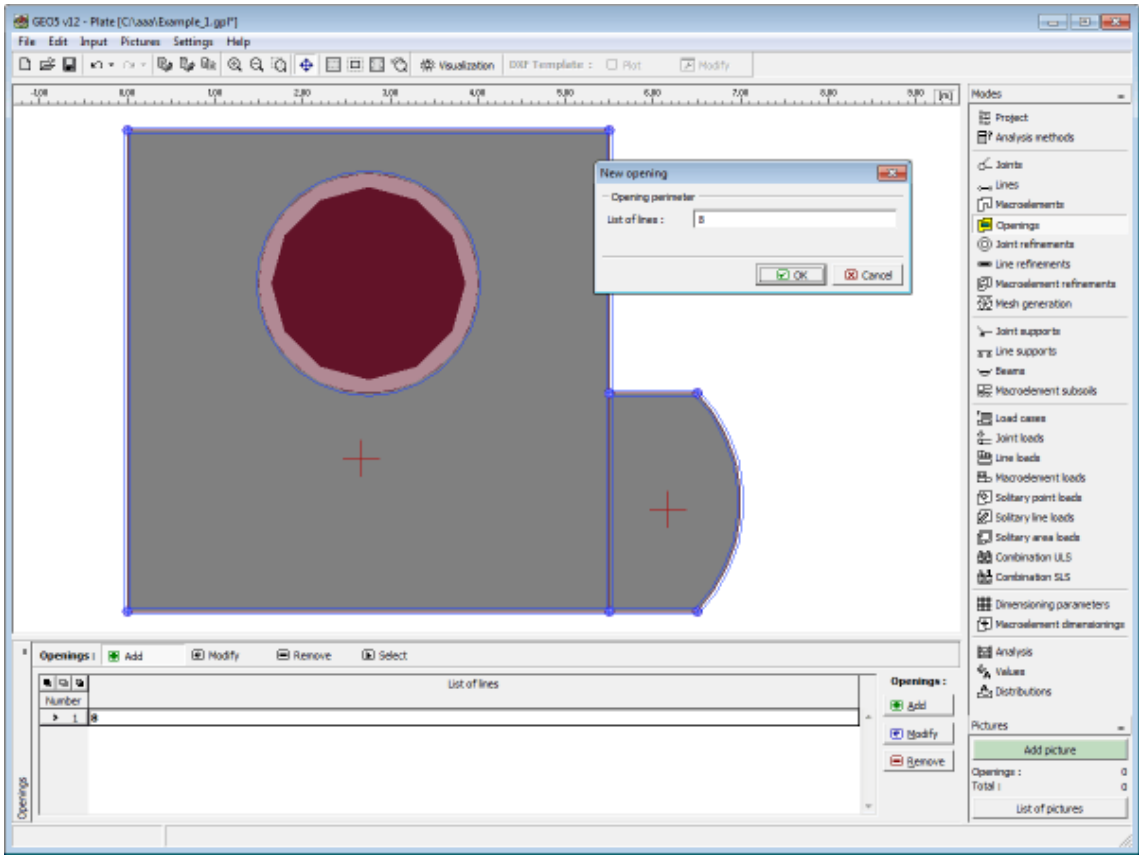


Ramka "Makroelementy"

Otwory

Ramka **"Otwory"** zawiera tabelę z listą zdefiniowanych otworów. Dodawanie otworów wykonywane jest w oknie dialogowym **"Nowe otwory".**

Zdefiniowane otwory można również edytować na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.



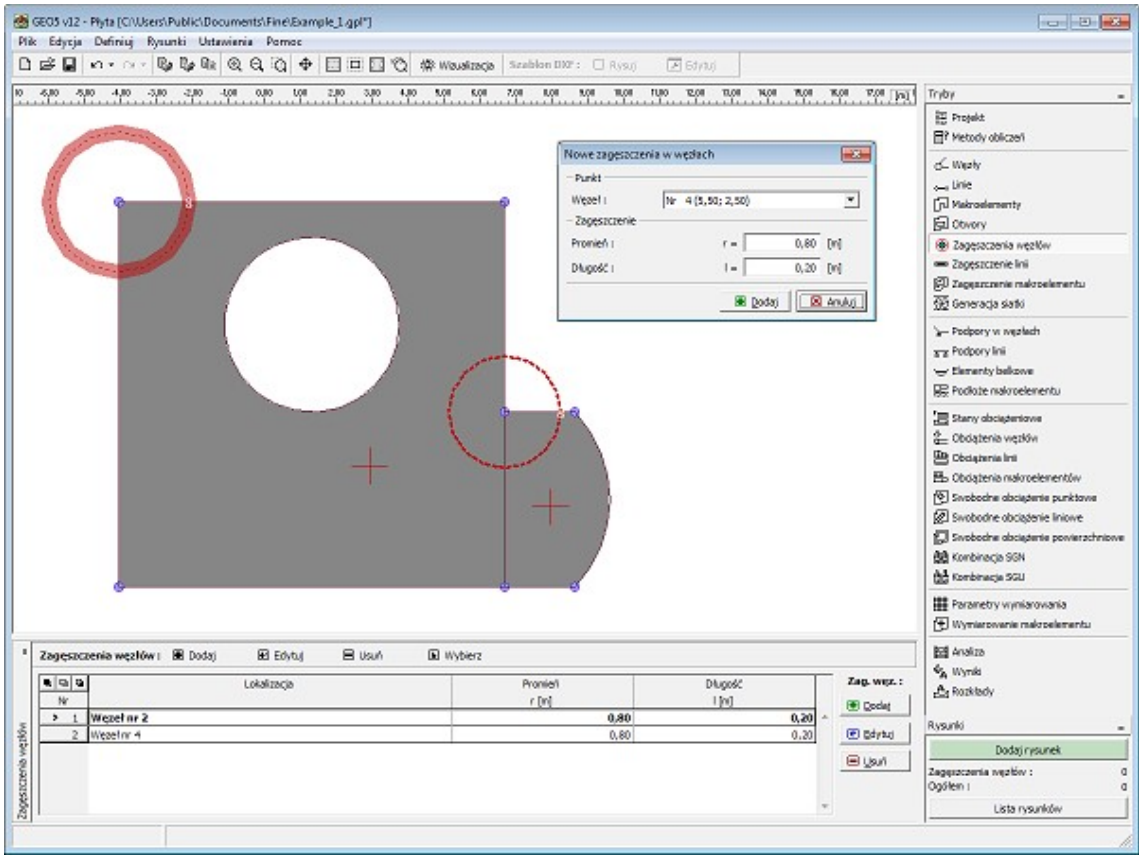
Ramka "Otwory"

Zagęszczenia węzłów

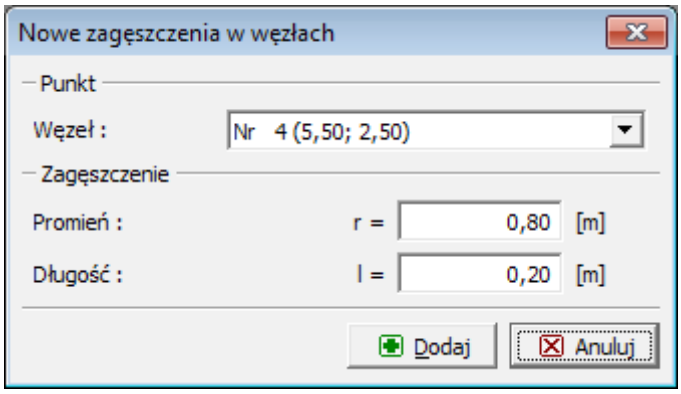
Ramka **"Zagęszczenia węzłów"** zawiera tabelę z listą zdefiniowanych zagęszczeń węzłów. Dodawanie zagęszczenia węzłów wykonywane jest w oknie dialogowym **"Nowe zagęszczenia w węzłach"**.

Zagęszczanie siatki elementów skończonych wokół węzłów jest ważnym elementem, pozwalającym na utworzenie odpowiedniej siatki elementów skończonych.

Zdefiniowane zagęszczenia węzłów można również edytować na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.



Ramka "Zagęszczenia węzłów"



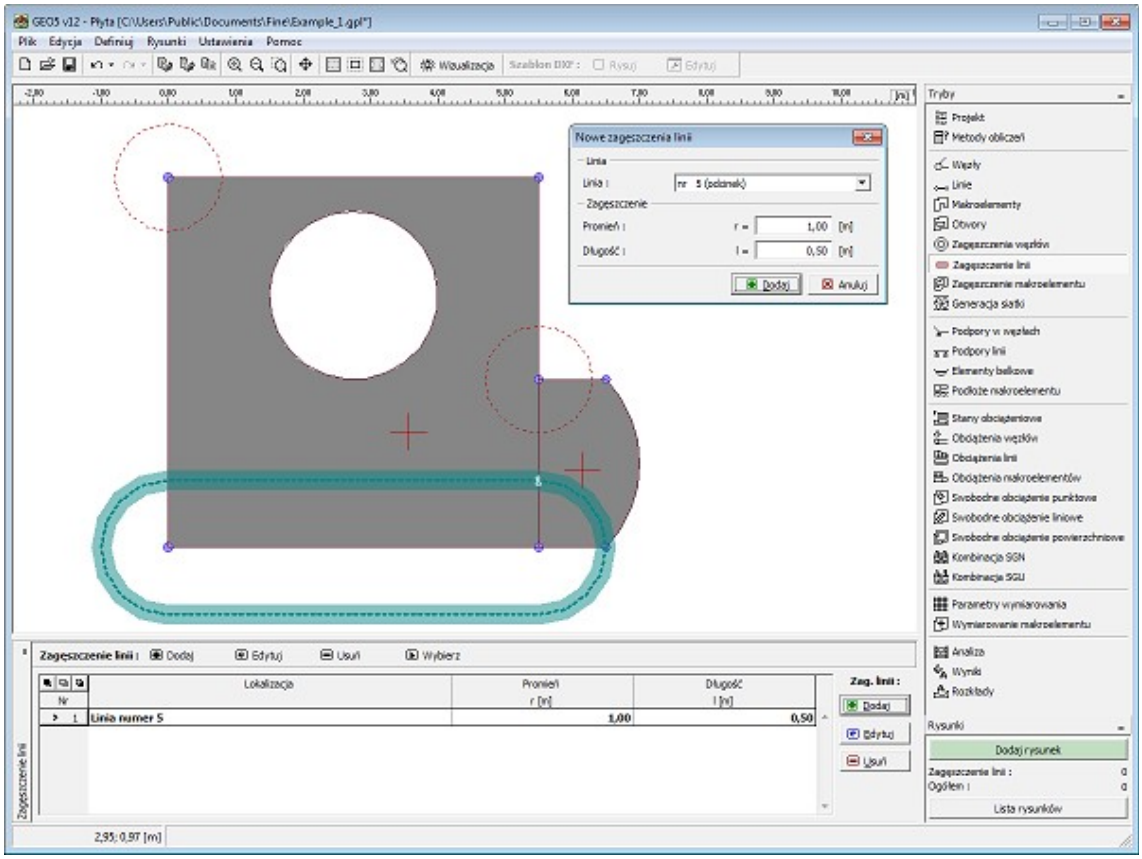
Okno dialogowe "Nowe zagęszczenia w węzłach"

Zagęszczenia linii

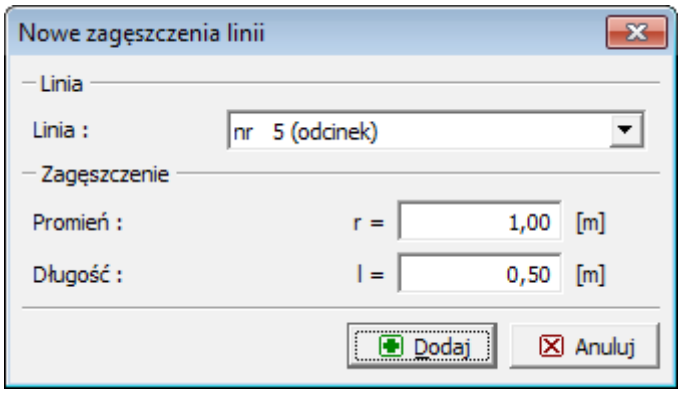
Ramka **"Zagęszczenie linii"** zawiera tabelę z listą zdefiniowanych zagęszczeń linii. Dodawanie zagęszczenia linii wykonywane jest w oknie dialogowym **"Nowe zagęszczenia linii"**.

Zagęszczanie siatki elementów skończonych wokół linii jest ważnym elementem, pozwalającym na utworzenie odpowiedniej siatki elementów skończonych.

Zdefiniowane zagęszczenia linii można również edytować na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.



Ramka "Zagęszczenie linii"



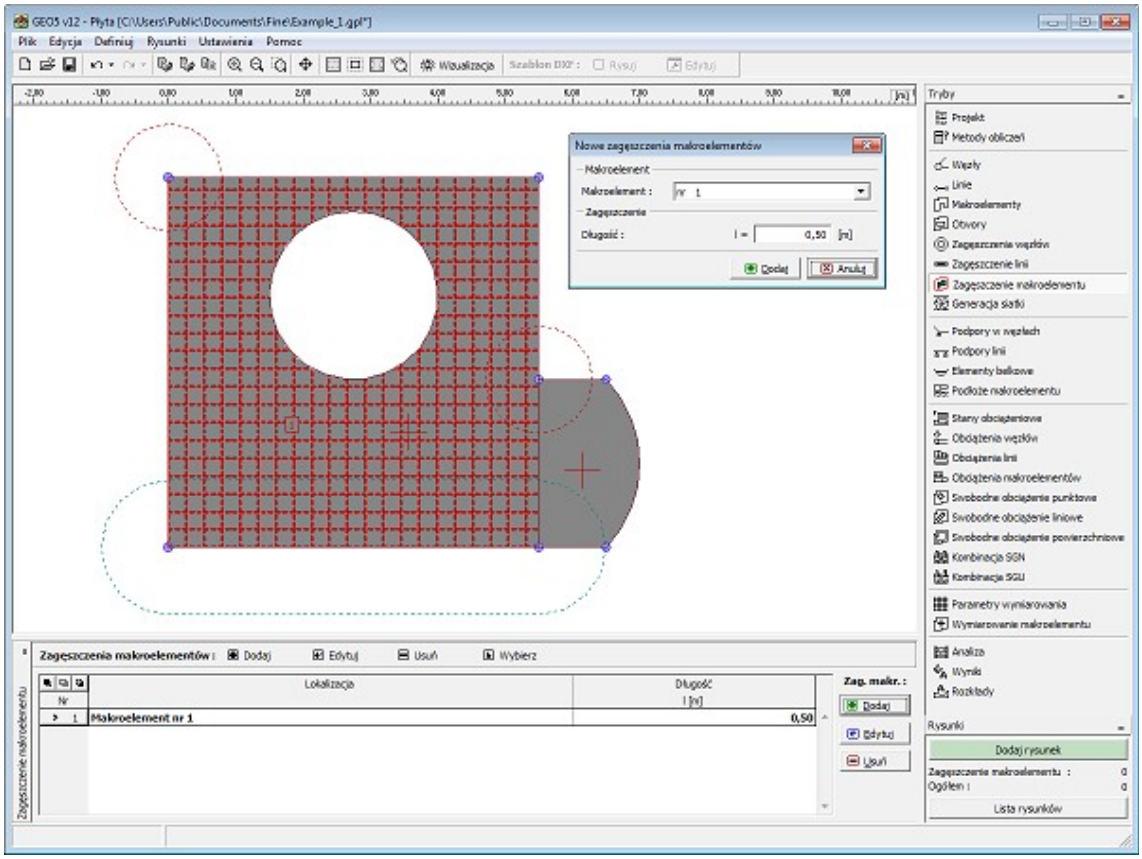
Okno dialogowe "Nowe zagęszczenia linii"

Zagęszczenia makroelementów

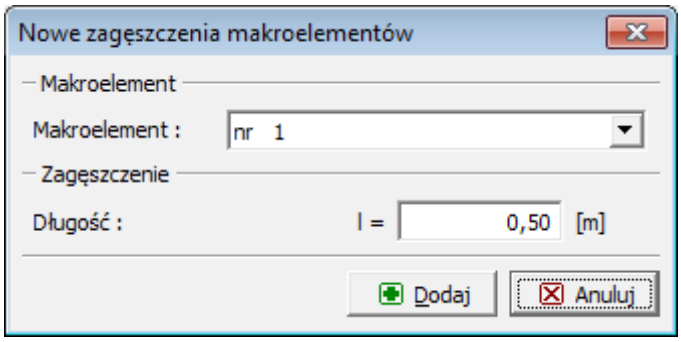
Ramka **"Zagęszczenie makroelementu"** zawiera tabelę z listą zdefiniowanych zagęszczeń makroelementów. Dodawanie zagęszczenia makroelementów wykonywane jest w oknie dialogowym **"Nowe zagęszczenia makroelementów"**.

Zagęszczanie siatki elementów skończonych makroelementów jest ważnym elementem, pozwalającym na utworzenie odpowiedniej siatki elementów skończonych.

Zdefiniowane zagęszczenia makroelementów można również edytować na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.



Ramka "Zagęszczenia makroelementów"



Okno dialogowe "Nowe zagęszczenia makroelementów"

Generacja siatki

Ramka **"Generacja siatki"** służy do definiowania podstawowych ustawień generowania siatki (długość krawędzi elementu, typ siatki, wygładzanie siatki) oraz do przeglądania informacji o wyniku genercji siatki (prawa strona ramki). Przycisk **"Analiza błędów"**, pozwala na wyświetlenie listy błędów, po prawej stronie ramki (lista problemów w modelu konstrukcji).

W dolnym, prawym oknie wyświetlana jest informacja o budowanej siatce, wraz z ostrzeżeniami odnośnie możliwych słabych punktów w siatce.

Siatkę można utworzyć dla dowolnej części płyty określonej liniami (odcinki, łuki i okręgi). Płytę można zbudować z jednego, lub większej liczby makcroelementów, gdzie wszystkie mają stałą grubość i identyczne właściwości materiałowe. Płyta może także zawierać dowolną

liczbę otworów. Dodatkowo, możliwe jest wprowadzenie wewnętrznych punktów i linii, które następnie wykorzystywane są jako węzły i krawędzie. Węzły wzdłuż linii i wewnątrz makcroelementów pozwalają na zagęszczenie siatki, charakteryzowane poprzez pożądaną długość krawędzi elementów w środku zagęszczenia i przez promień zagęszczenia.

Użytkownik może wybrać siatkę trójkątną lub siatkę hybrydową (mieszaną) zawierającą elementy zarówno trójkątne jak i czworoboczne. Algorytm tworzenia siatki oparty jest na triangulacji Delaunay'a, ulepszonej kilkoma metodami w celu modyfikacji i optymalizacji siatki elementów skończonych. W celu zminimalizowania obciążeń obliczeniowych węzły siatki są automatycznie przenumerowywane.

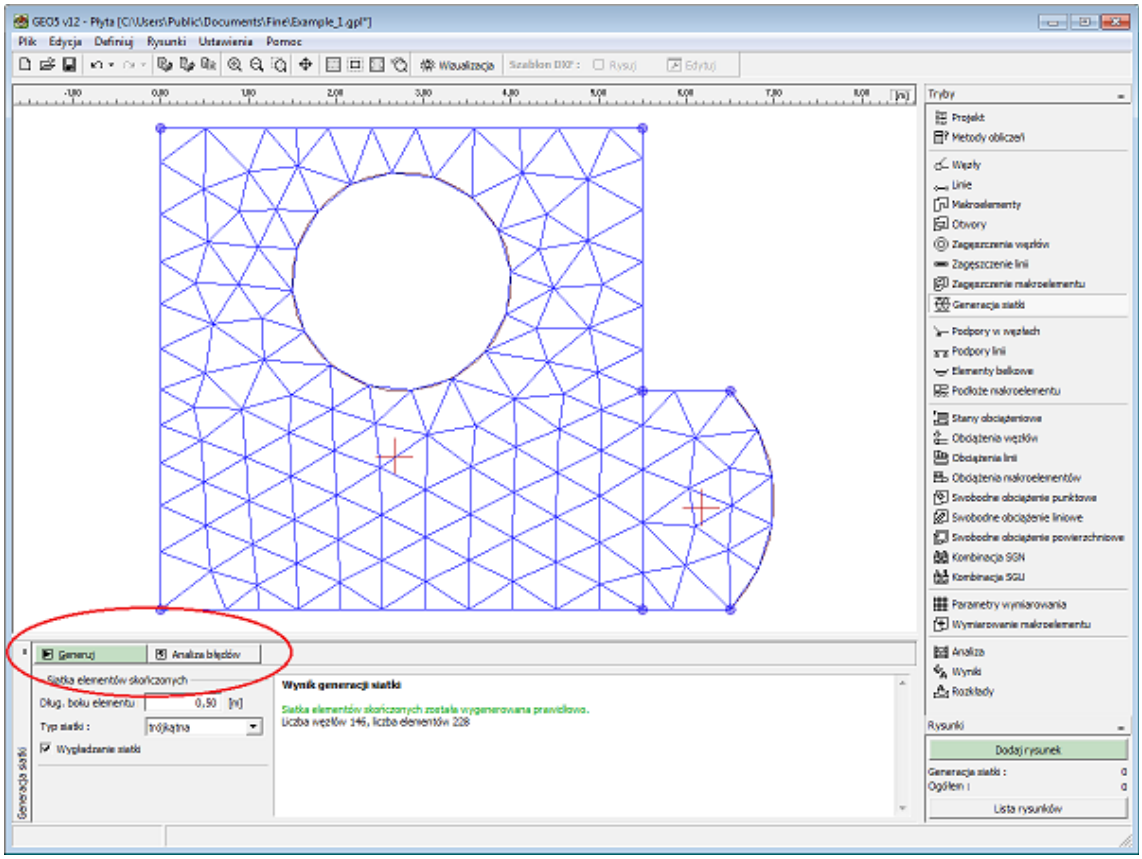
Prawidłowo wygenerowana siatka elementów skończonych jest podstawą do uzyskania dokładnych wyników. Optymalne elementy siatki powinny być równoboczne w przypadku siatki trójkątnej i kwadratowe dla czworobocznej. Program posiada wbudowany automatyczny generator siatki, co znacznie upraszcza pracę użytkownikowi. Podstawowa gęstość siatki jest specyfikowana w oknie **"Generacja siatki".** Zagęszczanie siatki zwiększa dokładność wyników. Trzeba jednak pamiętać, że duża gęstość siatki, znacząco spowalnia obliczenia oraz wizualizację wyników. Celem projektanta winno być zatem utworzenie optymalnie zagęszczonej siatki - co w znacznym stopniu zależy od jego doświadczenia.

Dzięki sprawności generatora siatki, istnieje możliwość wielokrotnego dopasowywania parametrów wejściowych definiowania siatki, w celu uzyskamy siatki optymalnej. Jakość siatki jest również poprawiana za pomocą wbudowanego algorytmu "wygładzania". Algorytm wygładzania można aktywować lub dezaktywować. Realny czas przeprowadzenia obliczeń jest niezwykle krótki, nawet przy relatywnie gęstych siatkach.

Zalecana jest podana poniżej procedura generowania siatki elementów skończonych:

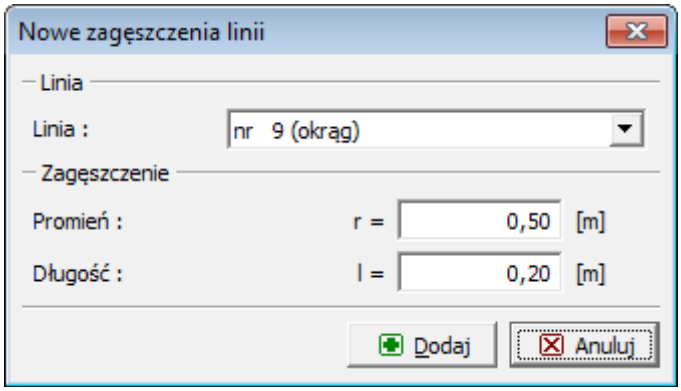
Prawidłowo wygenerowana siatka elementów skończonych stanowi podstawę do uzyskania dokładnych i pewnych wyników. Program MES, posiada automatyczny generator siatek, który może istotnie uprościć zadanie generacji siatki. Tym nie mniej, przy tworzeniu siatki elementów skończonych **należy stosować się do pewnych zasad**:

- W pierwszej kolejności dla całej płyty generowana jest jednorodna siatka, powiązana z grubością płyty (1-5 krotność grubości).

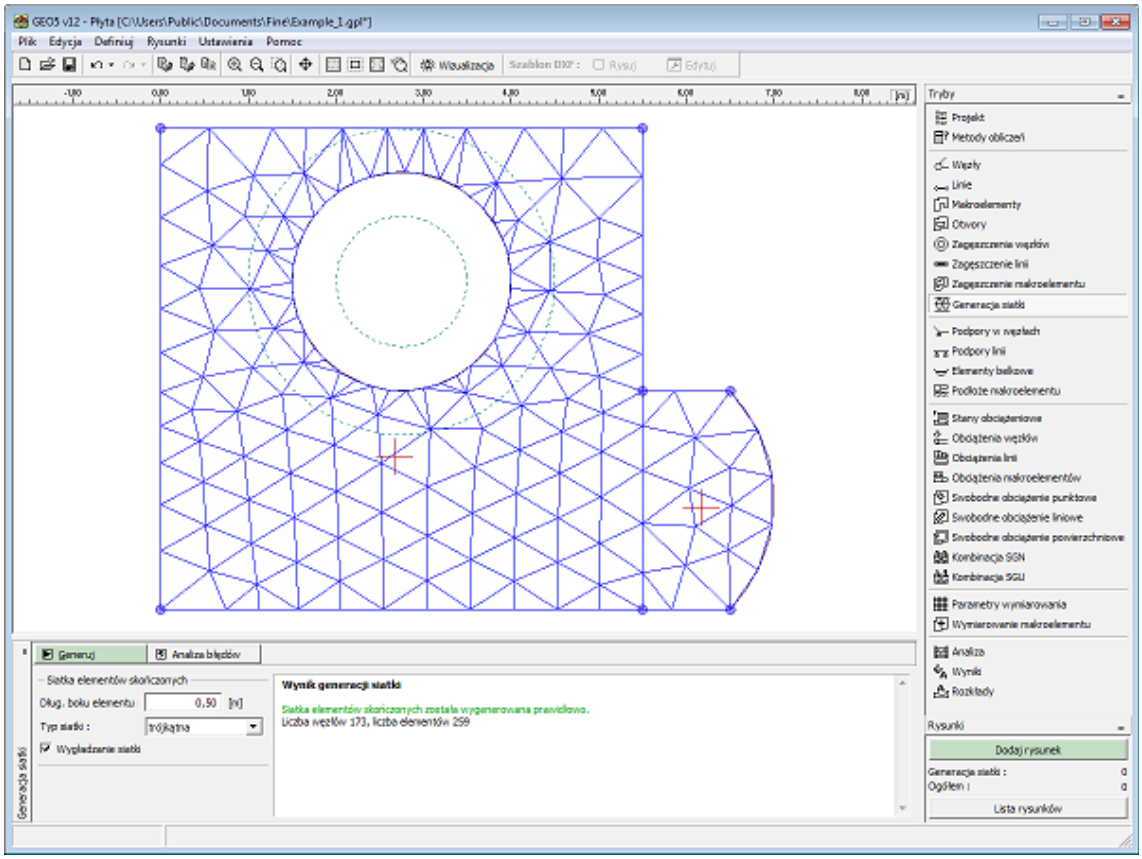


Ramka "Generacja siatki" - siatka bez lokalnego zagęszczenia

- Siatka elementów skończonych powinna być wystarczająco drobna (gęsta) w miejscach, gdzie oczekiwane są duże gradienty naprężeń (punkty podparcia, naroża, otwory, itp.). Zagęszczenie siatki można definiować wokół pojedynczych węzłów, linii i na makroelementach. Promień zagęszczenia powinien wynosić przynajmniej 2-3 wielokrotności gęstości zakładanej w środku zagęszczenia, przy czym, obie wartości, gęstość i promień, powinny być sensowne w odniesieniu do zagęszczenia przewidzianego dla sąsiadujących obszarów. Zapewni to gładkie przejścia między obszarami, przy różnych gęstościach siatek. Z zagęszczeniem wokół pojedynczych linii należy postępować w taki sam sposób.



Definiowanie zagęszczenia siatki wokół okręgu



Nowa siatka po zagęszczeniu początkowej siatki wokół okręgu

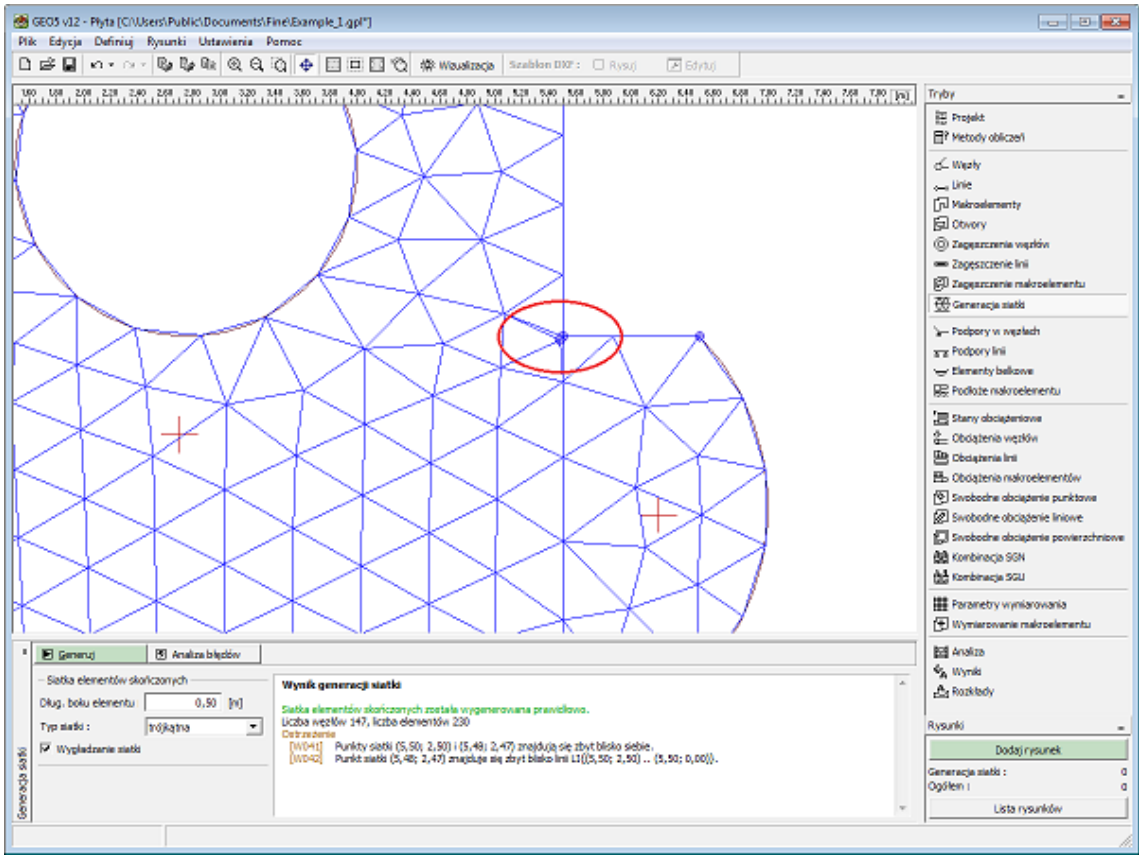
Ostrzeżenia generatora siatki

W oknie dialogowym **"Wynik generacji siatki"**, użytkownik jest informowany o lokalizacji możliwych wad modelu konstrukcji, które mogą powodować problemy podczas automatycznego generowania siatki. Po umieszczeniu kursora na poszczególnych ostrzeżeniach, odpowiadające im krytyczne obszary, zaznaczane są kolorem czerwonym. Sprawdzane są następujące elementy:

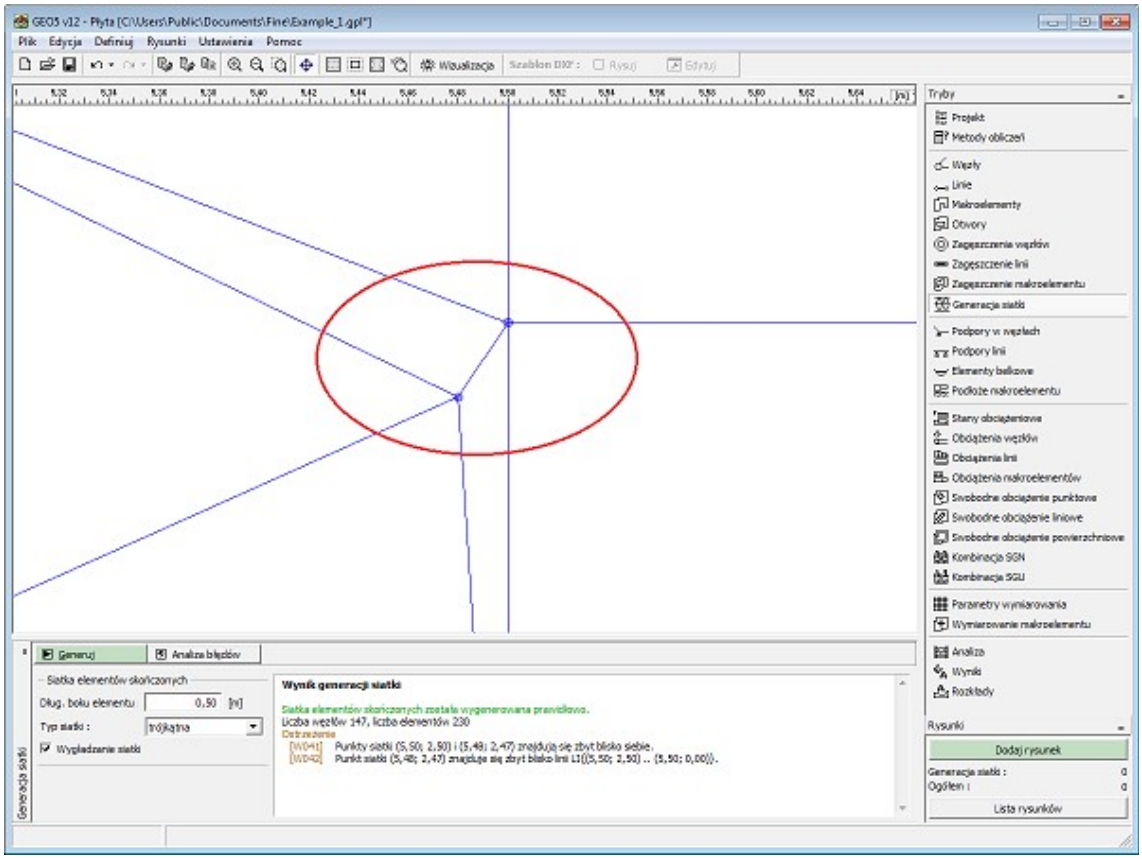
- czy odległość między dwoma punktami jest większa niż jedna dziesiąta wymaganej długości krawędzi elementu
- czy odległość między punktem a linią jest większa niż jedna dziesiąta długości krawędzi elementu
- czy powierzchnia obszaru jest większa niż podwójna długość krawędzi elementu
- czy punkty i / lub linie znajdują się wewnątrz konstrukcji (w gruncie)

Ostrzeżenia powyższe sugerują lokalizacje, w których generator siatki napotyka na problemy. Ostrzeżeniom towarzyszą dwie następujące możliwości:

- siatka nie została wygenerowana => wymaga to poprawienia geometrii modelu
- siatka została wygenerowana => w tym przypadku, użytkownik decyduje czy siatka jest poprawna. W każdym przypadku ostrzeżenia można zignorować i przeprowadzić analizę



Ostrzeżenie po wykryciu odcinków krytycznych w siatce ES



Odcinek krytyczny po powiększeniu - dwa węzły leżą zbyt blisko siebie

Podpory w węzłach

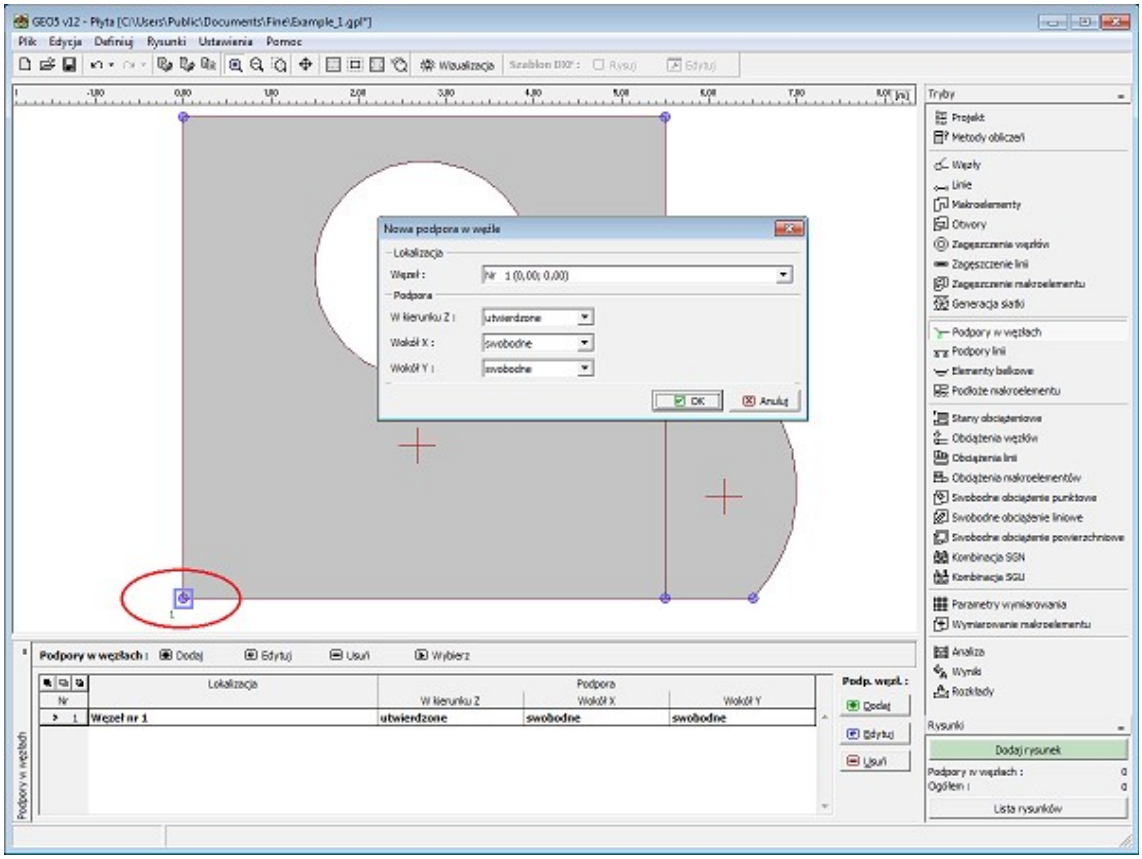
Ramka **"Podpory w węzłach"** zawiera tabelę z listą zdefiniowanych podpór w węzłach. Dodawanie podpór w węzłach wykonywane jest w oknie dialogowym **"Nowe podpory w węzłach"**.

Zdefiniowane podpory w węzłach można również edytować na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.

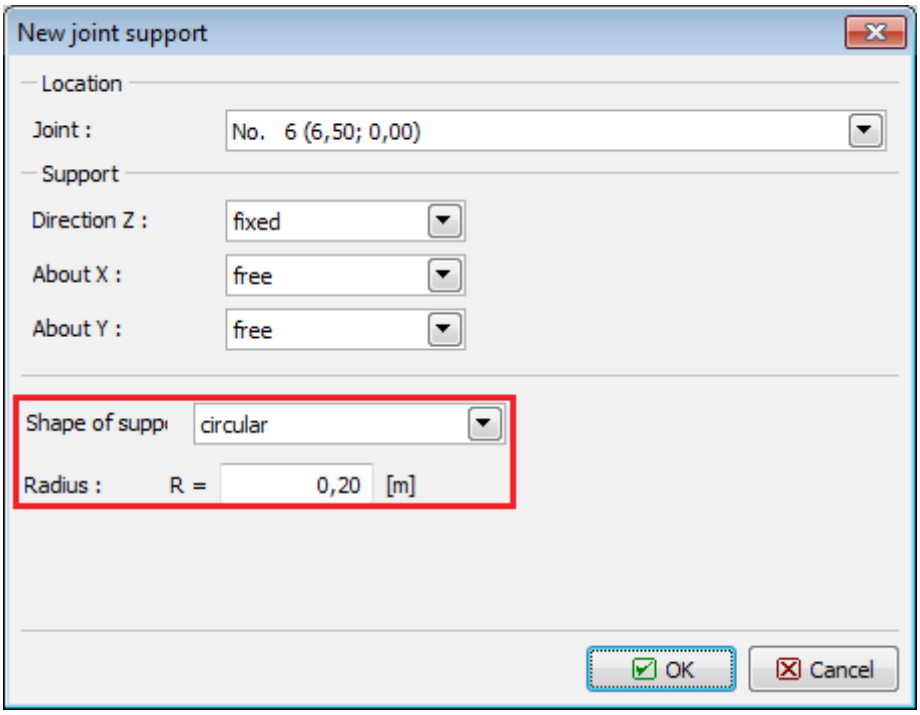
Pod uwagę brane są następujące rodzaje podpór w węzłach:

- swobodne
- utwierdzone
- sprężyste

W przypadku wyboru redukcji momentów zginających, możliwe jest zdefiniowanie geometrii podpór (ramka "Ustawienia"). Geometrię podpór można zdefiniować jako kołową (parametr - promień R) lub prostokątną (parametry - wymiary d_x i d_y oraz obrót α).



Ramka "Podpory w węzłach"



Okno dialogowe "Nowa podpora w węźle"

Podpory linii

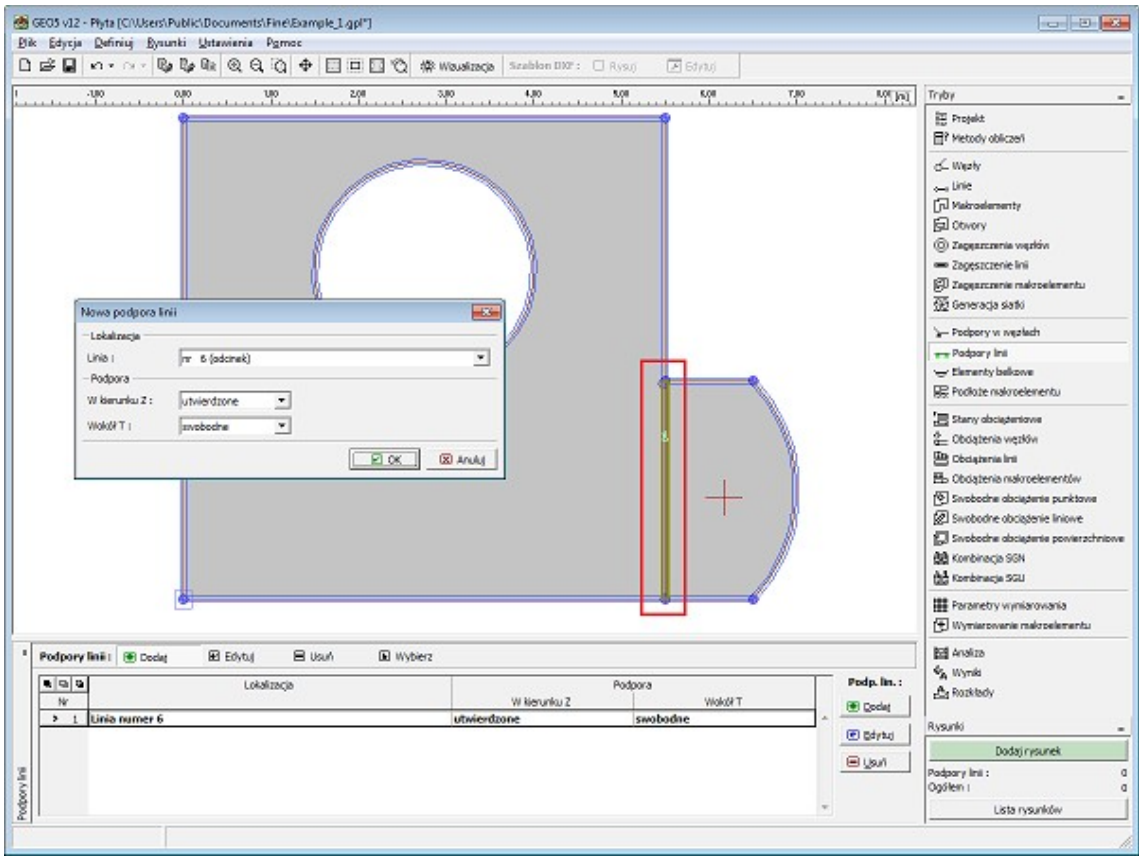
Ramka **"Podpory linii"** zawiera tabelę z listą zdefiniowanych podpór linii. Dodawanie podpór linii wykonywane jest w oknie dialogowym **"Nowe podpory linii"**.

Zdefiniowane podpory linii można również edytować na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.

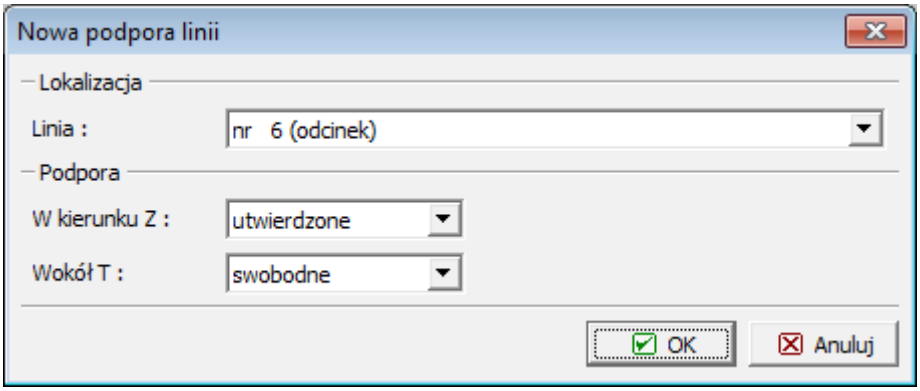
Pod uwagę brane są następujące rodzaje podpór linii:

- swobodne
- utwierdzone
- sprężyste

W przypadku wyboru redukcji momentów zginających, możliwe jest zdefiniowanie geometrii podpór (ramka "Ustawienia"). Zdefiniuj grubość ściany w, powierzchnia kołowa uwzględniana jest na końcu ściany.



Ramka "Podpory linii"



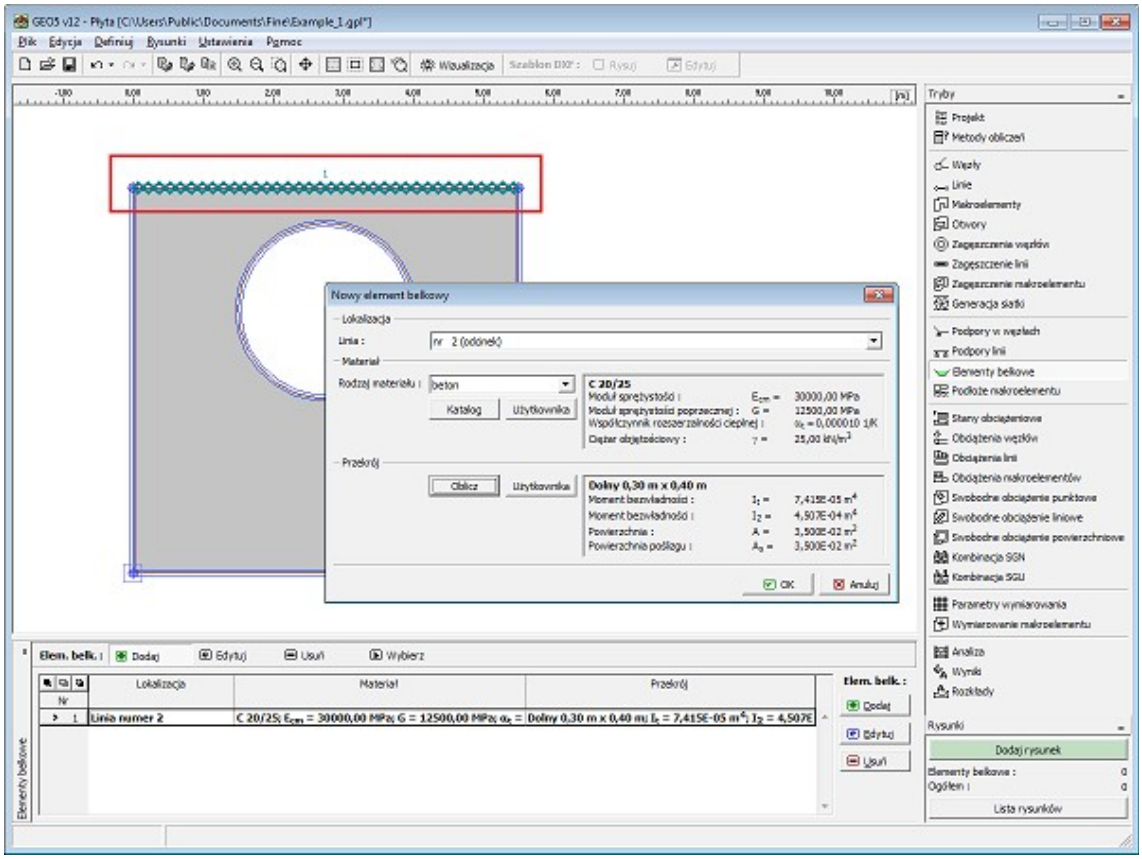
Okno dialogowe "Nowa podpora linii"

Elementy belkowe

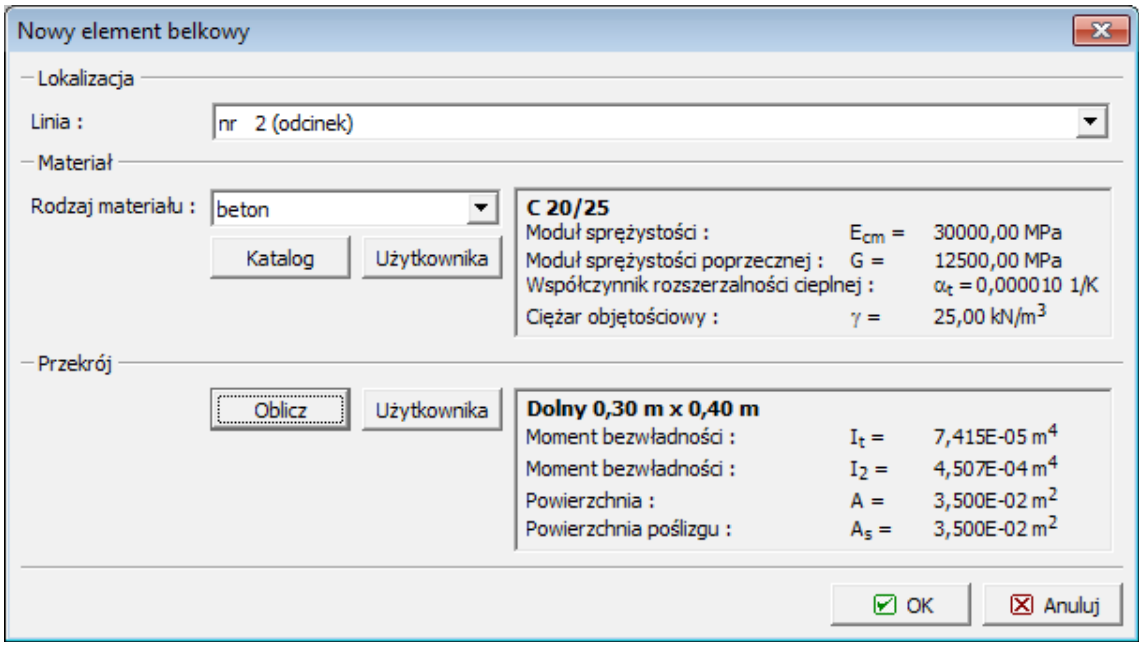
Ramka **"Elementy belkowe"**zawiera tabelę z listą elementów belkowych. Dodawanie elementów belkowych wykonywane jest w oknie dialogowym **"Nowy element belkowy"**.

Okno dialogowe służy do definiowania numeru linii, na której będzie zlokalizowany element belkowy, materiału i przekroju belki. Po dokonaniu wyboru rodzaju materiału (beton, stal, inne) można przyjąć parametry tego materiału z katalogu lub zdefiniować ręcznie z wykorzystaniem edytora materiałów. Parametry przekroju (z uwzględnieniem rodzaju przekroju) można wyliczyć w oknie **"Wyznaczanie charakterystyk przekrojowych"** lub zdefiniować ręcznie w oknie **"Definiowanie charakterystyk przekrojowych "**.

Zdefiniowane elementy belkowe można również edytować na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.



Ramka "Elementy belkowe"

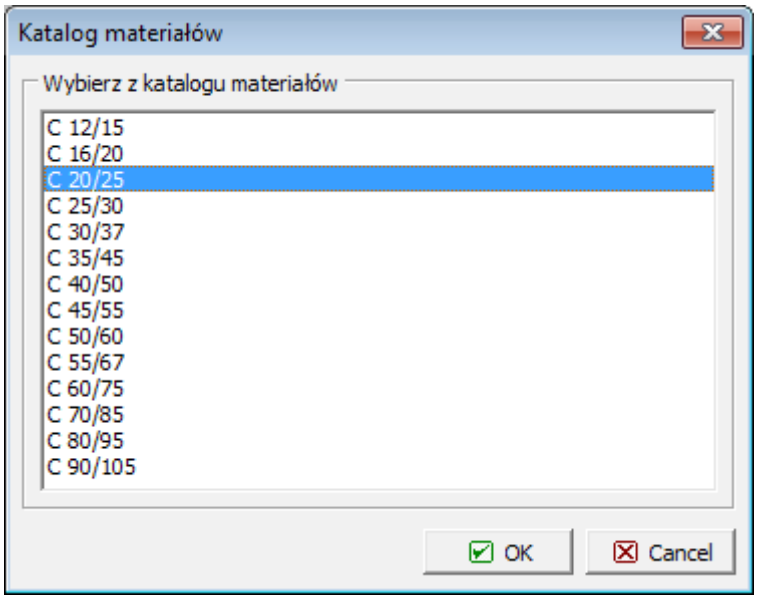


Okno dialogowe "Nowy element belkowy"

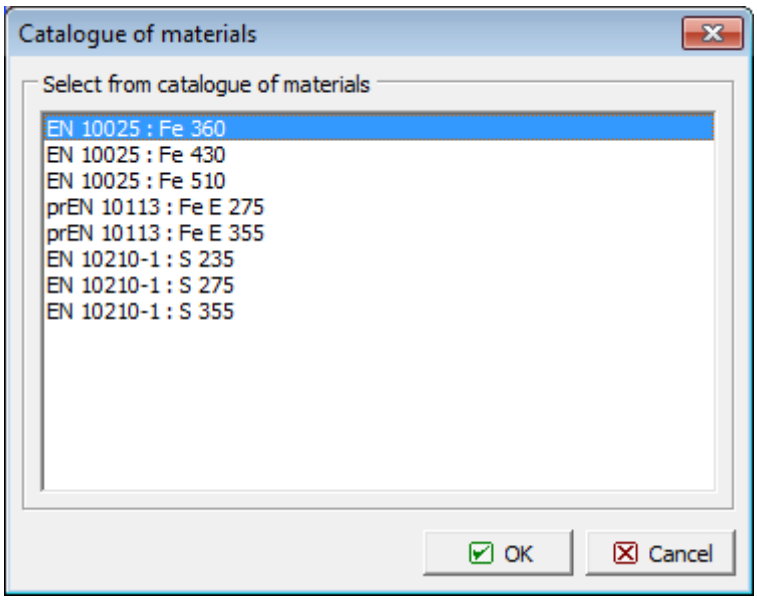
Katalog materiałów

Program zawiera wbudowany katalog materiałów dla betonu, stali i innych. W oknie

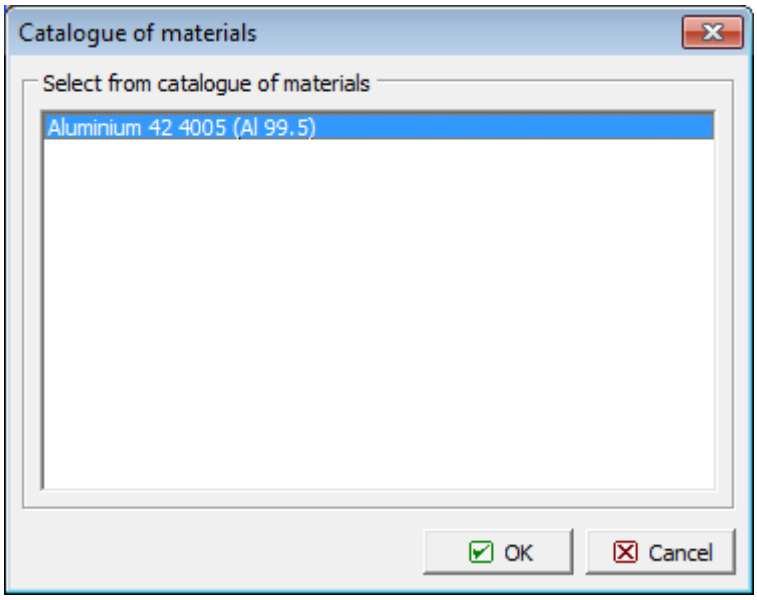
dialogowym należy wybrać jedynie rodzaj materiału. Rodzaj przekroju wybierany jest w oknie dialogowym "**Wyznaczanie charakterystyk przekrojowych**" lub definiowany w oknie "**Definiowanie charakterystyk przekrojowych**".



Okno dialogowe "Katalog materiałów" - Beton



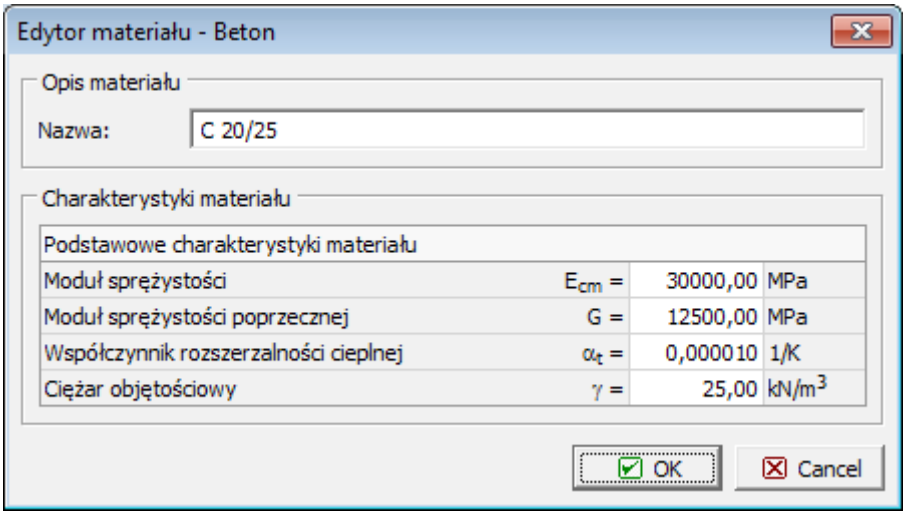
Okno dialogowe "Katalog materiałów" - Stal



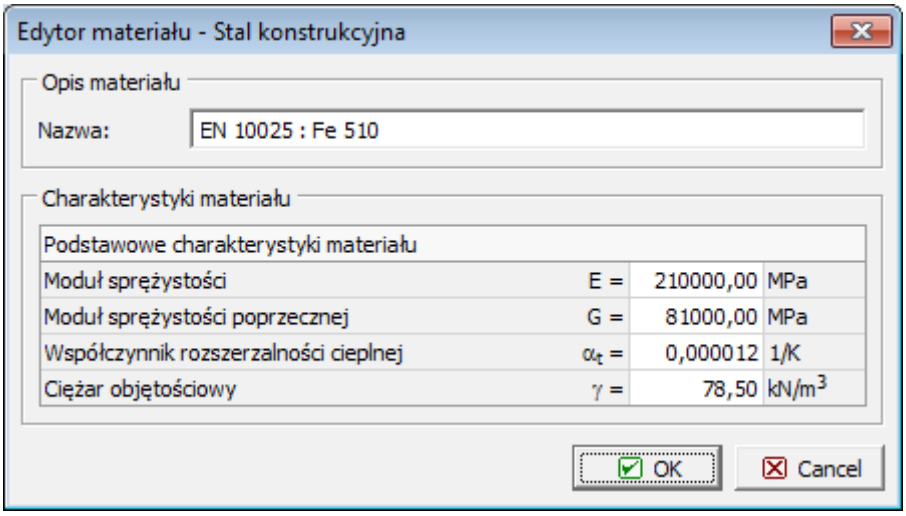
Okno dialogowe "Katalog materiałów" - Inny

Edytor materiału

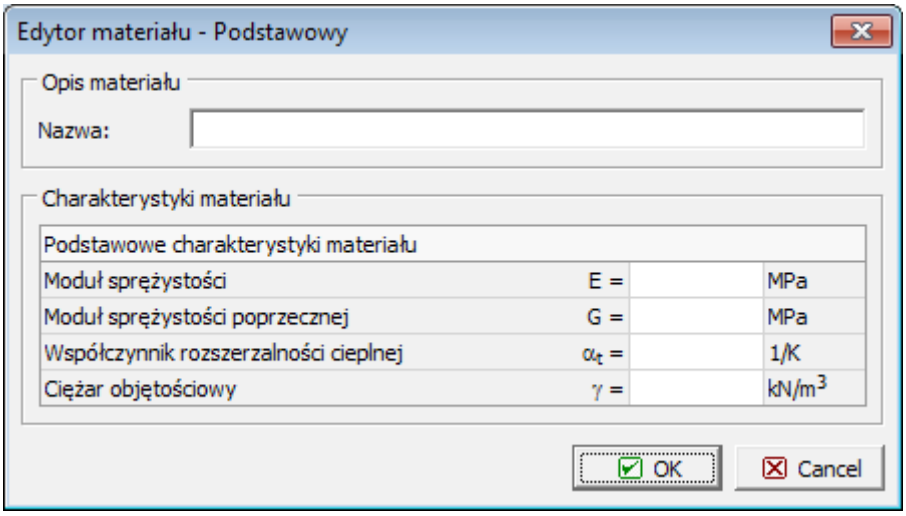
Niezależnie od wykorzystania "Katalogu materiałów", program pozwala użytkownikowi na zdefiniowanie własnych parametrów dla stali, betonu i innych materiałów (okno dialogowe **"Edytor materiału-Beton/Stal/Podstawowy"**. Typ przekroju wybierany jest wówczas z okna dialogowego "**Wyznaczanie charakterystyk przekrojowych**" lub "**Definiowanie charakterystyk przekrojowych**". W oknie dialogowym należy następnie podać tylko parametry materiału.



Okno dialogowe "Edytor materiału" - Beton



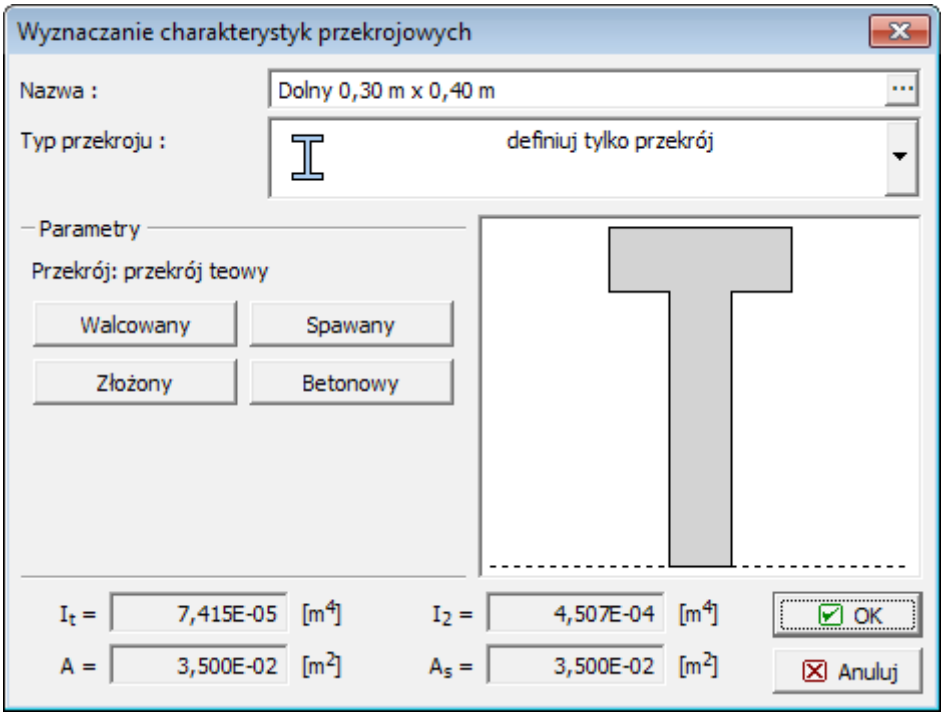
Okno dialogowe "Edytor materiału" - Stal konstrukcyja



Okno dialogowe "Edytor materiału" - Podstawowy

Typy przekrojów

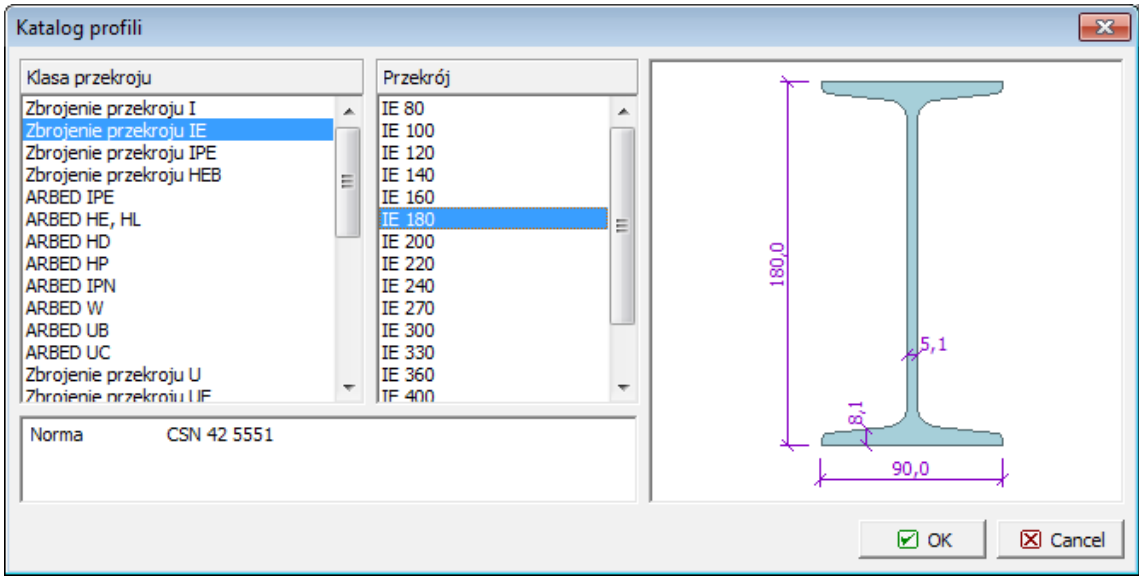
Program umożliwia użytkownikowi na wprowadzanie **parametrów przekroju** dwiema metodami - wybór w oknie dialogowym **"Wyznaczanie charakterystyk przekrojowych"** lub zdefiniowanie własnych w oknie **"Definiowanie charakterystyk przekrojowych".** Charakterystyki przekrojów wybierane są w oknach dialogowych katalogu profili i edytora przekrojów.



Okno dialogowe "Wyznaczanie charakterystyk przekrojowych"

Katalog profili

W przypadku przekrojów stalowych, program pozwala na wybranie poszczególnych przekrojów z katalogu profili. W oknie dialogowym podaje się tylko typ przekroju. Rodzaj materiału dla przekroju wybierany jest z "Katalogu materiałów", lub definiowany w "Edytorze materiału".

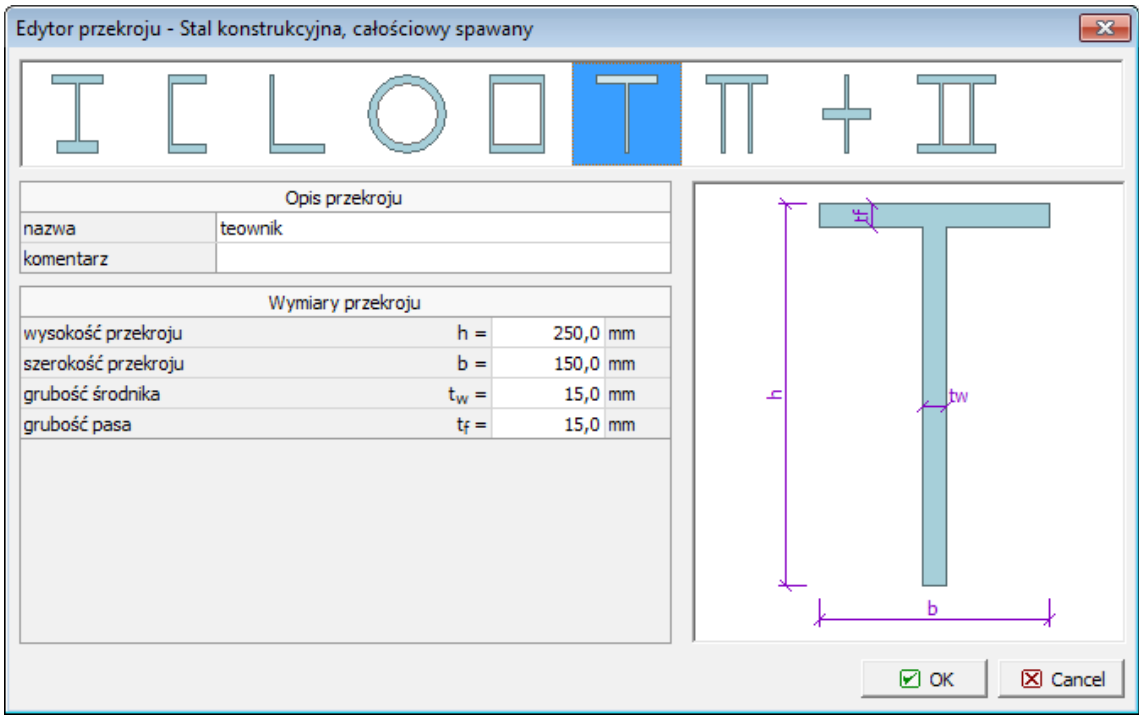


Okno dialogowe "Katalog profili"

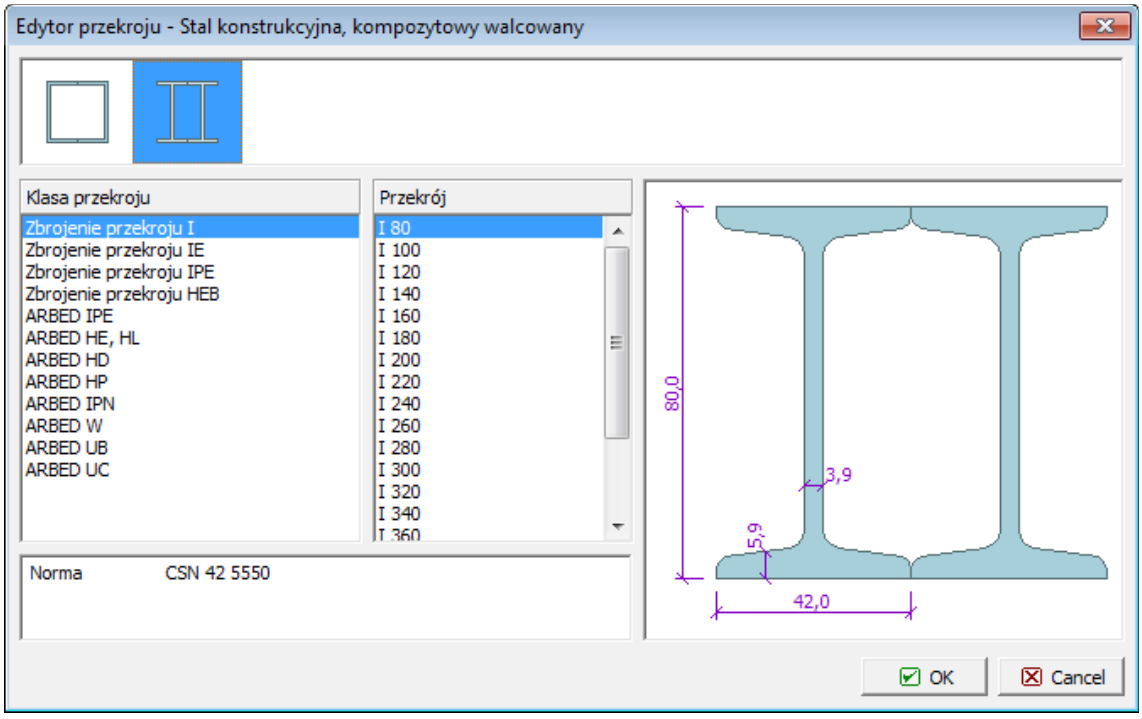
Edytor przekroju

W przypadku przekrojów ze stali i betonu, program pozwala na wprowadzanie przekrojów definiowanych przez użytkownika. W oknie dialogowym należy wybrać tylko kształt przekroju.

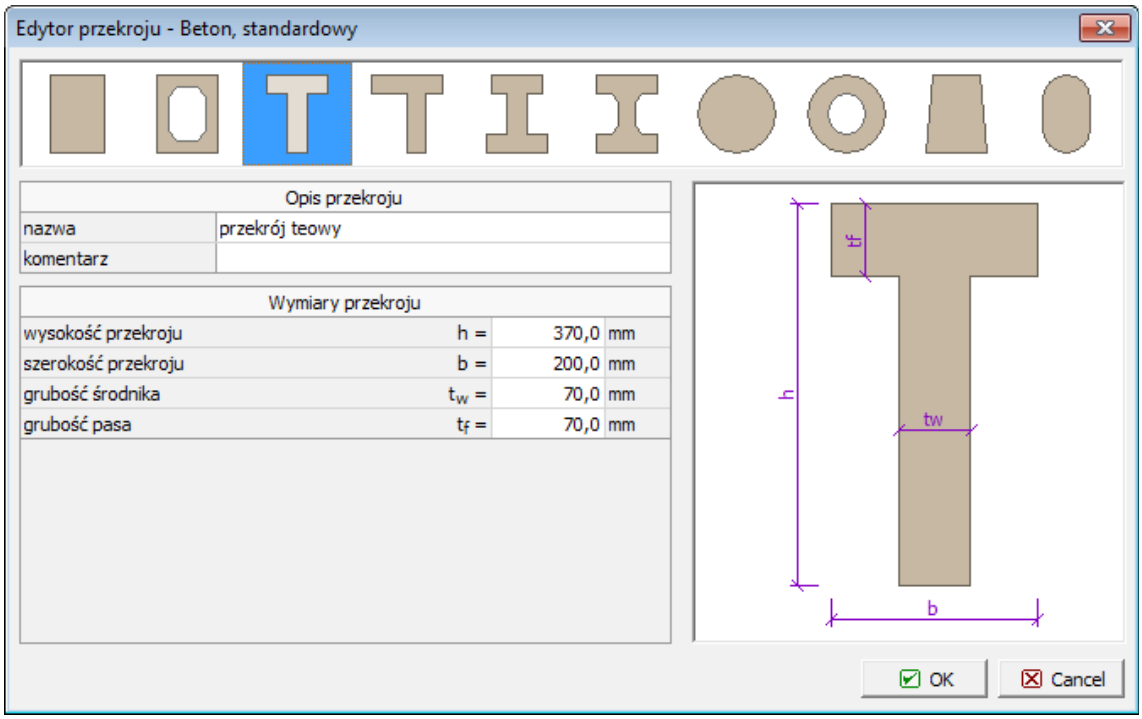
Charakterystyki przekrojów wybierane są w oknach dialogowych katalogu profili i edytora materiału.



Okno dialogowe "Edytor przekroju" - Stal konstrukcyjna, całościowy spawany



Okno dialogowe "Edytor przekroju" - Stal konstrukcyjna, kompozytowy walcowany



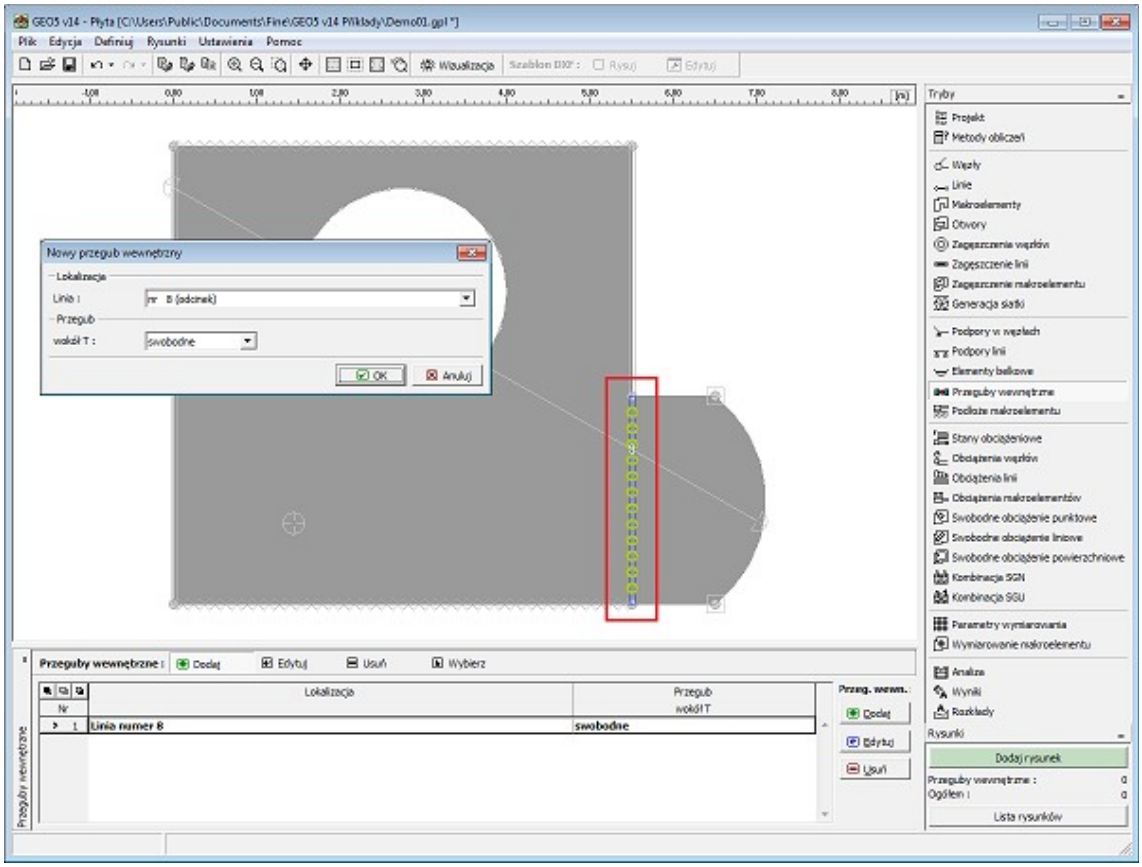
Okno dialogowe "Edytor przekroju" - Beton, standardowy

Przeguby wewnętrzne

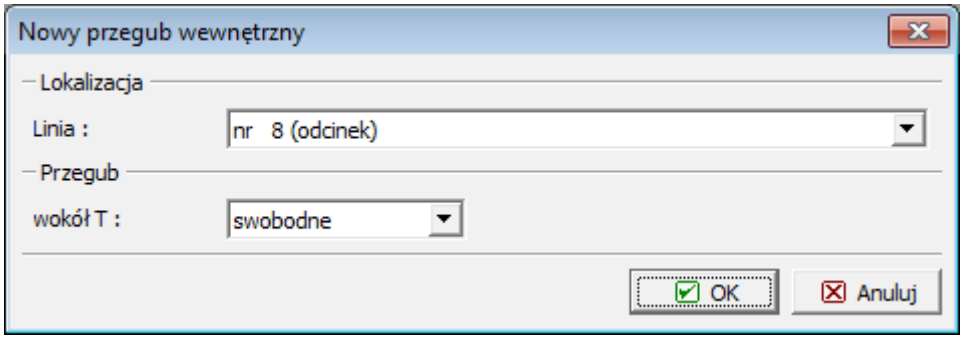
Ramka **"Przeguby wewnętrzne"**zawiera tabelę z listą przegubów wewnętrznych. Dodawanie przegubów wewnętrznych wykonywane jest w oknie dialogowym **"Nowy przegub wewnętrzny"**. Okno dialogowe służy do zdefiniowania numeru linii, na której będą zlokalizowane przeguby wewnętrzne oraz typu przegubów wewnętrznych (swobodny, sprężysty).

Przegub wewnętrzny jest rodzajem warunku brzegowego, który pozwala na zdefiniowanie niezależnych rotacji wokół osi x i y pomiędzy dwiema częściami płyty wzdłuż określonej linii, zachowując przy tym jednakowe ugięcia pionowe wzdłuż tej linii. Przegub wewnętrzny może być zdefiniowany wzdłuż dowolnej linii tworząc tym samym granicę między makroelementami. Obrót może być zarówno swobodny, jak i określony przez sprężystą sztywność skrętną $K_{\phi,T}$.

Zdefiniowane przeguby wewnętrzne można również edytować na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.



Ramka "Przeguby wewnętrzne"



Okno dialogowe "Nowy przegub wewnętrzny"

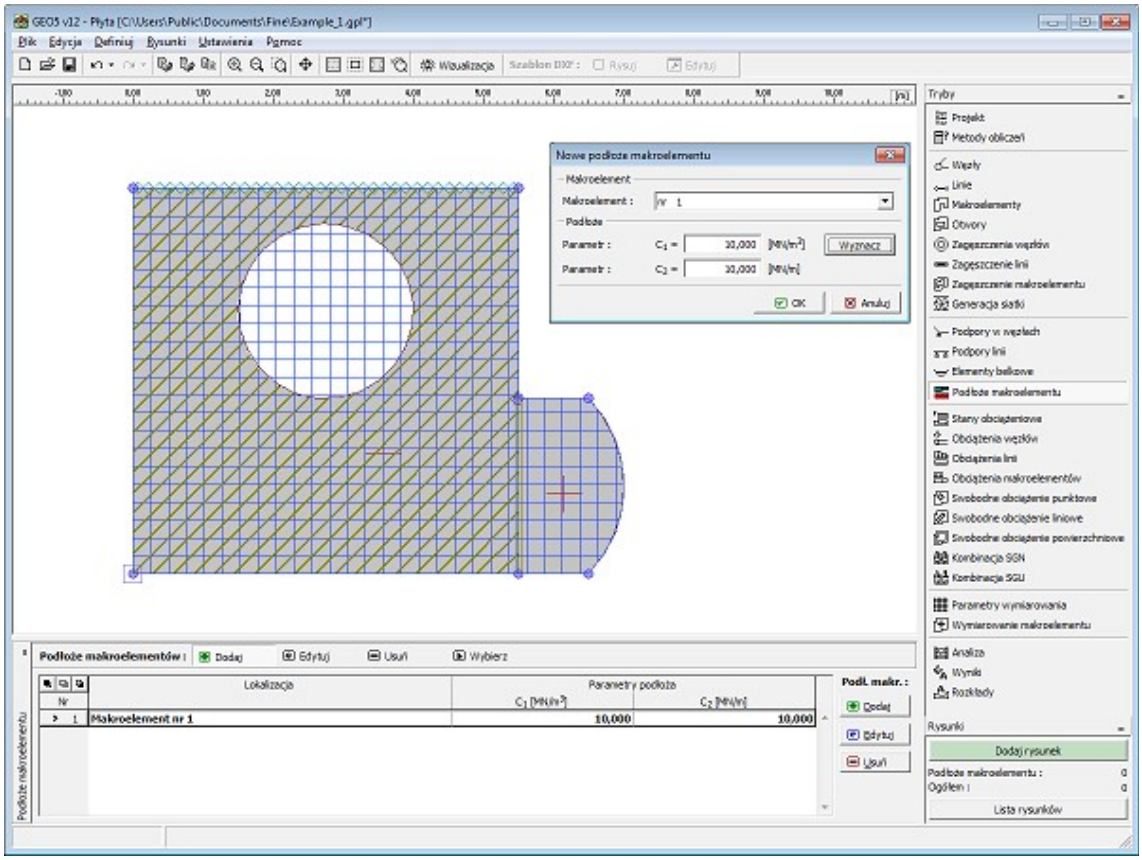
Podłoże makroelementu

Ramka **"Podłoże makroelementu"** zawiera tabelę z listą zdefiniowanych podłoży makroelementów. Dodawanie podłoża makroelementu wykonywane jest w oknie dialogowym **"Nowe podłoża makroelementów"**.

Okno dialogowe służy do wyboru numeru makroelementu i zdefiniowania parametrów C_1 i C_2. Stałe C_1 i C_2 Winkler'a-Pasternak'a można definiować bezpośrednio lub mogą być wyliczone przez program. Ta ostatnia opcja wymaga zdefiniowania parametrów odkształceniowych gruntu (moduł odkształcenia, współczynnik Poisson'a i głębokości strefy oddziaływania, nazwanej w programie głębokością aktywną) w oknie dialogowym **"Wyznacz C_1 i C_2"**. Parametry te mogą być wyznaczone za pomocą programu **"Fundament**

bezpośredni" (2. stan graniczny), a następnie wprowadzone do programu.

Zdefiniowane podłoża makroelementów można również edytować w na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.



Ramka "Podłoże makroelementu"

Winkler-Pasternak parametry C1 i C2

Model Winklera - Pasternaka do analizy podłoży sprężystych, wprowadza niżej podane równanie równowagi w kierunku pionowym:

$$c_1.w - c_2.\Delta w = f_z$$

gdzie:

c_1, c_2	Stałe charakteryzujące model Winklera - Pasternaka
w	Przemieszczenie po kierunku pionowym
f_z	Obciążenie pionowe działające na warstwę

Podłoże sprężyste wprowadzane jest do obliczeń, za pomocą lokalnych matcierzy sztywności, które są dodawane do macierzy sztywności poszczególnych elementów spoczywających na danym podłożu. W wyniku otrzymywane jest naprężenie kontaktowe σ.

Wyliczenie stałych Winklera-Pasternaka z parametrów odkształceniowych gruntów

Stałe C_1 i C_2 Winklera - Pasternaka wyliczane są w programie na podstawie warunku równej zgodności macierzy - nieskończonej sztywności nieskończonego pasa fundamentu spoczywającego na podłożu Winklera - Pasternak'a i podłożu sprężystym. Warunek ten przedstawiony jest następującymi równaniami:

$$[\mathbf{C}]=\begin{bmatrix} \dfrac{1}{2\left[\sqrt{C_{1WP}C_{2WP}}+bC_{1WP}\right]} & 0 \\ 0 & \dfrac{1}{2\left[b^2\sqrt{C_{1WP}C_{2WP}}+bC_{2WP}+\dfrac{b^3}{3}C_{1WP}\right]} \end{bmatrix}=$$

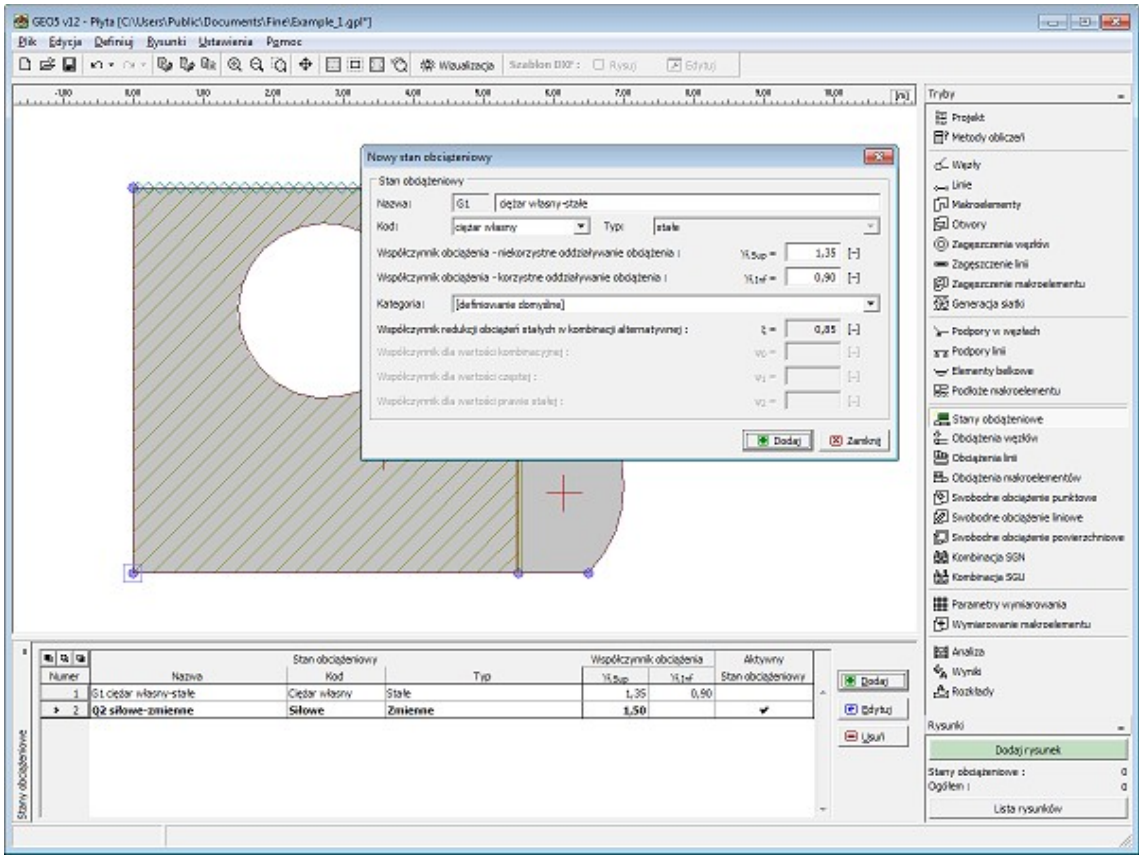
$$=\begin{bmatrix} \displaystyle\sum_{n=0}^{\infty}\dfrac{1}{2\sqrt{H}\left[(2n+1)\sqrt{C_{1w}C_{2w}}+(2n+1)^2bC_{1w}\right]} & 0 \\ 0 & \displaystyle\sum_{n=0}^{\infty}\dfrac{1}{2\sqrt{H}\left[(2n+1)b^2\sqrt{C_{1w}C_{2w}}+bC_{2w}+(2n+1)^2\dfrac{b^3}{3}C_{1w}\right]} \end{bmatrix}.$$

gdzie:

$[C]$	macierz stałych C_1 i C_2
b	pół szerokości fundamentu
c_{1w}, c_{2w}	stałe Winklera
H	głębokość strefy deformacji

Stany obciążeniowe

Ramka **"Stany obciążeniowe"** zawiera tabelę z listą zdefiniowanych stanów obciążeniowych. Dodawanie (edycja) stanów obciążeniowych i ich parametrów wykonywane jest w oknie dialogowym **"Nowy stan obciążeniowy"**. Edycję zdefiniowanych stanów obciążeniowych można przeprowadzić korzystając z opcji **"Edytuj"**, lub poprzez kliknięcie w tabeli lewym przyciskiem myszki odpowiedniego stanu obciążeniowego.



Ramka "Stany obciążeniowe"

Parametry stanów obciążeniowych

W oknie dialogowym "**Nowy stan obciążeniowy**" definiowane są następujące parametry:

Identyfikator stanu obciążeniowego

Identyfikator stanu obciążeniowego, złożony z numeru stanu obciążeniowego i członu literowego, wyświetlany jest przed polem wprowadzania nazwy stanu obciążeniowego. Człon literowy zależy od rodzaju stanu obciążeniowego:

G - obciążenie stałe

Q - obciążenie zmienne

A - obciążenie wyjątkowe

Identyfikator stanu obciążeniowego jest stosowany głównie w wydrukach kombinacji.

Kod stanu obciążeniowego

Kod stanu obciążeniowego określa jakie obciążenie, można dla tego stanu zdefiniować. Dostępne są następujące opcje:

Ciężar własny W tym stanie obciążeniowym obciążenie reprezentuje ciężar własny konstrukcji i jest ono automatycznie generowane przez program. Dla każdego zadania można przypisać tylko jeden stan obciążeniowy z tym kodem.

Siłowe Dla stanu obciążeniowego oznaczonego tym kodem można zdefiniować dowolny rodzaj obciążeń od siłowych (siły, momenty). Liczba stanów obciążeniowych

tego typu nie jest ograniczona.

Typ obciążenia

Określa charakter stanu obciążeniowego w oparciu o ich zmienność w czasie. Wybór konkretnego typu obciążenia odbywa się z wykorzystaniem klasyfikacji zawartej w normie EN 1990, art. 4.1.1.

Współczynniki obciążenia

Program umożliwia zdefiniowanie częściowego współczynnika obciążenia γf. Współczynnik uwzględnia niekorzystne odstępstwa obciążeń od wartości reprezentatywnych. W przypadku obciążeń stałych należy zdefiniować inne wartości dla oddziaływania korzystnego ($\gamma f, inf$) i niekorzystnego ($\gamma f, sup$) w kombinacji. Przy definiowaniu obciążenia według normy EN 1990 domyślne wartości współczynników pobierane są z tabeli A1.2(B).

Kategoria

Klasyfikacja stanów obciążeniowych na kategorie odpowiada klasyfikacji obciążeń wg tabeli A1.1 zamieszczonej w normie EN 1990. Na tej podstawie, różnym stanom obciążeniowym przypisywane są współczynniki kombinacyjne $\psi 0$, $\psi 1$ i $\psi 2$. Kategoria "**definiowanie użytkownika**" pozwala na definiowanie własnych wartości tych współczynników. Wybór kategorii jest możliwy tylko dla stanów obciążeniowych definiowanych zgodnie z normą EN 1990 (wyboru normy dokonuje się w zakładce "Materiały i normy").

Współczynniki kombinacyjne

Podstawowe wartości współczynników do tworzenia kombinacji wynikają z normy EN 1990 i zależą od kategorii stanu obciążeniowego. Po wybraniu definiowania użytkownika można wprowadzać własne wartości tych współczynników. Do tworzenia kombinacji używane są następujące współczynniki:

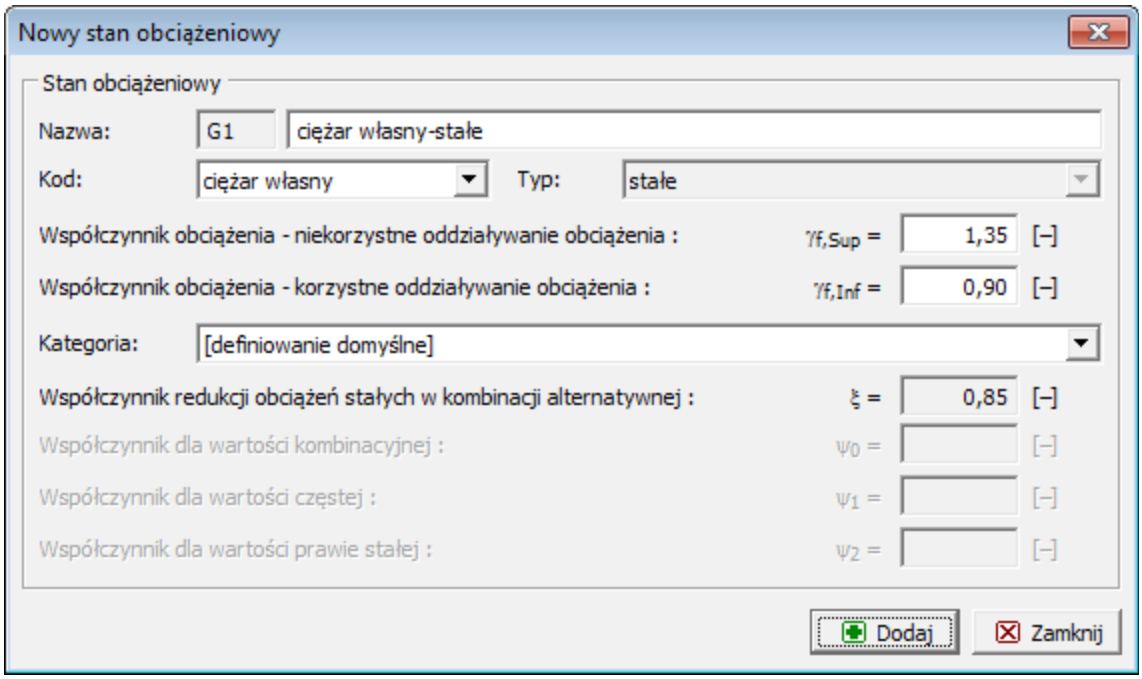
ξ - **Współczynnik redukcji obciążeń stałych w kombinacji alternatywnej** - współczynnik jest przypisywany do wszystkich obciążeń stałych i stosowany przy tworzeniu alternatywnych kombinacji dla stanu granicznego nośności (kombinacja do relacji 6.10.b, norma EN 1990).

$\psi 0$ - **Współczynnik dla wartości kombinacyjnej** - współczynnik dla obciążeń zmiennych; stosowany przy tworzeniu kombinacji zarówno nośności, jak i stanów granicznych użytkowania.

$\psi 1$ - **Współczynnik dla wartości częstej** - współczynnik dla obciążeń zmiennych; stosowany przy tworzeniu kombinacji przypadkowych i kombinacji dla stanów granicznych użytkowania.

$\psi 2$ **Współczynnik dla wartości quasi-stałej** - współczynnik dla obciążeń zmiennych; stosowany przy tworzeniu kombinacji przypadkowych i kombinacji dla stanów granicznych użytkowania.

Współczynniki kombinacyjne są dostępne tylko dla stanów obciążeniowych definiowanych zgodnie z normą EN 1990 (wyboru normy dokonuje się w zakładce "Materiały i normy").



Okno dialogowe "Nowy stan obciążeniowy"

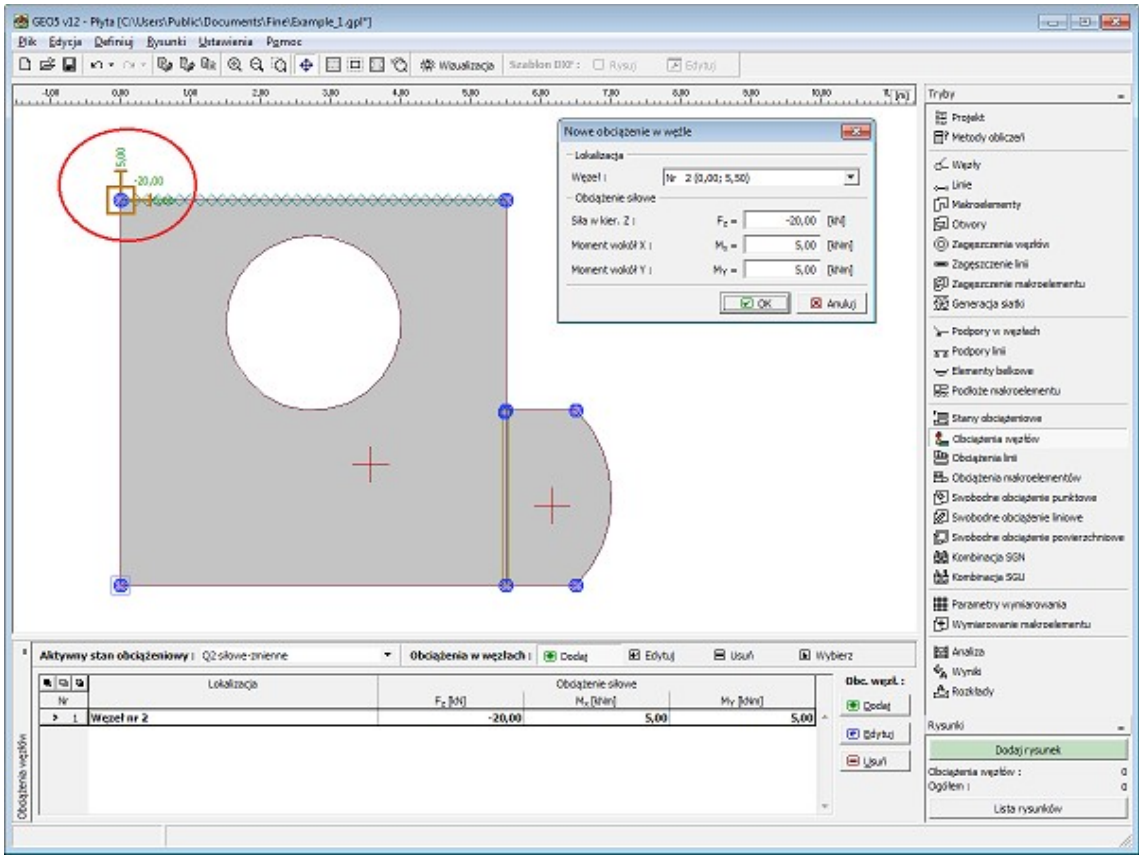
Obciążenia węzłów

Ramka **"Obciążenia węzłów"** zawiera tabelę z listą zdefiniowanych obciążeń węzłów. Każde obciążenie węzła jest przypisane do pewnego stanu obciążenia i wprowadzonego węzła. Wyboru obciążenia dokonuje się na liście rozwijanej **"Aktywny stan obciążeniowy"**. Dodawanie (edycja) obciążeń węzłów wykonywane jest w oknie dialogowym **"Nowe obciążenia w węzłach"**.

Program pozwala na definiowanie oddziaływań mechanicznych (np. sił) lub przemieszczeniowych (np. przemieszczeń podpór).

Zdefiniowane obciążenia węzłów można również edytować w na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.

Program przyjmuje następujący układ współrzędnych (konwencję znaków).



Ramka "Obciążenia węzłów"

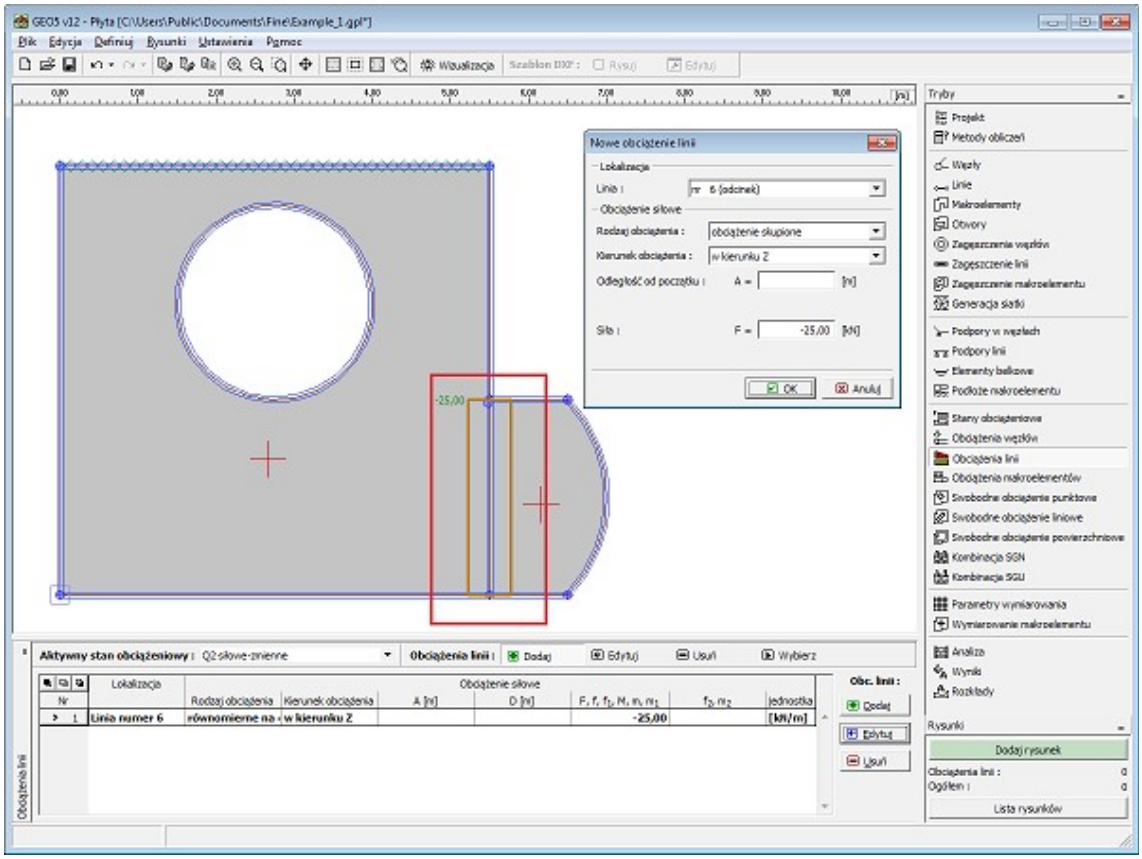
Obciążenia linii

Ramka "**Obciążenia linii**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych obciążeń linii. Każde obciążenie linii jest przypisane do pewnego stanu obciążenia i zdefiniowanych linii. Wyboru obciążenia dokonuje się na liście rozwijanej "**Aktywny stan obciążeniowy**". Dodawanie obciążeń linii wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie linii**".

Program pozwala na definiowanie oddziaływań mechanicznych (np. sił), przemieszczeniowych (np. przemieszczeń krawędzi) lub temperaturowych.

Zdefiniowane obciążenia linii można również edytować w na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.

Program przyjmuje następujący układ współrzędnych (konwencję znaków).



Ramka "Obciążenia linii"

Obciążenia temperaturowe

Obciążenia temperaturowe zakładają liniową dystrybucję temperatury na grubości płyty. Takie gradienty termiczne wywołują momenty w płycie, wyliczane jak poniżej:

$$m_t = \frac{E.h^2.\alpha.\Delta t}{12.(1-\nu)}$$

gdzie:
- E - moduł sprężystości
- ν - współczynnik Poisson'a
- h - grubość płyty
- α - współczynnik rozszerzalności cieplnej
- Δt - różnica temperatur

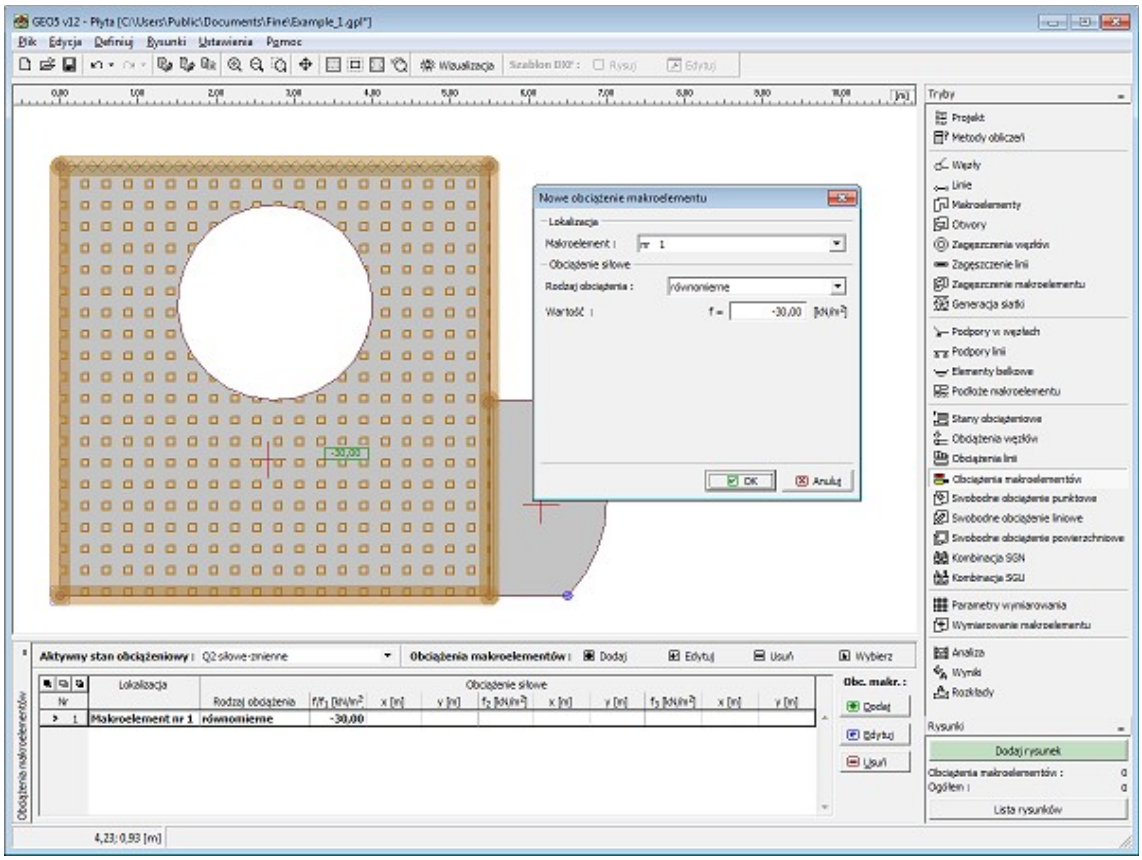
Obciążenia makroelementów

Ramka "**Obciążenia makroelementów**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych obciążeń makroelementów. Każde obciążenie makroelementu jest przypisane do pewnego stanu obciążeniowego i wprowadzonego makroelementu. Wyboru obciążenia dokonuje się na liście rozwijanej "**Aktywny stan obciążeniowy**". Dodawanie obciążeń makroelementów wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie makroelementów**".

Program pozwala na definiowanie oddziaływań mechanicznych (np. sił) lub temperaturowych.

Zdefiniowane obciążenia makroelementów można również edytować w na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.

Program przyjmuje następujący układ współrzędnych (konwencję znaków).



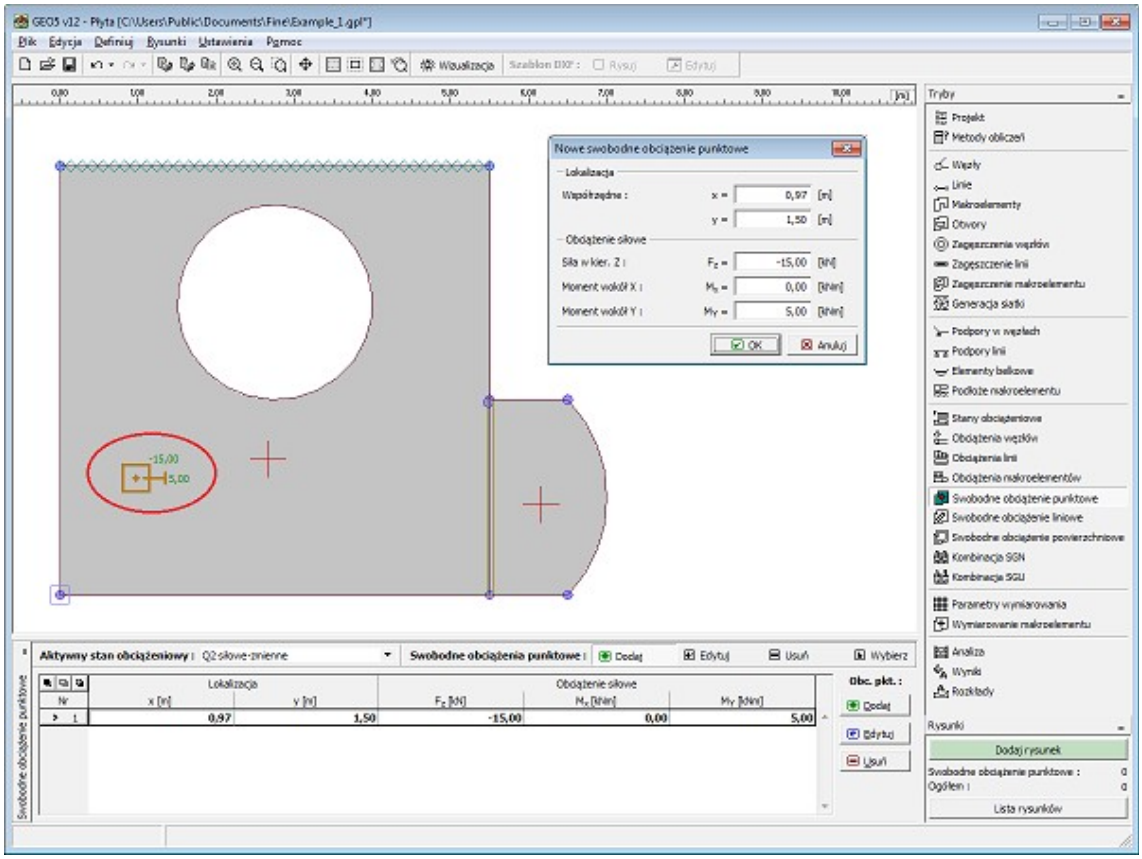
Ramka "Obciążenia makroelementów"

Swobodne obciążenie puntowe

Ramka "**Swobodne obciążenie punktowe**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych swobodnych obciążeń punktowych. Każde swobodne obciążenie punktowe jest przypisane do pewnego stanu obciążeniowego i może uzyskać dowolną lokalizację na powierzchni płyty. Wyboru obciążenia dokonuje się na liście rozwijanej "**Aktywny stan obciążeniowy**". Dodawanie swobodnych obciążeń punktowych wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe swobodne obciążenie punktowe**".

Zdefiniowane swobodne obciążenia punktowe można również edytować w na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.

Program przyjmuje następujący układ współrzędnych (konwencję znaków).



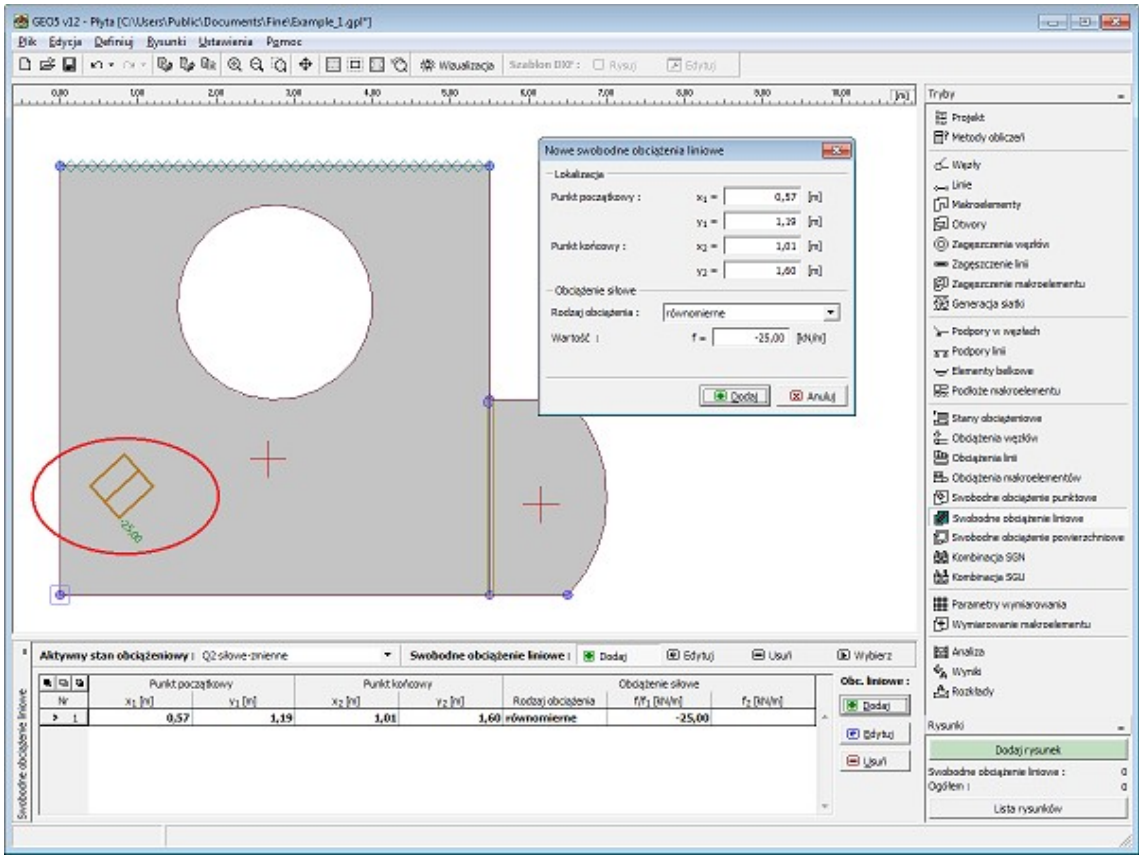
Ramka "Swobodne obciążenie puntowe"

Swobodne obciążenie liniowe

Ramka "**Swobodne obciążenia liniowe**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych swobodnych obciążeń liniowych. Każde swobodne obciążenie liniowe jest przypisane do pewnego stanu obciążeniowego i może uzyskać dowolną lokalizację oraz kierunek na powierzchni płyty. Wyboru obciążenia dokonuje się na liście rozwijanej "**Aktywny stan obciążeniowy**". Dodawanie swobodnych obciążeń liniowych wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe swobodne obciążenie liniowe**".

Zdefiniowane swobodne obciążenia liniowe można również edytować w na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.

Program przyjmuje następujący układ współrzędnych (konwencję znaków).



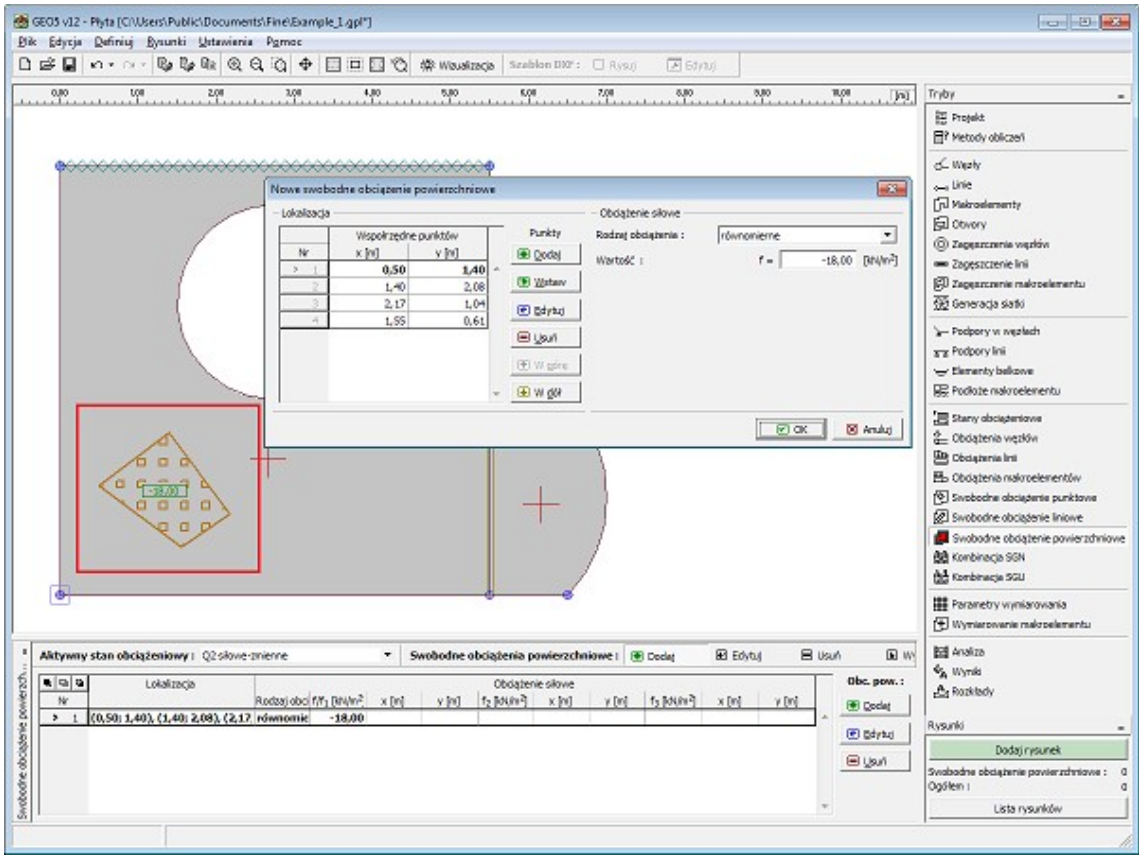
Ramka "Swobodne obciążenie liniowe"

Swobodne obciążenie powierzchniowe

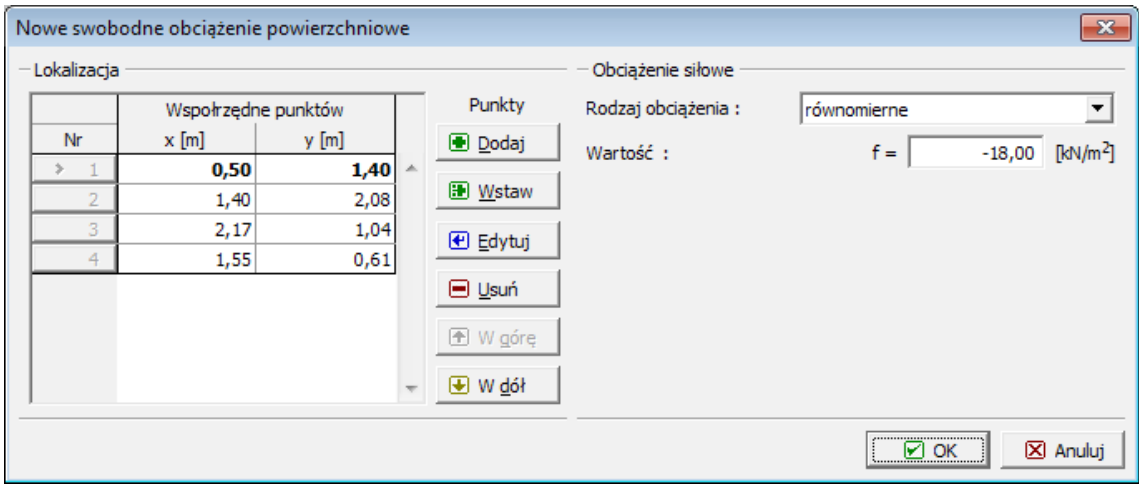
Ramka "**Swobodne obciążenie powierzchniowe**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych swobodnych obciążeń powierzchniowych. Każde swobodne obciążenie powierzchniowe jest przypisane do pewnego stanu obciążeniowego, a zdefiniowane przy użyciu punktów, może uzyskać dowolny kształt i lokalizację na powierzchni płyty. Wyboru obciążenia dokonuje się na liście rozwijanej "**Aktywny stan obciążeniowy**". Dodawanie swobodnych obciążeń powierzchniowych wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe swobodne obciążenie powierzchniowe**".

Zdefiniowane swobodne obciążenia powierzchniowe można również edytować w na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.

Program przyjmuje następujący układ współrzędnych (konwencję znaków).



Ramka "Swobodne obciążenie powierzchniowe"

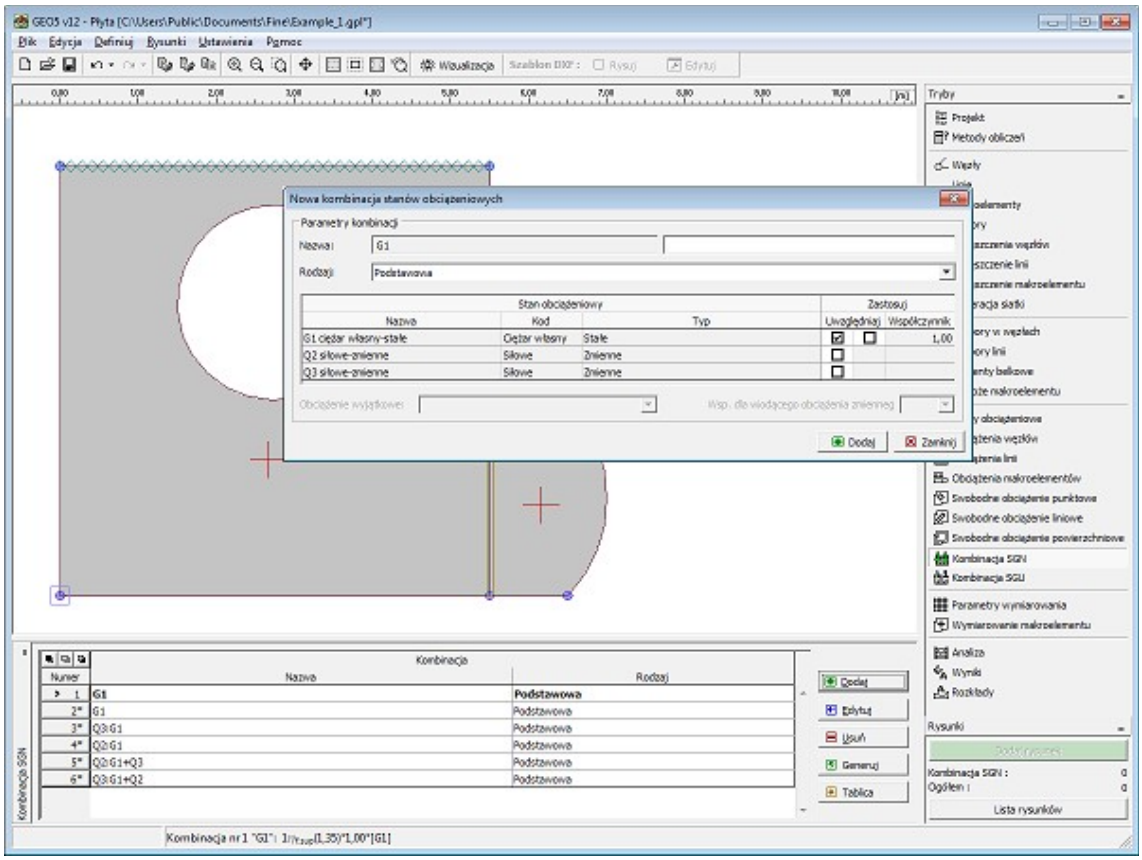


Okno dialogowe "Nowe swobodne obciążenie powierzchniowe"

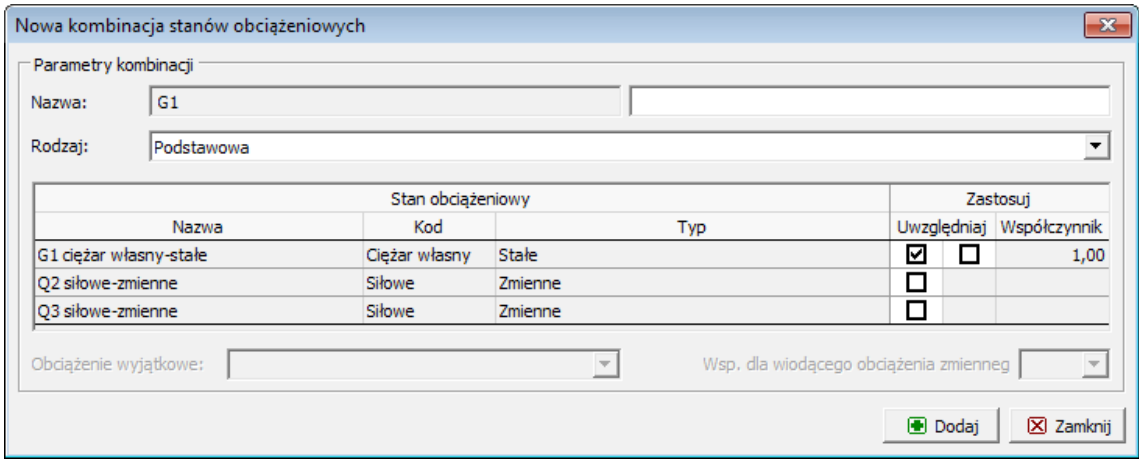
Kombinacja SGN

Ramka "**Kombinacja SGN**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych kombinacji stanów granicznych nośności. Dodawanie (edycja) kombinacji i ich parametrów wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowa kombinacja stanów obciążeniowych**". Edycję wykonujemy za pomocą przycisku "**Edytuj**" lub klikając na liście linijkę z żądaną kombinacją lewym przyciskiem myszki.

Kombinacje można tworzyć korzystając z generatora kombinacji stanów obciążeniowych dostępnego w programie.



Ramka "Kombinacja SGN"



Okno dialogowe "Nowa kombinacja stanów obciążeniowych"

Parametry kombinacji SGN

W oknie dialogowym "**Nowa kombinacja stanów obciążeniowych**" definiowane są następujące parametry:

Nowa kombinacja

Krótki opis kombinacji wyświetlany jest u góry pola definiowania kombinacji. Wszystkie uwzględniane stany obciążeniowe są oznaczone ich identyfikatorami. Główne obciążenia zmienne przesuwane są na początek listy i oddzielone od pozostałych stanów obciążeniowych dwukropkiem.

Rodzaj kombinacji (tylko dla kombinacji według normy EN 1990)

Dla granicznego stanu obciążenia można stworzyć następujące kombinacje:

Podstawowa Kombinacja podstawowa oparta na wyrażeniu 6.10 z normy EN 1990

Alternatywna Kombinacje oparte na wyrażeniu 6.10a i 1.10b z normy EN 1.10b. W tym przypadku do obliczeń używane są dwa warianty kombinacji: jeden ze zredukowanymi stałymi stanami obciążeniowymi, a drugi ze zredukowanymi głównymi stanami obciążeniowymi.

Wyjątkowa Kombinacja wyjątkowa oparta na wyrażeniu 6.11 z normy EN 1990.

Wybór stanów obciążeniowych

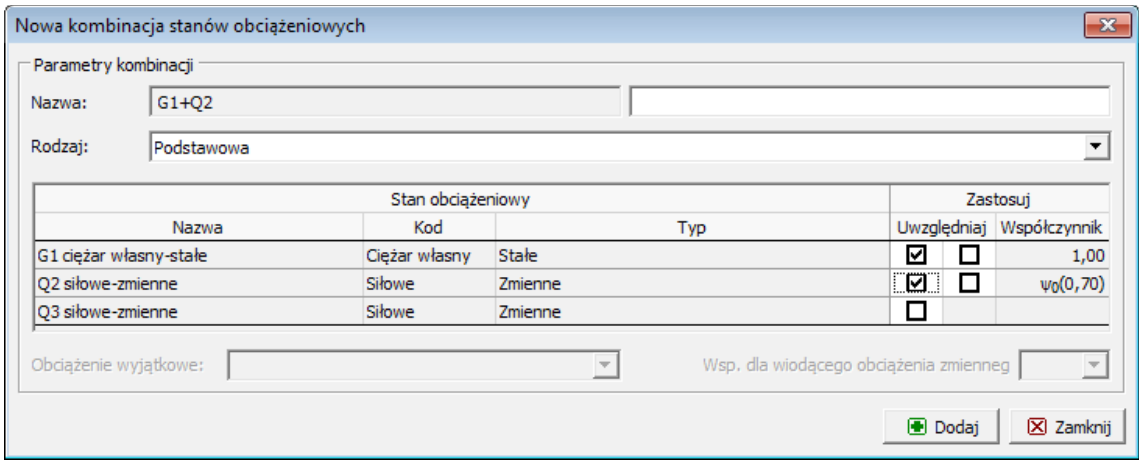
Tabela zawierająca poszczególne stany obciążeniowe umożliwia ich wybieranie w celu tworzenia kombinacji. Stan obciążeniowy można wprowadzać do kombinacji zaznaczając odpowiedni kwadrat w kolumnie "**Uwzględniaj**" dla danego stanu obciążeniowego. Dalszy proces definiowania w tabeli zależy od wyboru sposobu wprowadzania obciążeń w zakładce "Materiały i normy".

Obciążenia wg normy EN 1990

W kolumnie "**Uwzględniaj**" dla każdego obciążenia dostępny jest drugi kwadrat. Kwadrat umożliwia przyporządkowanie korzystnego oddziaływania stałym stanom obciążeniowym (przyjęcie współczynnika $\gamma_{f,\,inf}$) lub zdefiniowanie obciążenia zmiennego jako obciążenia wiodącego. Liczba wiodących obciążeń zmiennych w kombinacji jest nieograniczona. Obciążenie przypadkowe można wprowadzić do kombinacji oznaczonych jako "**Wyjątkowe**" (wyboru można dokonać tylko spośród stanów obciążeniowych oznaczonych jako "**Wyjątkowe**"). Dla kombinacji wyjątkowych należy również zdecydować, czy wiodące obciążenie zmienne będzie redukowane za pomocą współczynnika ψ_1 lub ψ_2.

Obciążenie ogólne

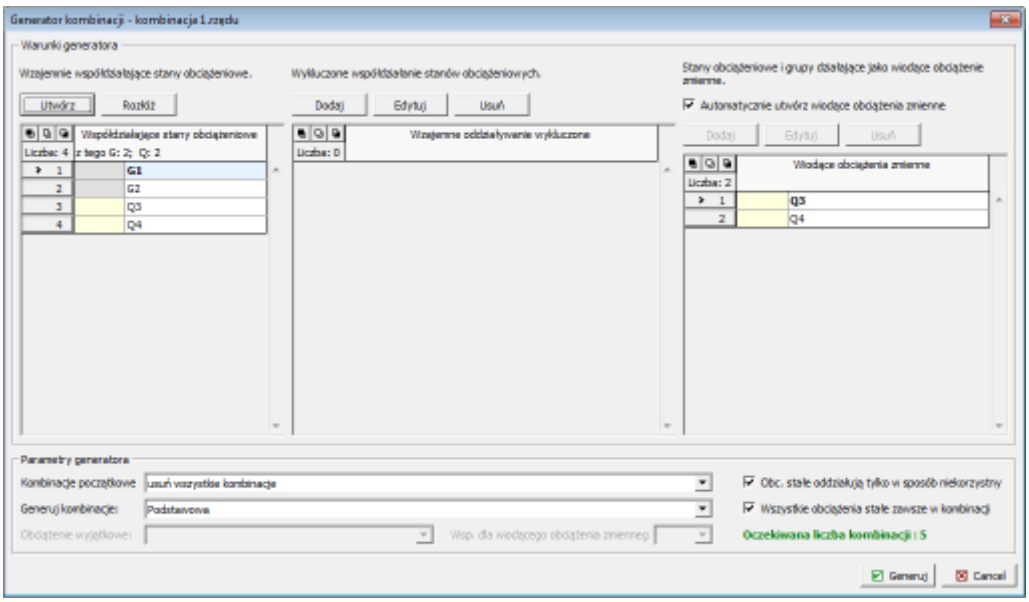
Dla każdego stanu obciążeniowego można zdefiniować współczynnik użyteczności służący dostosowaniu użyteczności stanu obciążeniowego w kombinacji.



Okno dialogowe "Nowa kombinacja stanów obciążeniowych"

Generator kombinacji SGN

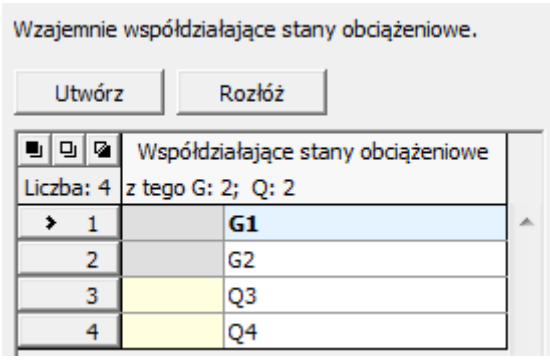
Okno dialogowe "**Generator kombinacji - kombinacja 1. rzędu**" umożliwia zbiorcze tworzenie kombinacji stanów obciążeniowych w oparciu o zdefiniowane zasady tworzenia kombinacji. Zgodnie z treścią normy EN 1990 liczba generowanych kombinacji może być stosunkowo duża, co w ekstremalnych przypadkach może znacznie spowolnić proces obliczeniowy. Z tego względu informacja o oczekiwanej liczbie kombinacji do wygenerowania jest pokazywana w prawym dolnym rogu okna. Dlatego przed rozpoczęciem generowania użytkownik może sprawdzić ile kombinacji zostanie wygenerowanych i ewentualnie skorygować warunki generacji. Górna część okna służy do definiowania warunków generowania kombinacji; dolna część zawiera różne ustawienia generatora.



Okno dialogowe "Generator kombinacji - kombinacja 1.rzędu"

Współdziałające stany obciążeniowe i grupy

W tej części można łączyć stany obciążeniowe, które będą pojawiać się w kombinacjach zawsze razem. Obciążeń stałych i zmiennych nie można łączyć w jedną grupę. Jeżeli w Parametrach Generatora zaznaczymy pole **Wszystkie obciążenia stałe zawsze w kombinacji**, to tworzenie grup obciążeń stałych nie wpłynie na ich obecność w kombinacjach, ponieważ każda wygenerowana kombinacja będzie zawsze zawierać wszystkie stałe stany obciążeniowe. W takim przypadku, łączenie stałych stanów obciążeniowych wpłynie tylko na uwzględnienie korzystnego/niekorzystnego oddziaływania stanów obciążeniowych pod warunkiem, że nie zaznaczono pola **Obciążenia stałe oddziałują tylko w sposób niekorzystny**.



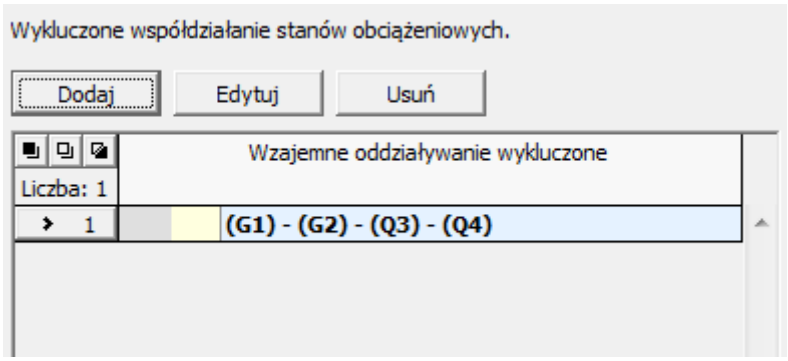
Okno dialogowe "Generator kombinacji" - Wzajemnie współdziałające stany obciążeniowe

Wykluczone współdziałanie stanów obciążeniowych

W tej części można określić, które stany obciążeniowe nie powinny pojawiać się razem w kombinacji. Wybrane przypadki lub połączone grupy można wzajemnie wykluczyć niezależnie od rodzaju stanu obciążeniowego. Do definiowania grup, które będą wykluczone służą dwie opcje:

Wzajemne wykluczenie Do jednej grupy można wprowadzić wybraną liczbę stanów obciążeniowych. W takim przypadku program nie wygeneruje żadnej kombinacji zawierającej co najmniej dwa stany obciążeniowe z tej grupy.

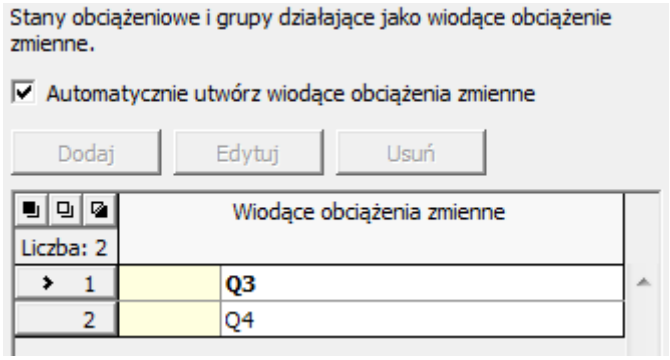
Wykluczenie parami Opcję można wykorzystać, jeżeli niezbędne jest utworzenie dużej liczby wykluczających grup dwóch rodzajów, gdzie jeden stan obciążeniowy jest ten sam (np. wykluczenie wariantów zespołów obciążeń stałych i wszystkich przypadków obciążeń użytkowych). Stan obciążeniowy przeznaczony do wykluczenia wybieramy najpierw w pierwszej kolumnie. Druga kolumna służy wtedy do wybrania żądanej liczby stanów obciążeniowych, potrzebnych do stworzenia wykluczających grup.



Okno dialogowe "Generator kombinacji" - Wykluczone współdziałanie stanów obciążeniowych

Stany obciążeniowe i grupy działające jako wiodące obciążenie zmienne

Ta część jest dostępna tylko wtedy, gdy uwzględnione jest definiowanie obciążeń wg normy EN 1990 (wyboru normy należy dokonać w zakładce "Materiały i normy"). Jeżeli wybrany został tryb automatyczny, to każde obciążenie zmienne jest traktowane w tworzonych kombinacjach jako wiodące. Jeżeli tryb ten jest wyłączony, to można ręcznie korygować listę wiodących obciążeń zmiennych. Można, na przykład, usunąć żądany stan obciążeniowy z listy, tak aby nie był uwzględniany jako wiodący stan obciążeniowy w kombinacjach. Jeśli do listy dodana zostanie nowa pozycja obejmująca więcej stanów obciążeniowych, to wszystkie stany obciążeniowe będą traktowane jak wiodące obciążenia zmienne w tych kombinacjach, w których występują wspólnie.



Okno dialogowe "Generator kombinacji" - Stany obciążeniowe i grupy działające jako obciążenie zmienne

Parametry generatora (parametry, które można definiować w dolnej części okna dialogowego)

Lista rozwijana "Kombinacje początkowe"

Zachowaj kombinacje początkowe - Po wciśnięciu przycisku "**Generuj**" program doda nowe kombinacje, utworzone zgodnie z podanymi zasadami do kombinacji początkowych.

Usuń wszystkie kombinacje - Po wciśnięciu przycisku "**Generuj**" program usunie wszystkie kombinacje początkowe i zastąpi je nowymi.

Usuń wygenerowane kombinacje - Po wciśnięciu przycisku "**Generuj**" program usunie starsze kombinacje i doda nowe, utworzone zgodnie z podanymi zasadami.

Usuń wszystkie kombinacje aktualnego rodzaju - Po wciśnięciu przycisku "**Generuj**" program usunie wszystkie kombinacje danego rodzaju i zastąpi je nowymi.

Usuń wszystkie wygenerowane kombinacje aktualnego rodzaju - Po wciśnięciu przycisku "**Generuj**" program usunie starsze kombinacje danego rodzaju i doda nowe, utworzone zgodnie z podanymi zasadami.

Lista rozwijana "Generuj kombinacje"

Na podstawie normy EN 1990 można wybrać następujące rodzaje wygenerowanych kombinacji obciążeń:

Podstawowa - Generuje podstawowe kombinacje dla stanu granicznego nośności w oparciu o wyrażenie 6.10 z normy EN 1990.

Alternatywna - Generuje kombinacje dla stanu granicznego nośności w oparciu o wyrażenia 6.10a i 1.10b z normy EN 1990. Ten wariant generuje dwukrotnie większą liczbę kombinacji, ale zapewnia lepsze wyniki.

Wyjątkowa - Generuje przypadkowe kombinacje dla stanu granicznego nośności w oparciu o wyrażenie 6.11 z normy EN 1990. Można zdefiniować wyjątkowy stan obciążeniowy, który wystąpi w kombinacjach wyjątkowych. Należy również zdecydować, czy do redukcji wiodącego obciążenia zmiennego użyty zostanie współczynnik ψ_1 czy ψ_2.

Obciążenia stałe oddziałują tylko w sposób niekorzystniy

Jeżeli nie zaznaczymy tego ustawienia, program stworzy wszystkie możliwe kombinacje, w których uwzględnione zostanie wprowadzenie wszystkich wariantów korzystnych i niekorzystnych oddziaływań obciążeń stałych.

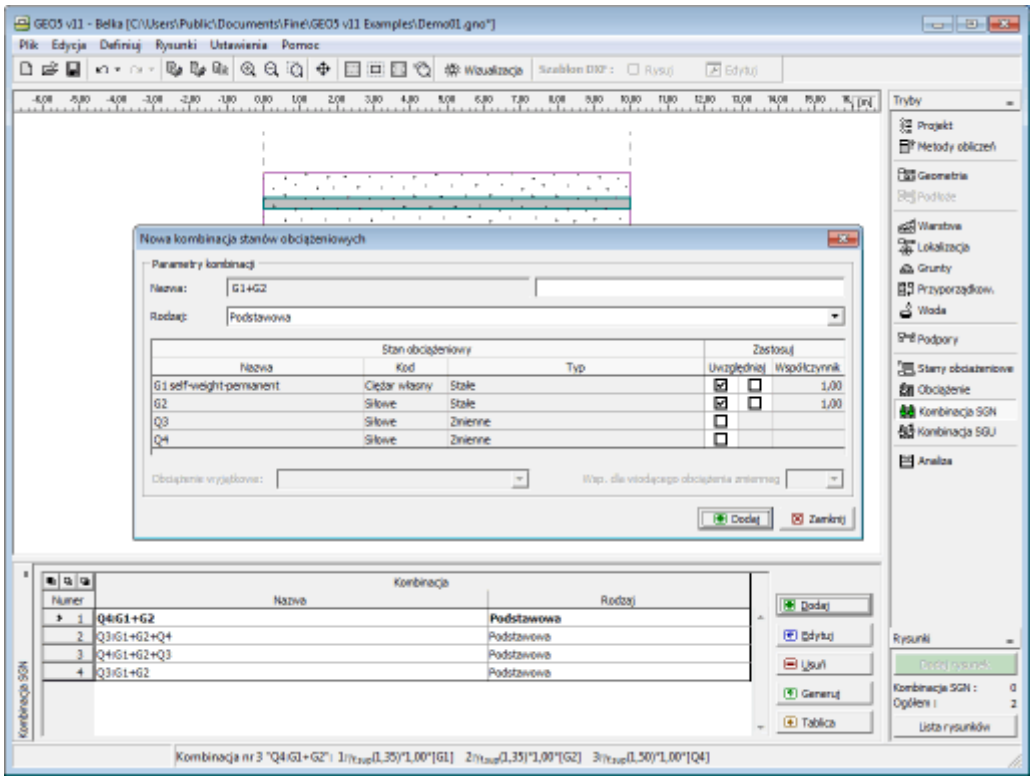
Wszystkie obciążenia stałe zawsze w kombinacji

Jeżeli nie zaznaczymy tego ustawienia, program stworzy kombinacje, w których uwzględnione zostanie wprowadzanie kolejno wszystkich oddziaływań obciążeniowych do kombinacji.

Kombinacja SGU

Ramka "Kombinacja SGN" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych kombinacji stanów granicznych nośności. Dodawanie (edycja) kombinacji i ich parametrów wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowa kombinacja stanów obciążeniowych**". Edycję wykonujemy za pomocą przycisku "**Edytuj**" lub klikając na liście linijkę z żądaną kombinacją lewym przyciskiem myszki.

Kombinacje można tworzyć korzystając z generatora kombinacji stanów obciążeniowych dostępnego w programie.



Ramka "Kombinacja SGN"

Parametry kombinacji SGU

Kombinacje SGU służą do oceny stanów dotyczących wyglądu budowli, komfortu osób lub funkcjonowania konstrukcji w trakcie normalnego użytkowania. Zwykle sprawdzenie dotyczy tylko odkształceń, drgań itp. Okno dialogowe "**Nowa kombinacja stanów obciążeniowych**" (podobnie jak w przypadku kombinacji SGU) służy definiowaniu następujących parametrów:

Rodzaje kombinacji wg normy EN 1990

Dla stanu granicznego użytkowania można stworzyć następujące kombinacje:

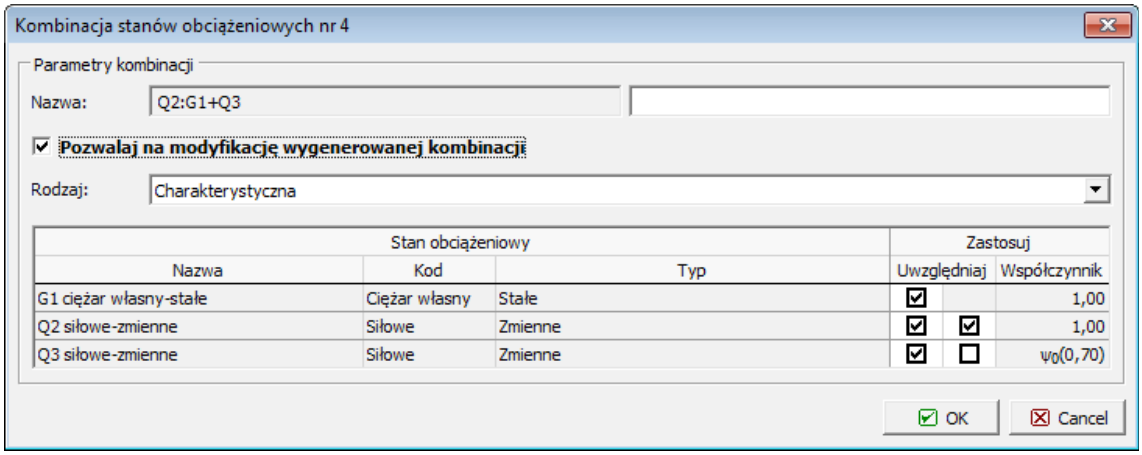
Charakterystyczna - kombinacja oparta na wyrażeniu 6.14 z normy EN 1990

Częsta - kombinacja oparta na wyrażeniu 6.15 z normy EN 1990

Quasi-stała - kombinacja oparta na wyrażeniu 6.16 z normy EN 1990

Wybór stanów obciążeniowych

Tabela zawierająca poszczególne stany obciążeniowe umożliwia ich wybranie w celu stworzenia kombinacji. Stan obciążeniowy można wprowadzić do kombinacji zaznaczając kwadrat w kolumnie "**Uwzględniaj**" dla żądanego stanu obciążeniowego. Współczynnik użyteczności można zdefiniować dla kombinacji definiowanych ogólnie (wybierany w zakładce "Materiały i normy") w celu dostosowania stopnia użyteczności stanu obciążeniowego w kombinacji.



Okno dialogowe "Nowa kombinacja stanów obciążeniowych"

Generator kombinacji SGU

Okno dialogowe "**Generator kombinacji - kombinacja 1. rzędu**" pozwala na zbiorowe generowanie kombinacji stanów obciążeniowych dla granicznego stanu użytkowania. Objaśnienia funkcji generatora kombinacji zawarto w części dotyczącej generatora kombinacji dla stanu granicznego nośności.

Jeżeli w zakładce "Materiały i normy" zaznaczono definiowanie obciążeń wg normy EN 1990, to możliwe jest generowanie następujących kombinacji dla granicznego stanu użytkowania.

Charakterystyczna - kombinacja oparta na wyrażeniu 6.14 z normy EN 1990

Częsta - kombinacja oparta na wyrażeniu 6.15 z normy EN 1990

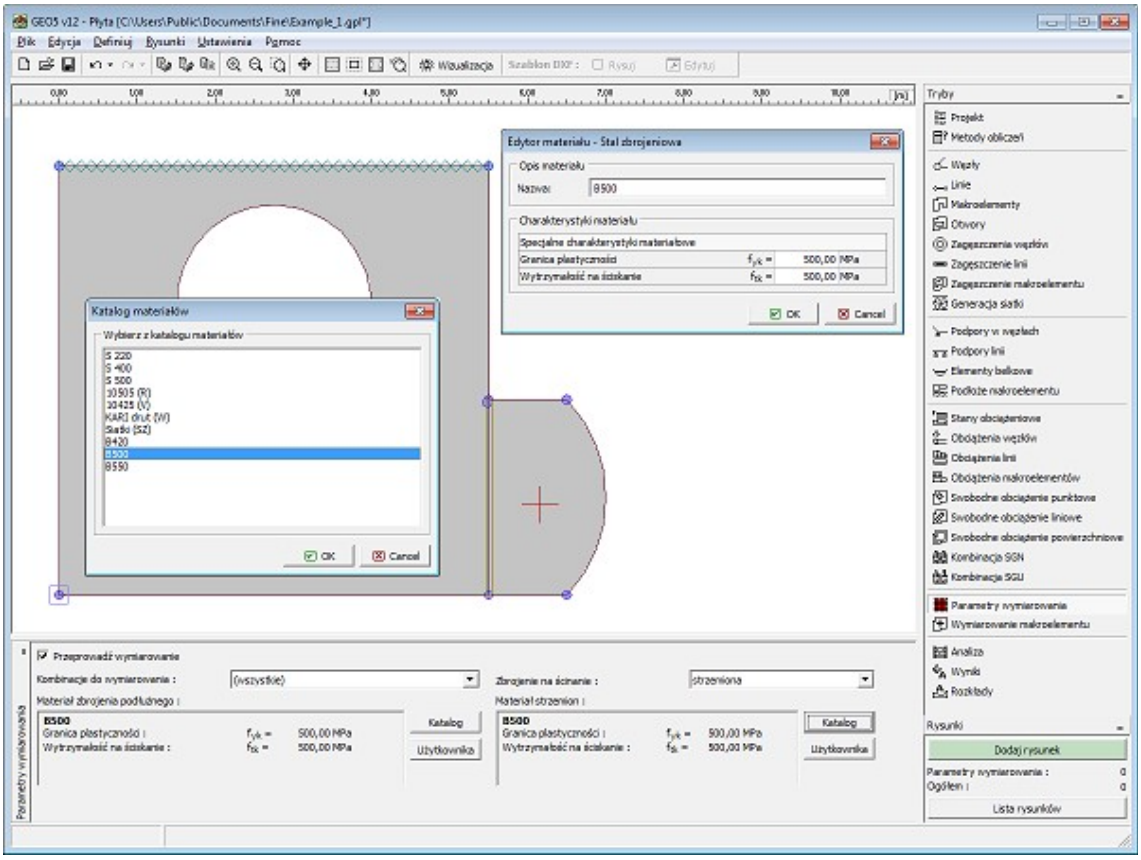
Quasi-stała - kombinacja oparta na wyrażeniu 6.16 z normy EN 1990

Parametry wymiarowania

Ramka **"Parametry wymiarowania"** służy do definiowania danych dla wymiarowania **zbrojenia podłużnego** i **zbrojenia na ścinanie.** Musi być podany **numer kombinacji** (lub wszystkich kombinacje), która ma być analizowana. Materiał zbrojenia podłużnego wybierany jest z **"Katalogu materiałów"**, lub może być zdefiniowany ręcznie przez uzytkownika w **"Edytorze materiału"**. Zbrojenie na ścinanie specyfikowane jest w

postaci **prętów odginanych**, lub **strzemion** (pręty odginane wymagają zdefiniowania kąta odgięcia).

Podczas przeprowadzania analizy wymiarowania, program wyznacza wartości podanych poniżej wielkości. Analiza przeprowadzana jest zgodnie z normą wybraną w zakładce "Materiały i normy".



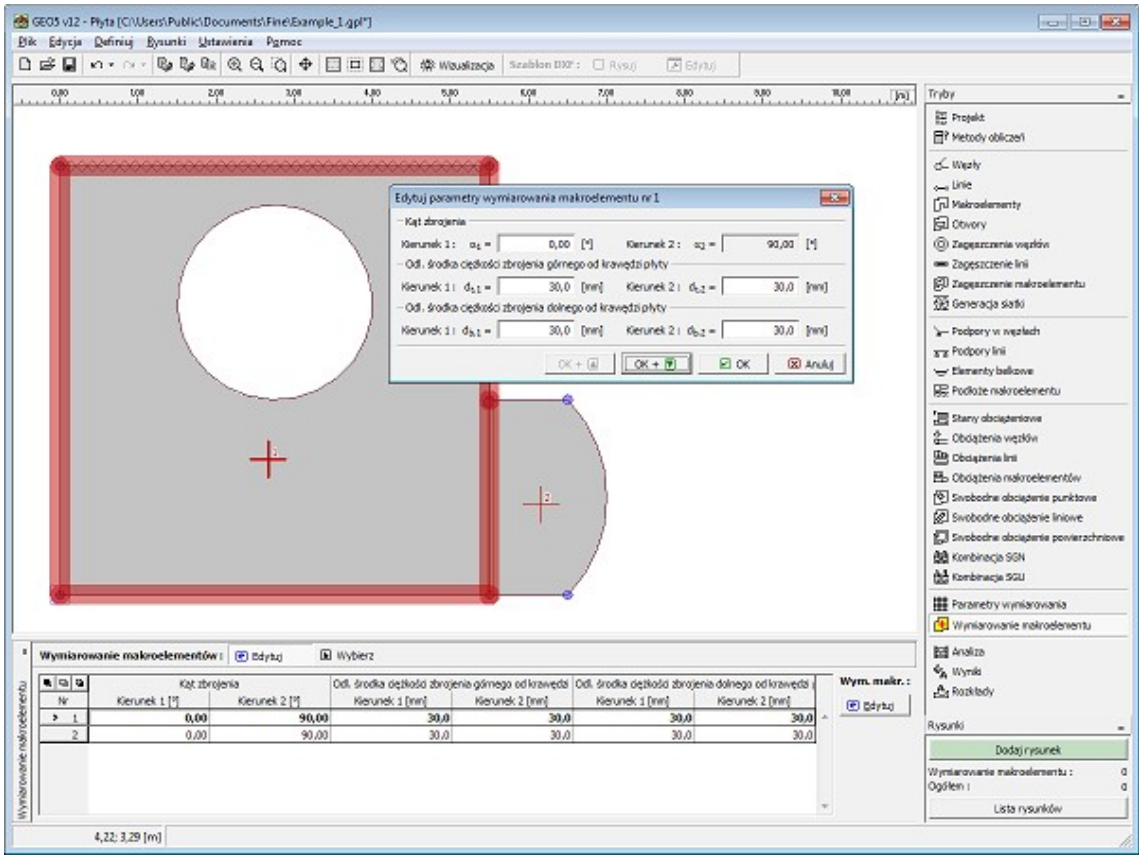
Ramka "Parametry wimiarowania"

Wymiarowanie makroelementu

Ramka **"Wymiarowanie makroelementu"** zawiera tabelę z listą zdefiniowanych makroelementów. Edycja parametrów zbrojenia (można modyfikować - kierunek zbrojenia i odległość środka ciężkości zbrojenia dolnego i górnego od krawędzi płyty), wykonywana jest w oknie dialogowym **"Edytuj parametry wymiarowania makroelementu"**.

Podczas wykonywania wymiarowania, program generuje podane poniżej wartości. Analiza przeprowadzana jest zgodnie z normą określoną w zakładce "Materiały i normy".

Wymiarowanie makroelementów można również edytować w na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.



Ramka "Wimiarowanie makroelementu"

Analiza

Wyniki analizy wyświetlane są w ramce **"Analiza". Analiza** przeprowadzana jest za pomocą metody elementów skończonych. Analiza wymiarowania wykonywana jest zgodnie ze z normą ustawioną w zakładce "Materiały i normy".

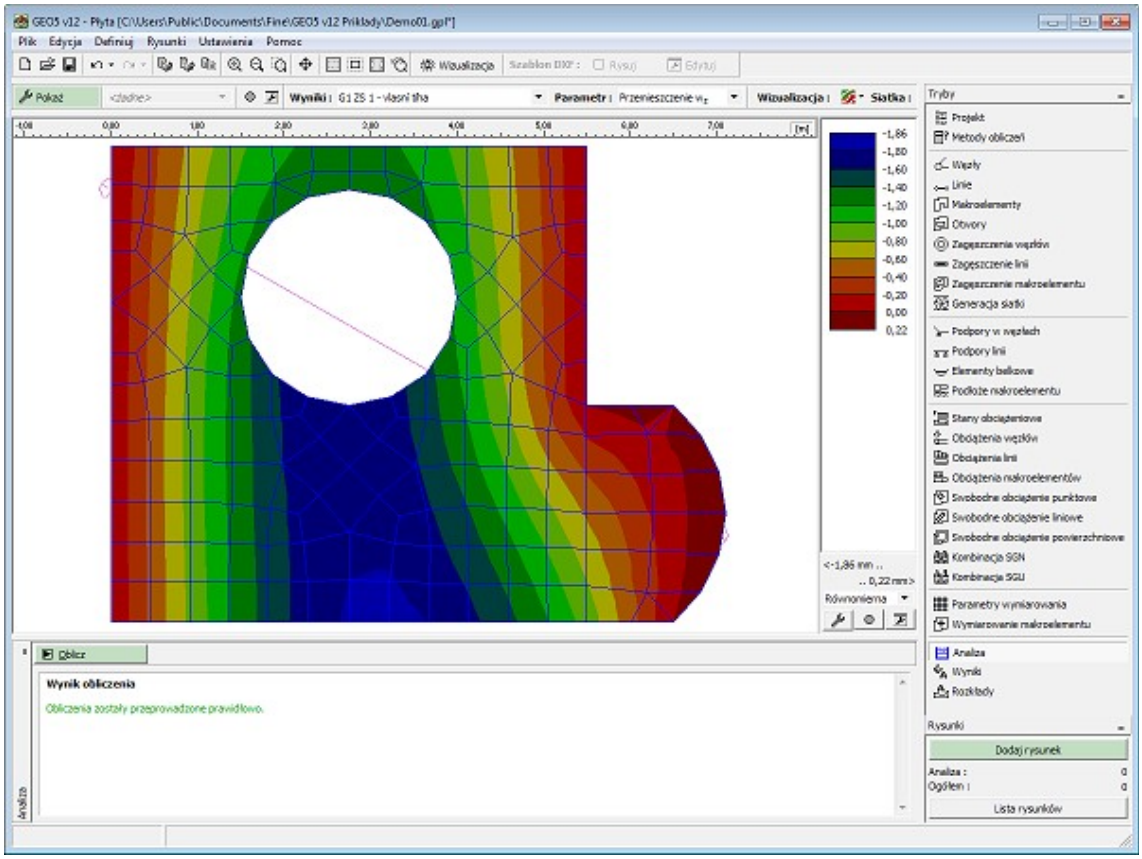
Analizę można wstrzymać w dowolnym momencie, naciskając przycisk **"Zatrzymaj"**.

Po zakończeniu analizy program natychmiast wyświetla wyniki i informacje o przebiegu obliczeń. Informacje te (z możliwą listą błędów) pokazane są w oknie w dolnej części ramki. Głównym narzędziem prezentacji wyników z programu jest wizualizacja wyników na ekranie. Pasek narzędzi w górnej części ekranu służy do obsługi prezentacji graficznej wyznaczonych wartości.

Zakres kolorów i przycisk do jego modyfikacji znajduje się u góry ekranu.

Program przyjmuje następujący układ współrzędnych (konwencję znaków).

Sposób przedstawiania wyników na ekranie można ustawić w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Analiza" - ekran po zakończeniu analizy

Procedura analizy

Procedura rozwiązań podzielona jest na kilka kroków, obejmujących stworzenie globalnej macierzy sztywności, biorąc jednocześnie pod uwagę warunki podparcia (podpory utwierdzone, lub sprężyste w węzłach lub wzdłuż linii, podłoże sprężyste) oraz zbudowanie wektora obciążenia i analizę układu równań, przy wykorzystaniu metody Gaussa z rozkładem Choleskiego dla globalnej macierzy sztywności, która w tym przypadku jest symetryczna.

Następnie, wyznaczone w węzłach siatki wartości zmiennych pierwotnych - w_z, φ_x i φ_y, wykorzystywane są do wyznaczenia sił wewnętrznych m_x, m_y, m_{xy}, v_x i v_y , wraz z wyprowadzeniem wartości m_1, m_2 oraz wartości reakcji zmobilizowanych w podporach.

Elementy 2D

Na jakość wyników obliczeń płyt, uzyskiwanych metodą elementów skończonych, znaczny wpływ ma rodzaj elementów płyty. Aktualne sformułowania korzystają z wariantu deformacyjnego metody elementów skończonych, dla uzyskania elementów trójkątnych i czworokątnych, określanych jako DKMT i DKMQ (Discrete Kirchhoff-Mindlin Triangle i Quadrilateral).

Formuły elementów płyty wprowadzone do programu oparte są na dyskretnej teorii Kirchoffa zginania płyt cienkich, co może być traktowane, jako specjalny przypadek teorii płyt Mindlina, opracowanej przy podanych poniżej założeniach:

- Ściskanie płyty w kierunku "z" jest nieznaczne w porównaniu z przemieszczeniem pionowym W_z

- Normalne do płaszczyzny środkowej płyty pozostają proste po deformacji, choć niekoniecznie muszą być normalnymi do zdeformowanej płaszczyzny środkowej płyty
- Naprężenie normalne σ_z jest nieznaczne w porównaniu z naprężeniami σ_x, σ_y

Elementy DKMT i DKMQ mają 9 i 12 stopni swobody i odpowiednio trzy niezależne przemieszczenia w każdym węźle:

W_z - Odchylenie w kierunku osi "z"

φ_x - Obrót wokół osi "x"

φ_y - Obrót wokół osi "y"

Elementy spełniają poniższe kryteria:

- Macierz sztywności ma prawidłowy rząd (nie występuje generowanie stanów zerowych energii)
- Przechodzą testy poprawek programowych
- Są odpowiednie dla analizy płyt cienkich i grubych
- Mają dobre parametry konwergencji (zbieżności)
- Nie obciążają nadmiernie obliczeniowo

W przypadku dobrze wygenerowanej siatki, preferowane są elementy czworokątne, ponieważ lepiej spełniają powyższe kryteria w porównaniu do elementów trójkątnych.

Elementy1D

Płyta może zostać wzmocniona belkami formułowanymi na bazie jedno-wymiarowych elementów belkowych z wbudowanym skręcaniem, kompatybilnych z elementami płyty (szczegóły można znaleźć w literaturze). Zmiennymi podstawowymi są W_z, φ_x i φ_y , a odpowiadającymi siłami wewnętrznymi są M_1, M_2 i V_3 (momenty skręcające i zginające oraz siła tnąca).

Belka charakteryzowana jest poprzez momenty bezwładności I_t i I_2 (skręcanie, zginanie), pole powierzchni A i pole ścinania A_S. Parametry te można wyznaczyć w programie, w oparciu o zdefiniowany typ przekroju. W obliczeniach budowane są lokalne macierze sztywności 6x6, które następnie lokalizowane są w globalnej macierzy sztywności konstruckji.

Literatura:

I. Katili, A new discrete Kirchhoff-Mindlin element based on Mindlin-Reissner plate theory and assumed shear strain fields - part I: An extended DKT element for thick-plate bending analysis, Int. J. Numer. Meth. Engng., Vol. 36, 1859-1883 (1993).

I. Katili, A new discrete Kirchhoff-Mindlin element based on Mindlin-Reissner plate theory and assumed shear strain fields - part II: An extended DKQ element for thick-plate bending analysis, Int. J. Numer. Meth. Engng., Vol. 36, 1885-1908 (1993).

Z. Bittnar, J. Šejnoha, Numerické metody mechaniky, ČVUT, Praha, 1992.

Wyniki

Wizualizacja i interpretacja wyników, stanowią jedną z najważniejszych części programu.

Bazując na ustawieniach paska narzędzi, program wyświetla zmienne (odkształcenia, momenty, obrót) dla dowolnych stanów obciążeniowych lub kombinacji SO (stanów obciążeniowych). Dodatkowo, jeśli zachodzi potrzeba, wyświetla parametry do wymiarowania (wymagane przekroje zbrojenia, wyznaczone zgodnie z normą wybraną w zakładce "Materiały i normy").

Wyliczenia wartości dla definiowanych przez użytkownika punktów lub linii można zdefiniować odpowiednio w ramkach "Wyniki" lub "Rozkłady".

Program oferuje kilka podstawowych metod prezentacji graficznej, definiowanych w oknie dialogowym "Płyta - ustawienia wizualizacji wyników".

- wizualizacja konstrukcji
- powierzchniowa prezentacja wartości zmiennych
- wizualizacja siatki elementów skończonych
- rysowanie rozkładów w punktach siatki (wykresy)
- prezentacja wartości na powierzchni
- prezentacja kierunków momentów i reakcji

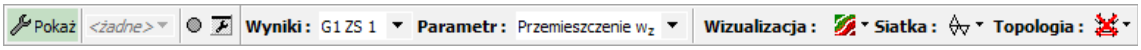
Pasek narzędzi "Wyniki" w górnej części ekranu służy do wyświetlania wybranych zmiennych i sposobu ich przedstawiania na ekranie. Po prawej stronie ekranu pokazana jest skala barw (legenda). Poszczególne ustawienia kolorów można dopasować za pomocą paska narzędzi "Skala barw".

Ponieważ prawidłowe opracowanie wyników może często być czasochłonne, program dysponuje dogodnym systemem ustawień do wyboru i przechowywania widoków (stworzonych rysunków).

Wszystkie zapamiętane widoki (rysunki) i wybrane wyniki można następnie wydrukować jako dokumentację (raport) z obliczeń.

Pasek narzędzi - wyniki

Pasek narzędzi posiada podane poniżej elementy operacyjne:



Pasek narzędzi "Ustawienia wizualizacji graficznej wyników"

Poszczególne elementy działają następująco:



Ustawienia stylu wizualizacji

- Otwiera okno dialogowe "Płyta - ustawienia wizualizacji wyników", w którym użytkownik może szczegółowo definiować styl wizualizacji (kolory, grubości linii itp.).



Lista widoków (rysunków)

- Lista przewijalna zawierająca nazwy zapisanych przez użytkownika widoków.



Zapisywanie widoku

- Zapisuje aktualny widok wyświetlany na ekranie. Okno dialogowe służy do wprowadzenia i zapisania nazwy widoku.



Menadżer widoków

- Otwiera okno dialogowe **"Menadżer widoków"**, służy do zarządzania wcześniej zapisanymi widokami

(kasowanie, zmiana kolejności, zmiana nazwy).

Wyniki : G1 ZS 1	**Wyniki** (obwiednie, stany obciążeniowe, kombinacje, wymiarowanie)	• Wyświetla wybrane stany obciążeniowe, kombinacje (ULS, SLS), obwiednie (ULS, SLS) lub wymiarowanie
Parametr : Przemieszczenie w_z	**Wybór zmiennej**	• Wyświetla wybraną zmienną lub zmienna wymiarowania
Wizualizacja :	**Sposób prezentacji na powierzchni**	• Wybór sposobu prezentacji wyników w postaci izolinii czy izopowierzchni
Siatka :	**Siatka**	• Włącza /wyłącza rysowanie siatki ES (elementów skończonych) i pozwala na wybór - tylko krawędzie lub zgodnie z ustawieniem w oknie dialogowym "Płyta - ustawienia wizualizacji wyników".
Topologia :	**Rysowanie topologii**	• Wybór sposobu wizualizacji topologii konstrukcji

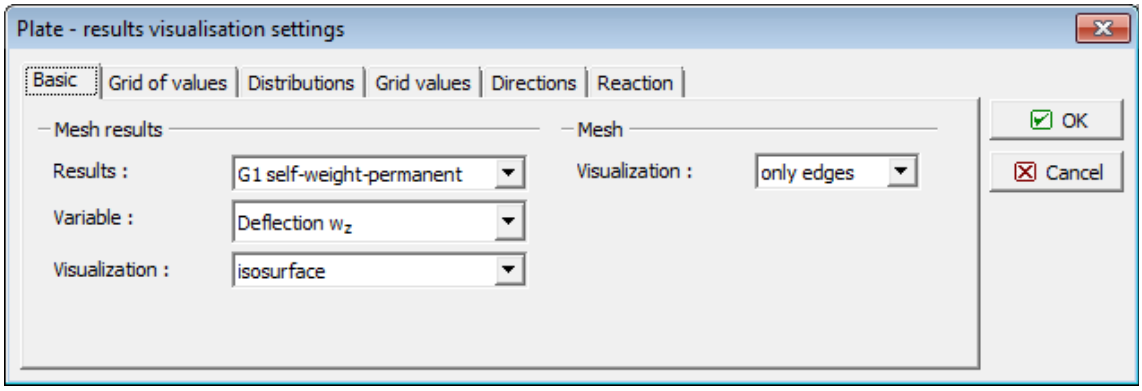
Pasek narzędzi zawiera **najczęściej używane elementy operacyjne**, potrzebne do wizualizacji wyników na ekranie. Szczegółowe ustawienia stylu wydruku wyników, dostępne są w oknie dialogowym "Płyta - ustawienia wizualizacji wyników".

Podobnie jak w innych programach GEO5, wyniki można zapisywać i drukować. Styl wydruków można dopasować w ramce "Konfiguracja rysunku".

Ustawienia wizualizacji wyników

Okno dialogowe **"Płyta - ustawienia wizualizacji wyników"** służy do wyboru zmiennych (parametrów), które mają być prezentowane oraz sposobu ich wizualizacji. Poszczególne ustawienia można potem zapisać, korzystając z paska narzędzi "Wyniki".

Zakładka **"Podstawowe"** służy do definiowania podstawowych parametrów prezentacji wyników, wyboru parametrów i prezentacji informacji o siatce. W celu zdefiniowania sposobu wizualizacji innych wyników, należy następnie zastosować kolejne zakładki w tym oknie.



Okno dialogowe "Płyta - ustawienia wizualizacji wyników"

Lista parametrów

Lista parametrów wyświetlanych przez program, dla poszczególnych stanów obciążenia, kombinacji stanów obciążenia (SGN, SGU), lub obwiedni (SGN, SGU)

Parametr	Jednostka	Opis
Przemieszczenie W_z	$[mm]$	Przemieszczenie w kierunku Z
Obrót φ_x	$[mrad]$	Obrót wokół osi X
Obrót φ_y	$[mrad]$	Obrót wokół osi Y
Moment m_x	$[kNm/m]$	Wartość momentu wokół osi X
Moment m_y	$[kNm/m]$	Wartość momentu wokół osi Y
Moment m_{xy}	$[kNm/m]$	Wartość momentu
Siła tnąca V_x	$[kN/m]$	Wartość siły tnącej w kierunku X
Siła tnąca V_y	$[kN/m]$	Wartość siły tnącej w kierunku Y
Moment m_1	$[kNm/m]$	Wartość momentu głównego (maksymalny)
Moment m_2	$[kNm/m]$	Wartość momentu głównego (maksymalny)
Siła tnąca V_{max}	$[kN/m]$	Wartość siły tnącej (maksymalna)
Naprężenie kontaktowe σ	$[kN/m^2]$	Wartość naprężenia kontaktowego

Lista parametrów wymiarowania

W celu przeprowadzenia wymiarowania, w pierwszej kolejności należy wybrać (zaznaczyć) opcję **"Przeprowadź wymiarowanie"** w ramce "Parametry wymiarowania". Wizualizacja parametrów wymiarowania może być ustawiona na pasku narzędzi "Wyniki". Zapis zmiennych (w szczególności indeksów zmiennych) zmienia się zgodnie z normami użytymi dla wymiarowania konstrukcji betonowych i stalowych, określonymi w zakładce "Materiały i normy".

Lista parametrów (zmiennych) wymiarowania wyświetlana przez program

Parametr	Jednostka	Opis
Moment $M_{dim1,\ min}$	$[kNm/m]$	Minimalny moment do wymiarowania w kierunku zbrojenia 1
Moment $M_{dim1,\ max}$	$[kNm/m]$	Maksymalny moment do wymiarowania w kierunku zbrojenia 1
Moment $M_{dim2,\ min}$	$[kNm/m]$	Minimalny moment do wymiarowania w kierunku zbrojenia 2

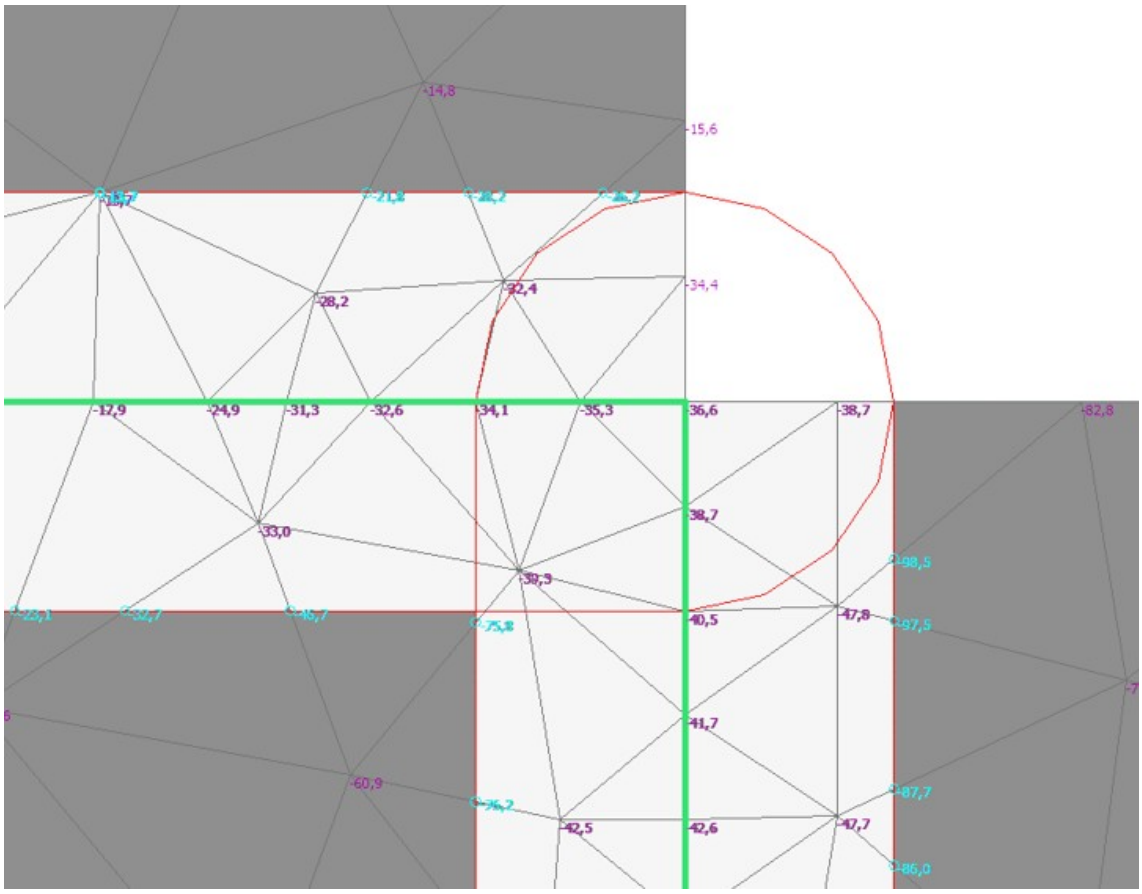
Moment $M_{dim2,\ max}$	$[kNm/m]$	Maksymalny moment do wymiarowania w kierunku zbrojenia 2
Przekrój zbrojenia A_{u1}	$[mm^2/m]$	Powierzchnia przekroju zbrojenia górnego w kierunku 1
Przekrój zbrojenia A_{b1}	$[mm^2/m]$	Powierzchnia przekroju zbrojenia dolnego w kierunku 1
Przekrój zbrojenia A_{u2}	$[mm^2/m]$	Powierzchnia przekroju zbrojenia górnego w kierunku 2
Przekrój zbrojenia A_{b2}	$[mm^2/m]$	Powierzchnia przekroju zbrojenia dolnego w kierunku 2
Stopień zbrojenia μ_{h1}	$[\%]$	Stopień zbrojenia górnego w kierunku 1
Stopień zbrojenia μ_{d1}	$[\%]$	Stopień zbrojenia dolnego w kierunku 1
Stopień zbrojenia μ_{h2}	$[\%]$	Stopień zbrojenia górnego w kierunku 2
Stopień zbrojenia μ_{d2}	$[\%]$	Stopień zbrojenia dolnego w kierunku 2
Siła tnąca V_{Ed}	$[kN/m]$	Siła tnąca do wymiarowania
Przekrój zbrojenia $A_{b,nut}$	$[mm^2/m^2]$	Powierzchnia przekroju zbrojeni na ścinanie
Siła tnąca $V_{Rd,\ c}$	$[kN/m]$	Wytrzymałość na ścinanie przekroju bez zbrojenia
Siła tnąca $V_{Rd,\ max}$	$[kN/m]$	Max wytrzymałość na ścinanie przy przebiciu

Redukcja momentów zginających

Momenty zginające nad podporami przyjmowane do wymiarowania będą redukowane jeśli w ramce "Ustawienia" zostanie wybrana pozycja "**Definiowanie wymiarów podpór i redukcja momentów do wymiarowania**". Wybór ten spowoduje pojawienie się sekcji "**Geometria podpory**" w parametrach poszczególnych podpór ("Podpory w węzłach", "Podpory linii") i redukcję momentów do wymiarowania przyjmowanych w analizie.

Interpretacja w obliczeniach

Program redukuje momenty wymiarujące w strefach, w których geometria podpór jest zdefiniowana.



- Łączone są ze sobą obszary zdefiniowanej geometrii poszczególnych podpór, które na siebie zachodzą lub stykają się ze sobą
- Wyznaczane są wartości położone na brzegach (krawędziach) połączonych obszarów
- Wartości w węzłach siatki w obrębie połączonych obszarów ograniczone są wartością wyznaczaną z wartości brzegowych. Z tego względu najbliższe wartości brzegowe (krawędziowe) mają największy wpływ na wartość w węźle
- Wartości wymiarujących momentów i sił tnących są ograniczone

Wartości graniczne

Wartość graniczna wyznaczana jest ze wzoru:

$$\upsilon_{\lim}(xy) = \sum_{i=1}^{N} \frac{k_i(xy)\upsilon_i}{\sum_{j=1}^{N} k_j(xy)}$$

gdzie:

$$k_i(xy) = \frac{1}{\left(d\left(xy, xy_i\right)\right)^{16}}$$

gdzie: $\upsilon_{lim}(xy)$ - wartość graniczna w analizowanym punkcie xy

N - liczba punktów kbrzegowych

υ_i - wartość w punkcie brzegowym

$d(xy, xy_i)$ - odległość od analizowanego punktu do punktu brzegowego

Wyniki

Ramka **"Wyniki"** pozwala na definiowanie punktów (lub węzłów), dowolnie rozmieszczczonych na powierzchni płyty. Dla tych punktów (węzłów) możliwe jest wyświetlanie zmiennych (przemieszczenia, momenty, obroty), dla dowolnych stanów obciążeniowych, kombinacji SO (stanów obciążeniowych) lub jeśli zachodzi potrzeba - zmiennych do wymiarowania (przekroje zbrojenia, wyliczane zgodnie z normą wybraną w zakładce "Materiały i normy").

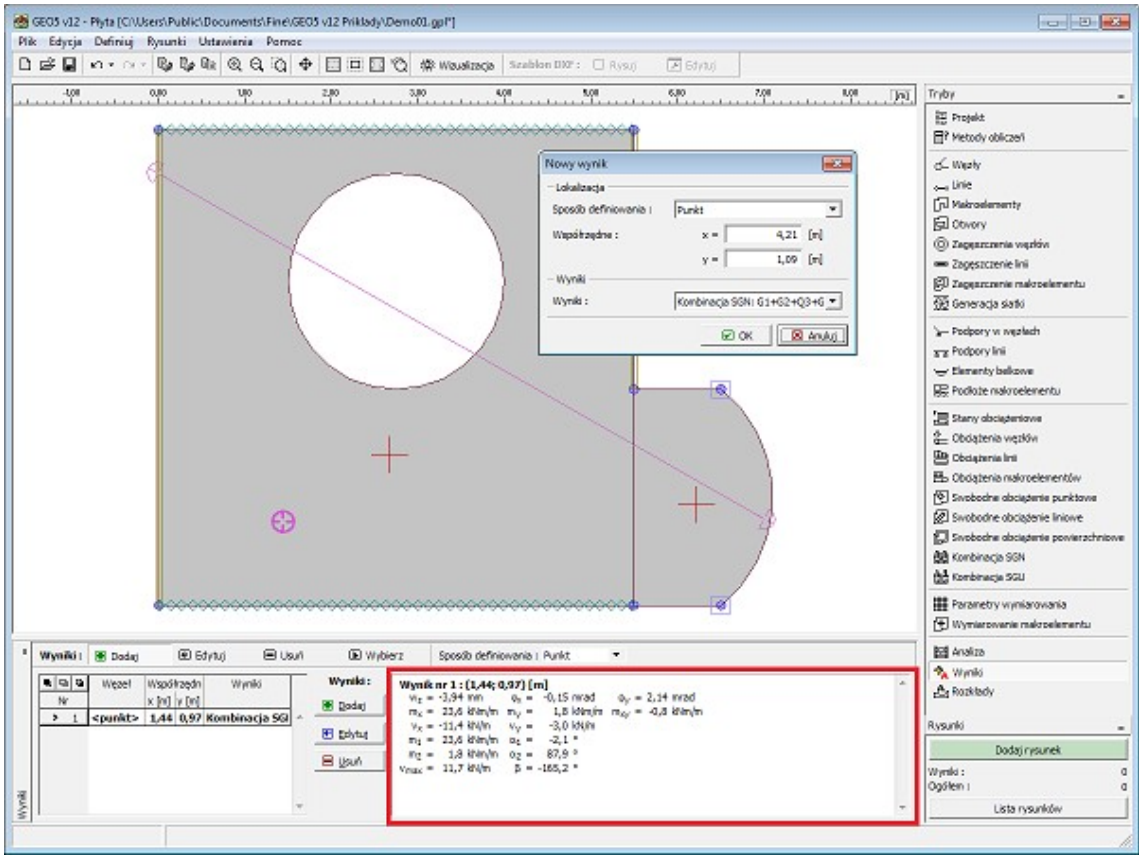
Ramka zawiera tabelę z listą zdefiniowanych punktów (węzłów). Dodawanie (edycja) punktów wykonywane jest w oknie dialogowym **"Nowe wyniki".** Okno służy do specyfikacji sposobu definiowania (punkt, węzeł), współrzędnych punktu/węzła oraz wyboru stanu obciążeniowego, kombinacji czy wymiarowania, dla którego należy wyświetlić wyniki. Wartość w podpartym węźle odpowiada sile reakcji w tej podporze.

Przy wymiarowaniu pewne wielkości mogą być oznaczone symbolem **[*]**. W takim przypadku, niezbędny przekrój zbrojenia i minimalny stopień zbrojenia są konieczne. Jeśli dany punkt znajduje się na granicy dwóch makroelementów, program wyświetla dwa zestawy wartości do wymiarowania.

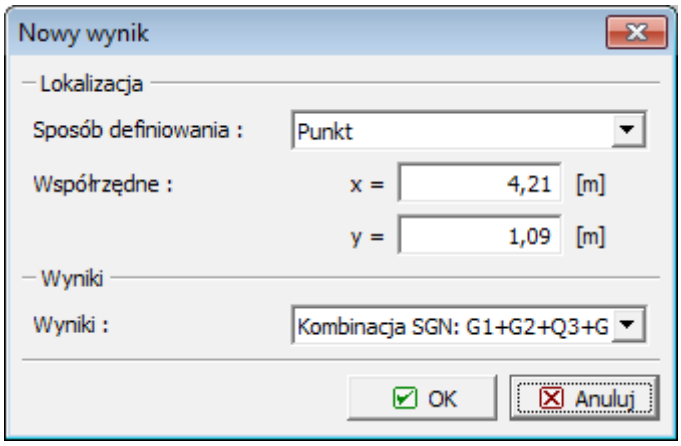
Punkty prezentacji wyników można również definiować za pomocą myszki. Tryb takiego wprowadzania aktywowany jest klknięciem odpowiedniego przycisku na poziomym pasku narzędzi **"Wyniki"**. Dostępne są podane poniżej opcje:

- **Dodaj** Kliknięcie lewym przyciskiem myszki wprowadza lokalizację punktu (węzła) do prezentacji wyników.
- **Edytuj** Kliknięcie lewym przyciskiem myszki na wcześniej zdefiniowany punkt (węzeł) otwiera okno dialogowe **"Edytuj parametry wyniku"**, pozwalające na modyfikację jego parametrów.
- **Usuń** Kliknięcie lewym przyciskiem myszki na punkt (węzeł) otwiera okno dialogowe **usuwania punktu** - akceptacja tej operacji usunie wybrany punkt (węzeł).
- **Wybierz** Kliknięcie lewego przycisku myszki na punkt (węzeł) spowoduje zaznaczenie wybranego punktu (węzła). Punkt ten zostanie jednocześnie zaznaczony na liście w tabeli. Opcja ta pozwala na jednoczesną edycję kilku punktów (węzłów) - na przykład kasowanie.

Zdefiniowane punkty (węzły) można również edytować w na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.



Ramka "Winiky"



Okno dialogowe "Nowy wynik"

Rozkłady

Ramka "**Rozkłady**" służy do definiowania linii ogólnych lub linii położonych na powierzchni płyty. Dla odcinków (linii) możliwe jest wyświetlanie zmiennych (przemieszczenia, momenty, obroty), dla dowolnych stanów obciążeniowych, kombinacji SO (stanów obciążeniowych) lub jeśli zachodzi potrzeba - zmiennych do wymiarowania (przekroje zbrojenia, wyliczane zgodnie z normą wybraną w zakładce "Materiały i normy").

Ramka "**Rozkłady**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych odcinków (linii). Dodawanie (edycja)

wykonywane jest w oknie dialogowym **"Nowe rozkłady".** Okno służy do specyfikacji sposobu definiowania (odcinek, linia), współrzędnych pierwszego i ostatniego punktu oraz wyboru stanu obciążeniowego, kombinacji czy wymiarowania, dla którego należy wyświetlić wyniki.

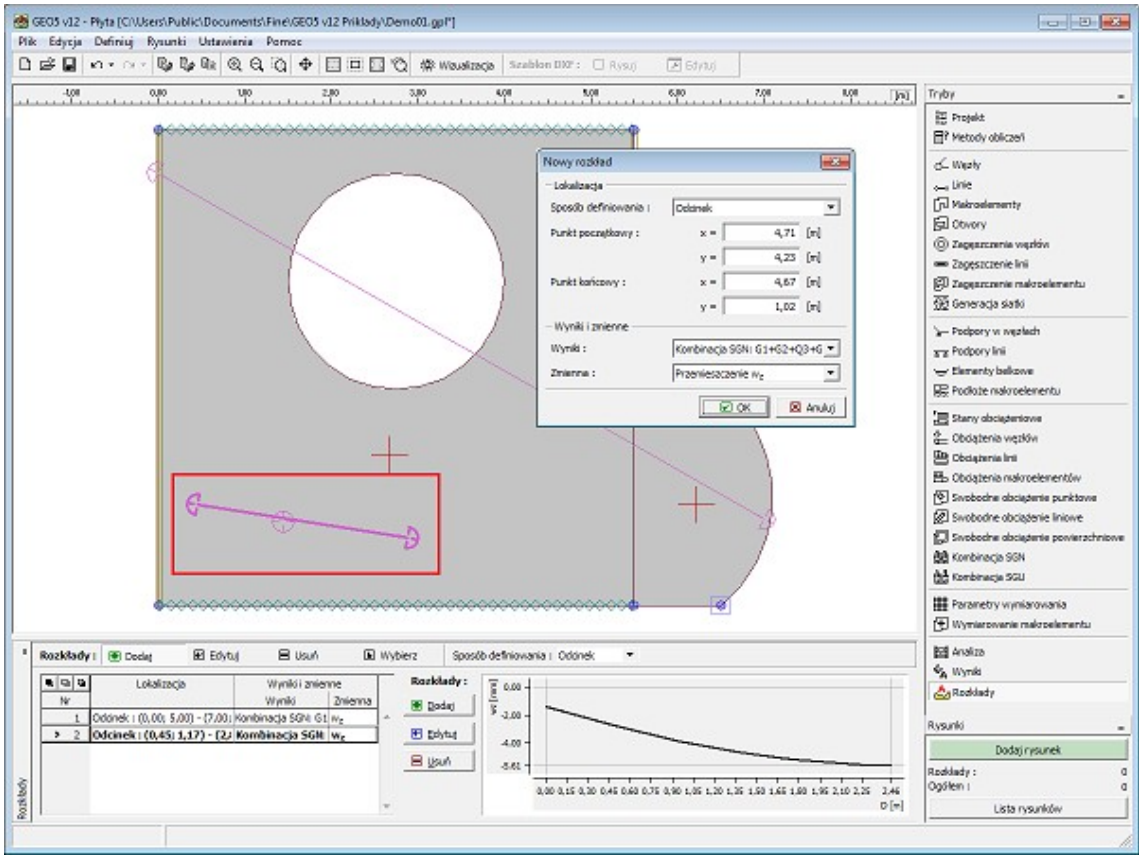
W ramce wyświetlane są:

- **Rozkłady ogólne** Rozkłady ogólne (diagramy) na dowolnych odcinkach (liniach)
- **Rozkłady na belkach** Jeśli belka jest przypisana do linii, możliwe jest wyświetlnie rozkładów (diagramów) innych wielkości (siła ścinania V_3, moment zginający M_2, moment skręcający M_1)
- **Rozkłady na liniach podpartych** Jeśli linia jest **podparta**, możliwe jest wyświetlenie rozkładów (diagramów) innych wielkości (pionowej reakcji r_z, reakcji momentu $r_{m,\,t}$).

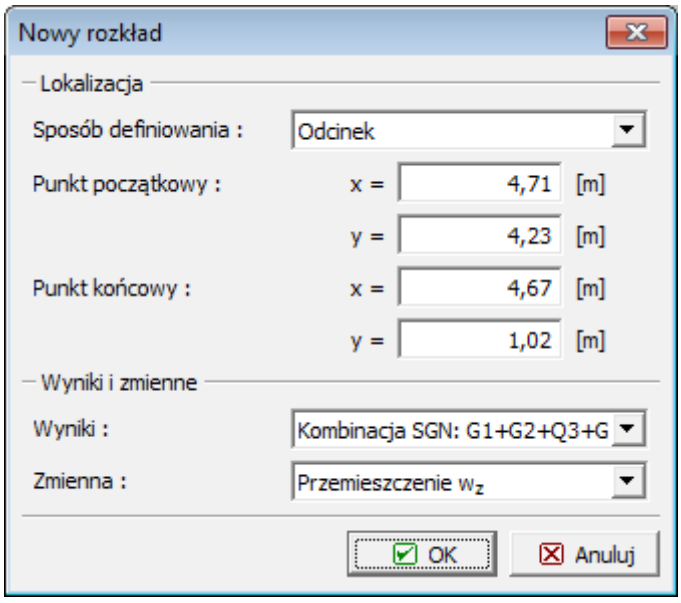
Rozkłady można również definiować za pomocą myszki. Tryb takiego wprowadzania aktywowany jest klknięciem odpowiedniego przycisku na poziomym pasku narzędzi **"Rozkłady"**. Dostępne są podane poniżej opcje:

- **Dodaj** Kliknięcie lewym przyciskiem myszki definiuje lokalizację rozkładu.
- **Edytuj** Kliknięcie lewym przyciskiem myszki na wcześniej zdefiniowany rozkład otwiera okno dialogowe **"Edytuj parametry rozkładu"**, pozwalające na modyfikację jego parametrów.
- **Usuń** Kliknięcie lewym przyciskiem myszki na rozkład otwiera okno dialogowe **usuwania rozkładu** - akceptacja tej operacji usunie wybrany rozkład.
- **Wybierz** Kliknięcie lewego przycisku myszki na rozkład spowoduje zaznaczenie wybranego rozkładu. Rozkład ten zostanie jednocześnie zaznaczony na liście w tabeli. Opcja ta pozwala na jednoczesną edycję kilku rozkładów (na przykład kasowanie).

Zdefiniowane rozkłady można również edytować w na ekranie komputera, za pomocą aktywnych obiektów.



Ramka "Rozkłady"



Okno dialogowe "Nowy rozkład"

Układ współrzędnych (konwencja znaków)

Siły wewnętrzne

Siły wewnętrzne definiowane są jako:

$$m_x = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_x \, z dz$$

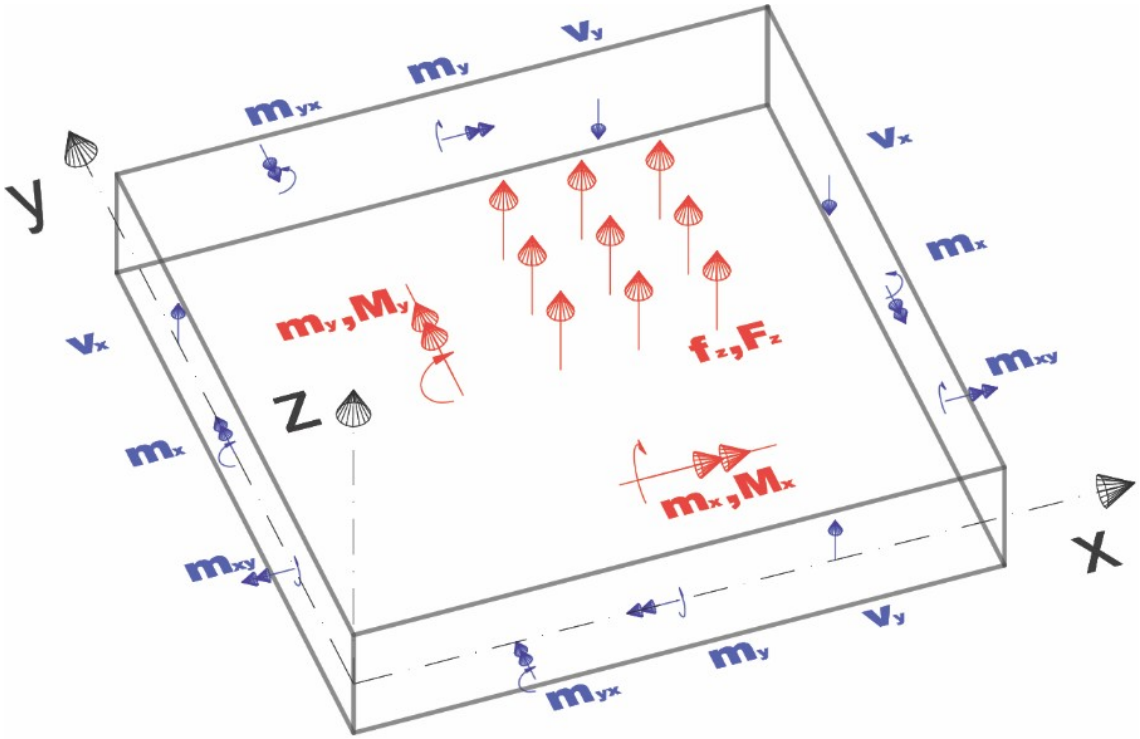
$$m_y = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_y \, z dz$$

$$m_{xy} = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_{xy} \, z dz$$

$$v_x = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_{xz} \, dz$$

$$v_y = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_{yz} \, dz$$

Dodatni kierunek sił wewnętrznych pokazano na poniższym rysunku:



Momenty główne oraz kierunki osi głównych określone są przez:

$$m_{1,2} = \frac{1}{2}\left(m_x + m_y \pm \sqrt{\left(m_x - m_y\right)^2 + 4{m_{xy}}^2}\right)$$

$$tg\ 2\alpha_{1,2} = \frac{2m_{xy}}{m_x - m_y}$$

Znaczenie poszczególnych zmiennych jest następujące:siły wewnętrzne mogą być transponowane z układu współrzędnych (x, y) do układu współrzędnych (x', y') poprzez obrót płaszczyzny (x, y) o określony kąt wokół osi z. Kąt α, w szczególności, odpowiada kątowi obrotu, dla którego transformowany moment $m_{x'y'}$ osiąga wartość zero a momenty $m_{x'}$ oraz $m_{y'}$ osiągają swoje wartości maksymalną i minimalną, odpowiednio - m_1 oraz m_2.

Maksymalna siła tnąca uzyskiwana jest w sposób analogiczny:

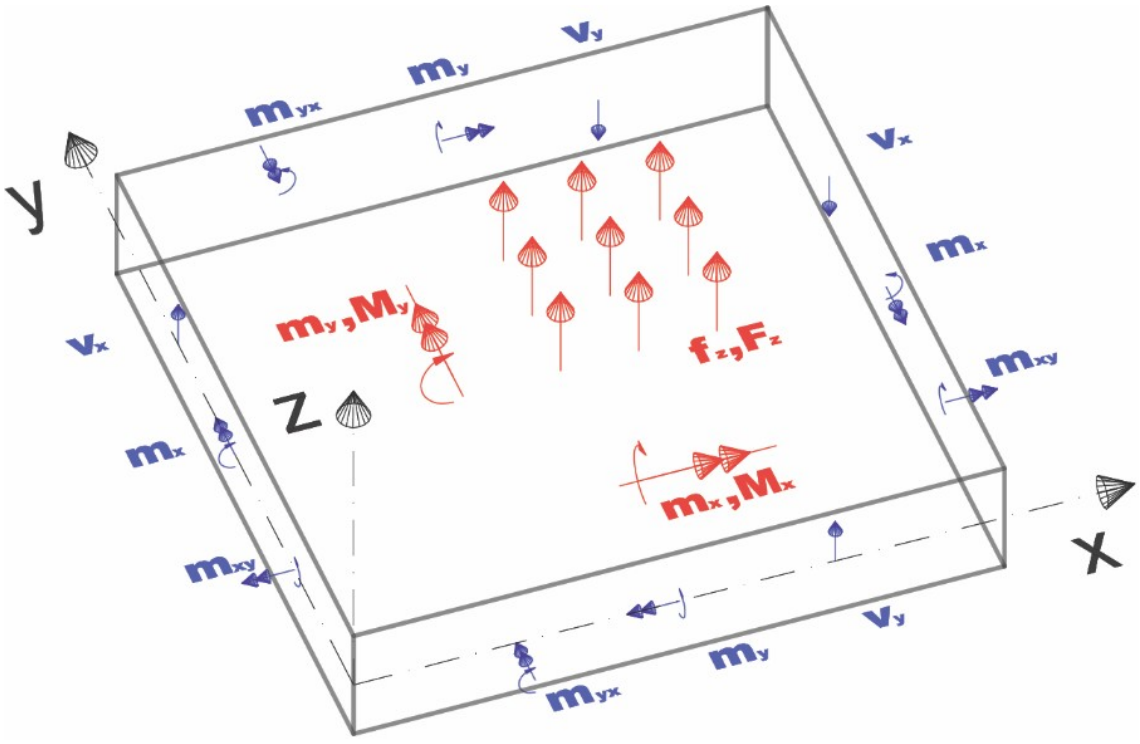
$$v_{max} = \sqrt{{v_x}^2 + {v_y}^2}$$

natomiast kąt pomiędzy v_{max} a osią x:

$$\beta = \text{arctg}\ \frac{v_y}{v_x}$$

Obciążenie

Konwencję znaków dla przyłożonych sił i momentów pokazano na poniższym rysunku:



Warto zauważyć, że zastosowano inną konwencję znaków dla obciążenia momentem M (w punkcie czy wzdłuż linii) i dla momentu wewnętrznego m. Gdy moment M_x obraca się wokół osi x (jak zwykle dla belek), moment wewnętrzny obracający się wokół osi x określany jest jako m_y.

Program Belka

Program Belka służy do analizy belek fundamentowych posadowionych na podłożu sprężystym.

Pomoc w programie "Belka" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

  Projekt | Ustawienia | Geometria | Podłoże | Warstwa | Lokalizacja | Grunty | Przyporządkowanie | Woda | Podpory | Stany obciążeniowe | Obciążenie | Kombinacja SGN | Kombinacja SGU | Analiza

- Normy i metody obliczeniowe

- Theory for analysis in the program "**Beam**":

  Naprężenie geostatyczne, wypór | Analiza za pomocą modułu edometrycznego | Wyznaczanie głębokości aktywnej

- Dane wyjściowe

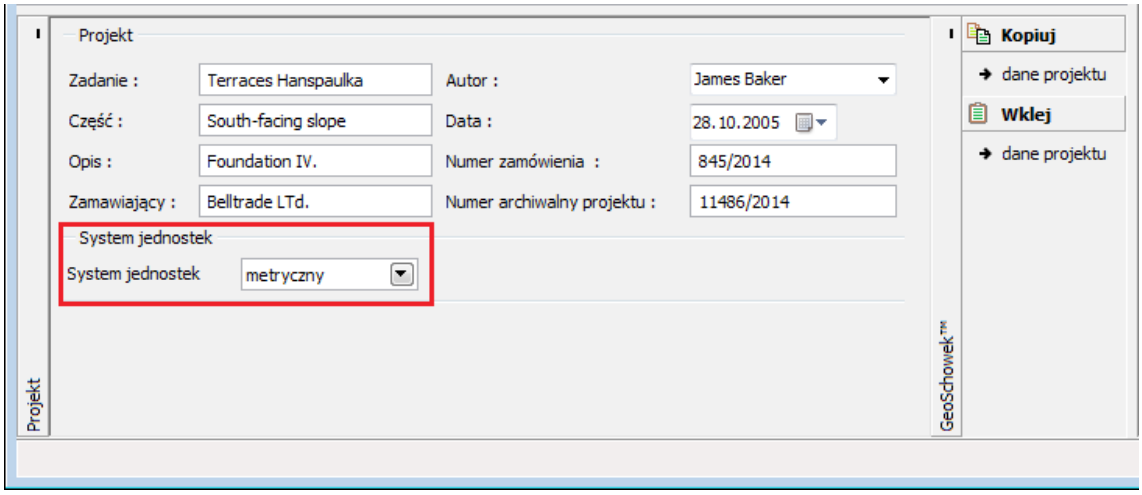
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5

- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek) Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

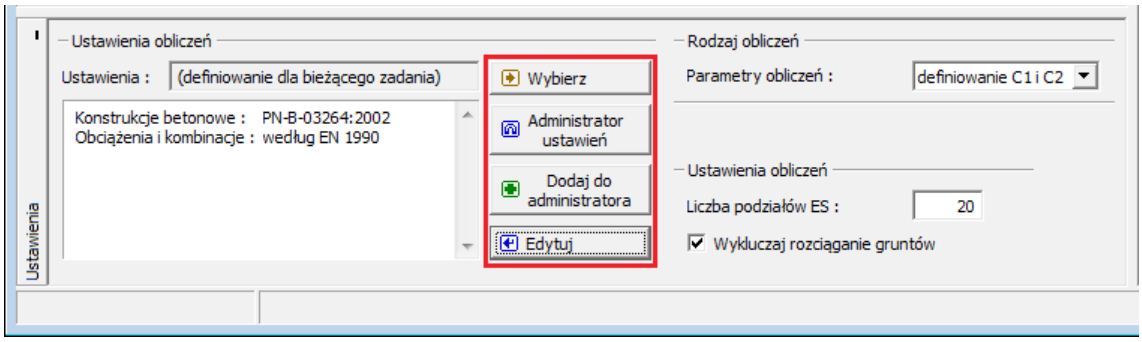
Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładce "Materiały i normy".

Ramka Ustawienia służy także do zdefiniowania **podziału belki na elementy skończone** (ustawienie domyślne - 20 elementów). W dalszej części można zdecydować czy uwzględniona będzie w obliczeniach rozciąganie gruntu - autorzy programu zawsze zalecają **prowadzenie obliczeń z wykluczeniem rozciągania gruntów**.

Lista rozwijana udostępnia wybór jednej z trzech metod definiowania parametrów **podłoża** Winklera-Pasternaka:

- Wyznaczanie C_1 i C_2 - parametry podłoża Winklera-Pasternaka obliczane są przez program na podstawie zdefiniowanych parametrów profilu geologicznego. Naprężenie geostatyczne obliczane jest od poziomu terenu zmienionego lub od podstawy fundamentu. Istnieje mozliwość zdefiniowania liczby iteracji C_1 i C_2.
- Definiowanie C_1 i C_2 - parametry podłoża Winklera-Pasternaka są definiowane bezpośrednio przez użytkownika.
- Definiowanie E_{def}, n_y, h_z - parametry podłoża Winklera-Pasternaka są obliczane przez program na podstawie modułu odkształcenia E_{def}, współczynnika Poissona oraz głębokości strefy oddziaływania h_z.

W pierwszym przypadku, gdy parametry C_1 i C_2 wyznaczane są przez program, ramka "Podłoże" nie jest dostępna. W pozostałych dwóch przypadkach nie są dostępne ramki: "Warstwa", "Lokalizacja", "Grunty", "Przyporządkowanie" oraz "Woda".



Ramka "Ustawienia"

Parametry C1 i C2 modelu Winklera-Pasternaka

Model Winklera - Pasternaka dla warstwy sprężystej wprowadza następujące równanie równowagi w kierunku pionowym:

$$c_1.w - c_2.\Delta w = f_z$$

gdzie:

c_1, c_2	parametry modelu Winklera - Pasternaka
w	odchylenie od pionu
f_z	pionowe obciążenie oddziałujące na warstwę

Program umożliwia obliczenie parametrów C_1, C_2 na podstawie parametrów gruntu lub według profilu geologicznego.

Obliczanie parametrów C1 i C2 modelu Winklera-Pasternaka na podstawie profilu geologicznego

Przy obliczaniu parametrów modelu Winklera-Pasternaka (C_1, C_2) na podstawie profilu geologicznego należy w pierwszej kolejności wybrać charakterystyczną kombinację obciążenia. Kombinację tę należy traktować jako roboczą i powinna ona odzwierciedlać najczęściej występujące obciążenie. Obciążenie w dolnej części ławy fundamentowej jest obliczane za pomocą tej kombinacji, a następnie wyznaczana jest głębokość strefy oddziaływania.

Parametry odkształceniowe (współczynnik Poissona, moduł odkształcenia) określane są dla

obliczonej strefy oddziaływania jako średnia ważona parametrów odkształceniowych gruntu. Na podstawie tych parametrów wyznaczane są stałe Winklera - Pasternaka (C_1, C_2) w opisany poniżej sposób.

Obliczanie stałych Winklera-Pasternaka na podstawie parametrów odkształceniowych gruntów

Stałe C_1 i C_2 modelu Winklera - Pasternaka obliczane są w programie na podstawie warunku macierzy równych podatności nieskończenie sztywnej nieskończenie długiej ławy fundamentowej opartej w podłożu Winklera - Pasternaka i podłożu sprężystym. Warunek przedstawiają następujące równania:

$$[\mathbf{C}]=\begin{bmatrix} \dfrac{1}{2\left[\sqrt{C_{1WP}C_{2WP}}+bC_{1WP}\right]} & 0 \\ 0 & \dfrac{1}{2\left[b^2\sqrt{C_{1WP}C_{2WP}}+bC_{2WP}+\dfrac{b^3}{3}C_{1WP}\right]} \end{bmatrix}=$$

$$=\begin{bmatrix} \displaystyle\sum_{n=0}^{\infty}\dfrac{1}{2\sqrt{H}\left[(2n+1)\sqrt{C_{1w}C_{2w}}+(2n+1)^2bC_{1w}\right]} & 0 \\ 0 & \displaystyle\sum_{n=0}^{\infty}\dfrac{1}{2\sqrt{H}\left[(2n+1)b^2\sqrt{C_{1w}C_{2w}}+bC_{2w}+(2n+1)^2\dfrac{b^3}{3}C_{1w}\right]} \end{bmatrix}.$$

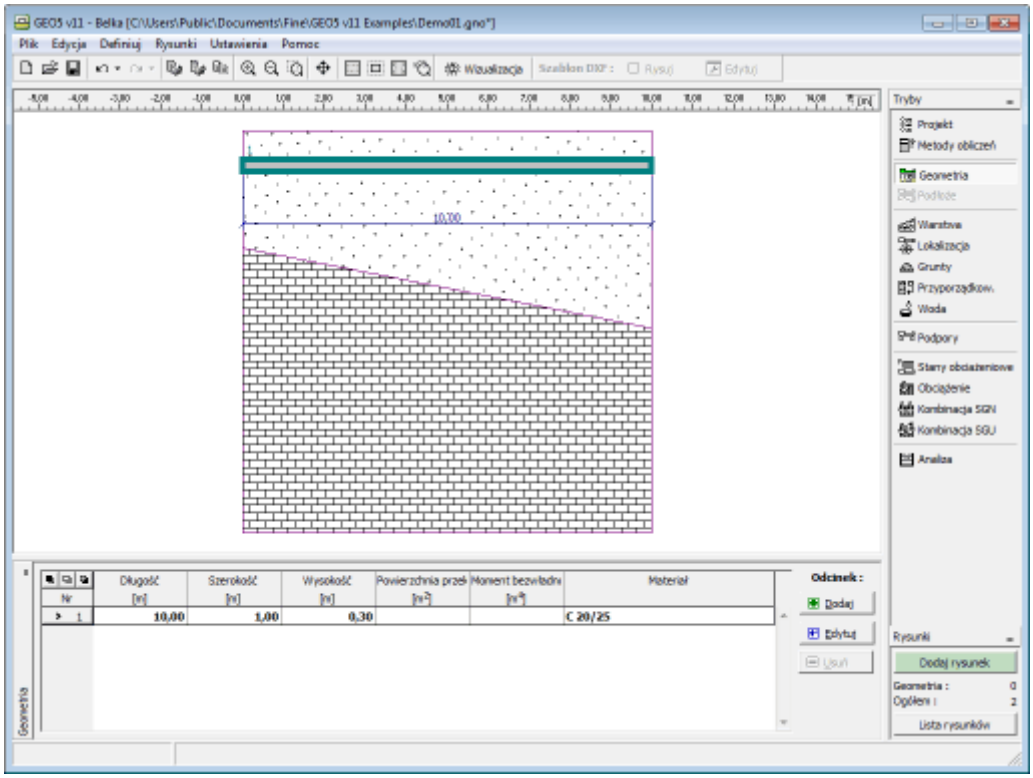
gdzie:

$[C]$	macierz stałych C_1 a C_2
b	połowa szerokości fundamentu
c_{1w},c_{2w}	stałe Winklera
H	głębokość strefy odkształcenia (wpływu)

Geometria

Ramka "**Geometria**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych odcinków belkowych. Dodawanie odcinków belek wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe odcinki**". W oknie tym należy zdefiniować długość, szerokość i wysokość ocinka (dla **przekroju prostokątnego**). Program umożliwia także definiowanie dowolnego kształtu przekroju belki (definiowane są wówczas: powierzchnia przekroju i moment bezwładności).

Następnie należy zdefiniować **materiał przekroju** korzystając z katalogu dostępnego w programie lub wprowadzając parametry materiałowe (moduł sprężystości, moduł sprężystości poprzecznej, ciężar objętościowy).



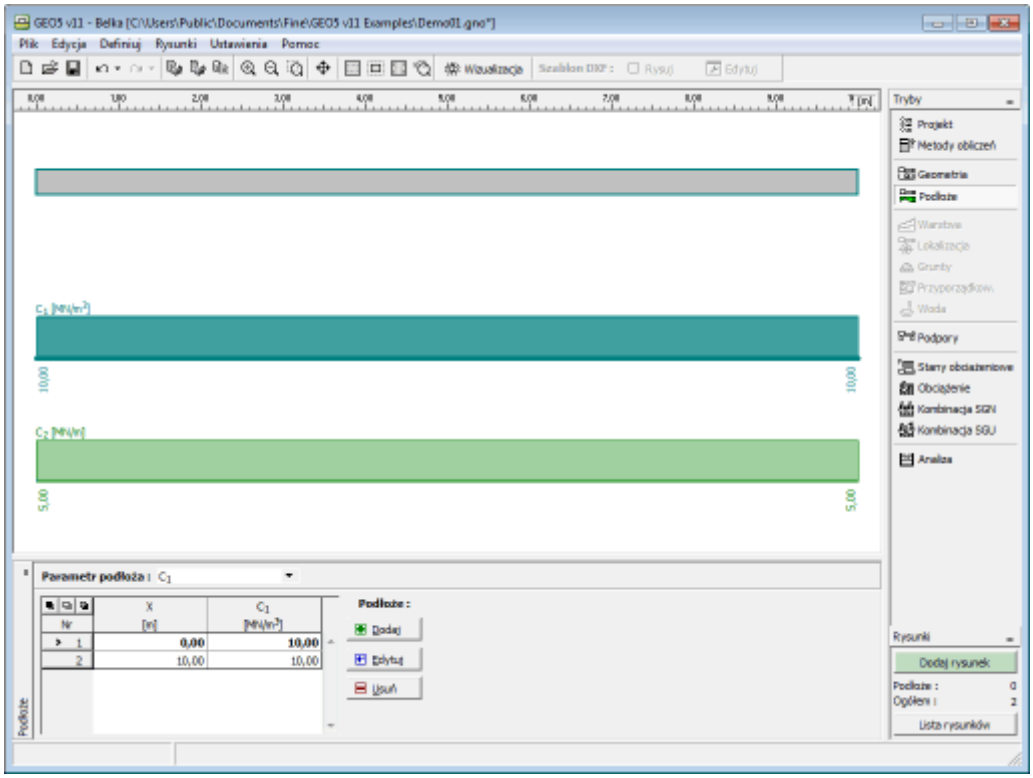
Ramka "Geometria"

Podłoże

Ramka "Podłoże" zawiera tabelę, odpowiednio, wartości parametrów C_1 i C_2 podłoża Winklera-Pasternaka lub **parametrów odkształceniowych gruntów** (E_{def}, n_y, h_z), zależnie od ustawienia wybranego w ramce "Ustawienia".

Dodawanie parameterów wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe parametry podłoża**".

Tabela prezentuje wartości parametru wybranego z listy rozwijanej umieszczonej nad tabelą. Dodawanie (edycję) punktów wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe parametry podłoża**". Okno dialogowe służy do definiowania współrzędnej X oraz wartości parametru.



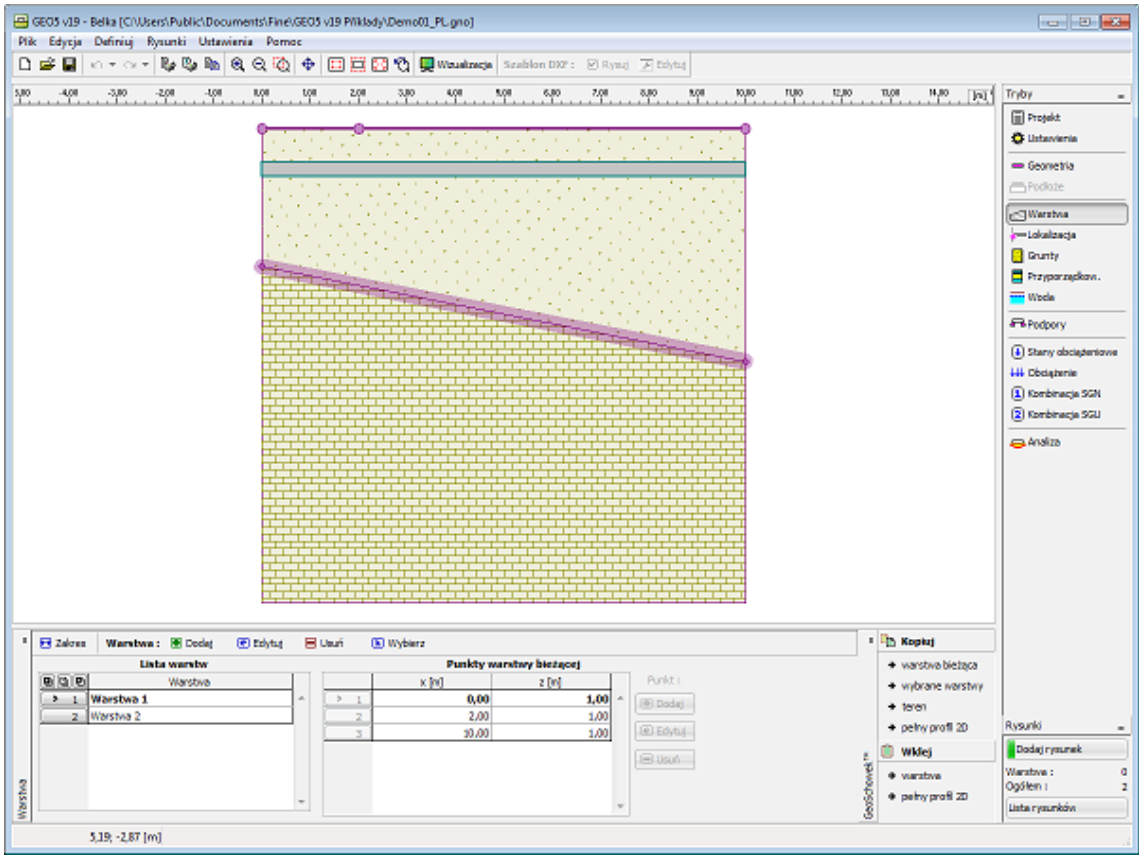
Frame "Podłoże"

Warstwa

Ramka "**Warstwa**" służy do definiowania poszczególnych warstw gruntu w podłożu gruntowym. Szczegółowy opis postępowania przy definiowaniu warstw przedstawiono w dalszej części pomocy.

Program umożliwia import lub eksport warstw w formacie *.DXF.

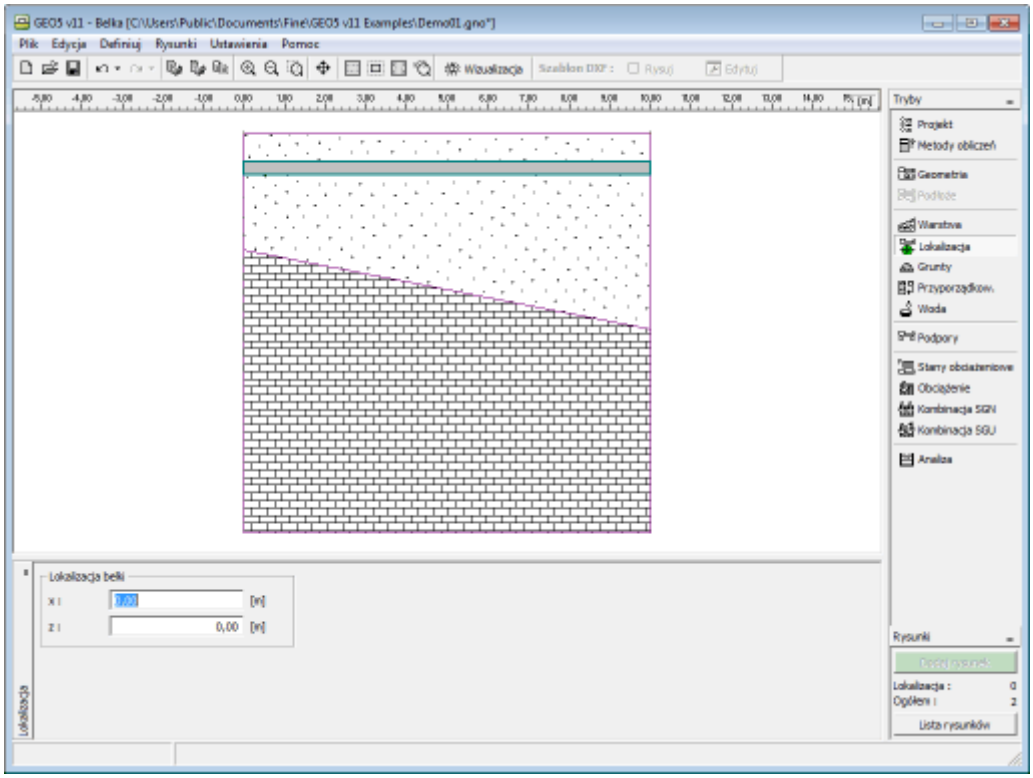
Zdefiniowane warstwy mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.



Ramka "Warstwa"

Lokalizacja

Ramka "**Lokalizacja**" służy do definiowania lokalizacji belki. Należy zdefiniować początek belki - punkt o współrzędnych x i z.



Ramka "Lokalizacja"

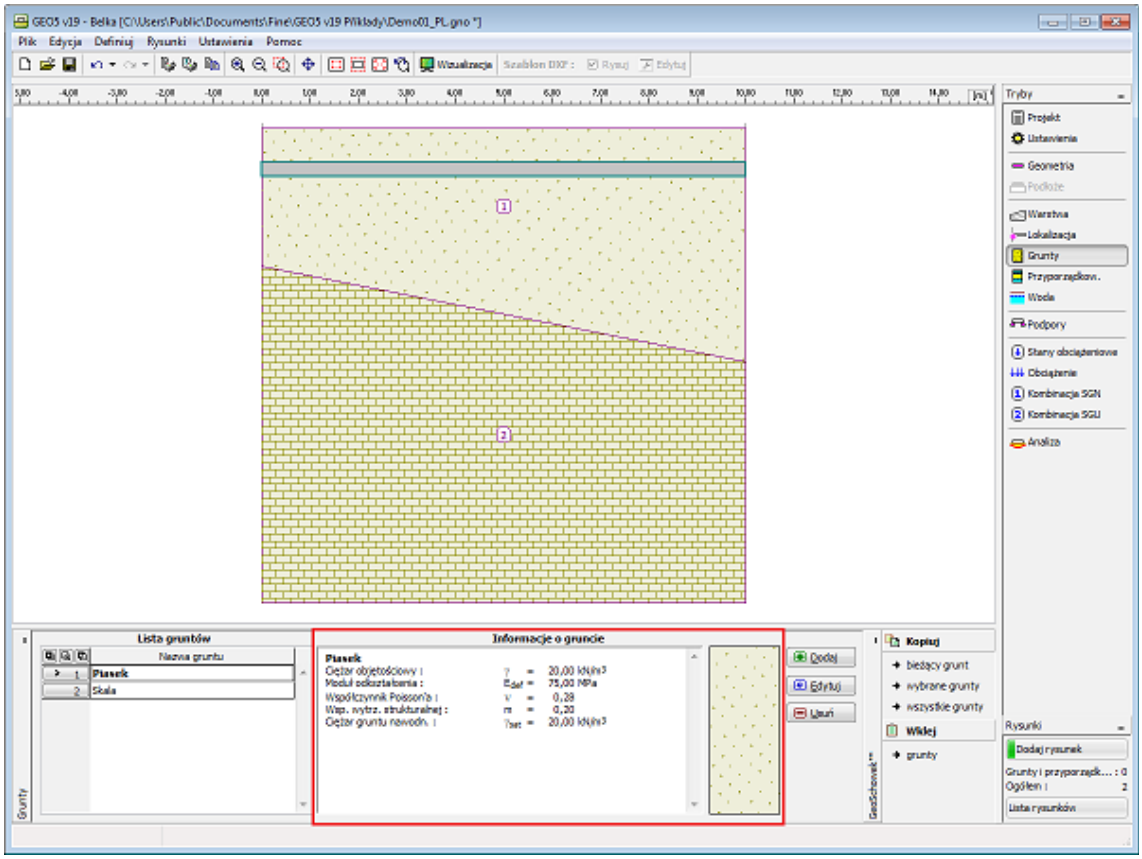
Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Dane podstawowe", "Osiadanie - moduł edometryczny", "Osiadanie - wyznaczanie głębokości aktywnej" i "Naprężenie geostatyczne, wypór".

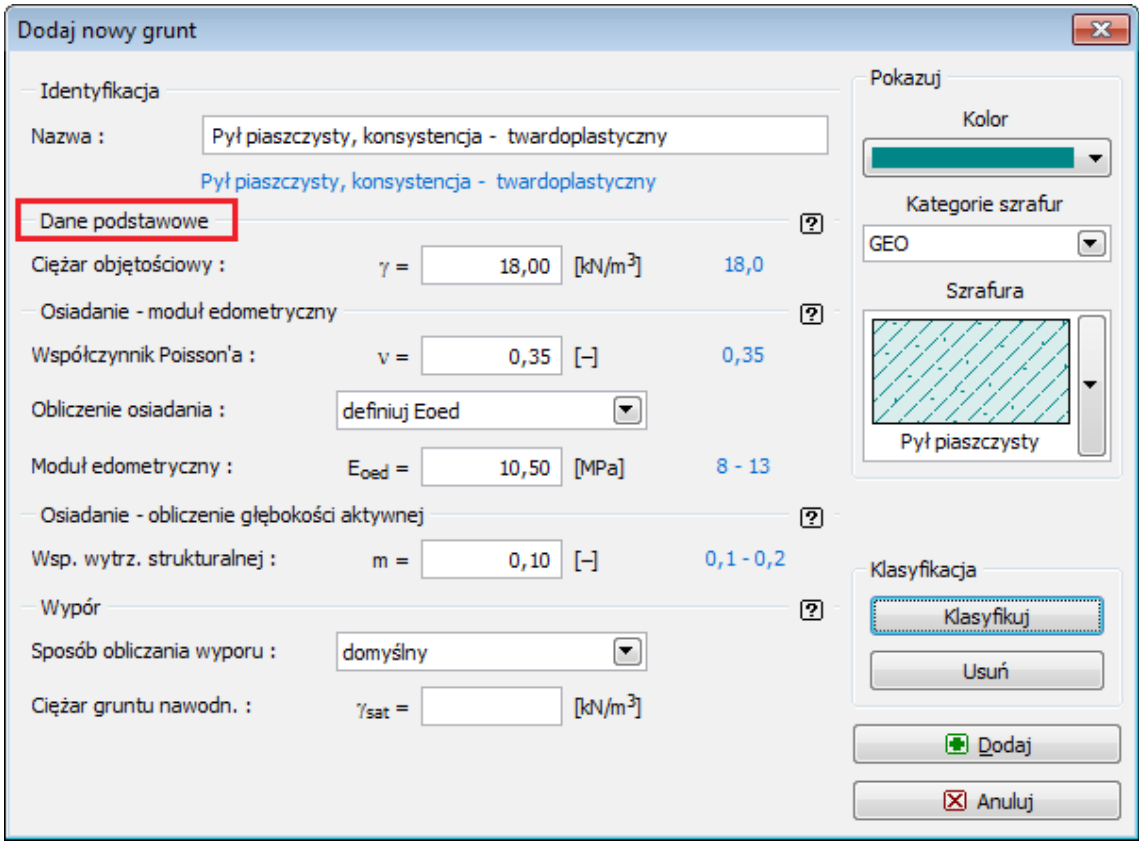
Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

Ta część okna dialogowego służy do zdefiniowania **ciężaru objętościowego**.



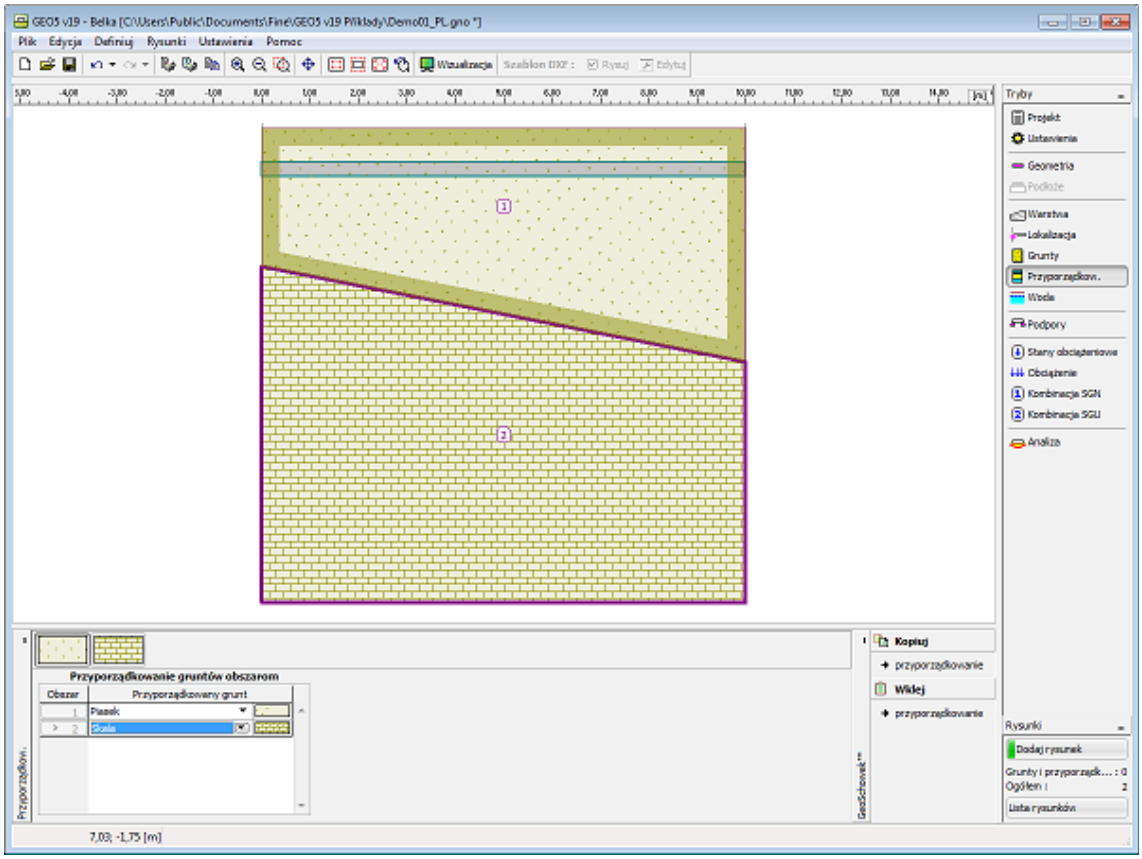
Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu zdefiniowanych w ramce "**Profil**" i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana poniżej, w rozdziale " Przyporządkowanie gruntówj"**.**

Zdefiniowane przyporządkowanie gruntów może być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.

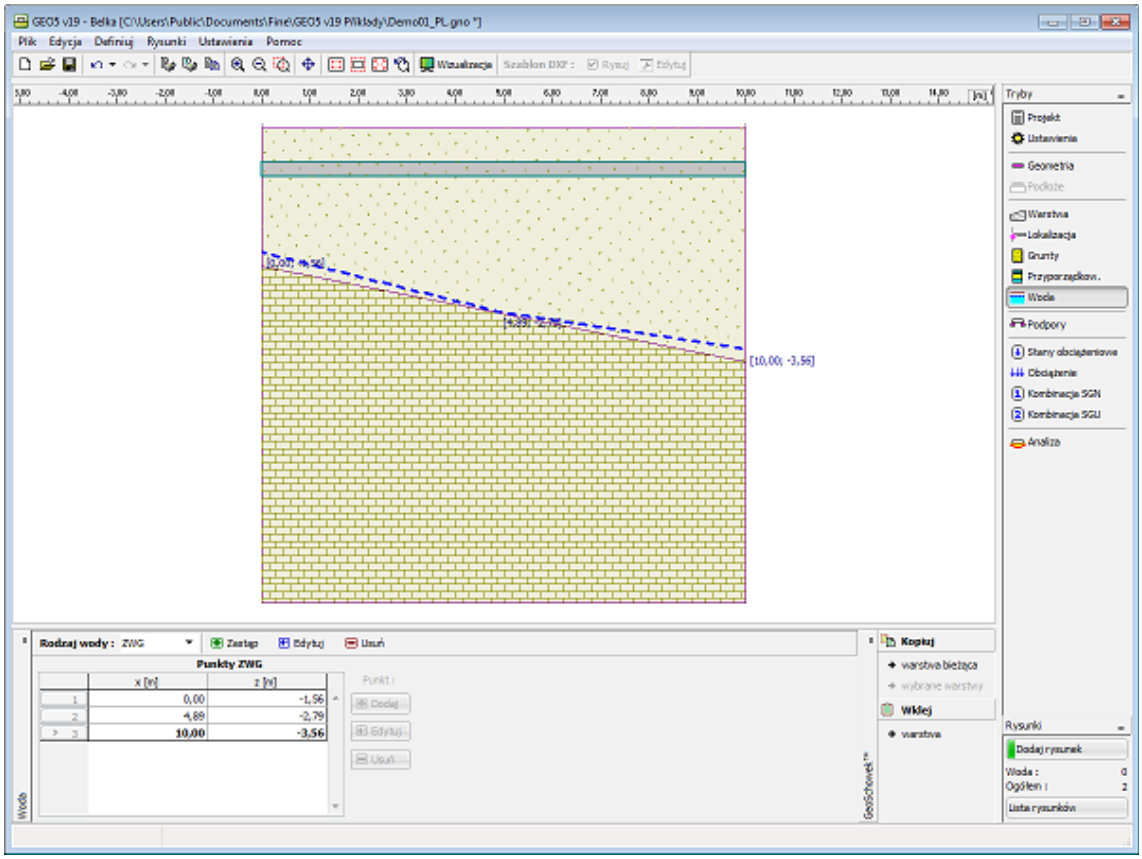


Ramka "Przyporządkowanie"

Woda

Ramka "**Woda**" służy do definiowania poziomu zwierciadła wód gruntowych. Rozkład ZWG definiowany jest podobnie jak warstwy gruntu.

Zdefiniowane warstwy wody gruntowej mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.



Ramka "Woda"

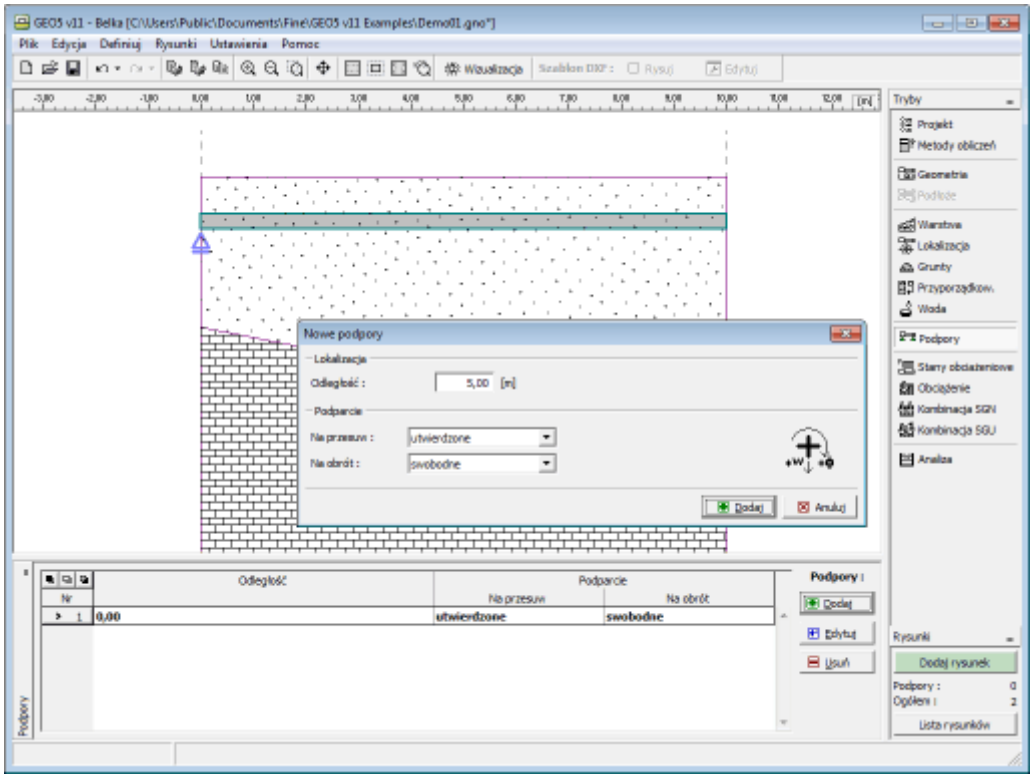
Podpory

Ramka "**Podpory**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych podpór. Dodawanie podpór wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowa podpora**". Podporę można edytować korzystając z przycisku "**Edytuj**" lub klikając na liście linijkę z żądaną podporą lewym przyciskiem myszki.

Rodzaj podpory określany jest według konkretnego warunku brzegowego zdefiniowanego w danym punkcie (przesunięcie, obrót).

W programie można zdefiniować następujące **warunki brzegowe w punkcie**:

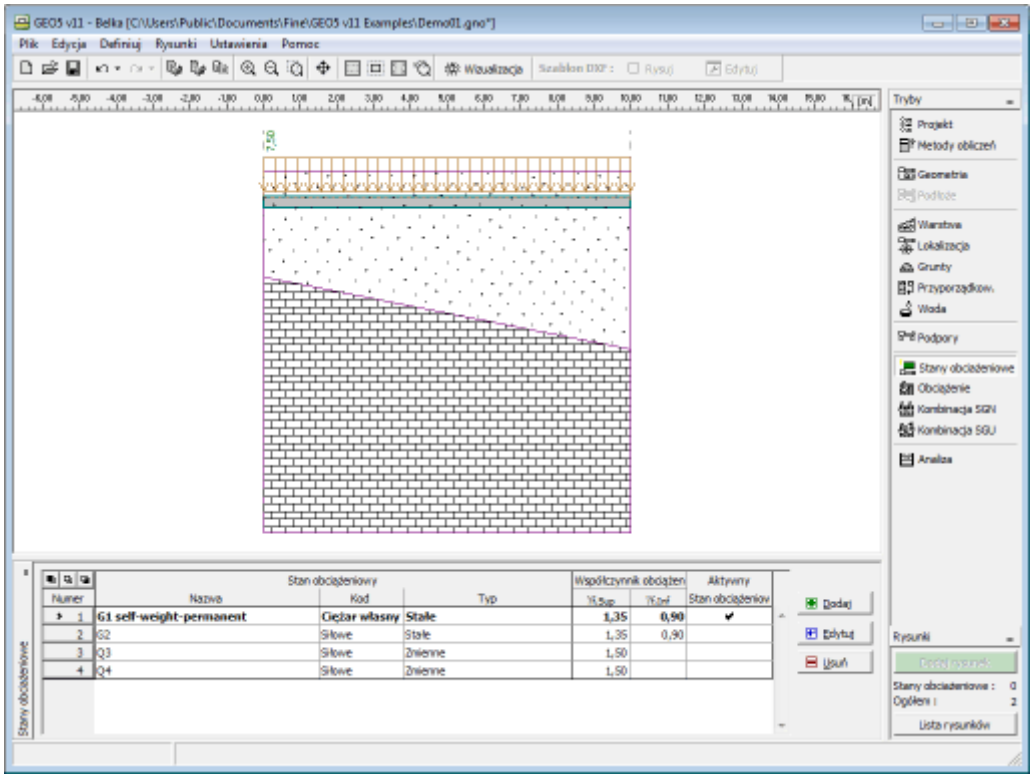
- swobodne
- utwierdzone
- przemieszczeniowe
- sprężyste



Ramka "Podpory"

Stany obciążeniowe

Ramka "**Stany obciążeniowe**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych stanów obciążeniowych. Dodawanie (edycja) stanów obciążeniowych i ich parametrów wykonywanae jest w oknie dialogowym "**Nowy stan obciążeniowy**". Edycję parametrów zdefiniowanego wcześniej stanu obciążeniowego wykonujemy za pomocą przycisku "**Edytuj**" lub klikając na liście linijkę z żądanym stanem obciążeniowym lewym przyciskiem myszki.



Ramka "Stany obciążeniowe"

Parametry stanów obciążeniowych

W oknie dialogowym "**Nowy stan obciążeniowy**" definiowane są następujące parametry:

Identyfikator stanu obciążeniowego

Identyfikator stanu obciążeniowego, złożony z numeru stanu obciążeniowego i członu literowego, wyświetlany jest przed polem wprowadzania nazwy stanu obciążeniowego. Człon literowy zależy od rodzaju stanu obciążeniowego:

G - obciążenie stałe

Q - obciążenie zmienne

A - obciążenie wyjątkowe

Identyfikator stanu obciążeniowego jest stosowany głównie w wydrukach kombinacji.

Kod stanu obciążeniowego

Kod stanu obciążeniowego określa jakie obciążenie, można dla tego stanu zdefiniować. Dostępne są następujące opcje:

Ciężar własny W tym stanie obciążeniowym obciążenie reprezentuje ciężar własny konstrukcji i jest ono automatycznie generowane przez program. Dla każdego zadania można przypisać tylko jeden stan obciążeniowy z tym kodem.

Siłowe Dla stanu obciążeniowego oznaczonego tym kodem można zdefiniować dowolny rodzaj obciążeń od siłowych (siły, momenty). Liczba stanów obciążeniowych tego typu nie jest ograniczona.

Typ obciążenia

Określa charakter stanu obciążeniowego w oparciu o ich zmienność w czasie. Wybór konkretnego typu obciążenia odbywa się z wykorzystaniem klasyfikacji zawartej w normie EN 1990, art. 4.1.1.

Współczynniki obciążenia

Program umożliwia zdefiniowanie częściowego współczynnika obciążenia γf. Współczynnik uwzględnia niekorzystne odstępstwa obciążeń od wartości reprezentatywnych. W przypadku obciążeń stałych należy zdefiniować inne wartości dla oddziaływania korzystnego ($\gamma f, inf$) i niekorzystnego ($\gamma f, sup$) w kombinacji. Przy definiowaniu obciążenia według normy EN 1990 domyślne wartości współczynników pobierane są z tabeli A1.2(B).

Kategoria

Klasyfikacja stanów obciążeniowych na kategorie odpowiada klasyfikacji obciążeń wg tabeli A1.1 zamieszczonej w normie EN 1990. Na tej podstawie, różnym stanom obciążeniowym przypisywane są współczynniki kombinacyjne $\psi 0$, $\psi 1$ i $\psi 2$. Kategoria "**definiowanie użytkownika**" pozwala na definiowanie własnych wartości tych współczynników. Wybór kategorii jest możliwy tylko dla stanów obciążeniowych definiowanych zgodnie z normą EN 1990 (wyboru normy dokonuje się w zakładce "Materiały i normy").

Współczynniki kombinacyjne

Podstawowe wartości współczynników do tworzenia kombinacji wynikają z normy EN 1990 i zależą od kategorii stanu obciążeniowego. Po wybraniu definiowania użytkownika można wprowadzać własne wartości tych współczynników. Do tworzenia kombinacji używane są następujące współczynniki:

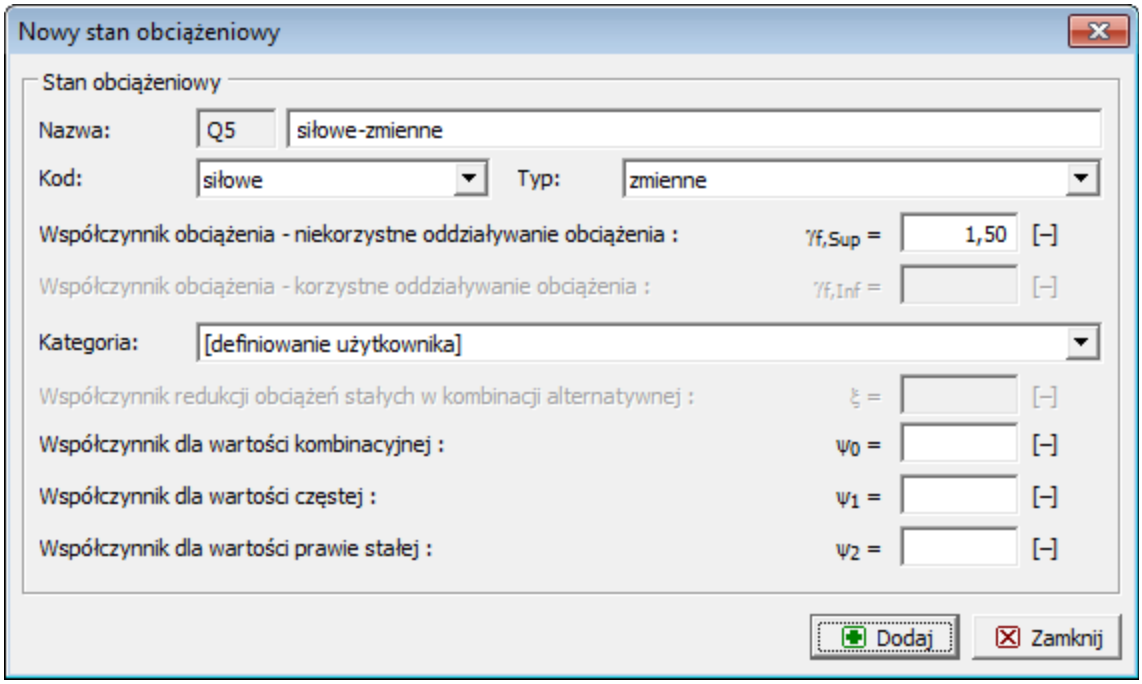
ξ - **Współczynnik redukcji obciążeń stałych w kombinacji alternatywnej** - współczynnik jest przypisywany do wszystkich obciążeń stałych i stosowany przy tworzeniu alternatywnych kombinacji dla stanu granicznego nośności (kombinacja do relacji 6.10.b, norma EN 1990).

$\psi 0$ - **Współczynnik dla wartości kombinacyjnej** - współczynnik dla obciążeń zmiennych; stosowany przy tworzeniu kombinacji zarówno nośności, jak i stanów granicznych użytkowania.

$\psi 1$ - **Współczynnik dla wartości częstej** - współczynnik dla obciążeń zmiennych; stosowany przy tworzeniu kombinacji przypadkowych i kombinacji dla stanów granicznych użytkowania.

$\psi 2$ **Współczynnik dla wartości quasi-stałej** - współczynnik dla obciążeń zmiennych; stosowany przy tworzeniu kombinacji przypadkowych i kombinacji dla stanów granicznych użytkowania.

Współczynniki kombinacyjne są dostępne tylko dla stanów obciążeniowych definiowanych zgodnie z normą EN 1990 (wyboru normy dokonuje się w ramce "Metody obliczeń").

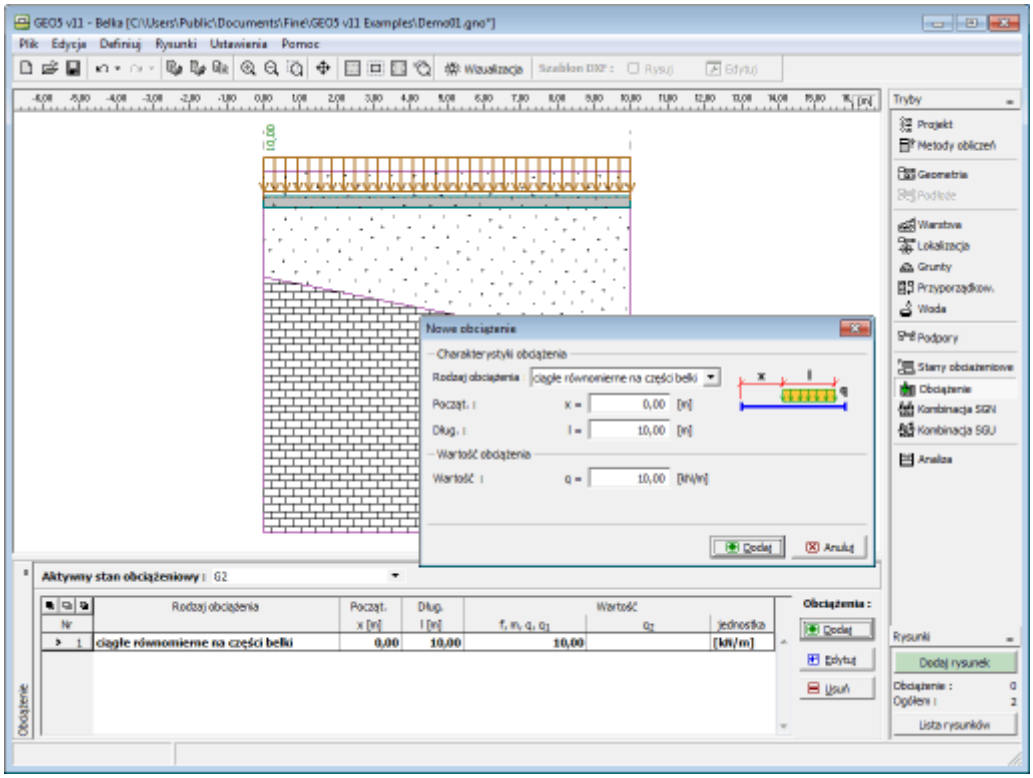


Okno dialogowe "Nowy stan obciążeniowy"

Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych obciążeń. Dodawanie (edycja) obciążeń wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie (Edycja obciążenia)**". Edycję wykonujemy za pomocą przycisku "**Edytuj**" lub klikając na liście linijkę z żądanym obciążeniem lewym przyciskiem myszki.

Każde obciążenie jest przypisywane do stanu obciążeniowego. Stan obciążeniowy wybieramy z listy rozwijanej "**Aktywny stan obciążeniowy**" umieszczonej nad tabelą.

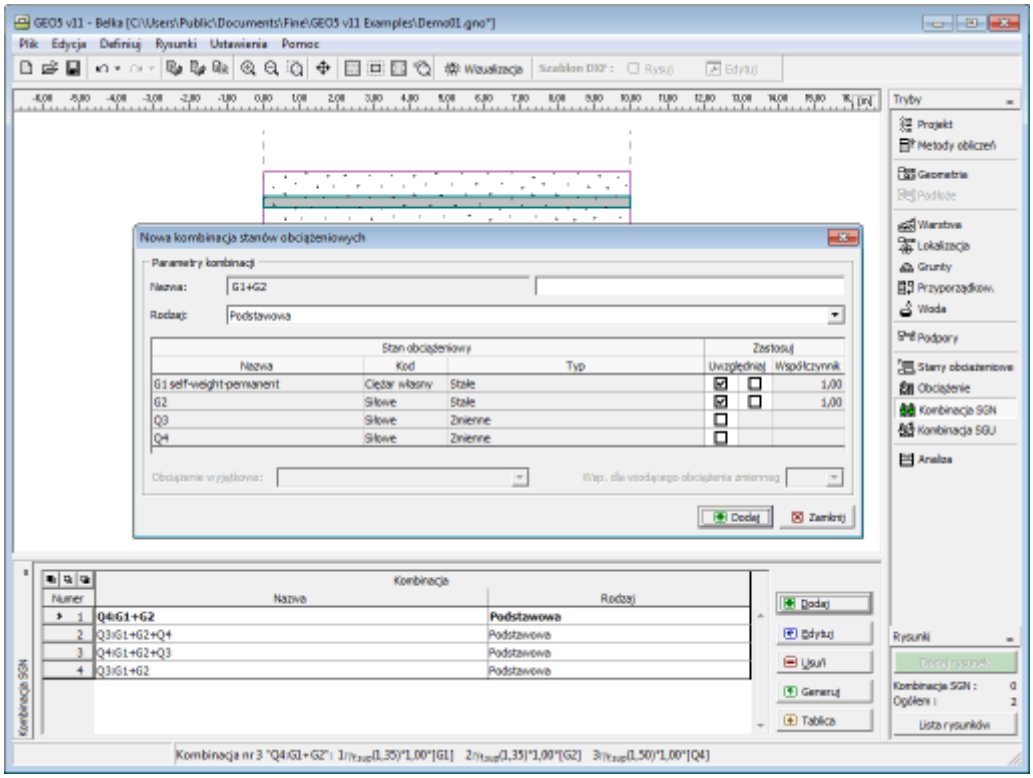


Ramka "Obciążenie"

Kombinacja SGN

Ramka "**Kombinacja SGN**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych kombinacji stanów granicznych nośności. Dodawanie (edycja) kombinacji i ich parametrów wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowa kombinacja stanów obciążeniowych**". Edycję wykonujemy za pomocą przycisku "**Edytuj**" lub klikając na liście linijkę z żądaną kombinacją lewym przyciskiem myszki.

Kombinacje można tworzyć korzystając z generatora kombinacji stanów obciążeniowych dostępnego w programie.



Ramka "Kombinacja SGN"

Parametry kombinacji SGN

W oknie dialogowym "**Nowa kombinacja stanów obciążeniowych**" definiowane są następujące parametry:

Nowa kombinacja

Krótki opis kombinacji wyświetlany jest u góry pola definiowania kombinacji. Wszystkie uwzględniane stany obciążeniowe są oznaczone ich identyfikatorami. Główne obciążenia zmienne przesuwane są na początek listy i oddzielone od pozostałych stanów obciążeniowych dwukropkiem.

Rodzaj kombinacji (tylko dla kombinacji według normy EN 1990)

Dla granicznego stanu obciążenia można stworzyć następujące kombinacje:

Podstawowa Kombinacja podstawowa oparta na wyrażeniu 6.10 z normy EN 1990

Alternatywna Kombinacje oparte na wyrażeniu 6.10a i 1.10b z normy EN 1.10b. W tym przypadku do obliczeń używane są dwa warianty kombinacji: jeden ze zredukowanymi stałymi stanami obciążeniowymi, a drugi ze zredukowanymi głównymi stanami obciążeniowymi.

Wyjątkowa Kombinacja wyjątkowa oparta na wyrażeniu 6.11 z normy EN 1990.

Wybór stanów obciążeniowych

Tabela zawierająca poszczególne stany obciążeniowe umożliwia ich wybieranie w celu tworzenia kombinacji. Stan obciążeniowy można wprowadzać do kombinacji zaznaczając odpowiedni kwadrat w kolumnie "**Uwzględniaj**" dla danego stanu obciążeniowego. Dalszy proces definiowania w tabeli zależy od wyboru sposobu wprowadzania obciążeń w zakładce "Materiały

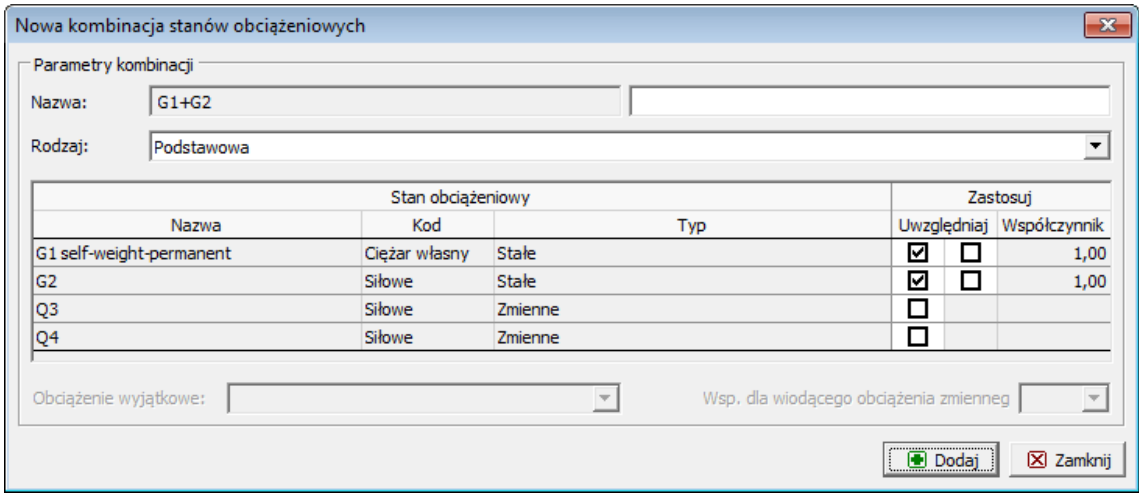
i normy".

Obciążenia wg normy EN 1990:

W kolumnie "**Uwzględniaj**" dla każdego obciążenia dostępny jest drugi kwadrat. Kwadrat umożliwia przyporządkowanie korzystnego oddziaływania stałym stanom obciążeniowym (przyjęcie współczynnika $\gamma_{f,\,inf}$) lub zdefiniowanie obciążenia zmiennego jako obciążenia wiodącego. Liczba wiodących obciążeń zmiennych w kombinacji jest nieograniczona. Obciążenie przypadkowe można wprowadzić do kombinacji oznaczonych jako "**Wyjątkowe**" (wyboru można dokonać tylko spośród stanów obciążeniowych oznaczonych jako "**Wyjątkowe**"). Dla kombinacji wyjątkowych należy również zdecydować, czy wiodące obciążenie zmienne będzie redukowane za pomocą współczynnika ψ_1 lub ψ_2.

Obciążenie ogólne

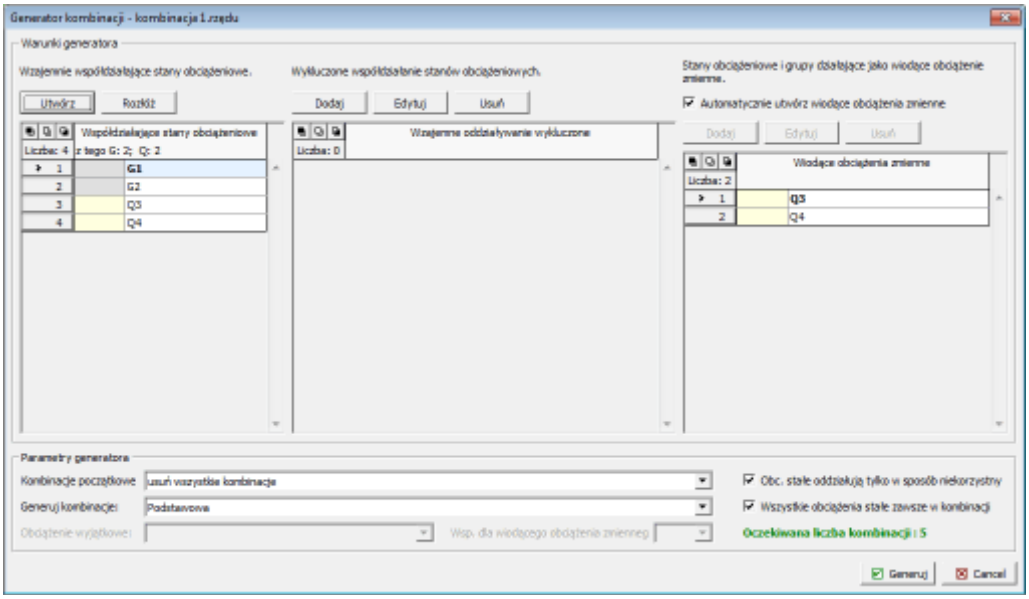
Dla każdego stanu obciążeniowego można zdefiniować współczynnik użyteczności służący dostosowaniu użyteczności stanu obciążeniowego w kombinacji.



Okno dialogowe "Nowa kombinacja stanów obciążeniowych"

Generator kombinacji

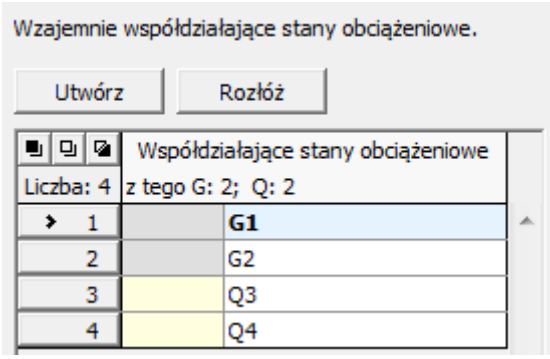
Okno dialogowe "**Generator kombinacji - kombinacja 1. rzędu**" umożliwia zbiorcze tworzenie kombinacji stanów obciążeniowych w oparciu o zdefiniowane zasady tworzenia kombinacji. Zgodnie z treścią normy EN 1990 liczba generowanych kombinacji może być stosunkowo duża, co w ekstremalnych przypadkach może znacznie spowolnić proces obliczeniowy. Z tego względu informacja o oczekiwanej liczbie kombinacji do wygenerowania jest pokazywana w prawym dolnym rogu okna. Dlatego przed rozpoczęciem generowania użytkownik może sprawdzić ile kombinacji zostanie wygenerowanych i ewentualnie skorygować warunki generacji. Górna część okna służy do definiowania warunków generowania kombinacji; dolna część zawiera różne ustawienia generatora.



Okno dialogowe "Generator kombinacji - kombinacja 1.rzędu"

Współdziałające stany obciążeniowe i grupy

W tej części można łączyć stany obciążeniowe, które będą pojawiać się w kombinacjach zawsze razem. Obciążeń stałych i zmiennych nie można łączyć w jedną grupę. Jeżeli w Parametrach Generatora zaznaczymy pole **Wszystkie obciążenia stałe zawsze w kombinacji**, to tworzenie grup obciążeń stałych nie wpłynie na ich obecność w kombinacjach, ponieważ każda wygenerowana kombinacja będzie zawsze zawierać wszystkie stałe stany obciążeniowe. W takim przypadku, łączenie stałych stanów obciążeniowych wpłynie tylko na uwzględnienie korzystnego/niekorzystnego oddziaływania stanów obciążeniowych pod warunkiem, że nie zaznaczono pola **Obciążenia stałe oddziałują tylko w sposób niekorzystny**.



Okno dialogowe "Generator kombinacji" - Wzajemnie współdziałające stany obciążeniowe

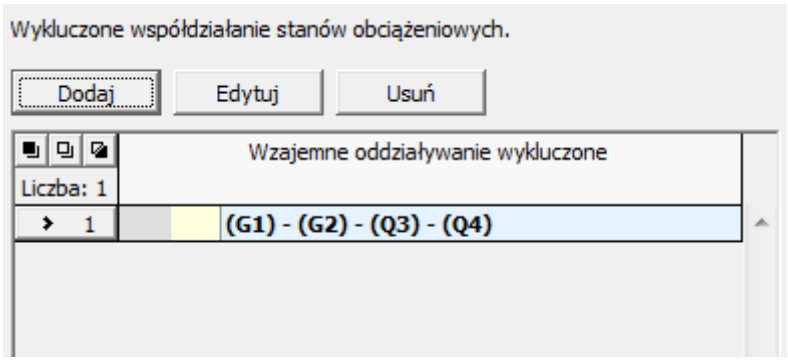
Wykluczone współdziałanie stanów obciążeniowych

W tej części można określić, które stany obciążeniowe nie powinny pojawiać się razem w kombinacji. Wybrane przypadki lub połączone grupy można wzajemnie wykluczyć niezależnie od rodzaju stanu obciążeniowego. Do definiowania grup, które będą wykluczone służą dwie opcje:

Wzajemne wykluczenie Do jednej grupy można wprowadzić wybraną liczbę stanów obciążeniowych. W takim przypadku program nie wygeneruje żadnej kombinacji zawierającej co najmniej dwa stany obciążeniowe z tej grupy.

Wykluczenie Opcję można wykorzystać, jeżeli niezbędne jest utworzenie dużej liczby

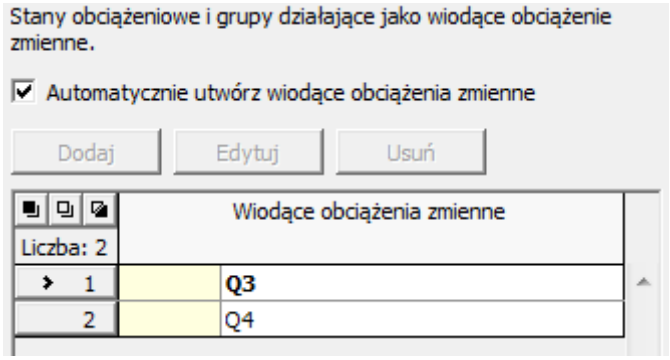
parami wykluczających grup dwóch rodzajów, gdzie jeden stan obciążeniowy jest ten sam (np. wykluczenie wariantów zespołów obciążeń stałych i wszystkich przypadków obciążeń użytkowych). Stan obciążeniowy przeznaczony do wykluczenia wybieramy najpierw w pierwszej kolumnie. Druga kolumna służy wtedy do wybrania żądanej liczby stanów obciążeniowych, potrzebnych do stworzenia wykluczających grup.



Okno dialogowe "Generator kombinacji" - Wykluczone współdziałanie stanów obciążeniowych

Stany obciążeniowe i grupy działające jako wiodące obciążenie zmienne

Ta część jest dostępna tylko wtedy, gdy uwzględnione jest definiowanie obciążeń wg normy EN 1990 (wyboru normy należy dokonać w zakładce "Materiały i normy"). Jeżeli wybrany został tryb automatyczny, to każde obciążenie zmienne jest traktowane w tworzonych kombinacjach jako wiodące. Jeżeli tryb ten jest wyłączony, to można ręcznie korygować listę wiodących obciążeń zmiennych. Można, na przykład, usunąć żądany stan obciążeniowy z listy, tak aby nie był uwzględniany jako wiodący stan obciążeniowy w kombinacjach. Jeśli do listy dodana zostanie nowa pozycja obejmująca więcej stanów obciążeniowych, to wszystkie stany obciążeniowe będą traktowane jak wiodące obciążenia zmienne w tych kombinacjach, w których występują wspólnie.



Okno dialogowe "Generator kombinacji" - Stany obciążeniowe i grupy działające jako obciążenie zmienne

Parametry generatora (parametry, które można definiować w dolnej części okna dialogowego).

Lista rozwijana "Kombinacje początkowe"

Zachowaj kombinacje początkowe - Po wciśnięciu przycisku "**Generuj**" program doda nowe kombinacje, utworzone zgodnie z podanymi zasadami do kombinacji początkowych.

Usuń wszystkie kombinacje	- Po wciśnięciu przycisku "**Generuj**" program usunie wszystkie kombinacje początkowe i zastąpi je nowymi.
Usuń wygenerowane kombinacje	- Po wciśnięciu przycisku "**Generuj**" program usunie starsze kombinacje i doda nowe, utworzone zgodnie z podanymi zasadami.
Usuń wszystkie kombinacje aktualnego rodzaju	- Po wciśnięciu przycisku "**Generuj**" program usunie wszystkie kombinacje danego rodzaju i zastąpi je nowymi.
Usuń wszystkie wygenerowane kombinacje aktualnego rodzaju	- Po wciśnięciu przycisku "**Generuj**" program usunie starsze kombinacje danego rodzaju i doda nowe, utworzone zgodnie z podanymi zasadami.

Lista rozwijana "Generuj kombinacje"

Na podstawie normy EN 1990 można wybrać następujące rodzaje wygenerowanych kombinacji obciążeń:

Podstawowa	- Generuje podstawowe kombinacje dla stanu granicznego nośności w oparciu o wyrażenie 6.10 z normy EN 1990.
Alternatywna	- Generuje kombinacje dla stanu granicznego nośności w oparciu o wyrażenia 6.10a i 1.10b z normy EN 1990. Ten wariant generuje dwukrotnie większą liczbę kombinacji, ale zapewnia lepsze wyniki.
Wyjątkowa	- Generuje przypadkowe kombinacje dla stanu granicznego nośności w oparciu o wyrażenie 6.11 z normy EN 1990. Można zdefiniować wyjątkowy stan obciążeniowy, który wystąpi w kombinacjach wyjątkowych. Należy również zdecydować, czy do redukcji wiodącego obciążenia zmiennego użyty zostanie współczynnik ψ_1 czy ψ_2.

Obciążenia stałe oddziałują tylko w sposób niekorzystniy

Jeżeli nie zaznaczymy tego ustawienia, program stworzy wszystkie możliwe kombinacje, w których uwzględnione zostanie wprowadzenie wszystkich wariantów korzystnych i niekorzystnych oddziaływań obciążeń stałych.

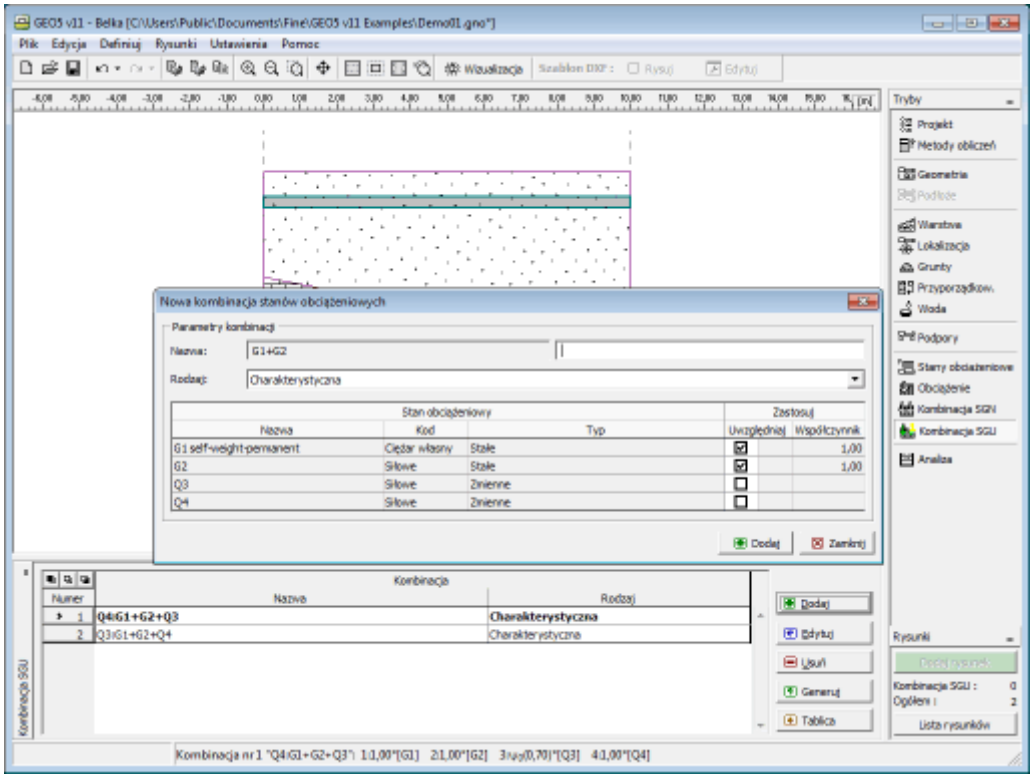
Wszystkie obciążenia stałe zawsze w kombinacji

Jeżeli nie zaznaczymy tego ustawienia, program stworzy kombinacje, w których uwzględnione zostanie wprowadzanie kolejno wszystkich oddziaływań obciążeniowych do kombinacji.

Kombinacja SGU

Ramka "**Kombinacja SGU**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych kombinacji stanu granicznego użytkowania. Do dodawania (edycji) kombinacji i ich parametrów służy okno dialogowe "**Nowa kombinacja stanów obciążeniowych**". Edycję wykonujemy za pomocą przycisku "**Edytuj**" lub klikając na liście linijkę z żądaną kombinacją lewym przyciskiem myszki.

Poszczególne kombinacje można tworzyć za pomocą wbudowanego w programie generatora kombinacji.



Ramka "Kombinacja SGU"

Parametry kombinacji SGU

Kombinacje SGU służą do oceny stanów dotyczących wyglądu budowli, komfortu osób lub funkcjonowania konstrukcji w trakcie normalnego użytkowania. Zwykle sprawdzenie dotyczy tylko odkształceń, drgań itp. Okno dialogowe "**Nowa kombinacja stanów obciążeniowych**" (podobnie jak w przypadku kombinacji SGU) służy definiowaniu następujących parametrów:

Rodzaje kombinacji wg normy EN 1990

Dla stanu granicznego użytkowania można stworzyć następujące kombinacje:

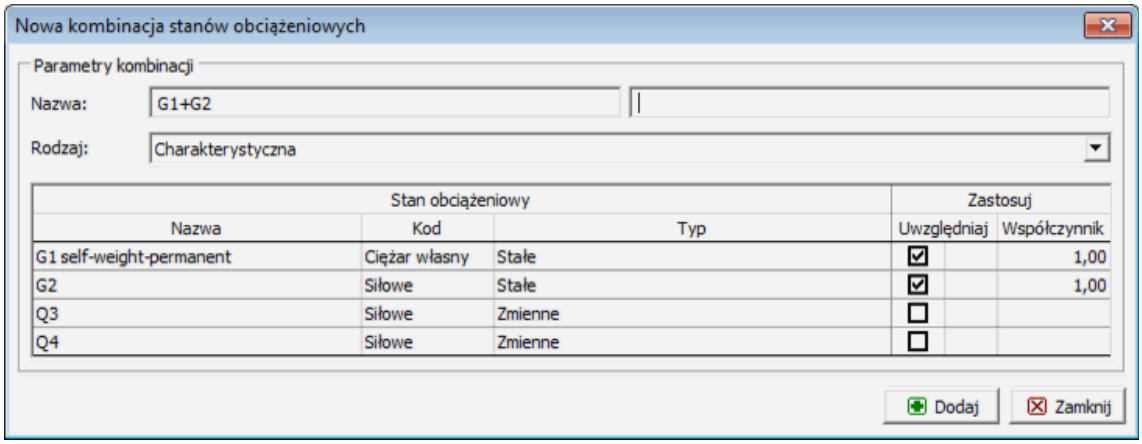
Charakterystyczna - kombinacja oparta na wyrażeniu 6.14 z normy EN 1990

Częsta - kombinacja oparta na wyrażeniu 6.15 z normy EN 1990

Quasi-stała - kombinacja oparta na wyrażeniu 6.16 z normy EN 1990

Wybór stanów obciążeniowych

Tabela zawierająca poszczególne stany obciążeniowe umożliwia ich wybranie w celu stworzenia kombinacji. Stan obciążeniowy można wprowadzić do kombinacji zaznaczając kwadrat w kolumnie "**Uwzględniaj**" dla żądanego stanu obciążeniowego. Współczynnik użyteczności można zdefiniować dla kombinacji definiowanych ogólnie (wybierany w zakładce "Materiały i normy") w celu dostosowania stopnia użyteczności stanu obciążeniowego w kombinacji.



Okno dialogowe "Nowa kombinacja stanów obciążeniowych"

Generator kombinacji

Okno dialogowe "**Generator kombinacji - kombinacja 1. rzędu**" pozwala na zbiorowe generowanie kombinacji stanów obciążeniowych dla granicznego stanu użytkowania. Objaśnienia funkcji generatora kombinacji zawarto w części dotyczącej generatora kombinacji dla stanu granicznego nośności.

Jeżeli w zakładce "Materiały i normy" zaznaczono definiowanie obciążeń wg normy EN 1990, to możliwe jest generowanie następujących kombinacji dla granicznego stanu użytkowania.

Charakterystyczna - kombinacja oparta na wyrażeniu 6.14 z normy EN 1990

Częsta - kombinacja oparta na wyrażeniu 6.15 z normy EN 1990

Quasi-stała - kombinacja oparta na wyrażeniu 6.16 z normy EN 1990

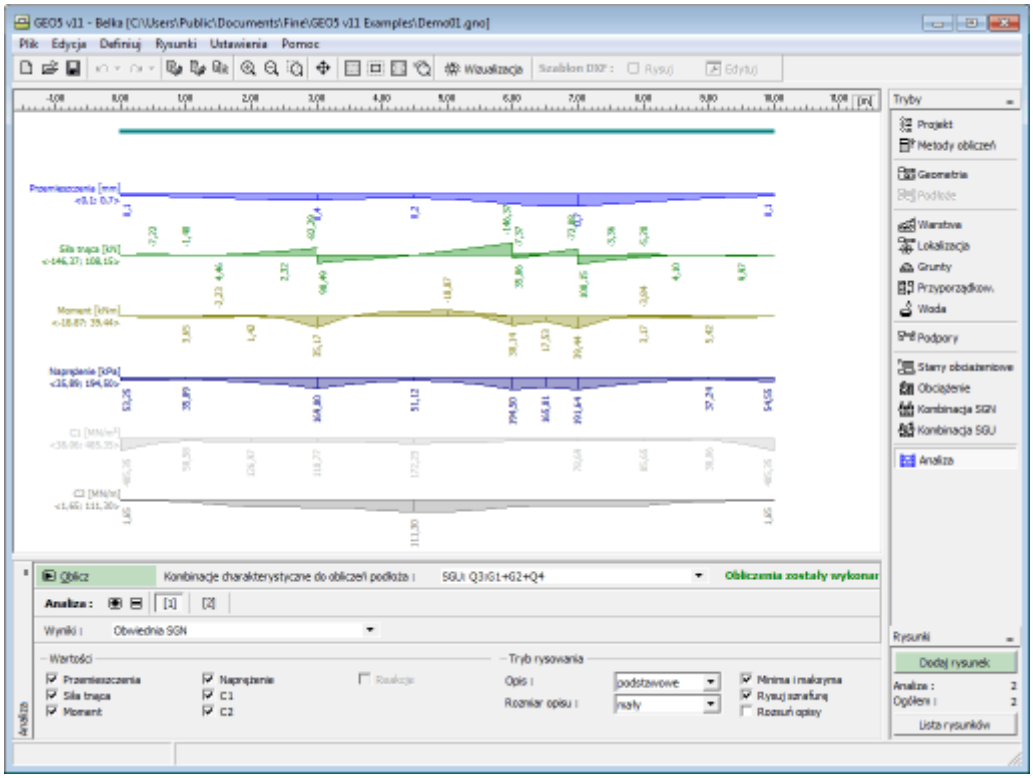
Analiza

Ramka "**Analiza**" służy do przeprowadzenia analizy oraz do prezentacji wyników. Analiza jest prowadzona **metodą elementów skończonych** z zastosowaniem podłoża Winklera-Pasternaka. Dla jednego zadania można wykonać kilka analiz wraz z prezentacją wyników. Informacja o wykonanych obliczeniach jest prezentowana w prawym górnym rogu ramki. Jeżeli parametry obliczeniowe ulegną zmianie, niezbędne jest powtórzenie analizy, które uruchamiamy przyciskiem "**Oblicz**".

Jeśli parametry podłoża gruntowego obliczane są z profilu geologicznego, to z listy rozwijanej należy wybrać opcję "**Kombinacja charakterystyczna do obliczeń podłoża**".

Lista rozwijana "**Wyniki**" służy do definiowania kombinacji SNG lub SGU (możliwe obwiednie kombinacji stanów obciążeniowych), dla których wyniki będą wyświetlane na ekranie.

Dolna część okna służy do określenia, które zmienne będą wizualizowane na ekranie (Przemieszczenia, Siła ścinająca, Moment,...) oraz sposób ich prezentacji.



Ramka "Analiza"

Program Osiadanie

Program ten służy do wyznaczania osiadania pionowego oraz konslidacji w czasie gruntów pod nasypami, fundamentami, zaporami ziemnymi lub ogólnie pod obciążeniami powierzchniowymi.

Pomoc w programie "Osiadanie" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

  Projekt | Ustawienia | Warstwa | Nasyp | Wykop | Podłoże nieściśliwe | Grunty

  Przyporządkowanie | Obciążenie | Woda | Ustawienia fazy | Obliczenia

- Normy i metody obliczeniowe

- Teoria obliczeniowa do programu "**Osiadanie**":

  Naprężenia w gruncie | Analiza osiadania

- Dane wyjściowe

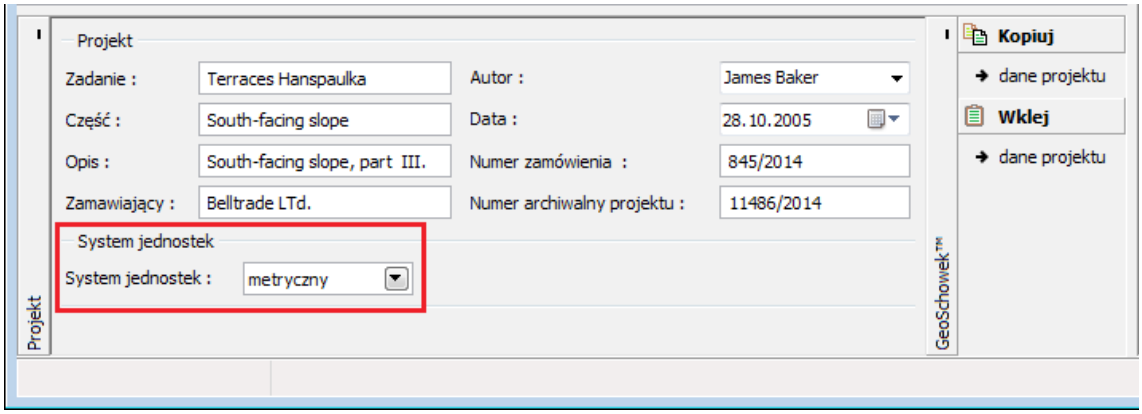
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5

- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania podstawowych "Ustawień" programu, takich jak normy i teorie stosowane w obliczeniach, sposób zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji czy poszczególne współczynniki obliczeniowe.

Program zawiera nie tylko predefiniowane **Ustawienia podstawowe** dla poszczególnych krajów, ale również umożliwia stworzenie własnych **Ustawień użytkownika**, które mogą być zapisywane i wykorzystywane w późniejszych obliczeniach we wszystkich programach GEO5.

Przycisk "**Wybierz**" umożliwia dokonanie wyboru wcześniej utworzonego Ustawienia z "Listy ustawień".

Przycisk "**Administrator ustawień**" otwiera okno dialogowe "Administrator", w którym możliwe jest przeglądanie i modyfikowanie poszczególnych Ustawień. W tym miejscu użytkownik będzie mógł także zidentyfikować ustawienia widoczne na Liście ustawień. Dane z Administratora ustawień mogą być **eksportowane i importowane**.

Za pomocą przycisku "**Dodaj do administratora**" możliwe jest tworzenie ustawień własnych użytkownika, które są następnie dodawane do Administratora ustawień.

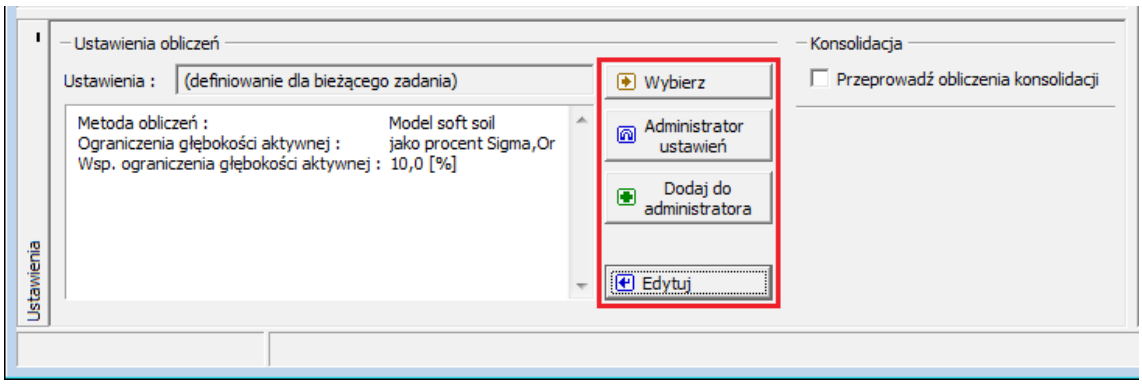
Przycisk "**Edytuj**" pozwala na szybką wizualizację oraz edycję bieżącego Ustawienia w użytkowanym programie. Modyfikacja dowolnego parametru zmienia status (nagłówek)

Ustawiania na "**definiowanie dla bieżącego zadania**". Poszczególne obliczenia są następnie przeprowadzane z wykorzystaniem tego **lokalnego ustawienia**. Jeśli użytkownik zdecyduje, że bieżące ustawienie będzie również właściwe dla innych zadań, może dodać je do "**Administratora ustawień**" poprzez wciśnięcie przycisku "**Dodaj do administratora**".

Ustawienie "**Zdefiniowane dla bieżącego zadania**" jest zwykle tworzone w przypadku importu starszych danych.

Ustawień parametrów analizy należy dokonać w zakładce "Osiadania".

W zakładce tej można także dokonać wyboru czy wykonywane będą obliczenia konsolidacji.



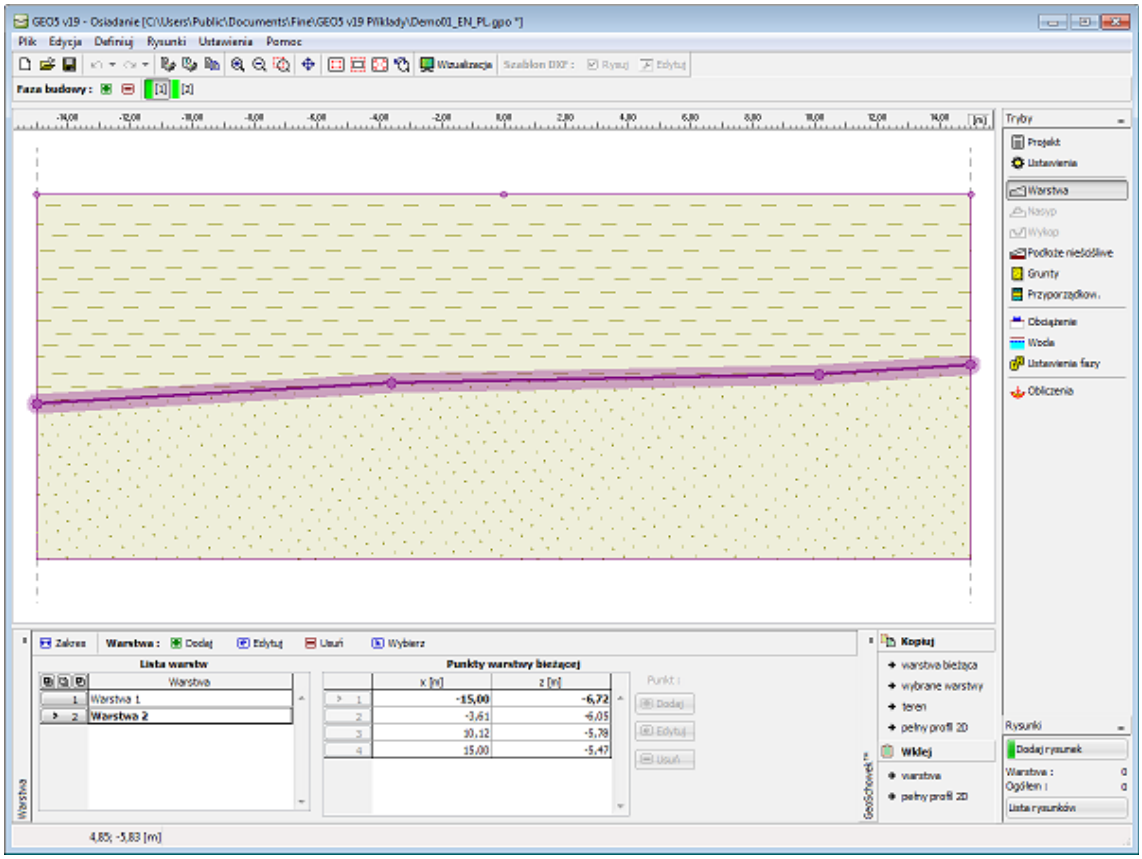
Ramka "Ustawienia"

Warstwa

Ramka "**Warstwa**" służy do wprowadzenia poszczególnych warstw gruntów. Szczegółowy opis obsługi warstw został umieszczony tutaj.

Program umożliwia import lub eksport warstw w formacie *.DXF.

Zdefiniowane warstwy mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.



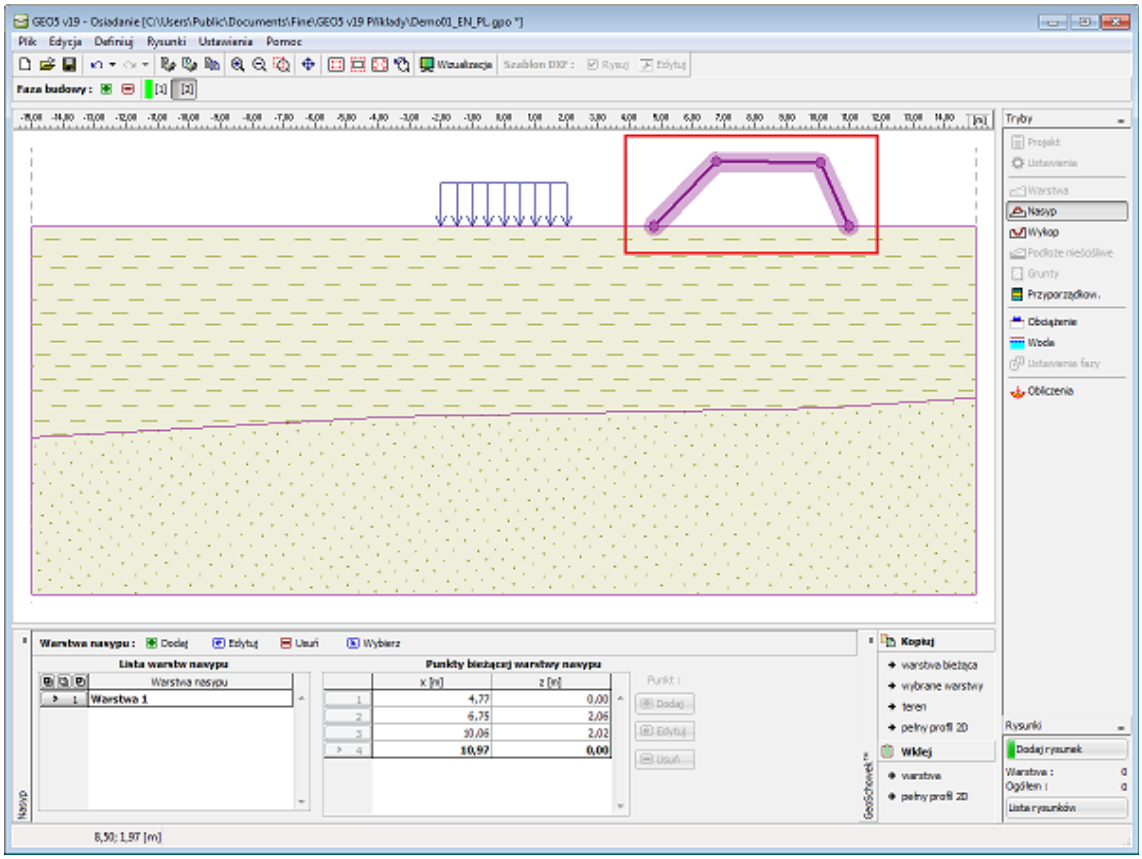
Ramka "Warstwa"

Nasyp

Ramka "**Nasyp**" umożliwia wprowadzanie warstw w celu utworzenia nasypu nad aktualnym terenem. Ramka zawiera tabelę z listą warstw tworzących nasyp. Tabela z listą punktów aktualnie wybranej warstwy jest wyświetlana w środkowej części ramki. Wprowadzenie warstwy nasypu odbywa się identycznie jak w przypadku standardowych warstw.

Nie można określić nasypu w pierwszej fazie budowy. Nasypu nie można również wprowadzić, jeżeli w tej samej fazie znajduje się wykop - w takim przypadku należy wprowadzić nową fazę budowy dla nasypu, bądź najpierw usunąć istniejący wykop.

Zdefiniowane warstwy nasypu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.



Ramka "Nasyp"

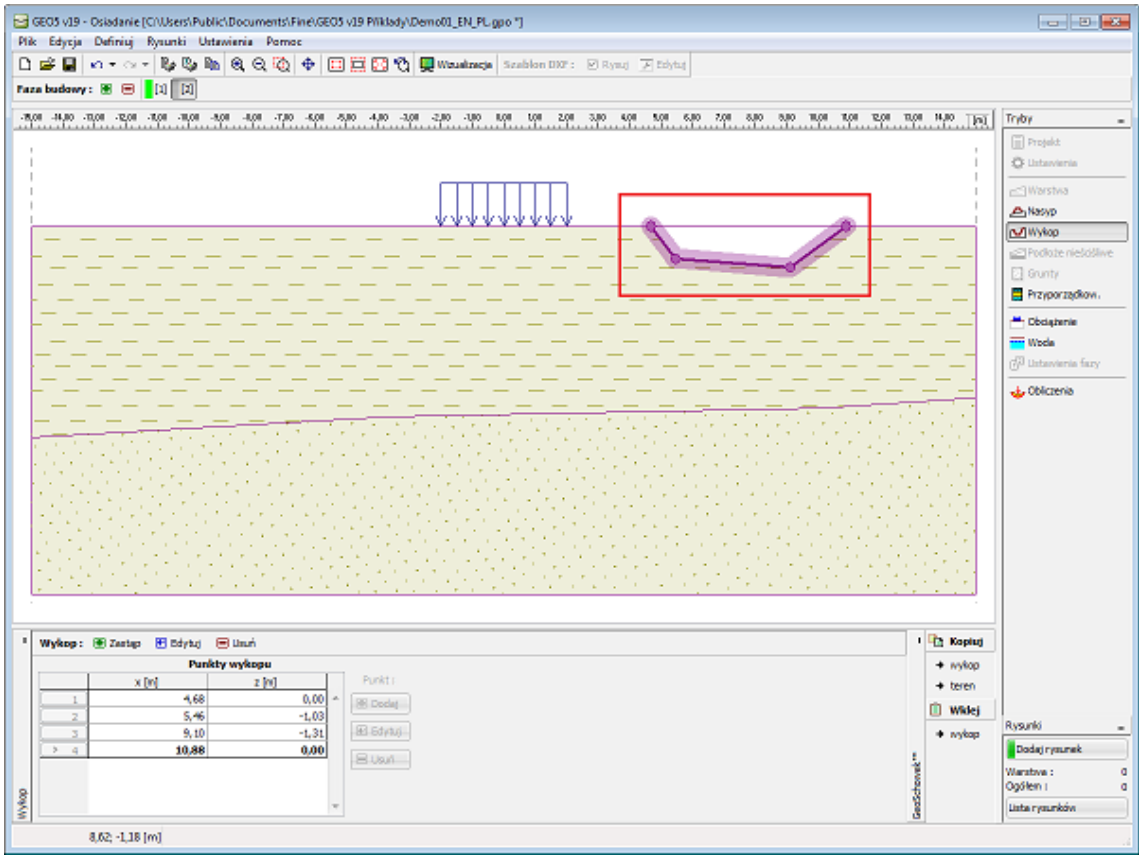
Wykop

Ramka "**Wykop**" służy do określania kształtu wykopu. Funkcja ta pozwala modyfikować profil terenu w danej fazie budowy. Istnieje możliwość jednoczesnego wprowadzenia kilku **wykopów**. W takim przypadku, niektóre linie wykopu są częściowo widoczne nad terenem.

Tabela z listą punktów warstwy wyświetlana jest w lewej części ramki. Wprowadzenie warstwy wykopu odbywa się identycznie jak w przypadku standardowych warstw.

Nie można określić wykopu w pierwszej fazie budowy. Nie można również utworzyć wykopu, jeżeli w danej fazie został określony nasyp - w takim przypadku należy wprowadzić nową fazę budowy dla wykopu, bądź najpierw usunąć istniejący nasyp.

Zdefiniowane warstwy wykopu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.



Ramka "Wykop"

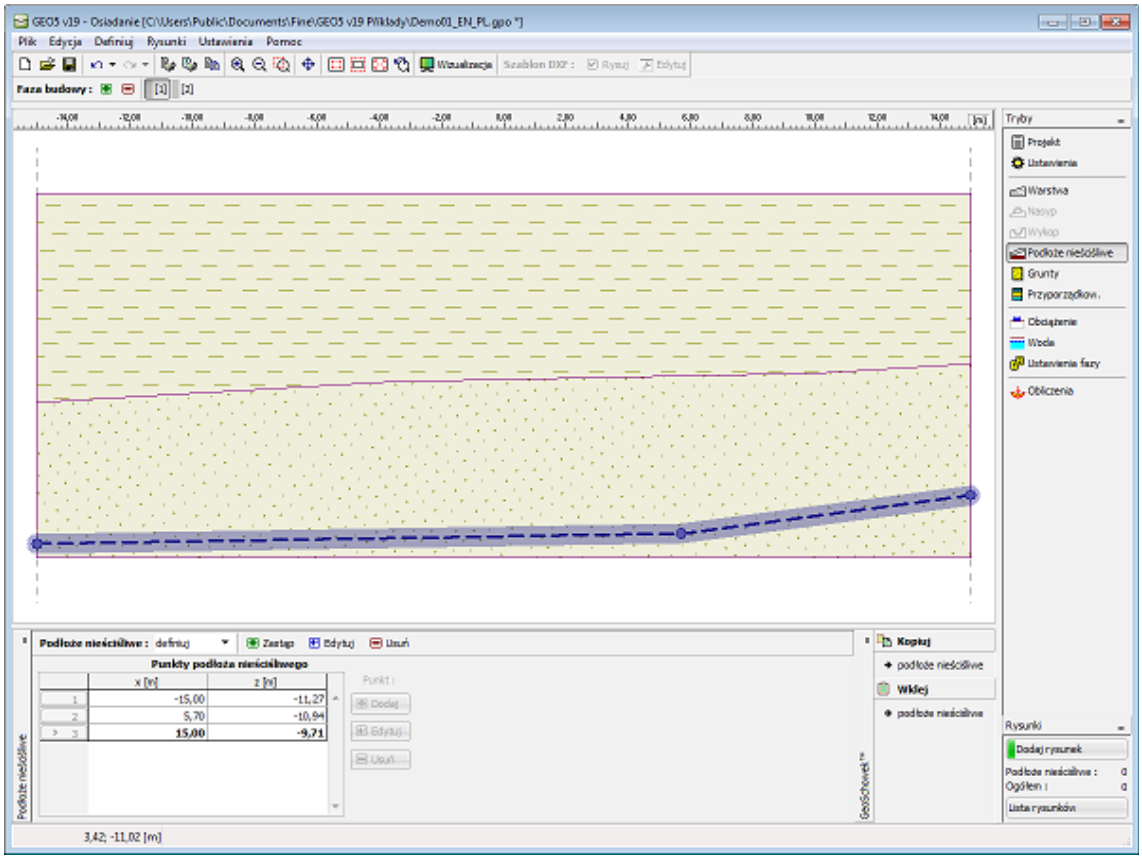
Podłoże nieściśliwe

Ramka "**Podłoże nieściśliwe**" służy do definiowania stropu **podłoża nieściśliwego.**

Definiowanie stropu warstwy podłoża nieściśliwego odbywa się identycznie jak definiowanie standardowe warstwy.

Zdefiniowanie podłoża nieściśliwego jest jedną z metod ograniczenia głębokości aktywnej - po jego zdefiniowaniu, zasięgi i przekroje ukośne rysowane są tylko do stropu warstwy podłoża nieściśliwego. Poniżej stropu warstwy podłoża nieściśliwego nie występuje odkształcenie gruntu.

Zdefiniowane warstwy podłoża nieściśliwego mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.



Ramka "Podłoże nieściśliwe"

Grunty

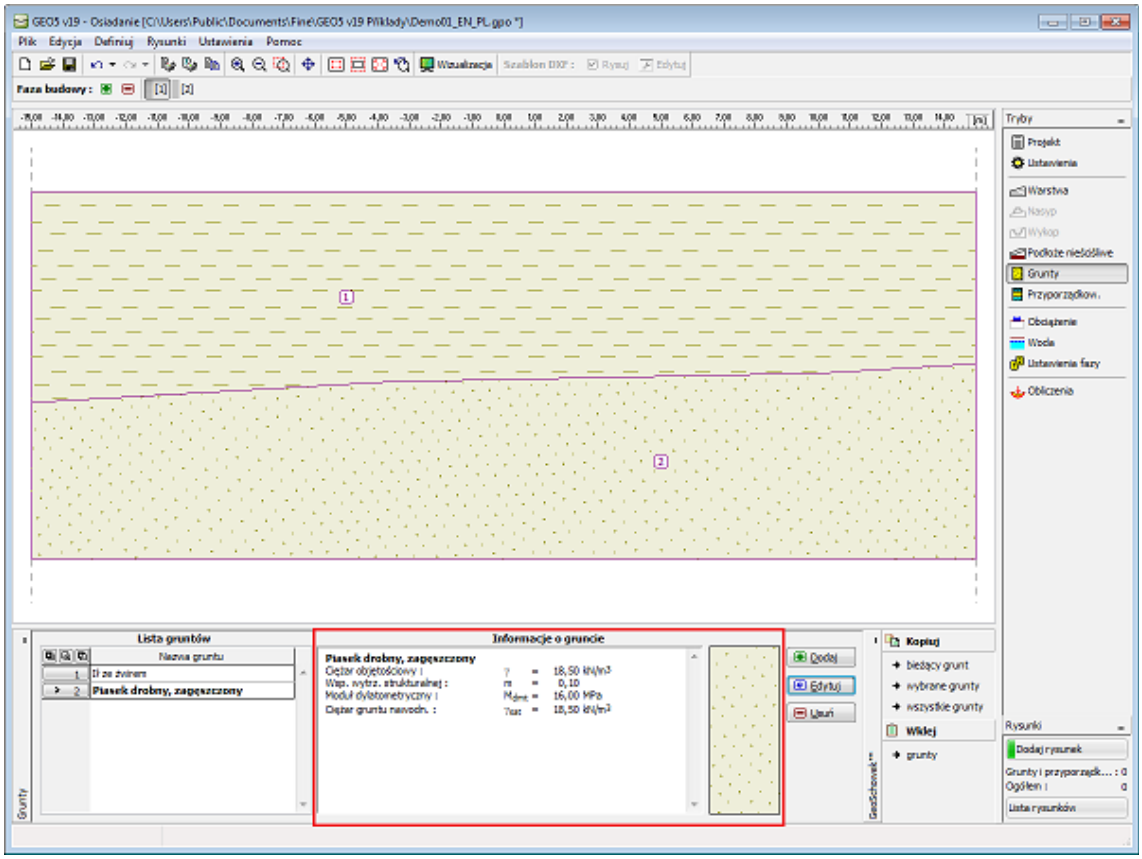
Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie (edycja) gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Parametry gruntu niezbędne w programie zostały szerzej opisane w następujących rozdziałach: "Naprężenie geostatyczne, wypór" i "Analiza osidania". W obliczeniach konsolidacji należy zdefiniować współczynnik filtracji lub współczynnik konsolidacji. Parametry gruntów jakie należy zdefiniować zależą od wyboru teorii obliczeniowej określonej w zakładce "Osiadania".

Poszczegolne wartości parametrów określane są na podstawie badań terenowych lub laboratoryjnych dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wartości wybranych parametrów gruntów.

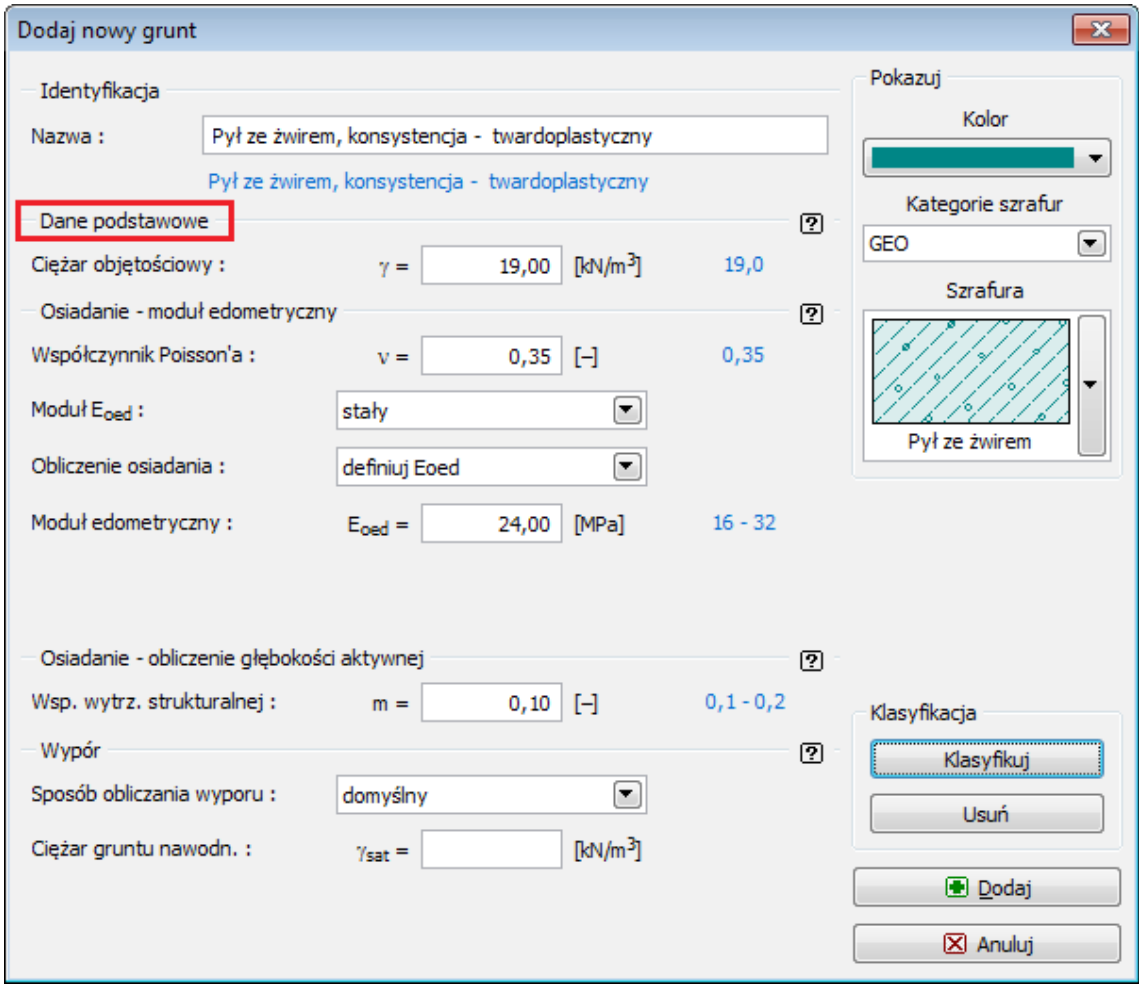
Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Grunty"

Dane podstawowe

Ta część okna dialogowego służy do zdefiniowania **ciężaru objętościowego gruntu**.



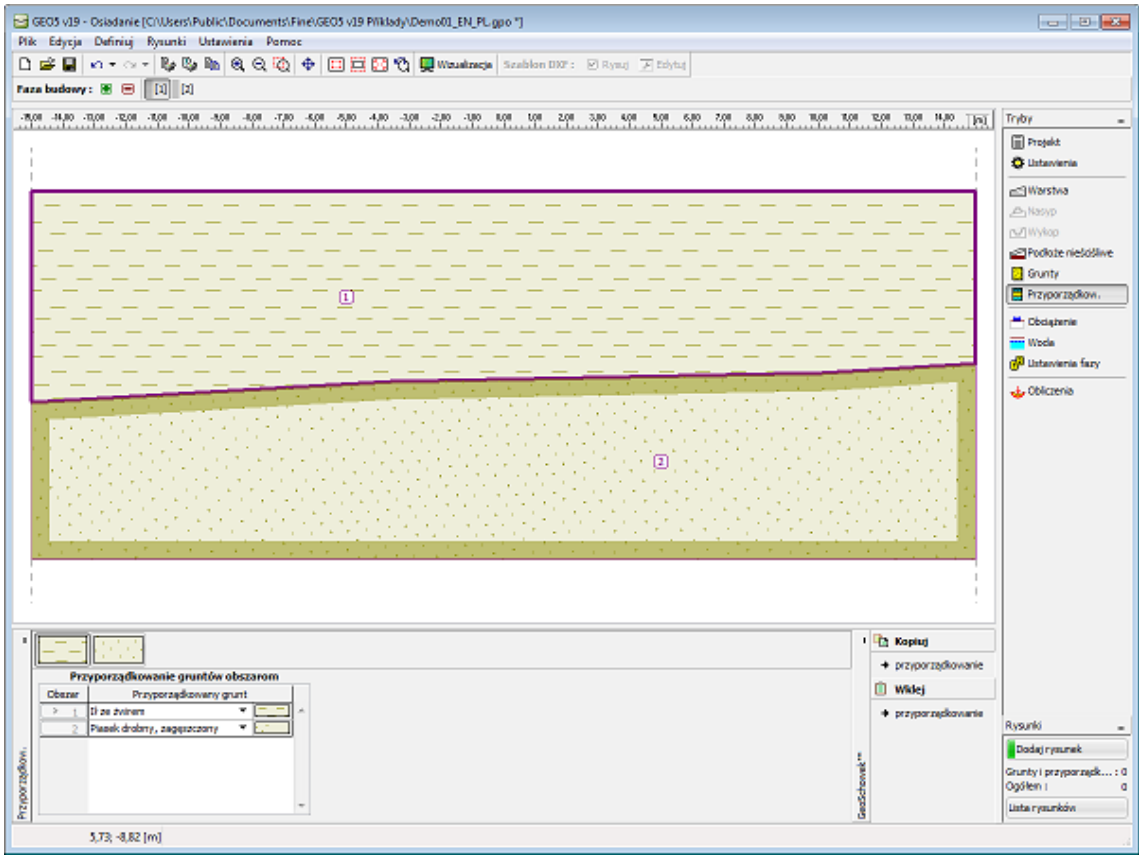
Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - "Dane podstawowe"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów"**.**

Przyporządkowanie gruntów może być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.



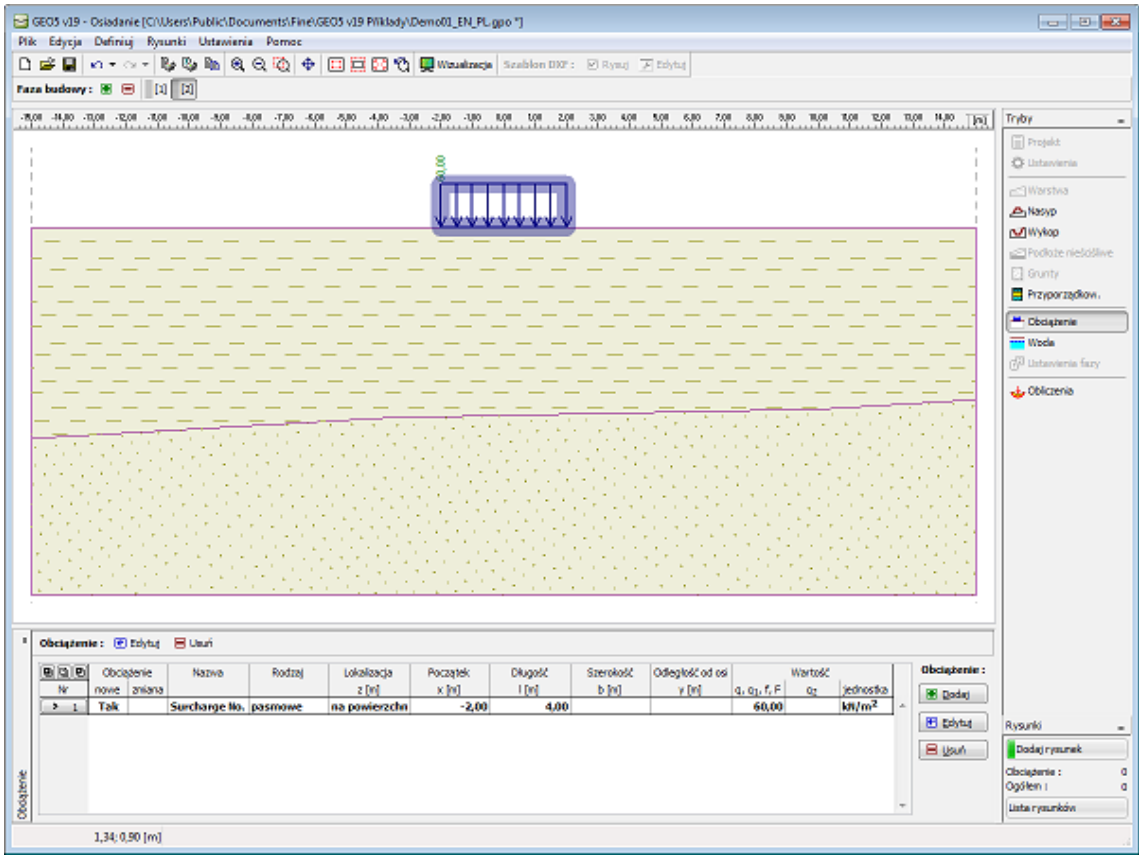
Ramka "Przyporządkowanie"

Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych obciążeń. Dodawanie obciążenia wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Wprowadzone obciążenia można edytować na pulpicie za pomocą aktywnych obiektów.

Wszystkie wprowadzone obciążenia można edytować na fazie budowy, w którym zostały określone. Jedynie wielkość obciążenia można edytować we wszystkich następnych etapach budowy (opcja "**Wartość obciążenia**").

Wpływ obciążeń zewnętrznych na parcia gruntu został opisany w teoretycznej części pomocy w rozdziale "Przyrost parcia gruntu na skutek obciążenia".



Ramka "Obciążenie"

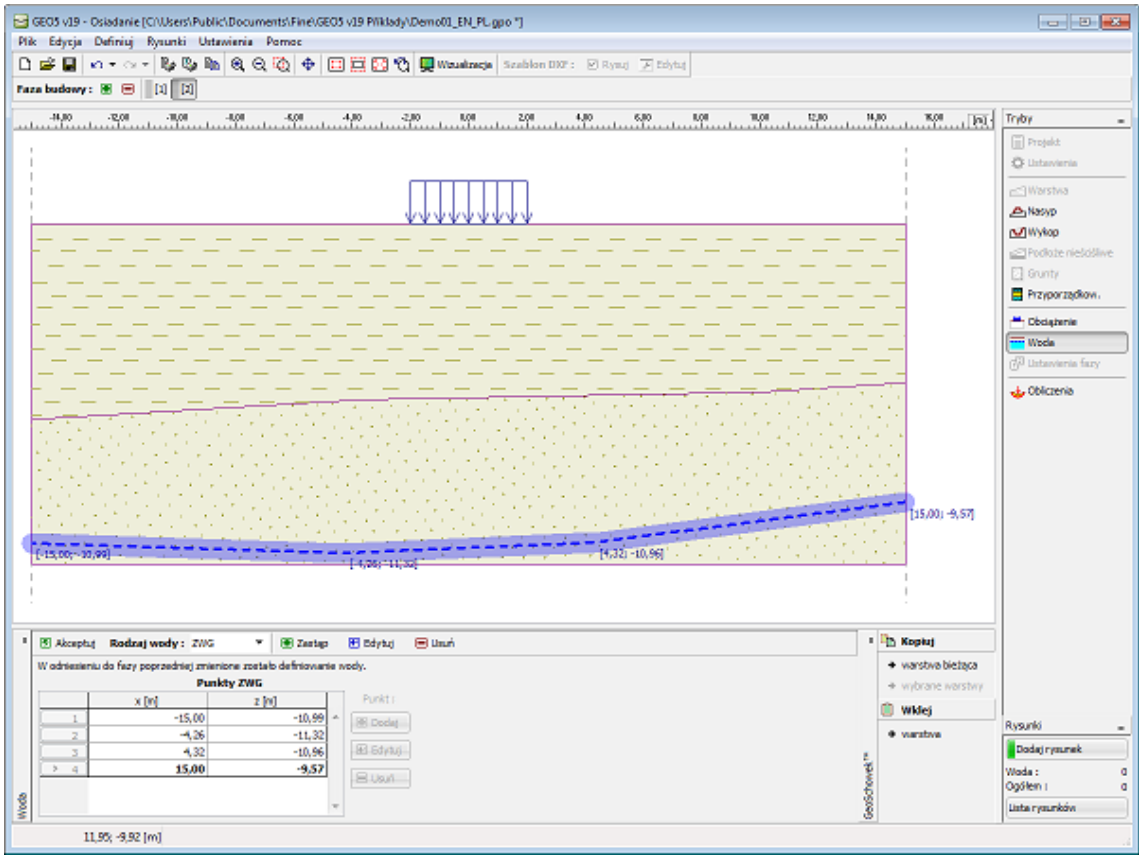
Woda

Ramka "**Woda**" służy do definiowania rodzaju zwierciadła wody gruntowej.

Definiowanie zwierciadła wody gruntowej lub izolinii wody gruntowej wykonuje się tak samo jak definiowanie innych warstw (np. warstw gruntu).

Jeżeli zdefiniowane w kolejnych fazach budowy dane różnią się, wówczas program umożliwia prostą akceptację danych wprowadzonych w poprzedniej fazie budowy poprzez naciśnięcie przycisku "**Akceptuj**".

Zdefiniowane warstwy wody (ZWG) mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.



Ramka "Woda"

Ustawienia fazy

Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących tylko wybranej fazy obliczeniowej.

Ramka "**Ustawienia fazy**" umożliwia określenie położenia przekrojów kontrolnych oraz miąższości i lokalizacji warstw, w których obliczane są wartości naprężeń.

Program wyznacza **naprężenia w poszczególnych przekrojach obliczeniowych**. Teren jest zawsze podzielony na dwadzieścia równomiernie rozmieszczonych przekrojów. Dodatkowe przekroje są automatycznie generowane w punktach definiujących teren, nasyp, zwierciadło wody gruntowej, warstwy gruntu oraz w punktach końcowych zdefiniowanego obciążenia. Przekroje obliczeniowe mogą być wykreślone w ramce "Obliczenia".

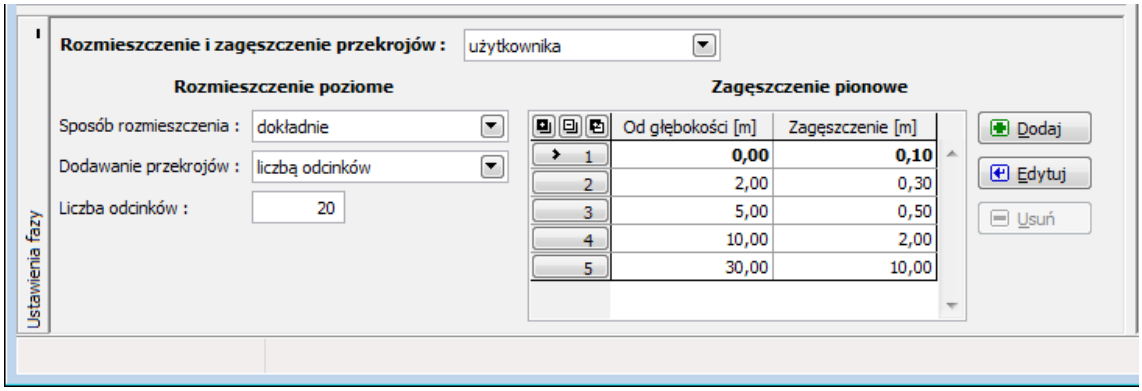
Poszczególne przekroje są **podzielone na warstwy** zgodnie ze zdefiniowanym przez użytkownika rozstawem. Pierwsza warstwa zawsze pokrywa się z terenem pierwotnym. Dodatkowo, **wszystkie punkty** określające warstwy gruntu, zwierciadło wody gruntowej oraz podłoże nieściśliwe są dołączane. Domyślne ustawienie rozstawu warstw **zapewnia rozsądną prędkość oraz dokładność** analizy.

Warstwy są wprowadzane do głębokości 250 m. W rzeczywistej analizie, głębokość aktywna jest ograniczana przez zdefiniowany strop podłoża nieściśliwego lub jako procent naprężenia geostatycznego czy też z zastosowaniem wytrzymałości strukturalnej (zgodnie z ustawieniami wybranymi w ramce "Osiadania" .

Liczbę oraz położenie przekrojów obliczeniowych można dostosować po wybraniu opcji "**użytkownika**". W takim przypadku istnieje możliwość wyboru położenia przekrojów oraz

miąższości i położenia warstw. Przekroje są następnie tworzone na podstawie wprowadzonych danych - dodatkowo, program automatycznie dołącza wszystkie istotne punkty. Po wybraniu opcji **dokładnego sposobu rozmieszczenia**, przekroje są dołączane do wszystkich punktów terenu, warstw gruntu, nasypów, zwierciadła wody gruntowej oraz punktów końcowych obciążenia. Natomiast, po wybraniu opcji **minimalnego sposobu rozmieszczenia**, przekroje nie są dołączane do punktów warstw gruntu oraz warstw nasypów.

Dla standardowych analiz **zalecamy pozostawienie** domyślnych ustawień analizy.



Ramka "Ustawienia fazy"

Obliczenia

Ramka "**Obliczenia**" wyświetla wyniki analizy.

Należy pamiętać, że zawsze konieczne jest modelowanie modelowanie konstrukcji z uwzględnieniem faz budowy.

Pierwsza faza budowy reprezentuje **stan początkowy**, dlatego osiadanie w tej fazie wynosi zero. Nowe obciążenia lub nasypy powinny być dodawane w **kolejnych fazach budowy**, w których wyznaczane są aktualne **osiadania terenu**. Informacje o postępie analizy obliczeniowej, maksymalnych osiadaniach i głębokości strefy aktywnej wyświetlane są w oknie w dolnej części ramki.

W analizie konsolidacji (wybieranej w ramce "Ustawienia") ta część ramki służy do definiowania parametrów konsolidacji.

Osiadania wyznaczane są na podstawie teorii obliczeniowej wybranej w zakładce "Osiadania". **Głębokość aktywna** jest określana na podstawie wprowadzonego podłoża nieściśliwego bądź teorii ograniczenia naprężeń geostatycznych lub teorii wytrzymałości strukturalnej.

Wyniki analizy, jako główne dane wyjściowe, są wyświetlane na ekranie. W celu przeglądania wyników należy użyć **paska poziomego** w górnej części ekranu oraz ramki "Konfiguracja rysunku: Obliczenia".

Ramka "Konfiguracja rysunku: Obliczenia" umożliwia określenie:

- **parametrów rysunku**: parametry wyświetlania niecki osiadania oraz zasięgu strefy wpływu, kreślenia przekrojów ukośnych, izolinii czy izopowierzchni itp.

- umożliwia przechowywanie wybranych widoków.

Pasek ten zawiera następujące elementy sterowania:

- **wybór wartości do wizualizacji** - istnieje możliwość wizualizacji wartości **całkowitych**, ich zmiany w **ostatniej fazie obliczeń** lub ich zmiany **w**

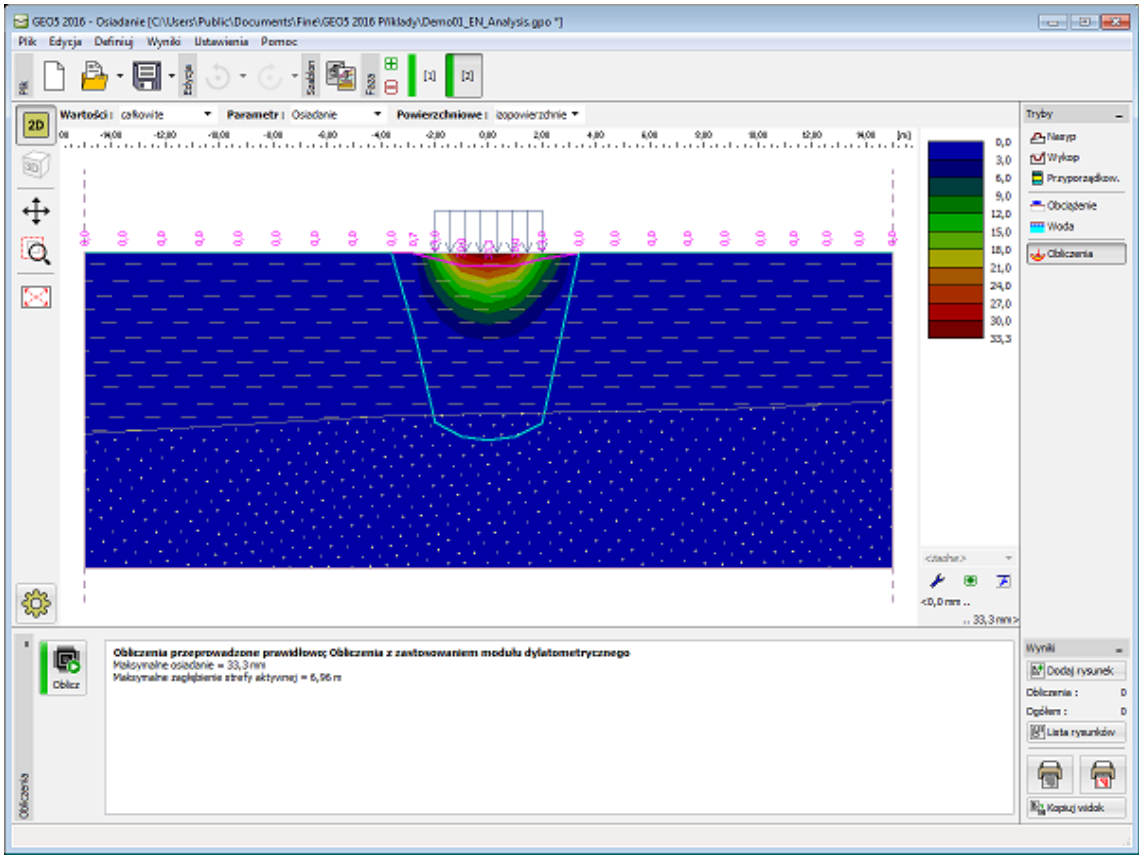
porównaniu z pierwszą fazą. Wybór tych wartości jest dostępny tylko w przypadkach, gdzie wizualizacja taka ma sens. Istnieje zatem możliwość wyświetlenia zmiany naprężenia, osiadania lub deformacji w porównaniu z poprzednimi fazami budowy - jednakże, zawsze rysowana jest aktualna głębokość aktywna.

- **wybór zmiennych**

Sigma Z,uog	całkowite naprężenie pionowe [*kPa, ksf*]
Sigma Z,ef	całkowite pionowe naprężenie efektywne [*kPa, ksf*]
Ciśnienie porowe	ciśnienie porowe wody [*kPa, ksf*]
Osiadanie	osiadanie w punkcie [*mm, feet*]
Deformacja	względne osiadanie warstwy [-]*1000

- **opcja kreślenia** (nie kreśl, izopowierzchnie, izolinie)

Legenda barw jest widoczna w prawej części pulpitu. Przyciski do ustawienia skali barw znajdują się poniżej legendy.



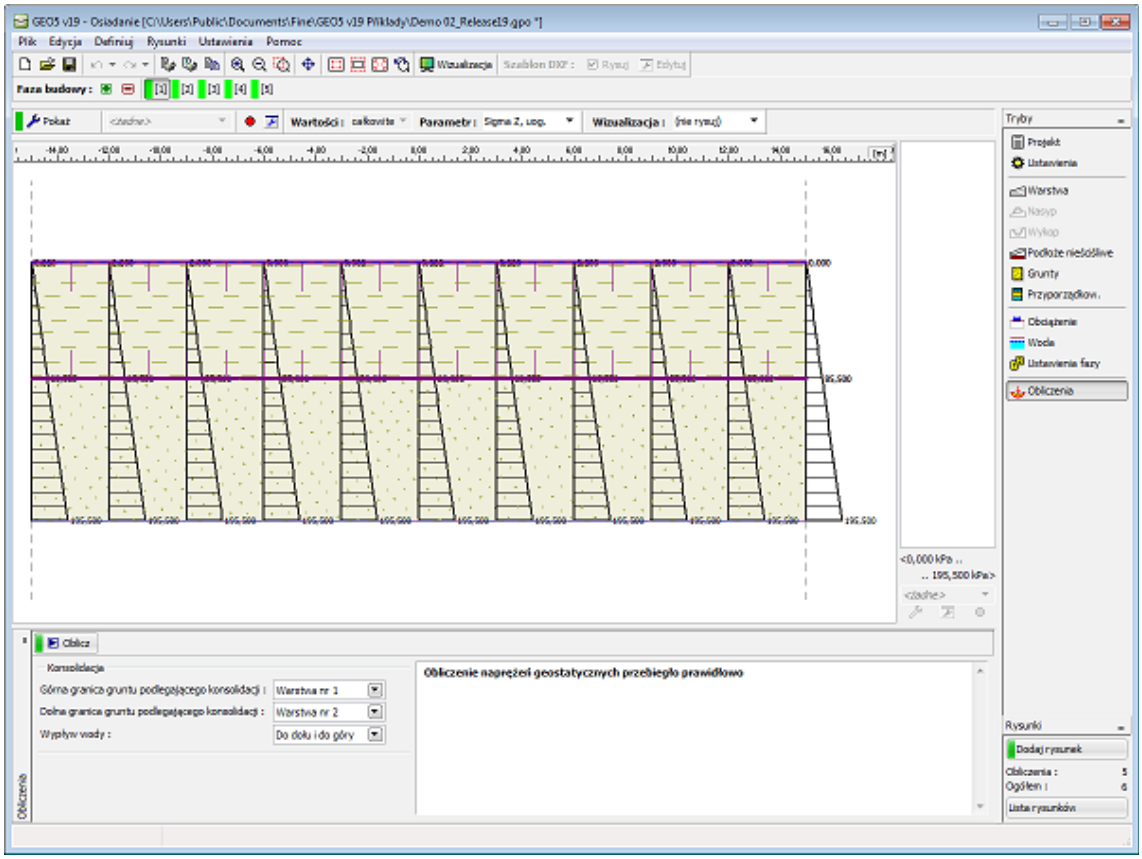
Ramka "Obliczenia"

Parametry konsolidacji

W analizie konsolidacji (wybieranej w ramce "Ustawienia") dolna część okna w ramce "Obliczenia" służy do definiowania parametrów konsolidacji.

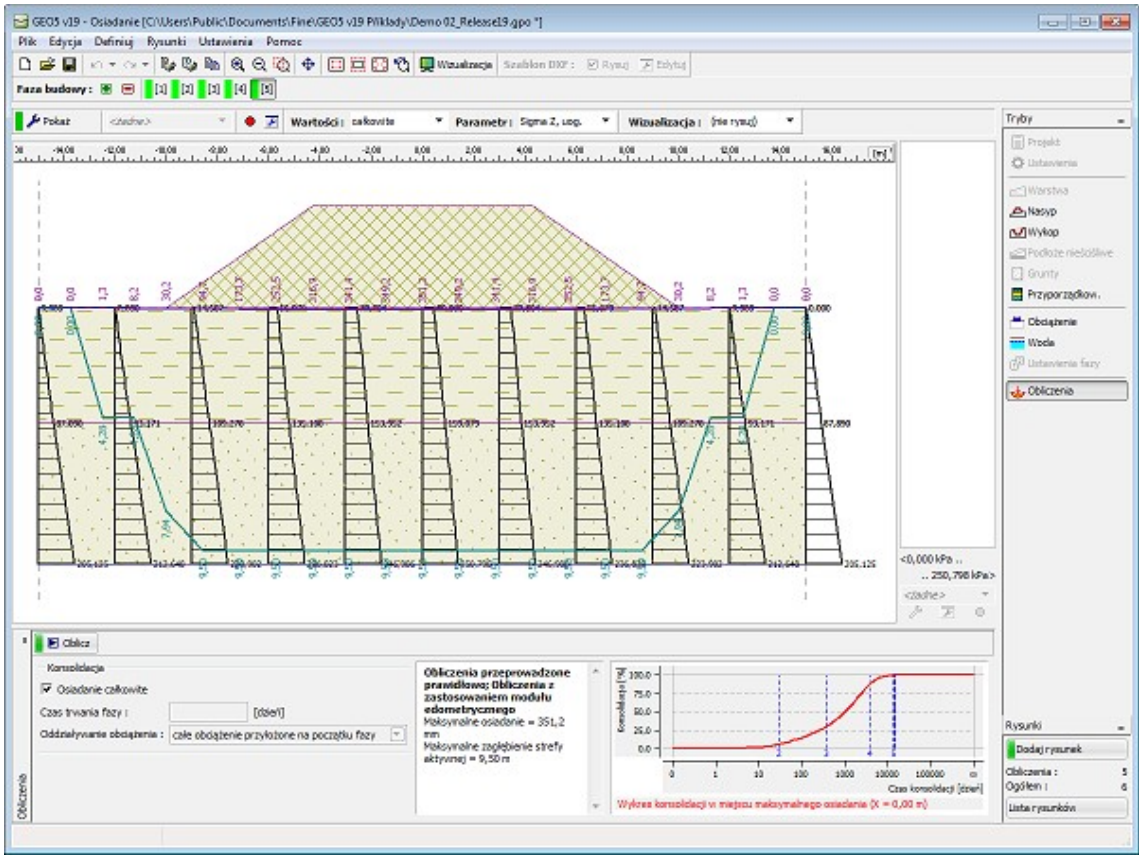
W pierwszej fazie budowy należy zdefiniować następujące parametry do przeprowadzenia obliczeń konsolidacji: górną i dolną granicę gruntu podlegającego konsolidacji oraz kierunek wypływu wody z tej warstwy (do góry, do dołu, do góry i do dołu).

Program umożliwia narysowanie wykresu osiadań w czasie (wykres z prawej strony pulpitu) według odpowiednio wybranej teorii osiadania. Oś pionowa pokazuje stopień konsolidacji U [$\%$], na osi poziomej zaznaczony jest czas osiadania t [dni].



Ramka "Obliczenia" - konsolidacja (pierwsza faza budowy)

W kolejnych fazach budowy definiowane są **czas trwania fazy** oraz aktywacja obciążeń. Program umożliwia dokonanie wyboru spośród dwóch opcji aktywacji obciążeń: całe obciążenie aktywowane na początku fazy lub liniowy przyrost obciążenia w czasie trwania fazy. Obliczenia są wówczas przeprowadzane począwszy od pierwszej fazy budowy, do fazy, w której wybrana/zaznaczona jest opcja "**Osiadanie całkowite**" (może być aktywowana w dowolnej fazie budowy poza pierwszą).



Ramka "Obliczenia" - konsolidacja (kolejne fazy budowy)

Przykład: wyznacz osiadanie od obciążenia po 5 dniach, po 1 miesiącu (30 dniach) oraz po 5 latach.

Zdefiniuj fazy budowy według następującego schematu:

1. faza Tylko naprężenie geostatyczne
2. faza Obciążenie, czas: 5 dni
3. faza Bez zmian, czas: 25 dni (tj. 25 - 5 dni)
4. faza Bez zmian, czas: 335 dni (tj. 335 - 25 dni)
5. faza Bez zmian, czas: 1460 dni (tj. 1460 -335 dni)
6. faza Zaznacz opcję "**Osiadanie całkowite**" i uruchom obliczenia

Program Wyrobisko

Program ten służy do analizy i wyznaczania kształtu niecki osiadania nad tunelami oraz oceny uszkodzeń budynków zlokalizowanych w strefie wpływu.

Pomoc w programie "Wyrobisko" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

Projekt	Ustawienia	Budynki	Profil	Grunty	Przyporządkowanie Geometria
Pomiar	Ustawienia fazy	Obliczenia	Uszkodzenia		

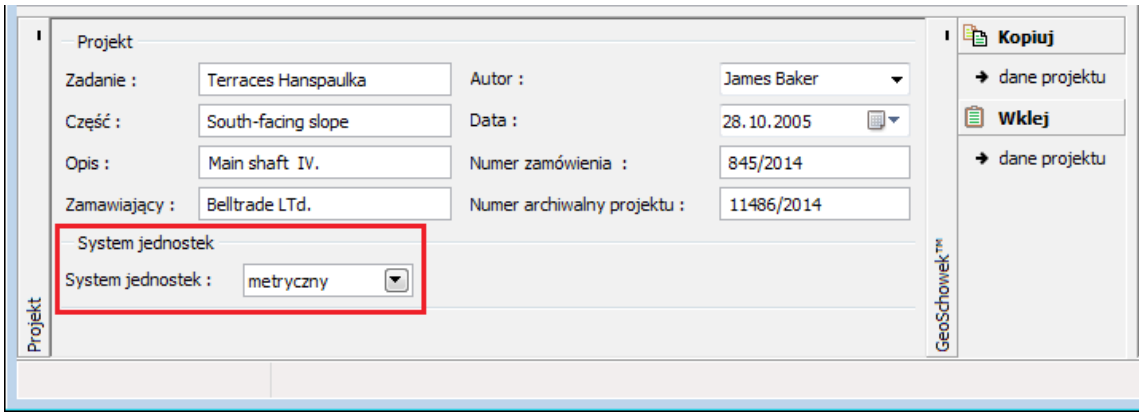
- Normy i metody obliczeniowe
- Teoria obliczeniowa do programu "**Wyrobisko**":

  Naprężenia w gruncie Wyrobisko
- Dane wyjściowe
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej oraz na rysunkach.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.

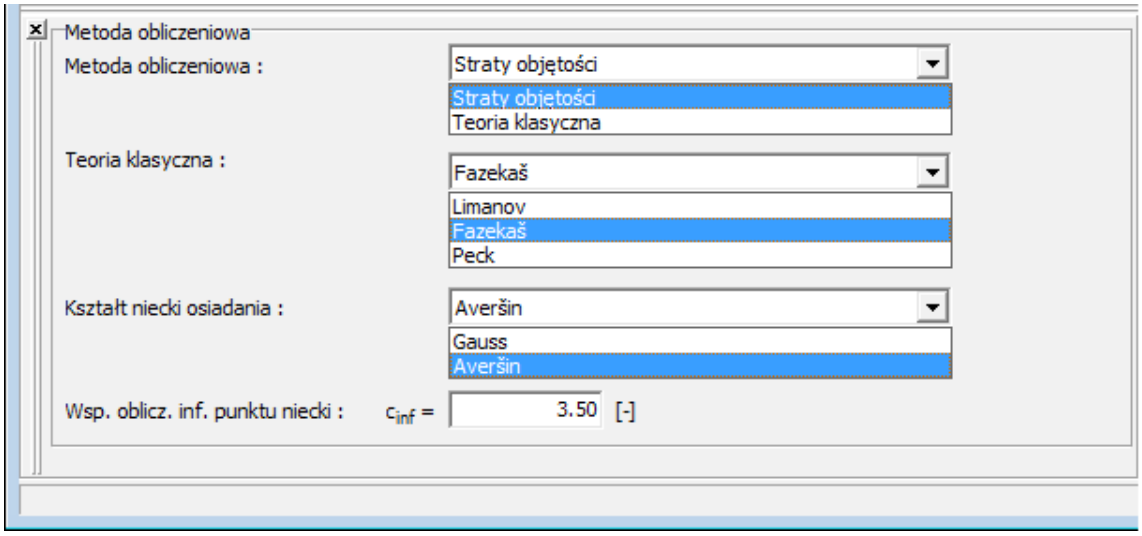


Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do definiowania metodologii obliczeń, wyboru norm i metod obliczeniowych.

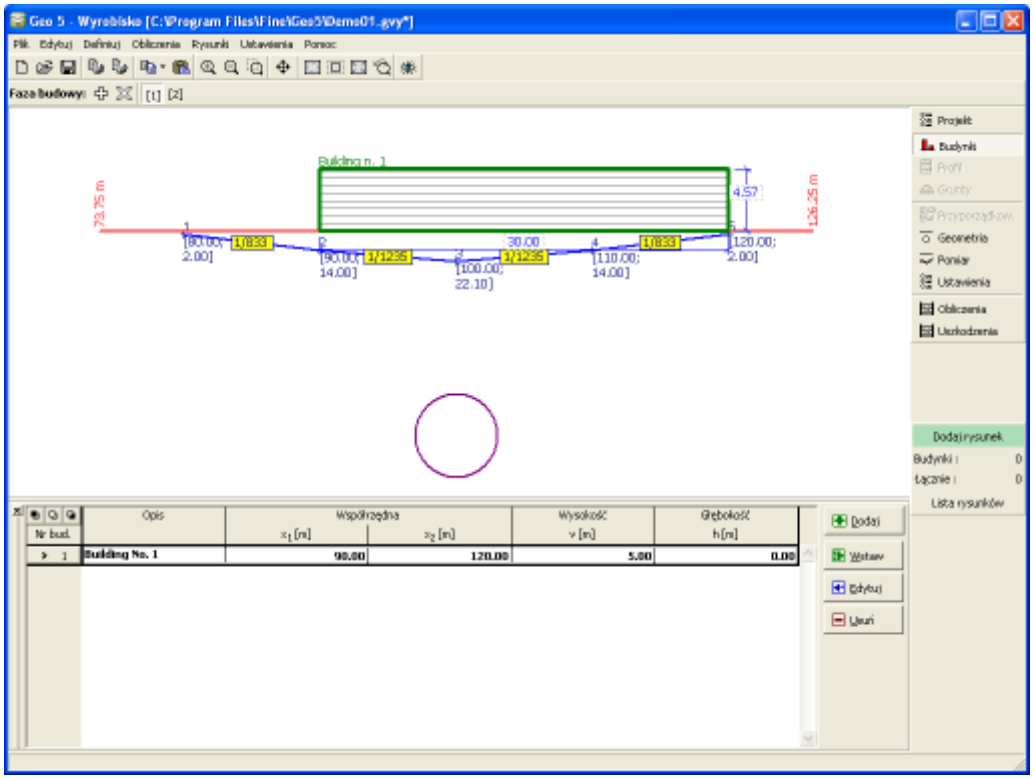
Ramka "**Ustawienia**" umożliwia wybór metody wyznaczania niecki osiadania (Straty objętości, Teorie klasyczne) oraz jej kształtu (Gauss, Aversin). Zakładka służy również do wprowadzania współczynnika obliczeń punktu przegięcia, (tylko dla teorii klasycznych), który wpływa na kształt niecki osiadań.



Ramka "Metody obliczeń"

Budynki

Ramka "**Budynki**" służy do definiowania obiektów ponad wyrobiskiem. Istnieje możliwość wprowadzenia dowolnej liczby budynków zarówno na powierzchni gruntu, jak i na danej głębokości.



Ramka "Budynki"

Profil

Ramka "**Profil**" zawiera tabelę z listą wprowadzonych warstw. Po zdefinowaniu poszczególnych warstw można edytować ich miąższość za pomocą aktywnych wymiarów.

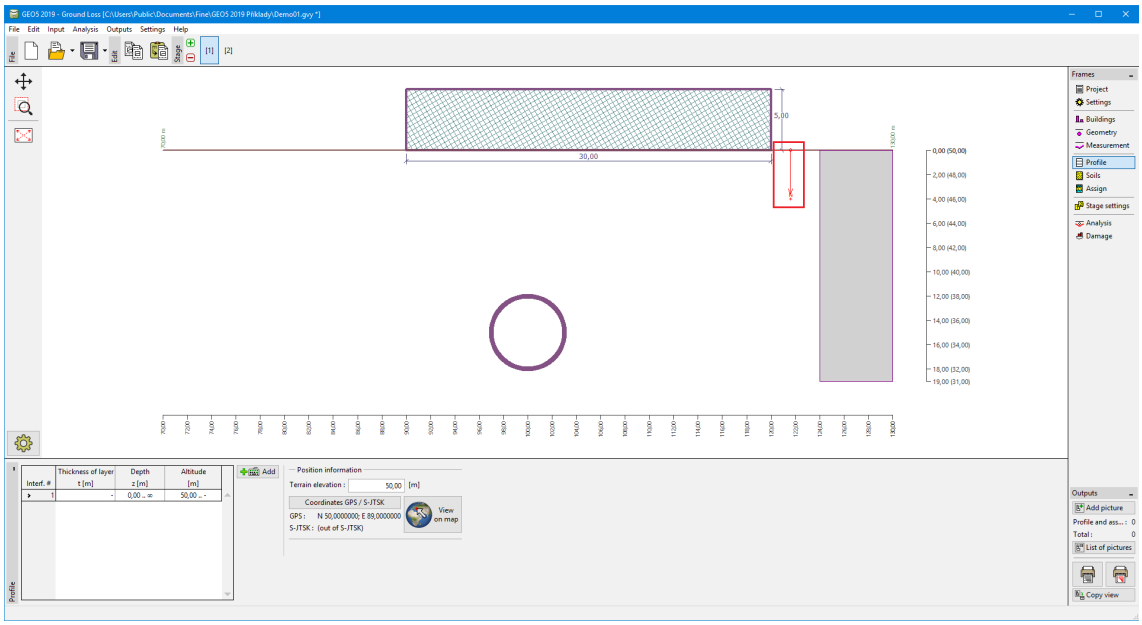
Dodawanie warstw wykonuje się w oknie dialogowym "**Nowa warstwa**". Definiowana jest rzędna z mierzona od górnego punktu konstrukcji (oś-z).

In this frame it is also possible to enter optional information about the structure location:

- **terrain elevation** - an altitude column for the layers is displayed in the table after input of terrain elevation
- **GPS coordinates** - it is possible to show a structure on the Google Maps using "**View on map**" button after input of coordinates.

Program umożliwia obniżenie lub podniesienie górnego punktu konstrukcji w oknie dialogowym "**Zmiana rzędnej terenu**", a zdefiniowane warstwy będą wówczas przesunięte, jednocześnie zachowując swoją miąższość. Funkcja ta jest istotna podczas kopiowania profilu z programu "**Teren**".

Wprowadzanie danych w ramce jest możliwe pod warunkiem, że **opcja obliczeń za pomocą teorii klasycznej** jest wybrana w ramce "Ustawienia".



Ramka "Profil"

Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

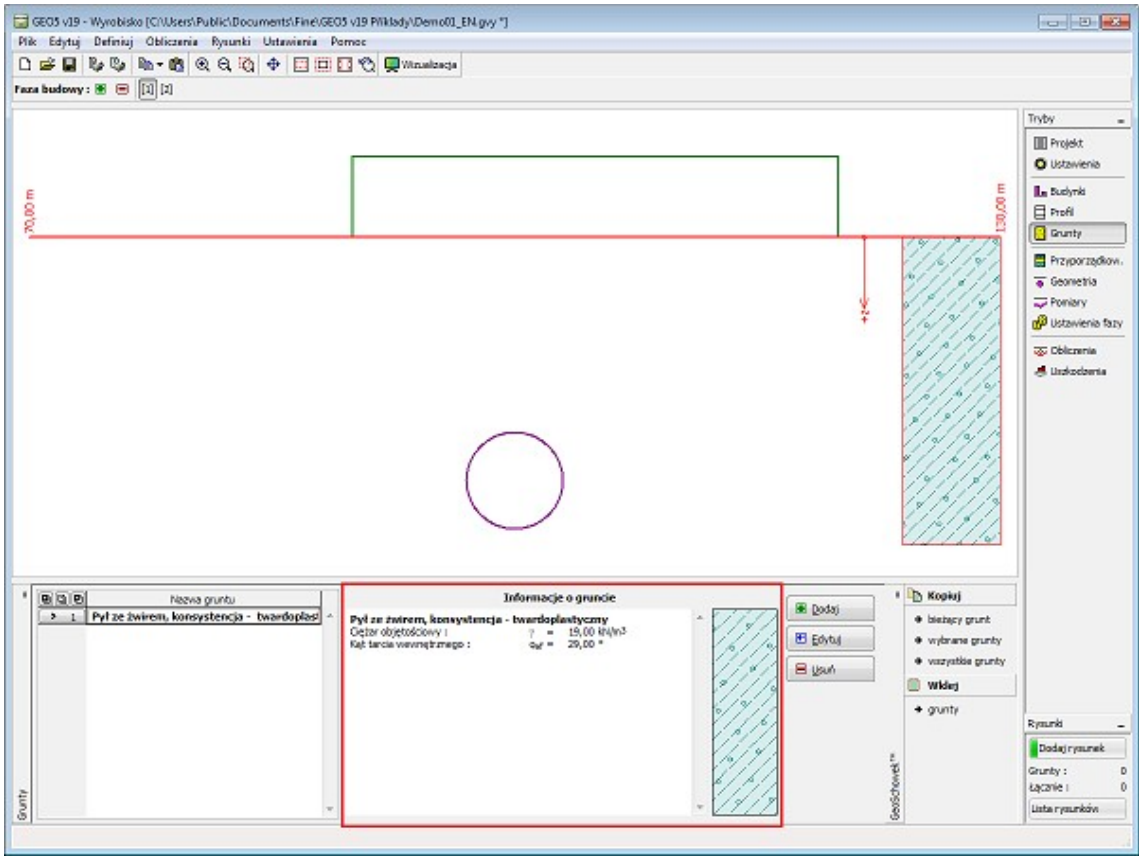
Dodawanie (edycja) gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Wprowadzanie danych w ramce jest możliwe pod warunkiem, że w ramce "Ustawienia" do

obliczeń wybrana zostanie **teoria klasyczna.** Wartości parametrów określane są na podstawie badań polowych lub laboratoryjnych dla każdego projektu indywidualnie. Jeśli dane te są nieosiągalne istnieje możliwość skorzystania z wbudowanej bazy gruntów, która zawiera wybrane wartości parametrów gruntów.

Szacunkowe wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności skał można znaleźć w rozdziale "Parametry skał".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



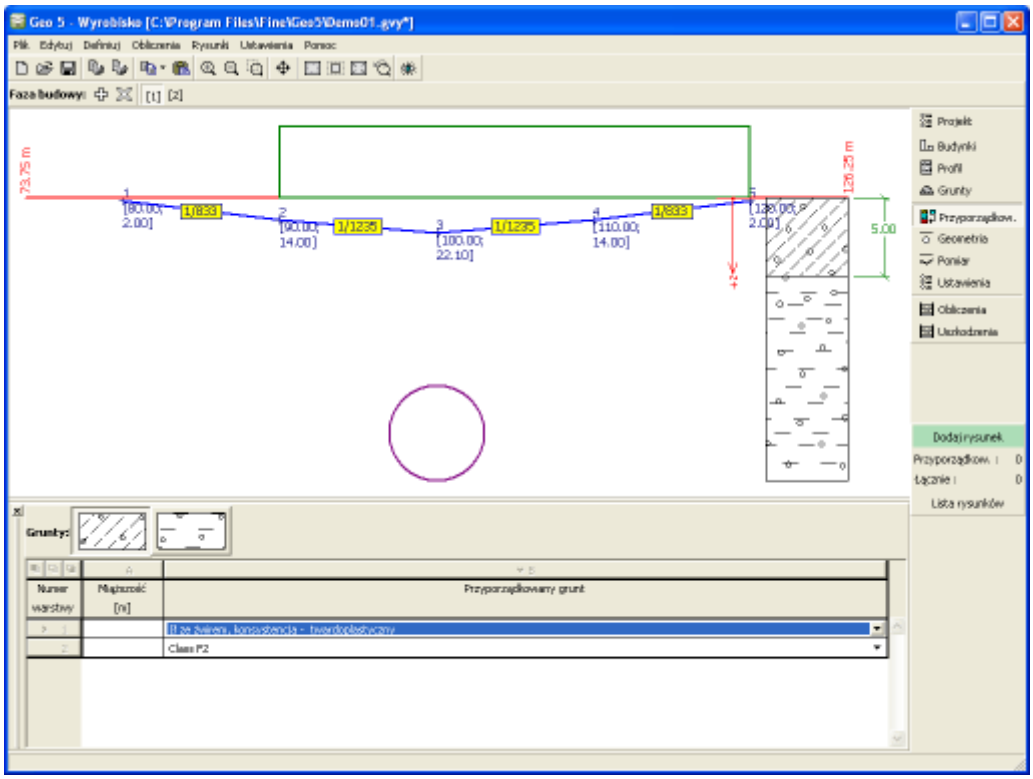
Ramka "Grunty"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i powiązanych z nimi gruntów. Lista zdefiniowanych gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą ikon na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w rozdziale "Przyporządkowanie gruntów"**.**

Wprowadzanie danych w ramce jest dozwolone zapewnienie klasycznej teorii analizy wybranych w ramce "Ustawienia".



Ramka "Przyporządkowanie"

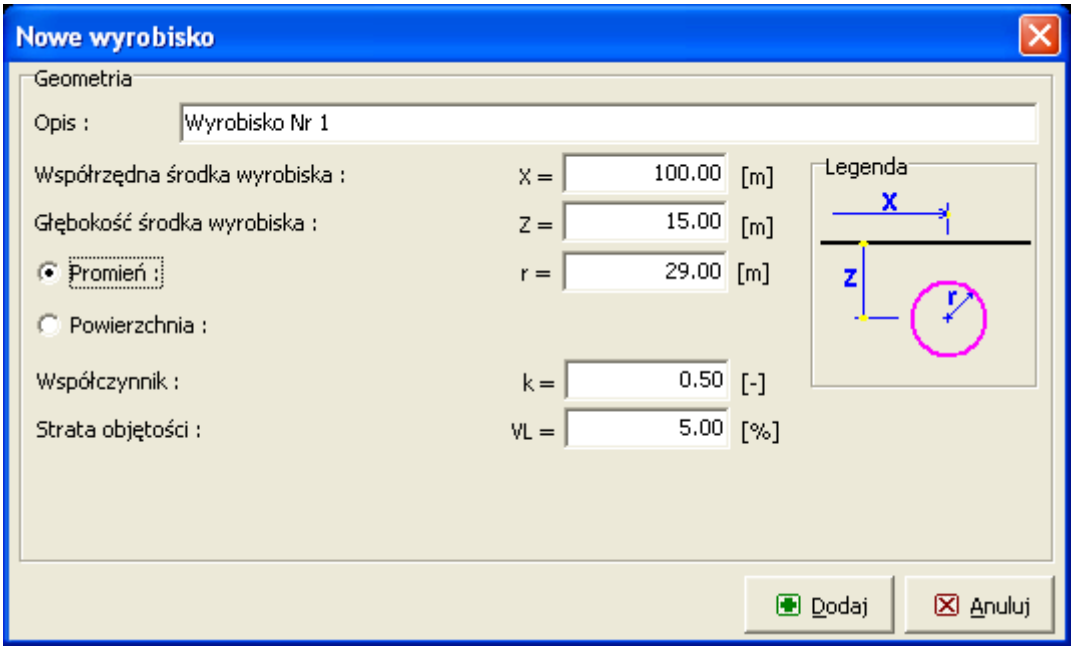
Geometria

Ramka "**Geometria**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych wyrobisk. Okno dialogowe "**Nowe wyrobisko**" służy do dodawania wyrobisk. Zdefiniowane wyrobiska można również modyfikować na ekranie za pomocą aktywnych obiektów.

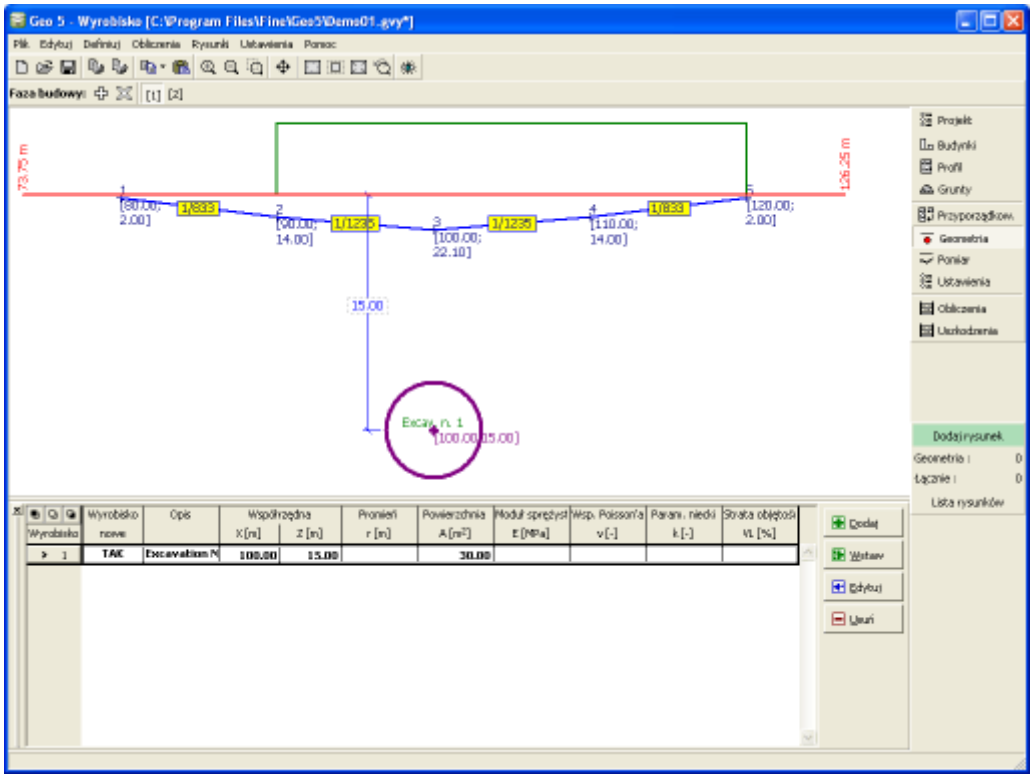
Parametry wyrobiska różnią się w zależności od metody obliczeń wybranej w ramce "Ustawienia"". Każde wyrobisko można określić za pomocą promienia lub powierzchni wyrobiska. Jeżeli wprowadzane jest wyrobisko sekwencyjne, przydatnym jest określenie powierzchni wyrobiska i umieszczenie fikcyjnego środka wyrobiska w środku ciężkości tego pola.

Dodatkowe parametry zostały omówione szczegółowo w rozdziałach dotyczących poszczególnych metod analizy ((Strata objętości, Teorie klasyczne).

Program umożliwia eksport geometrii konstrukcji w formacie *.DXF.



Okno dialogowe "Nowe wyrobisko"

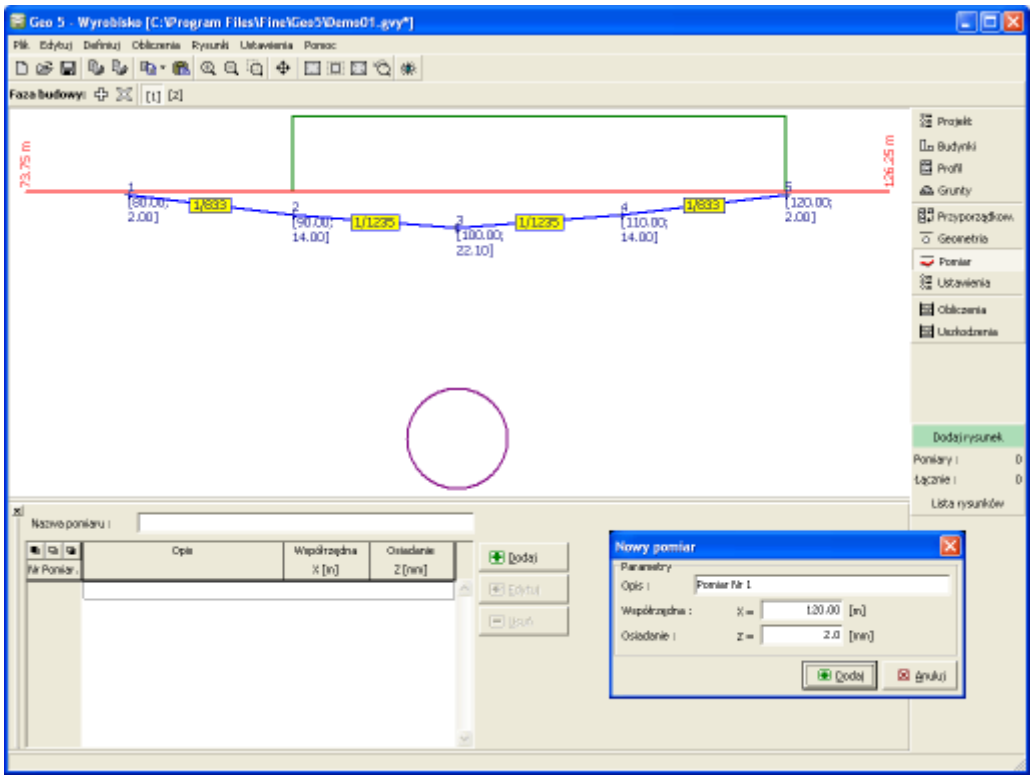


Ramka "Geometria"

Pomiar

Ramka "**Pomiar**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych punktów pomiarów. Okno dialogowe "**Nowy pomiar**" służy do dodawania punktów pomiarowych. Zdefiniowane punkty pomiarowe można również modyfikować na ekranie za pomocą aktywnych obiektów.

Zdefiniowane punkty pomiarowe **nie wpływają na rzeczywistą analizę** - ich wprowadzenie do programu wynikło wyłącznie z potrzeb projektantów. Po wykopaniu pierwszej części tunelu sekwencyjnego, przydatnym jest wprowadzenie do programu wartości zmierzonych na budowie, a następnie dodanie parametrów wejściowych wyrobiska, tak aby **obliczone i zmierzone wartości były identyczne**. Doświadczenie pokazuje, że wartości parametrów wejściowych uzyskane w tej procedurze (np. współczynnik strat objętości) są **ważne tylko dla następnych faz**.



Ramka "Pomiar"

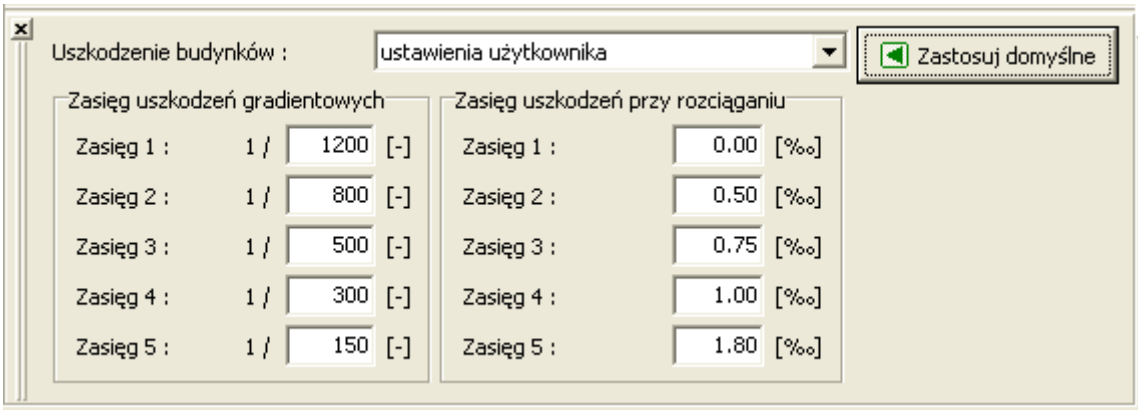
Ustawienia fazy

Ramka "**Ustawienia fazy**" służy do definiowania ustawień dotyczących tylko wybranej fazy obliczeniowej.

Ramka umożliwia wprowadzenie zasięgu uszkodzeń gradientowych oraz uszkodzeń przy rozciąganiu.

Wartości te służą do weryfikowania uszkodzeń budynku w ramce "Uszkodzenia". Program oferuje ustawienia domyślne (ustawienia domyślne dla **budynków z cegły**) oraz ustawienia użytkownika - istnieje tutaj możliwość zdefiniowania dowolnych kryteriów zalecanych przez normy bądź uzyskanych na podstawie doświadczenia dla dowolnych typów budynków.

Wartości zasięgu muszą być zdefiniowane odpowiednio w kolejności malejącej lub rosnącej. Jeżeli chcemy zdefiniować mniej obszarów aniżeli określono w programie, istnieje wówczas możliwość scharakteryzowania pewnych zasięgów tą samą wartością.

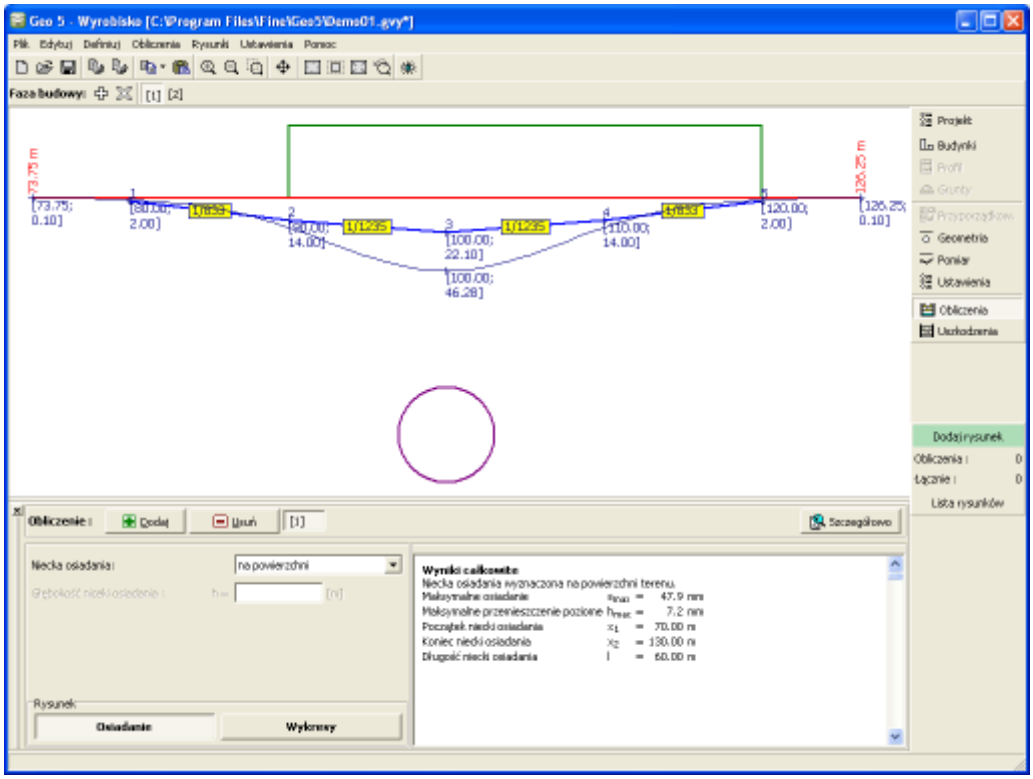


Ramka "Ustawienia"

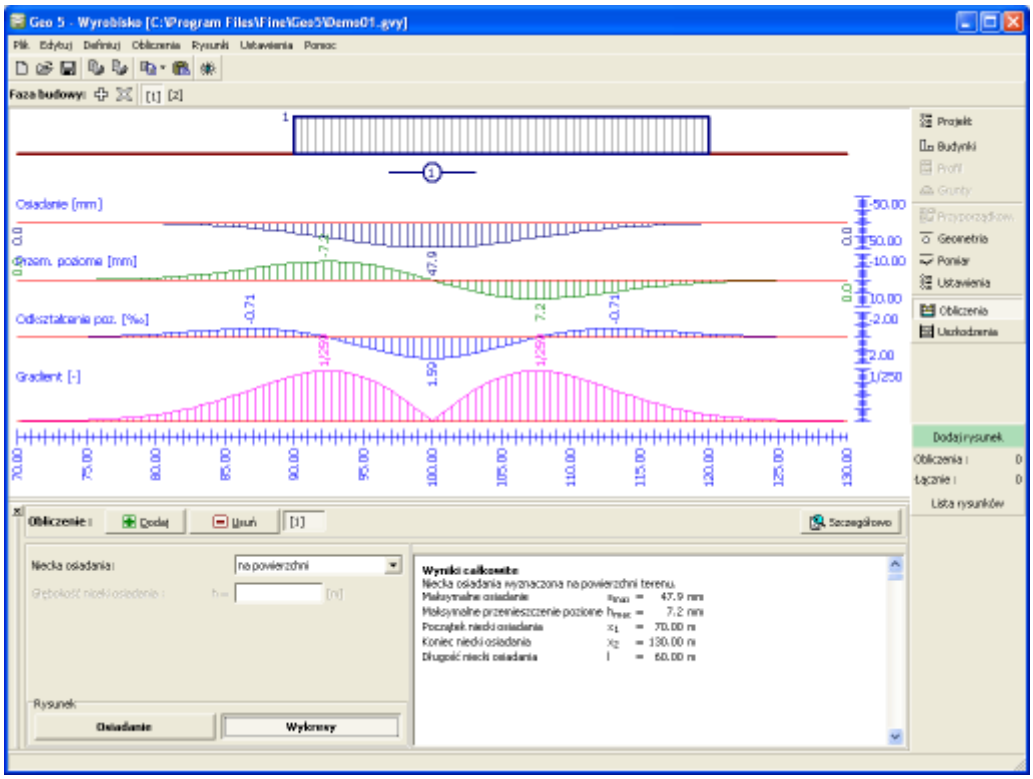
Obliczenia

Ramka "**Obliczenia**" przedstawia wyniki obliczeń niecki osiadania. Dla jednego zadania można przeprowadzić więcej niż jedną analizę na różnych głębokościach poniżej powierzchni terenu. Obliczone wartości są wyświetlane na ekranie i stale aktualizowane po wprowadzeniu w ramce pewnych zmian we wprowadzonych wartościach lub ustawieniach.

W celu szybkiego przełączania pomiędzy różnymi stylami graficznej prezentacji wyników (**niecka osiadania, rozkład wartości**), istnieje możliwość użycia przycisków wyboru w części "**Wizualizacja**". Wizualizację wyników można ustawić w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Obliczenia" - "Osiadanie"



Ramka "Obliczenia" - "Wykresy"

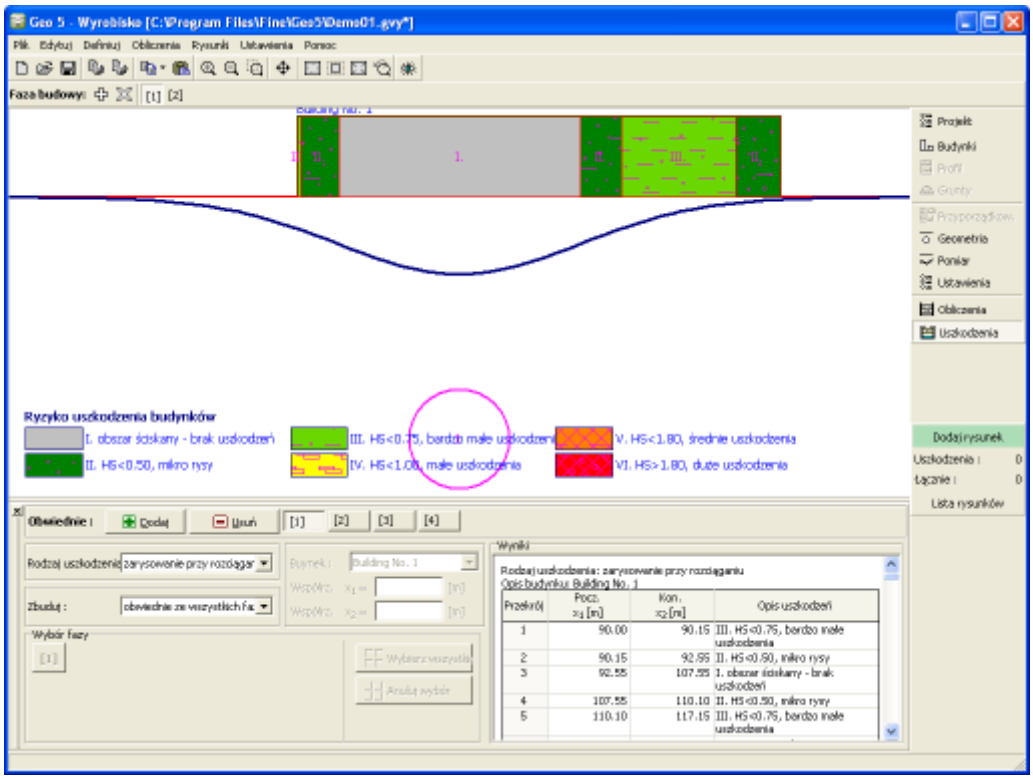
Uszkodzenia

Ramka "**Uszkodzenia**" przedstawia wyniki analizy uszkodzeń budynków. W programie mozna przeprowadzić weryfikację czterech następujących warunków:

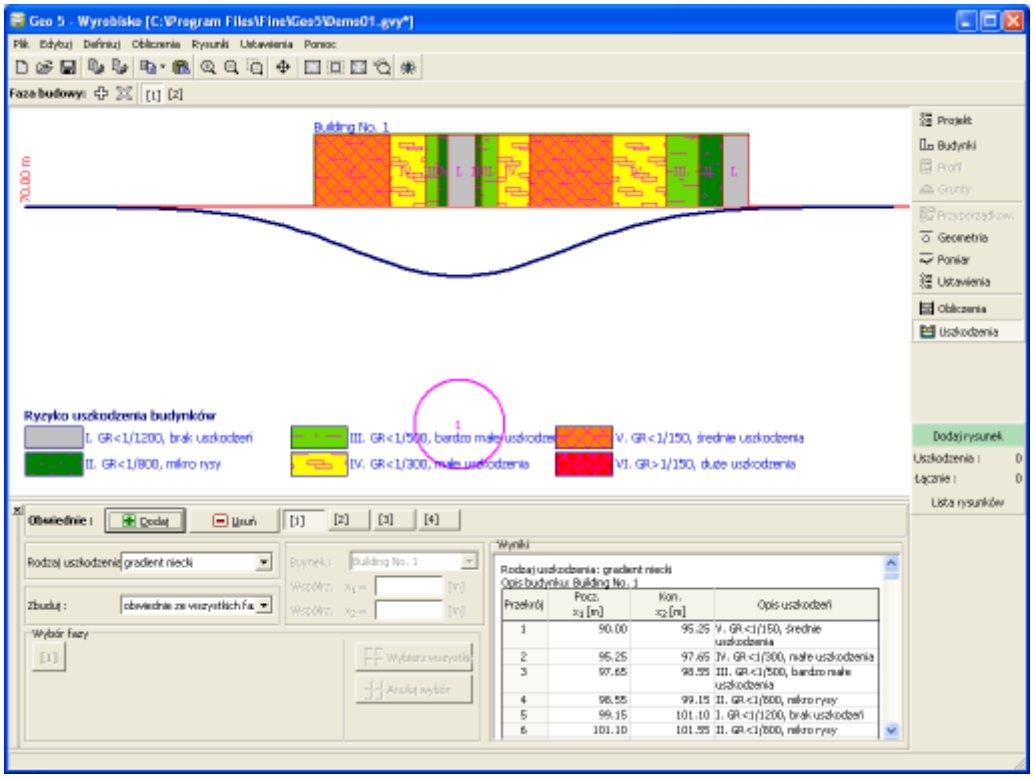
- weryfikacja zarysowań przy rozciąganiu
- weryfikacja gradientu niecki
- weryfikacja względnego przemieszczenia budynków (przegięcie, ugięcie)
- weryfikacja wprowadzonej sekcji budynku

Program umożliwia użytkownikowi przeprowadzenie analizy dla bieżącej fazy budowy oraz wszystkich poprzednich faz (**obwiednie ze wszystkich faz**) lub istnieje możliwość wprowadzenia poszczególnych faz i oceny ich wpływu. Taka procedura umożliwia znalezienie np. optymalnego procesu wykopu tuneli sekwencyjnych.

Dla jednego zadania można przeprowadzić kilka analiz. Wizualizację wyników można ustawić w ramce "Konfiguracja rysunku".



Ramka "Uszkodzenia" - wizualizacja zarysowań przy rozciąganiu



Ramka "Uszkodzenia" - wizualizacja gradientu niecki

Program Teren

Program ten służy do tworzenia numerycznego modelu terenu (NMT) na podstawie zdefiniowanych punktów i odwiertów. Wyznacza ponadto objętości mas ziemnych w wykopach oraz służy jako menadżer zadań dla innych programów GEO5.

Pomoc w programie "Teren" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

Projekt	Dane podstawowe	Grunty	Przyporządkowanie	Punkty	Krawędzie	Woda
Odwierty	Niwelacja terenu	Budowa	Generuj	Budowy Punktowe	Budowy liniowe	Aktywacja

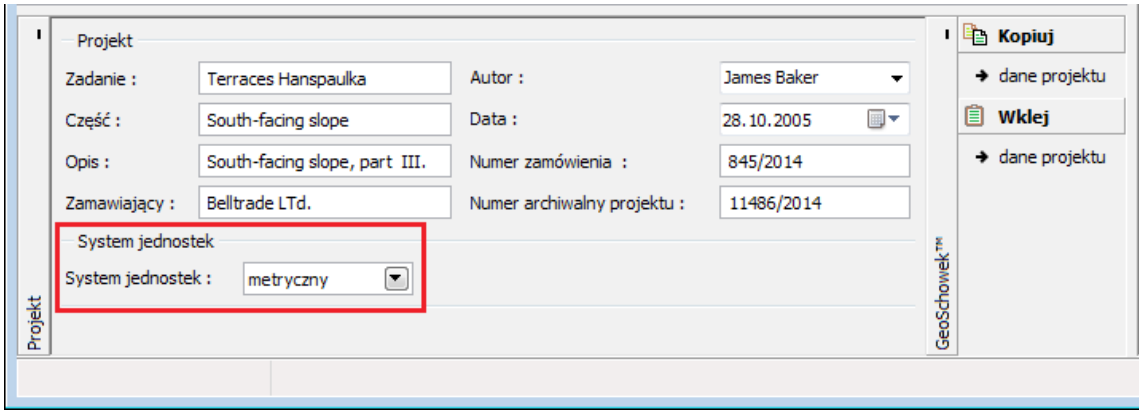
- Normy i metody obliczeniowe
- Dane wyjściowe
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Projekt

Ramka "**Projekt**" stosuje się do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz zdefiniowania ogólnych ustawień obliczeń. Zakładka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje o projekcie, opis projektu, data, itp. Informacje te są później wykorzystywane w wydrukach graficznych i tekstowych.

W tym trybie definiowania przyjęte ustawienia można modyfikować jedynie w pierwszej fazie budowy.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Dane podstawowe

Ramka "**Podstawowe dane**" służy do wprowadzania podstawowych parametrów zadania.

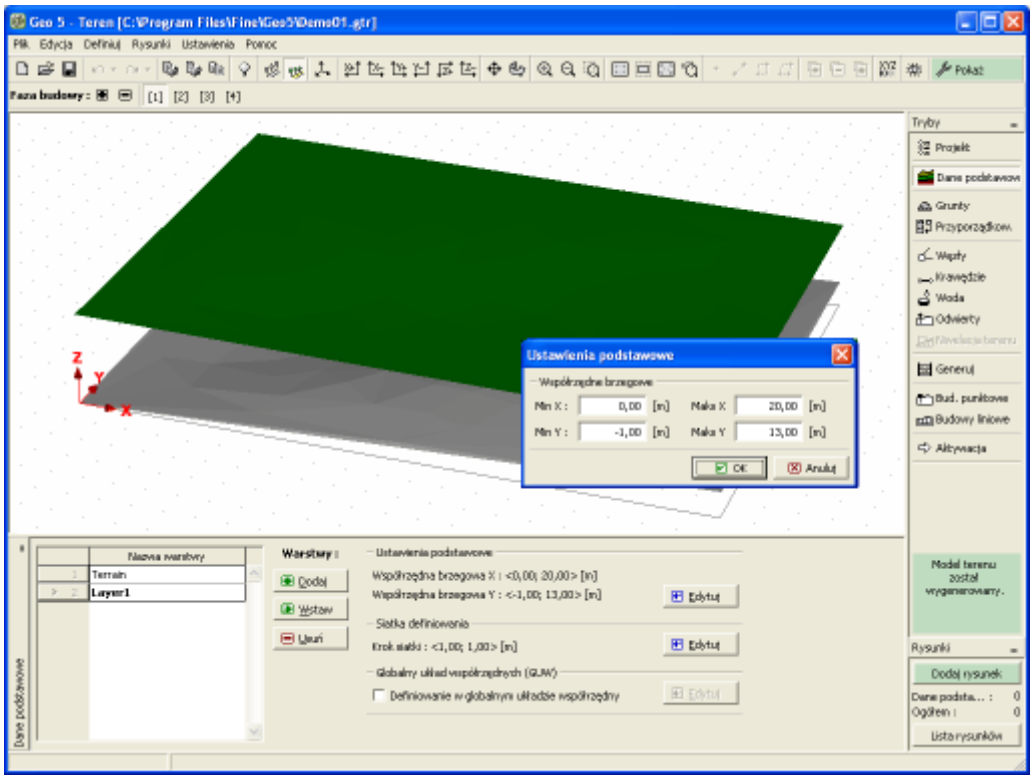
Ramka zawiera tabelę z listą określonych warstw. Warstwy można dodawać, wstawiać lub usuwać za pomocą przycisków po prawej stronie tabeli. Pierwszej warstwy nie można ani usunąć, ani też nie można wstawić przed nią innej warstwy.

Zaznaczenie pozycji "**Definiowanie w globalnym układzie współrzędnych**" zapewnia sposób na wprowadzanie danych w globalnym układzie współrzędnych (JTSK, Gauss-Krüeger).

W liście rozwijanej "**Sposób definiowania warstw**" istnieje możliwość określenia sposobu definiowania warstw. Warstwy mogą być definiowane za pomocą ich miąższości lub za pomocą punktów.

W tym trybie definiowania przyjęte ustawienia można modyfikować jedynie w pierwszej fazie budowy.

Wizualizacja rysunku na ekranie może być modyfikowana w dowolnym trybie definiowania na podstawie ustawień skonfigurowanych w ramce "Konfiguracja rysunku" oraz za pomocą przycisków na pasku narzędzi "Wizualizacja".



Ramka "Dane podstawowe"

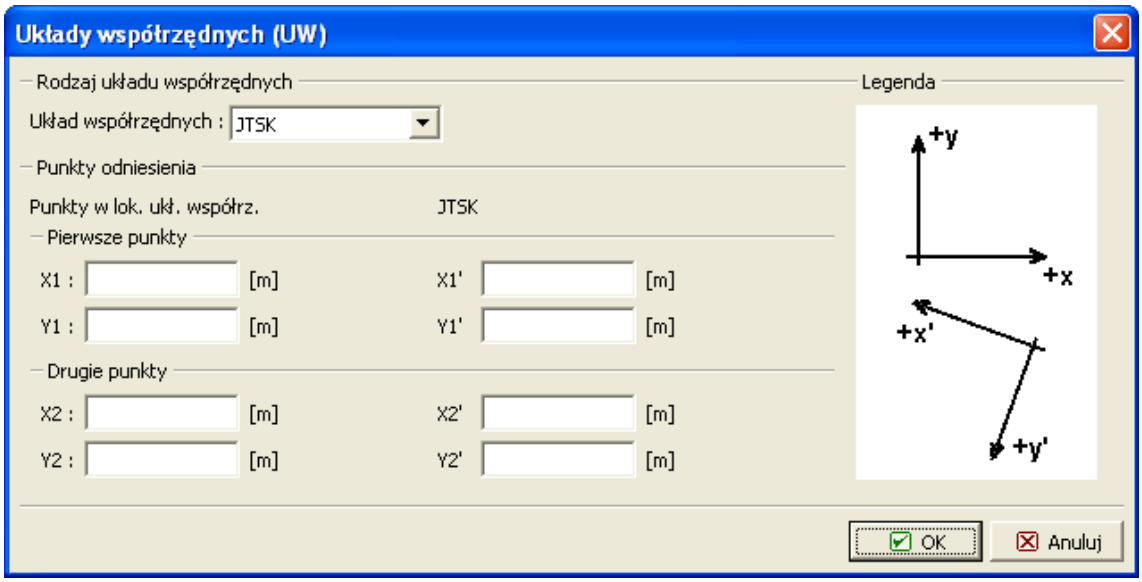
Globalny układ współrzędnych

Okno dialogowe "**Układy współrzędnych**" pozwala definiować rodzaj globalnego układu współrzędnych.

Kluczową zaletą jest możliwość określania współrzędnych punktów i odwiertów w lokalnym i globalnym układzie współrzędnych oraz przełączania się pomiędzy tymi układami.

Orientacja globalnego układu współrzędnych w odniesieniu do lokalnego układu jest definiowana za pomocą dwóch punktów, gdzie jeden jest zawsze wprowadzany w lokalnym układzie współrzędnych, a jego obraz w globalnym układzie współrzędnych.

Kierunek i konwencja znaków jest wyświetlana dla każdego globalnego układu współrzędnych w legendzie.



Okno dialogowe "Układy współrzędnych"

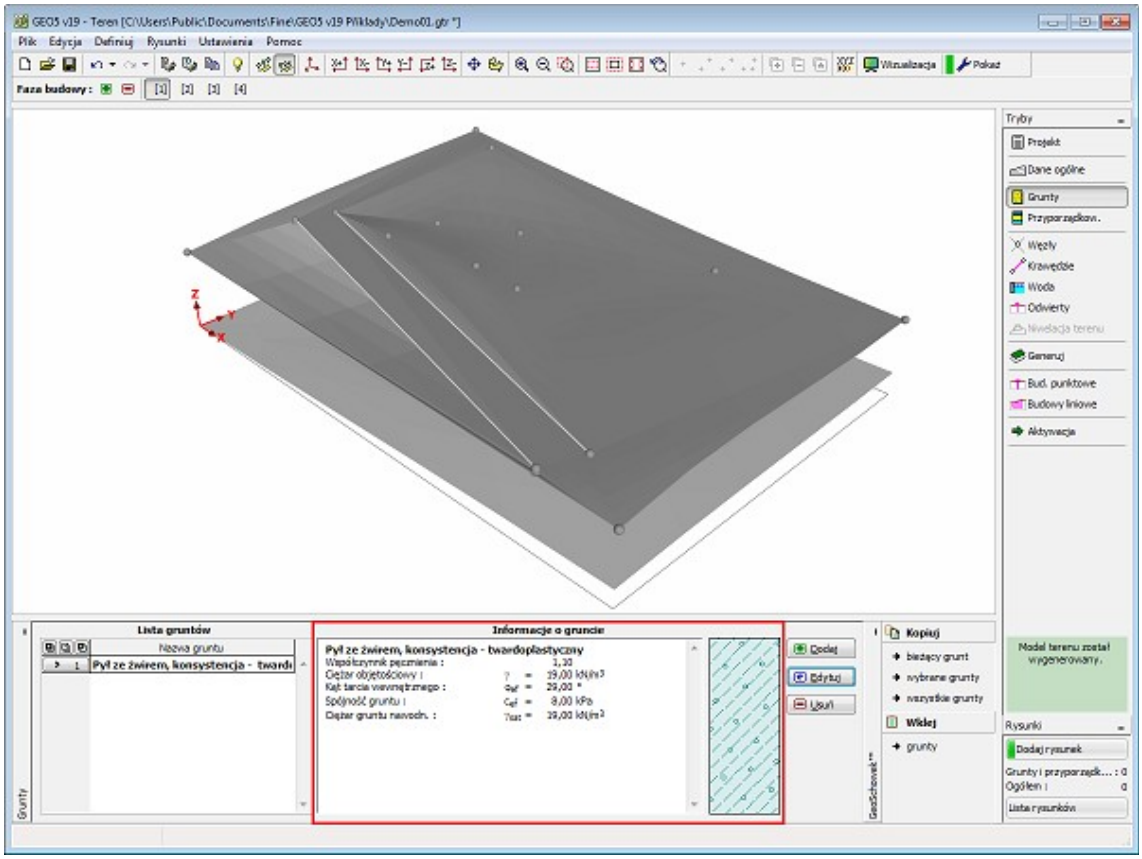
Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie gruntów wykonywane jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Program "**Teren**" wymaga jedynie określenia współczynnika pęcznienia w celu obliczenia objętości wykopów lub nasypów. Pozostałe dane są stosowane tylko w celu umożliwienia eksportu do innych programów GEO i nie mają wpływu na rzeczywiste obliczenia wykonywane w programie "**Teren**".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



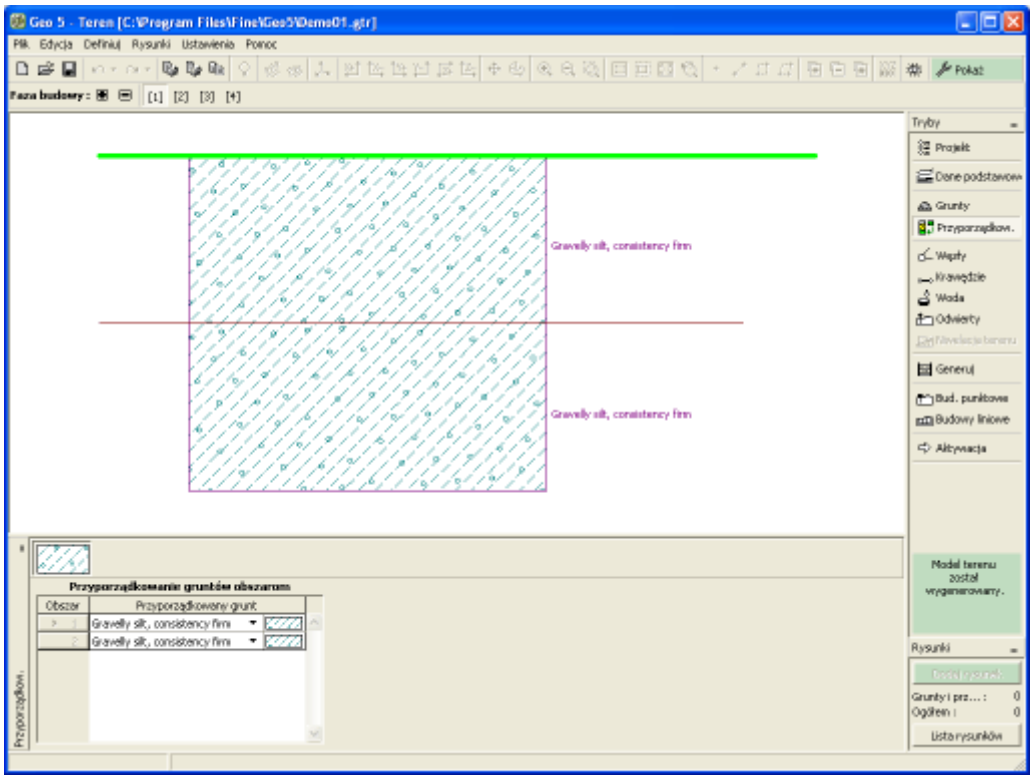
Ramka "Grunty"

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu oraz skojarzone grunty. Lista gruntów jest graficznie przedstawiona za pomocą przycisków na pasku ponad tabelą lub jest dostępna z rozwijanej listy dla każdej warstwy profilu.

Procedura przyporządkowania gruntu do warstwy została szczegółowo opisana w dalszej części pomocy.

W kolejnych fazach budowy program automatycznie dodaje nową warstwę, do której grunt przylegający do terenu jest automatycznie przyporządkowywany. W wielu przypadkach (wykopy) warstwa ta może nie mieć objętości - jej wprowadzenie jest konieczne, jeżeli nowy teren znajduje się ponad terenem poprzedniej fazy. Grunt jest zawsze przyporządkowany, ponieważ nie ma możliwości oszacowania a priori, czy pewna część terenu w nowej fazie będzie znajdować się nad pierwotnym terenem.



Ramka "Przyporządkowanie"

Punkty

Ramka "**Punkty**" służy do definiowania współrzędnych punktów terenu. Dostępne są dwie opcje określania współrzędnych poszczególnych punktów:

Za pomocą tabeli: punkty są definiowane w tabeli. Naciśnięcie przycisku "**Dodaj**" otwiera okno dialogowe "**Nowy punkt**"; współrzędne punktów są następnie określane i poprzez naciśnięcie przycisku "**Dodaj**" dodawane do tabeli. Istnieje możliwość zdefiniowania dowolnej liczby punktów w ten sposób. Przycisk "**Anuluj**" stosuje się do zamknięcia okna. Punkty można dalej modyfikować (w oknie dialogowym) za pomocą przycisku "**Edytuj**" lub usunąć za pomocą przycisku "**Usuń**" (istnieje możliwość zaznaczenia kilku punktów w tabeli w celu jednoczesnego usunięcia - przed usunięciem zaznaczona punkty są wyświetlane na ekranie w kolorze **czerwonym**). Każda zmiana jest natychmiast odzwierciedlana na ekranie.

Za pomocą myszy: ten tryb wprowadzania włącza się poprzez naciśnięcie odpowiedniego przycisku na poziomym pasku. Dostępne są odpowiednie opcje:

Dodaj

- w celu wprowadzenia punktu należy kliknąć lewym przyciskiem myszy na ekranie (kursor myszy zmienia się - patrz rysunek) - program następnie otwiera okno dialogowe "**Nowy punkt**", które umożliwia modyfikację współrzędnych punktu lub wprowadzenie współrzędnej Z - po naciśnięciu przycisku "OK" program dodaje punkt do tabeli. Jeżeli nie można dodać punktu (np. powielanie współrzędnych), program wyświetla komunikat ostrzegawczy;
- istnieje również możliwość użycia funkcji siatki przy określaniu punktu,

Edytuj

- kliknięcie już istniejącego punktu (patrz aktywne obiekty) lewym przyciskiem myszy otwiera okno dialogowe "**Edycja punktu**", które

umożliwia edycję współrzędnych punktu - w oknie tym można używać następujących przycisków ("**OK+↑** " i "**OK+↓**");

Usuń
- kliknięcie punktu lewym przyciskiem myszy otwiera okno dialogowe, które żąda potwierdzenia usunięcia wybranego punktu;

Wybierz
- włącza tryb graficznego wybierania punktów (typ wyboru ustawia się na pasku narzędzi "Zaznaczanie").

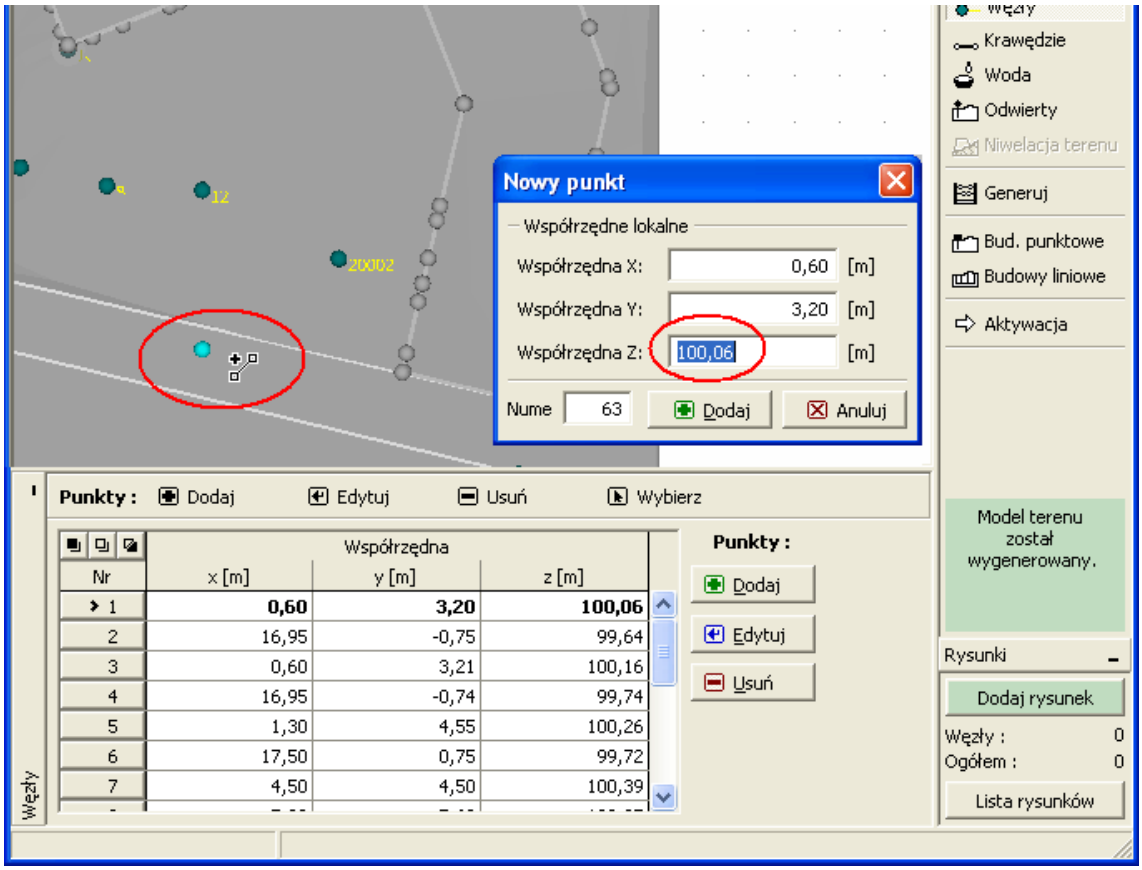
Wybrane punkty można również importować z plików w formatach **TXT**, **Atlas DMT**, DXF oraz LandXML.

Program umożliwia import dalszych punktów i krawędzi do bieżącego zadania (np. w kolejnych fazach budowy).

Podczas definiowania punktów program w niektórych przypadkach automatycznie oblicza ich współrzędne-Z. Tylko jeden punkt można przypisać do jednej pary współrzędnych X, Y.

W przypadku gdy w ramce "Podstawowe dane" wybrana zostanie opcja definiowania warstw za pomocą "**Punktów warstw**" pasek narzędzi "**Punkty**" zawiera listę rozwijaną "**Warstwy**". Lista ta służy do dokonania wyboru warstwy, do której punkty zostaną wprowadzone (dodane).

Wizualizację rysunku na pulpicie można modyfikować w dowolnym trybie definiowania na postawie ustawień wprowadzonych w ramce "Konfiguracja rysunku" oraz za pomocą przycisków na paskach narzędzi "Wizualizacja".

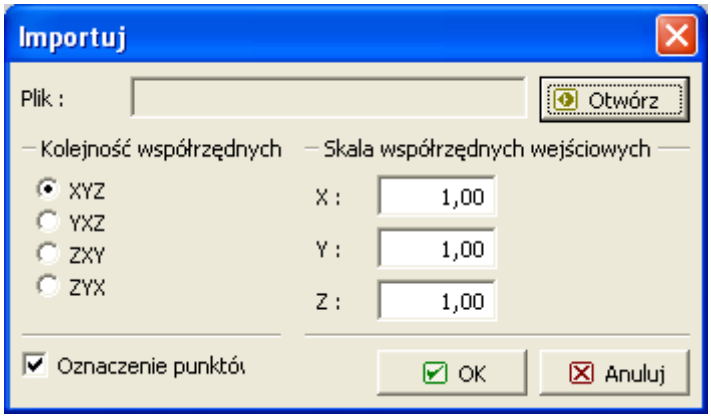


Ramka "Punkty"

Import punktów

Program umożliwia import danych w formatach DXF, LandXML, ATLAS DMT i ASCII. Podczas importu**, wszystkie stare dane** są usuwane i zastępowane nowymi. Wymiary obszaru są automatycznie wyznaczane zgodnie z minimalnymi i maksymalnymi wartościami współrzędnych x i y - zatem, zaleca się dostosowanie wymiarów obszaru w ramce "Dane podstawowe".

Program umożliwia importowanie **danych ASCII z odpowiednich plików**. Każdy punkt jest zapisany w oddzielnym wierszu pliku, współrzędne są oddzielone spacją lub tabulatorem. Jeżeli plik zawiera najpierw nazwę dla każdego punktu, istnieje wówczas konieczność zaznaczenia pozycji "**Oznaczenie punktów**". W oknie dialogowym należy następnie określić kolejność współrzędnych. Jeżeli dane posiadają przeciwną konwencję znaków, można pomnożyć odpowiedni wiersz przez wartość -1. Import danych jest przeprowadzany po naciśnięciu przycisku "**OK**".



Okno dialogowe "Import" - format "TXT"



Okno dialogowe "Import danych formatu Atlas"

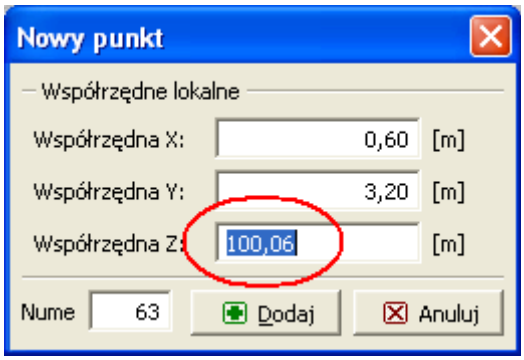
Automatyczne obliczanie wysokości

Podczas definiowania punktów, odwiertów oraz punktów zwierciadła wody gruntowej program w niektórych przypadkach automatycznie oblicza wysokość punktu (współrzędną z), jak również miąższość warstwy. Funkcja ta jest szczególnie przydatna podczas edytowania terenu lub warstw.

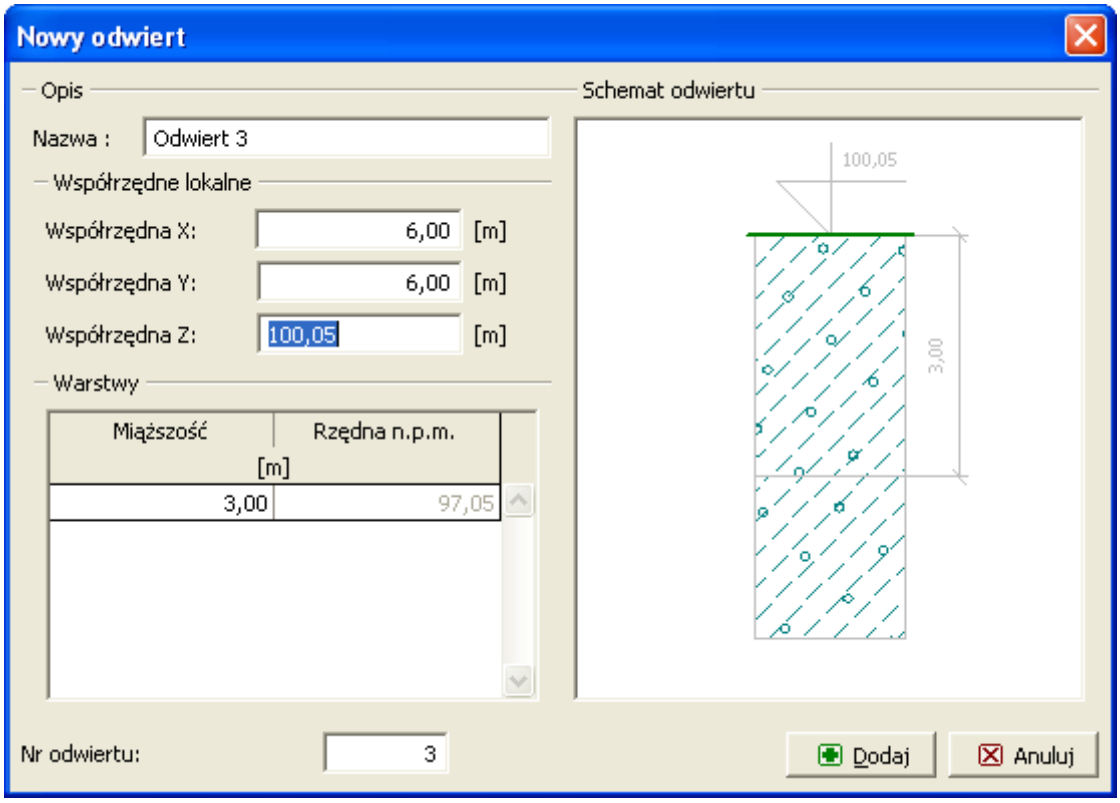
Możliwość obliczania wysokości zależy od **statusu generowanego terenu**:

- jeżeli żaden teren nie jest wygenerowany, wówczas wysokość nie jest obliczana, a odpowiednie pole pozostaje puste;
- jeżeli teren jest wygenerowany dla aktualnych danych (wyświetlane na ekranie w trybie nieprzezroczystym oraz w trybach **Generuj, Budowy punktowe, Budowy liniowe** oraz **Aktywacja** także w trybie kolorowym), wymagane wartości są wówczas automatycznie obliczane na podstawie modelu terenu - dla punktu jest to współrzędna z, dla odwiertu program dalej wyznacza miąższość warstwy oraz ewentualnie głębokość zwierciadła wody gruntowej - kiedy punkt lub odwiert jest określony, zmienia się stan generowanego terenu, a rysunek jest przełączany do trybu przezroczystego (teren jest generowany dla pierwotnych danych wejściowych, a nie dla bieżących);
- kiedy teren jest generowany, ale nie jest aktualnym terenem, współrzędne z i miąższości warstw są obliczane automatycznie dla ostatniego wygenerowanego terenu.

Informacje dotyczące statusu terenu (nie wygenerowany, wygenerowany, wygenerowany dla pierwotnych danych) są wyświetlane na pionowym pasku narzędzi. Ramka "**Generuj**" umożliwia generowanie terenu lub usuwanie wygenerowanego modelu.



Okno dialogowe - dodaj nowy punkt i oblicz współrzędną Z



Okno dialogowe - dodaj nowy odwiert i oblicz współrzędną Z, głębokość ZWG oraz miąższość warstwy

Krawędzie

Ramka "**Krawędzie**" służy do wprowadzania krawędzi łączących punkty terenu. Do definiowania krawędzi dostępne są dwie opcje:

Za pomocą tabeli: krawędzie są definiowane w tabeli. Naciśnięcie przycisku "**Dodaj**" otwiera okno dialogowe "**Nowa krawędź**"; kolejne liczby punktów początkowych i końcowych są następnie określane i poprzez naciśnięcie przycisku "**Dodaj**" dodawane do tabeli. Istnieje możliwość zdefiniowania dowolnej liczby krawędzi w ten sposób. Przycisk "**Anuluj**" stosuje się do zamknięcia okna. Krawędzie można dalej modyfikować (w oknie dialogowym) za pomocą przycisku "**Edytuj**" lub usunąć za pomocą przycisku "**Usuń**" (istnieje możliwość zaznaczenia kilku krawędzi w tabeli w celu jednoczesnego usunięcia - przed usunięciem zaznaczona krawędzie są wyświetlane na ekranie w kolorze **czerwonym**). Każda zmiana jest natychmiast odzwierciedlana na ekranie.

Za pomocą myszy: ten tryb wprowadzania włącza się poprzez naciśnięcie odpowiedniego przycisku na poziomym pasku. Dostępne są odpowiednie opcje:

Dodaj
- w celu wprowadzenia krawędzi należy kliknąć lewym przyciskiem myszy na punktach początkowym i końcowym (kursor myszy zmienia się - patrz rysunek) - po kliknięciu punktu końcowego program dodaje odpowiednią krawędź do tabeli i jednocześnie wyświetla ją na ekranie. Jeżeli nie można dodać punktu (np. powielanie, krzyżowanie), program wyświetla komunikat ostrzegawczy;

Edytuj
- kliknięcie już istniejącej krawędzi (patrz aktywne obiekty) lewym przyciskiem myszy otwiera okno dialogowe "**Edytuj krawędź**", które

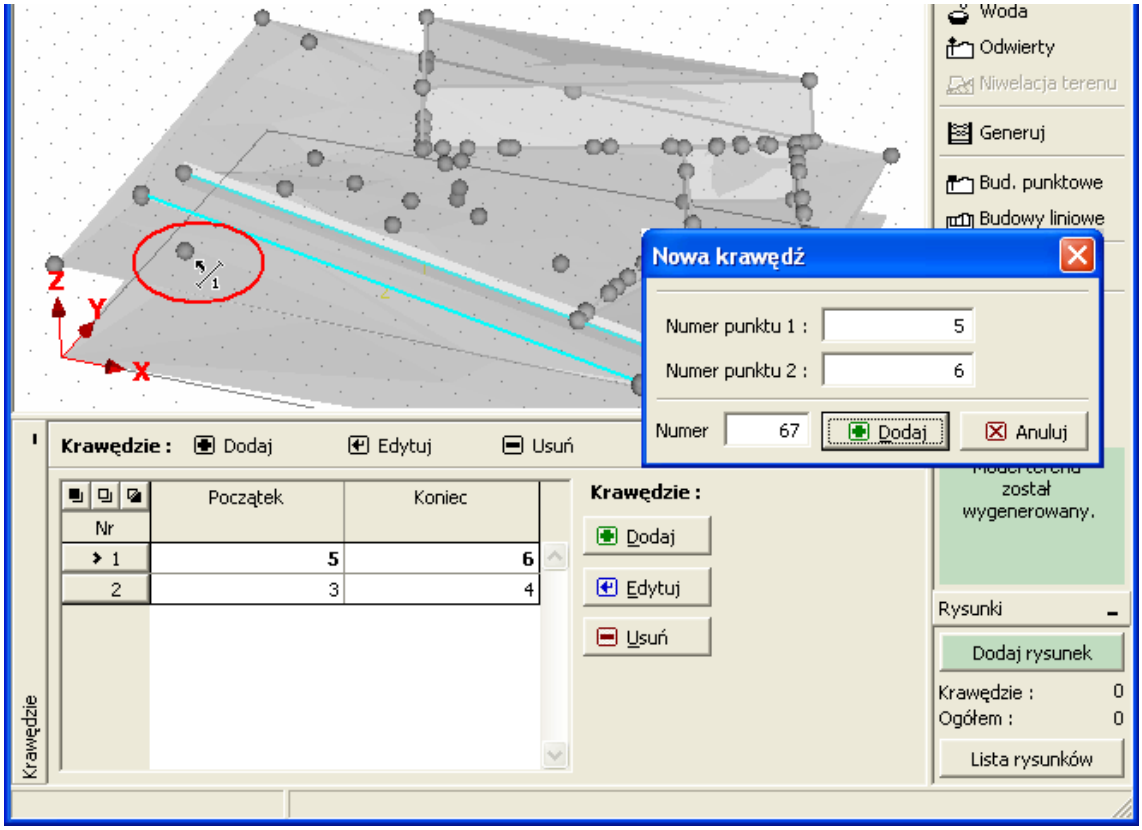
umożliwia edycję kolejnych numerów punktów początkowego i końcowego - w oknie tym można używać następujących przycisków ("**OK+↑** " i "**OK+↓**")

Usuń
- kliknięcie punktu lewym przyciskiem myszy otwiera okno dialogowe, które żąda potwierdzenia usunięcia wybranej krawędzi;

Wybierz
- włącza tryb graficznego wybierania punktów (typ wyboru ustawia się na pasku narzędzi "Zaznaczanie").

Krawędzie nie mogą przecinać innych krawędzi ani niwelacji terenu. Pomiędzy dwoma punktami może być zdefiniowana tylko jedna krawędź.

Wizualizację rysunku na pulpicie można modyfikować w dowolnym trybie definiowania na postawie ustawień wprowadzonych w ramce "Konfiguracja rysunku" oraz za pomocą przycisków na paskach narzędzi "Wizualizacja".



Ramka "Krawędzie"

Woda

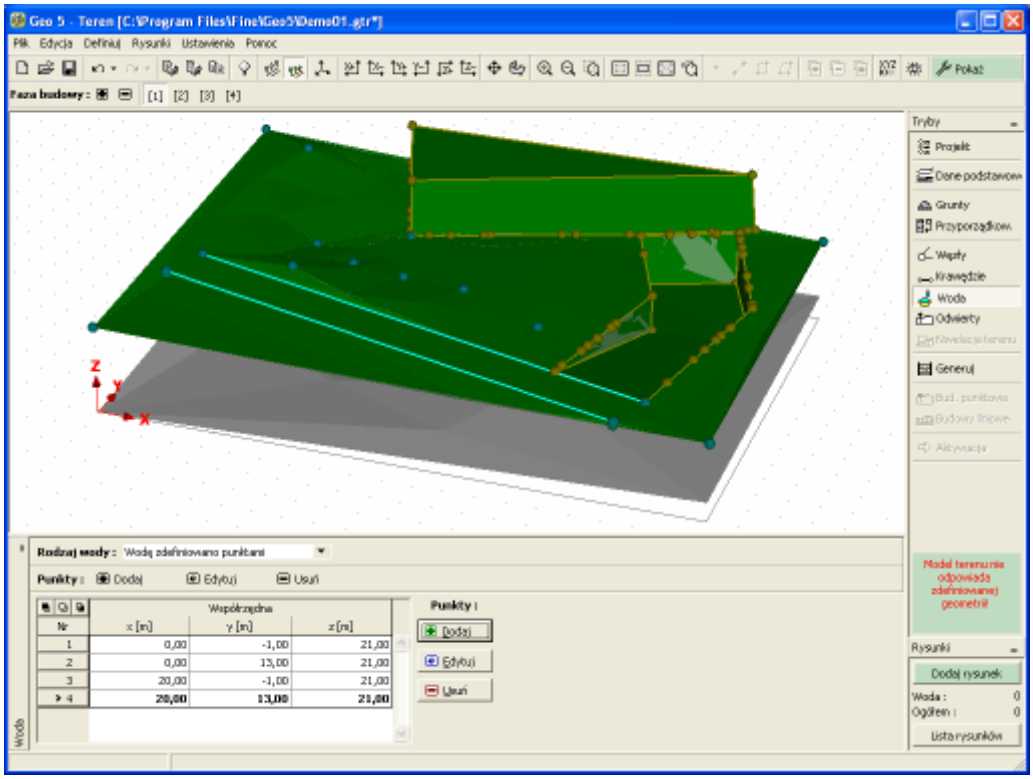
Ramka "**Woda**" służy do określania zwierciadła wody gruntowej (ZWG). Rozwijana lista "**Rodzaj wody**" zawiera następujące pozycje:

- **Nie zdefiniowano wody** - woda nie została określona.
- **Wodę zdefiniowano punktami** - punkty zwierciadła wody gruntowej definiuje się w tabeli w ten sam sposób, jak punkty terenu. Podejście to jest szczególnie przydatne w przypadku poziomego zwierciadła wody - następnie, wystarczy zdefiniować tylko jeden punkt o danej współrzędnej Z, a program automatycznie wygeneruje poziomą linię reprezentującą zwierciadło wody gruntowej.

- **Wodę zdefiniowano w odwiertach** - woda gruntowa jest definiowana pomiędzy odwiertami. Dana głębokość zwierciadła wody gruntowej mierzona od powierzchni terenu jest określana. Podejście to jest przydatne, kiedy dostępne są odwierty ze zmierzoną głębokością zwierciadła wody gruntowej.

Wizualizację rysunku na pulpicie można modyfikować w dowolnym trybie definiowania na postawie ustawień wprowadzonych w oknie dialogowym "Ustawienie stylu wizualizacji" oraz za pomocą przycisków na paskach narzędzi "Wizualizacja 3D", "Skala i przesunięcie", "Zaznaczenia" i "Ustawienie kreślenia".

Wizualizację rysunku na pulpicie można modyfikować w dowolnym trybie definiowania na postawie ustawień wprowadzonych w ramce "Konfiguracja rysunku" oraz za pomocą przycisków na paskach narzędzi "Wizualizacja".



Ramka "Woda"

Odwierty

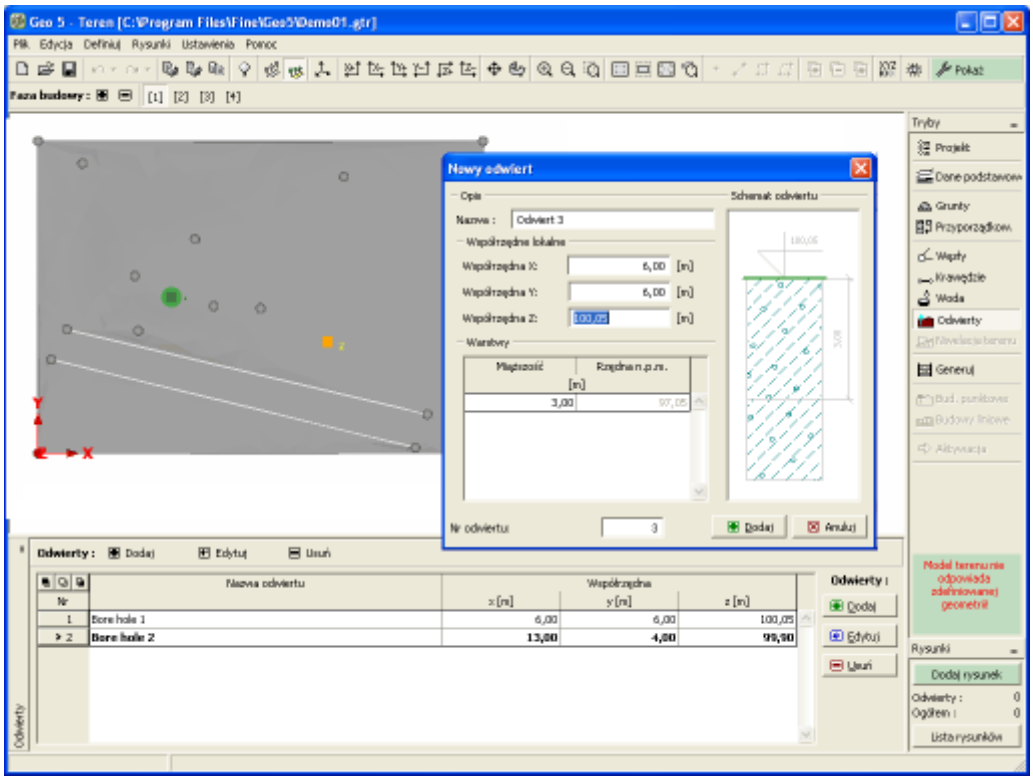
Ramka "**Odwierty**" służy do definiowania odwiertów (rzeczywistych, jak i fikcyjnych), które umożliwiają modelowanie poszczególnych **warstw geologicznych** (w zależności od ustawienia w ramce "Podstawowe dane") **zwierciadeł wody gruntowej** (w zależności od ustawienia w ramce "Woda").

W celu wprowadzenia punktów, które wyznaczają położenie poszczególnych odwiertów należy postępować w podobny sposób, jak podczas definiowania punktów terenu. Poza współrzędnymi należy wprowadzić nazwę odwiertu oraz miąższość warstw. Wygenerowany profil geologiczny można łatwo zmodyfikować wykorzystując opcję automatycznego obliczania wysokości Z na podstawie miąższości poszczególnych warstw.

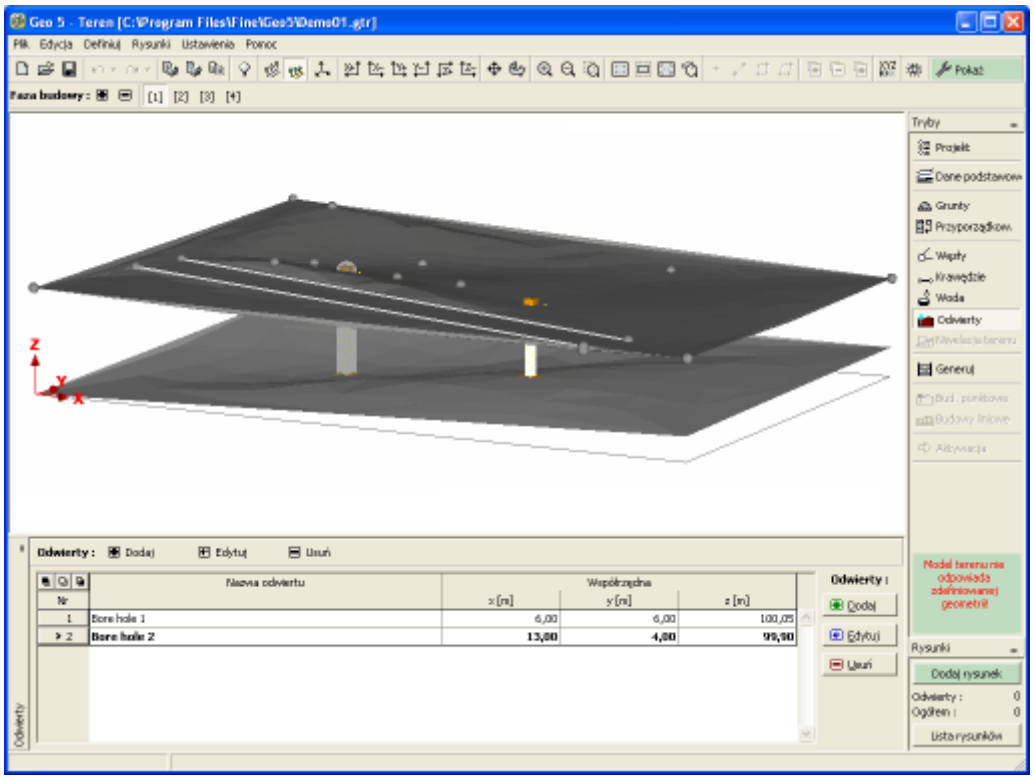
Odwierty można definiować **tylko w** pierwszej fazie budowy. Program automatycznie zapewnia, aby dolna warstwa zawsze leżała poniżej górnej warstwy - "**Przecinanie warstw**"

jest niedopuszczalne - **warstwa dominująca** jest zawsze **górną warstwą**.

Wizualizację rysunku na pulpicie można modyfikować w dowolnym trybie definiowania na postawie ustawień wprowadzonych w ramce "Konfiguracja rysunku" oraz za pomocą przycisków na paskach narzędzi "Wizualizacja".



Ramka "Odwierty" - wprowadzanie, edycja



Ramka "Odwierty" - zdefiniowane odwierty

Niwelacja terenu

Ramka "**Niwelacja terenu**" służy do definiowania niwelacji terenu. Niwelacji terenu nie można zdefiniować w pierwszej fazie budowy.

Niwelacja terenu powinna znacznie uprościć wprowadzanie wykopów lub nasypów. Zasadniczą częścią niwelacji terenu jest **kształt dna**, od którego zbocza wykopów lub nasypów są skierowane do pierwotnego terenu. Punkty i krawędzie pierwotnego terenu znajdujące się w obszarze niwelacji terenu są automatycznie usuwane podczas generowania.

W jednej fazie budowy można zdefiniować kilka niwelacji terenu. **Nie mogą one jednak wzajemnie się przecinać**. Jeżeli tak się stanie, niwelacje muszą być połączone w jedną niwelację. Ponadto, żadna część niwelacji nie może przekraczać wymiarów obszaru - w takim przypadku należy pamiętać, że lica niwelacji terenu mogą przekraczać wymiary obszaru, nawet jeżeli dno jest zdefiniowane wewnątrz.

Niwelację terenu można edytować jedynie w fazie, w której została utworzona. W kolejnych fazach budowy niwelacja terenu jest przenoszona pod względem nowych punktów i krawędzi terenu.

Za pomocą tabeli: niwelacje terenu są definiowane w tabeli. Naciśnięcie przycisku "**Dodaj**" otwiera okno dialogowe "**Nowa niwelacja terenu**", które umożliwia określenie nazwy niwelacji terenu (poprzez zaznaczenie odpowiednich pól można zdefiniować jednolitą głębokość dna oraz jednolite nachylenie zbocza). Okno dialogowe zawiera dalej tabelę do wprowadzania punktów, które wyznaczają rzut gruntu (ogólny wielobok) niwelacji. W celu dodania tych punktów należy postępować podobnie do definiowania punktów terenu. Naciśnięcie przycisku "**Dodaj**" zamyka okno dialogowe, a nowa niwelacja terenu jest dodawana do tabeli.

Istnieje możliwość dalszej modyfikacji niwelacji terenu (w tym oknie dialogowym) za pomocą

przycisku "**Edytuj**" lub usunięcia za pomocą przycisku "**Usuń**" (istnieje możliwość zaznaczenia kilku niwelacji na tabeli w celu jednoczesnego usunięcia - przed usunięciem zaznaczone niwelacje są wyświetlane na ekranie w kolorze **czerwonym**). Każda zmiana jest natychmiast odzwierciedlana na ekranie.

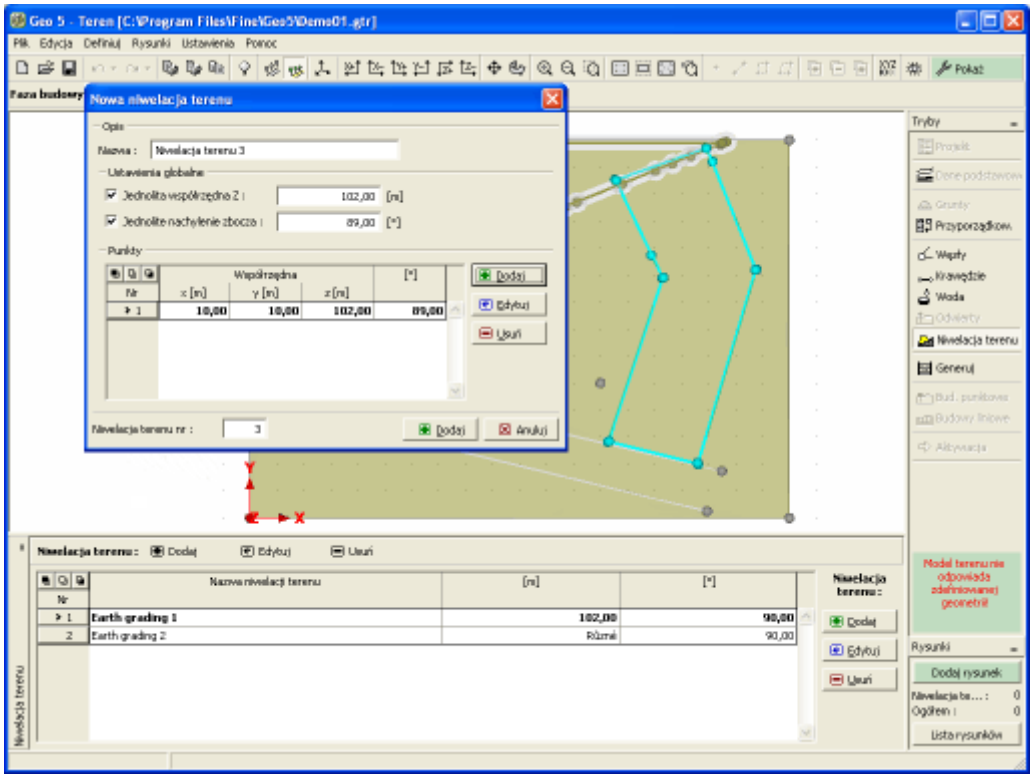
Za pomocą myszy: ten tryb wprowadzania włącza się poprzez naciśnięcie odpowiedniego przycisku na poziomym pasku. Dostępne są odpowiednie opcje:

Dodaj niwelację terenu
- w celu wprowadzenia niwelacji terenu należy kliknąć lewym przyciskiem myszy na ekranie, aby kolejno zdefiniować punkty wieloboku, który wyznacza rzut niwelacji terenu - wielobok musi być zamknięty - po zamknięciu wieloboku program otwiera okno dialogowe „**Nowa niwelacja terenu**". Aby kontynuować należy postępować według kroków przy wprowadzaniu za pomocą tabeli - jeżeli nie można zdefiniować niwelacji terenu lub niwelacja nakłada się na już istniejącą, program wyświetla komunikat ostrzegawczy;

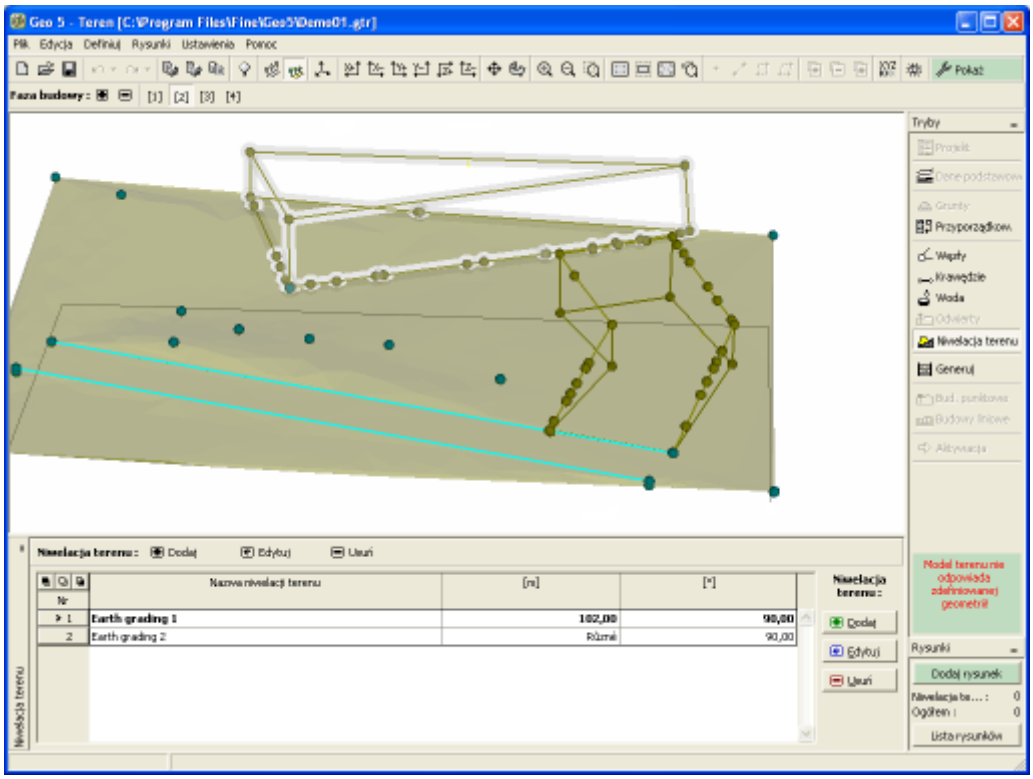
Edytuj niwelację terenu
- kliknięcie już istniejącej niwelacji terenu lewym przyciskiem myszy (patrz aktywne obiekty) otwiera okno dialogowe "**Edytuj niwelację terenu**", które umożliwia edycję odpowiedniej niwelacji (w oknie tym można używać następujących przycisków ("**OK+↑** " a "**OK+↓**")

Usuń niwelację terenu
- kliknięcie niwelacji terenu lewym przyciskiem myszy otwiera okno dialogowe, które żąda potwierdzenia usunięcia wybranej niwelacji terenu;

Wizualizację rysunku na pulpicie można modyfikować w dowolnym trybie definiowania na postawie ustawień wprowadzonych w ramce "Konfiguracja rysunku" oraz za pomocą przycisków na paskach narzędzi "Wizualizacja".



Ramka "Niwelacja terenu" - definicja, edycja



Ramka "Niwelacja terenu" - zdefiniowana niwelacja terenu

Budowa

Ramka "**Budowa**" służy do definiowania brzegów elementów wstawianych do projektu (granic budowy). W każdym przypadku, punkty brzegowe mają jednakową współrzędną Z najbliższą wstawionego elementu.

Program umożliwia zdefiniowanie **trzech rodzajów granic budowy:**

- **Prostokąt**

Prostokąt definiowany jest poprzez współrzędne brzegowe (osie X, Y). Domyślną opcją w programie jest opcja "**Generuj prostokąt automatycznie**", w której współrzędne brzegowe wyznaczane są automatycznie na podstawie minimalnych i maksymalnych współrzędnych wstawianych elementów.

Istnieje także możliwość ręcznego zdefiniowania współrzędnych brzegowych (<***min, maks***> w kierunku osi X, <***min, maks***> w kierunku osi Y)

- **Obwiednia wypukła**

Program wyznacza automatycznie najmniejszy obszar wypukły dla wstawionych elementów.

- **Wielokąt**

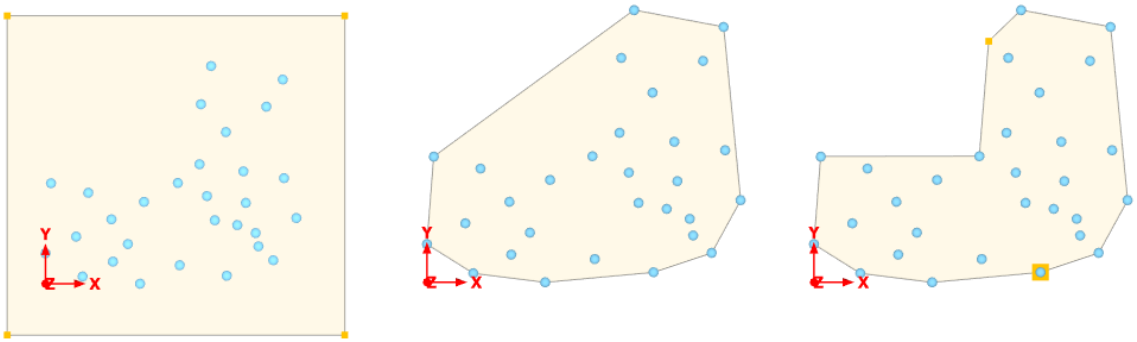
W tym przypadku, wymagane jest zdefiniowanie zamkniętego wielokąta (przycisk "**Dodaj graficznie**"). Wielokąt ten określa granicę budowy. Wierzchołki wielokąta mogą być dodawane jako nowe punkty, punkty zdefiniowane wcześniej w zadaniu lub jako ich dowolna kombinacja.

Program umożliwia również wykorzystanie punktów z istniejących krawędzi prostokątnych lub obwiedni wypukłych w celu utworzenia nowych wielokątów (przyciski: "**Kopiuj z prostokąta**", "**Kopiuj z obwiedni wypukłej**"). Po skopiowaniu punktów istnieje możliwość ich edycji

(zmiany współrzędnych, dodawania nowych punktów).

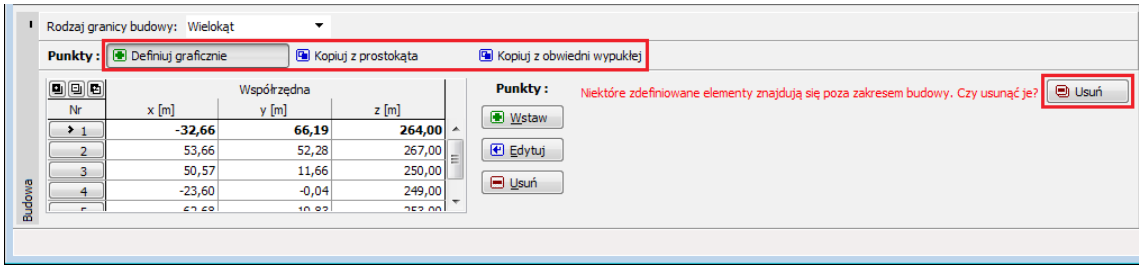
Nowy punkt można dodać w oknie dialogowym "**Nowy punkt**" wybierając przycisk "**Wstaw**".

Istnieje także możliwość edytowania zdefiniowanych punktów za pomocą aktywnych wymiarów.



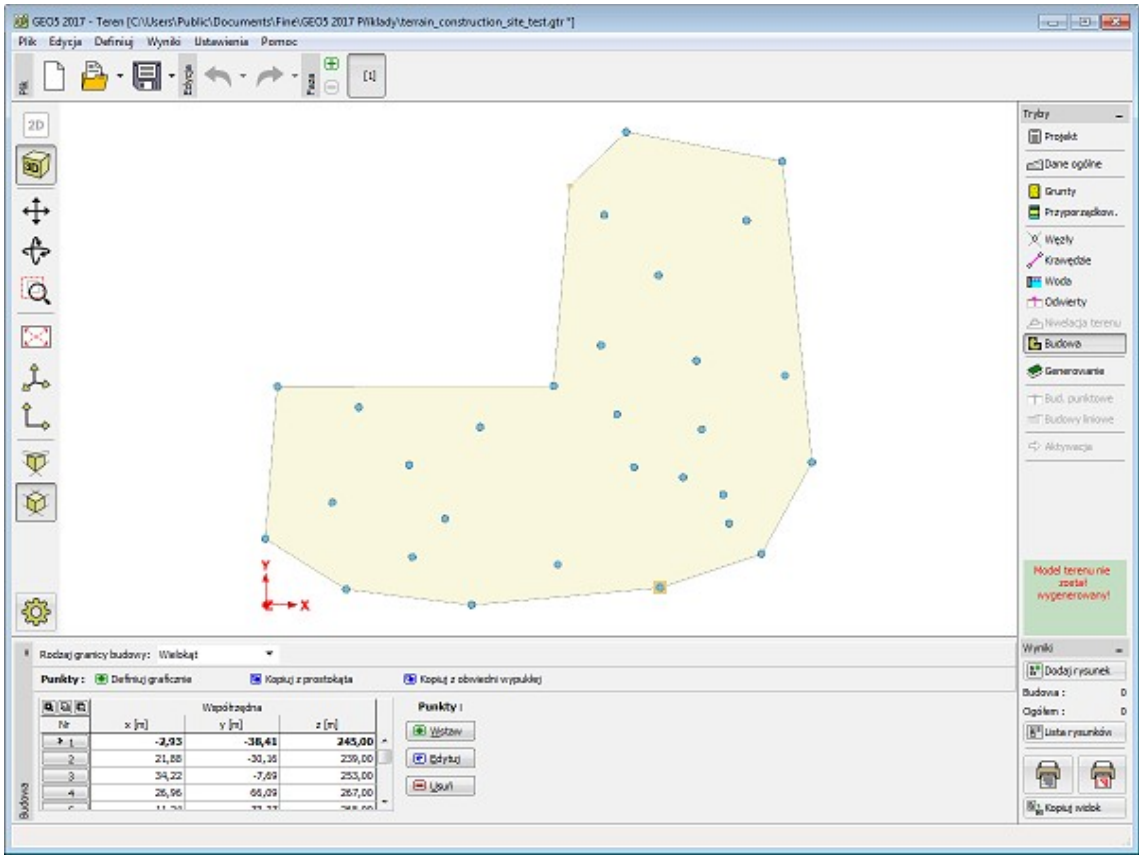
Rodzaj granicy budowy - prostokąt, obwiednia wypukła, wielokąt

Jeśli **elementy wykraczają poza obrys wielokąta (prostokąta) granicznego,** program wyświetla ostrzeżenie i użytkownik ma możliwość usunięcia tych punktów za pomocą przycisku "**Usuń**". Domyślnie, elementy znajdujące się poza granicami budowy oznaczone są na czerwono.



Usuwanie elementów wykraczających poza granice budowy

W każdym trybie definiowania, wizualizację rysunku na pulpicie można dostosować w ramce "Konfiguracja rysunku" a także za pomocą przycisków na pasku narzędzi "Wizualizacja".



Ramka "Budowa"

Generuj

Ramka "**Generuj**" służy do generowania modelu terenu.

Parametry generowania modelu, które obowiązują dla wszystkich następnych faz, określane są w pierwszej fazie budowy.

Należą do nich:

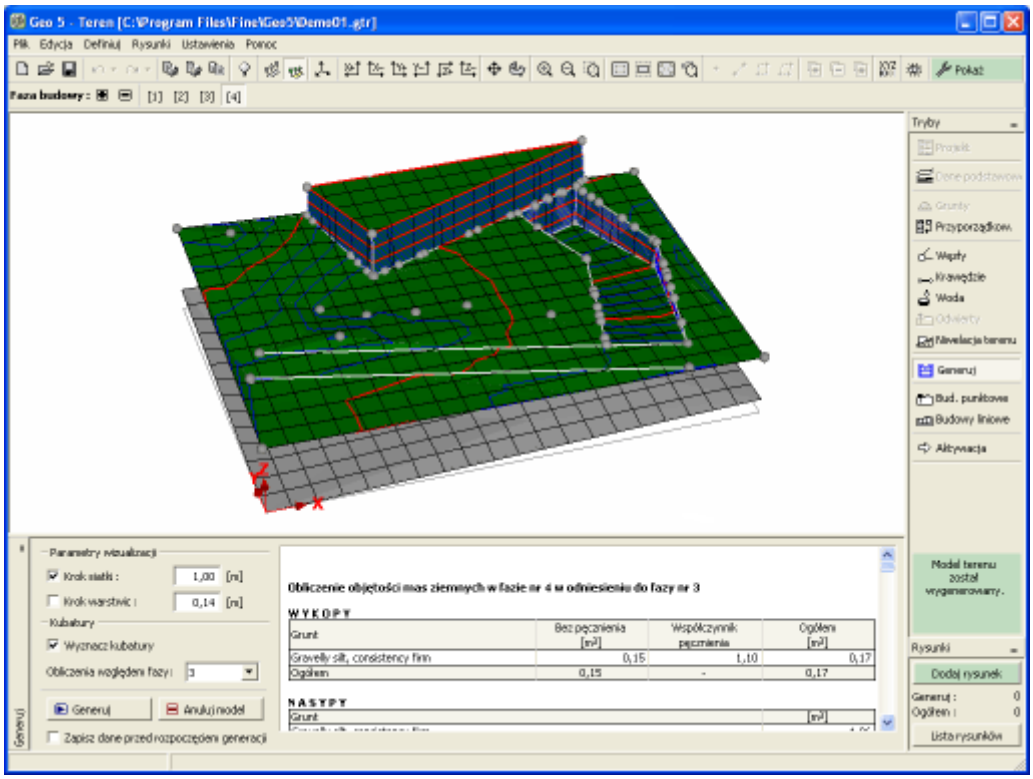
- **wygładzanie modelu** (brak, średnie, maksymalne)
- **aktywna krawędź -** umożliwia modelowanie terenu wzdłuż krawędzi

Ponadto, ramka służy do definiowania **parametrów rysunku** (krok siatki, krok warstwic).

Rzeczywisty model jest generowany po naciśnięciu przycisku "**Generuj**". Wygenerowany model można anulować poprzez naciśnięcie przycisku "**Anuluj model**" - jest to przydatne do zwiększenia przejrzystości wprowadzanych danych.

Zaznaczenie opcji "**Wyznacz kubatury**" umożliwia obliczenie kubatury (z rozwijanej listy można wybrać numer fazy budowy, dla której zostaną przeprowadzone obliczenia).

Wizualizację rysunku na pulpicie można modyfikować w dowolnym trybie definiowania na postawie ustawień wprowadzonych w ramce "Konfiguracja rysunku" oraz za pomocą przycisków na paskach narzędzi "Wizualizacja".



Ramka "Generuj"

Modelowanie terenu na krawędziach

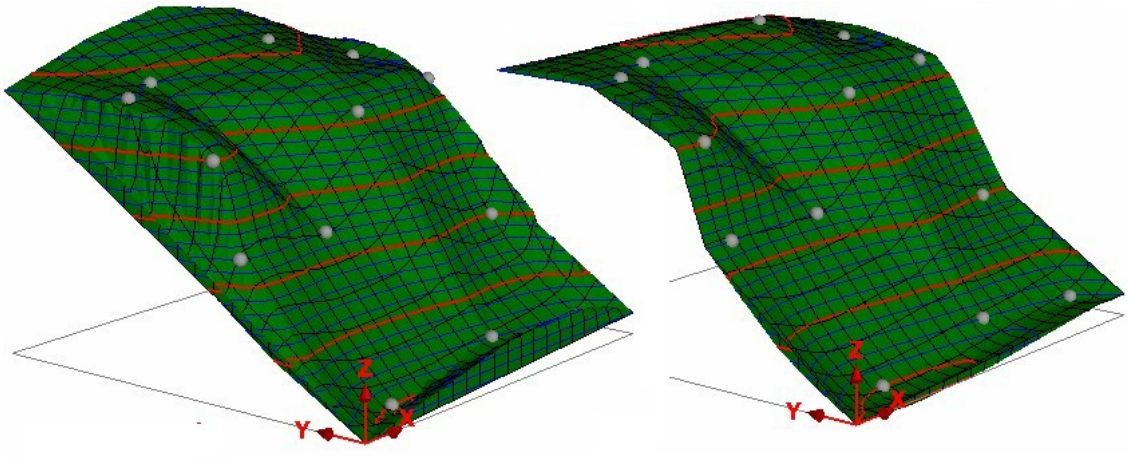
Szczególną uwagę należy zwrócić na **warunek brzegowy**, aby prawidłowo utworzyć cyfrowy model terenu - wysokości punktów w rogach i brzegach (krawędzie) obszaru (wymiary obszaru).

Punkty narożne można wprowadzić albo wstawić automatycznie w pierwszej fazie budowy. Przy automatycznym generowaniu, punkt narożny otrzymuje tą samą wysokość, co najbliższy już zdefiniowany punkt lub odwiert.

Przy generowaniu terenu **punkty narożne są połączone krawędzią**. W niektórych przypadkach (zbocza) chcemy, aby krawędzie modelowały ogólny **kształt i nachylenie terenu**. W takich przypadkach można użyć opcji aktywnej krawędzi. Aktywną krawędź wprowadza się jako **część procentowa wymiarów obszaru**. Wszystkie punkty **znajdujące się na aktywnej krawędzi** są, podczas generowania, automatycznie rzutowane w kierunku normalnym do krawędzi - nowe punkty są następnie tworzone w tych samych miejscach (na krawędziach) posiadających tą samą współrzędną Z. Nowe punkty są zapisywane do danych powiązanych z następną fazą budowy.

Kolejne warstwy modelu terenu zachowują się w identyczny sposób. Miąższości tych warstw na krawędziach są obliczane zgodnie z miąższościami warstw najbliżej odwiertów.

Rolę aktywnej krawędzi dokładnie widać na poniższym rysunku.



Teren wygenerowany bez i z aktywną krawędzią

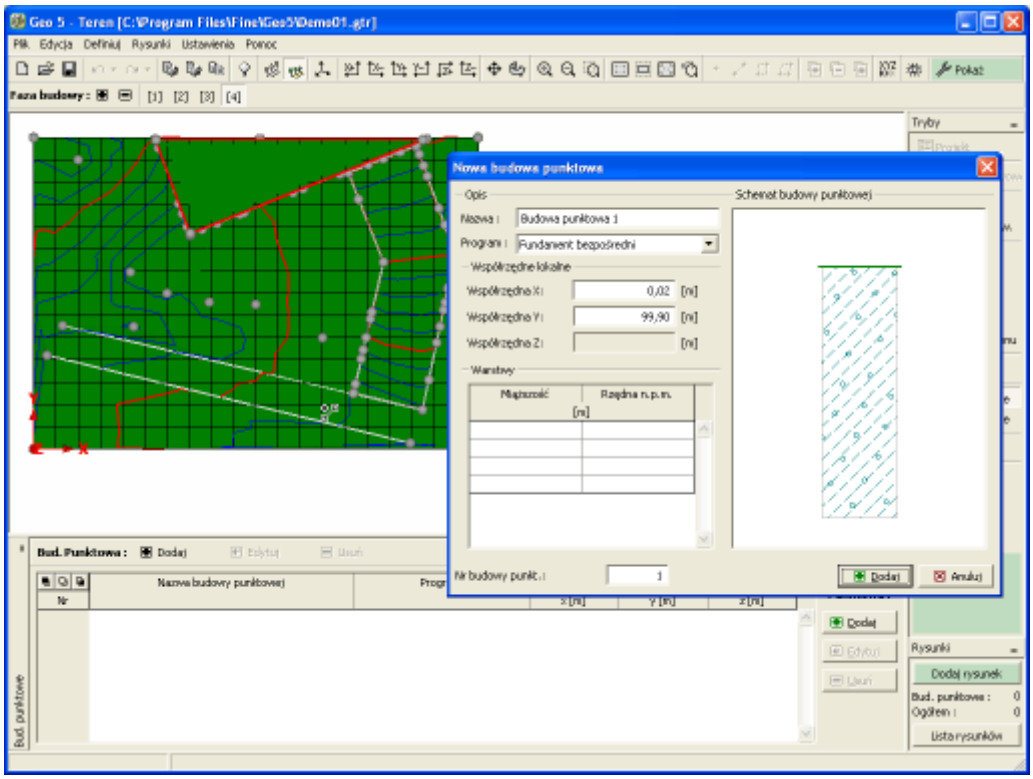
Budowy punktowe

Ramka "**Budowy punktowe**" służy do wprowadzania konstrukcji punktowych do terenu.

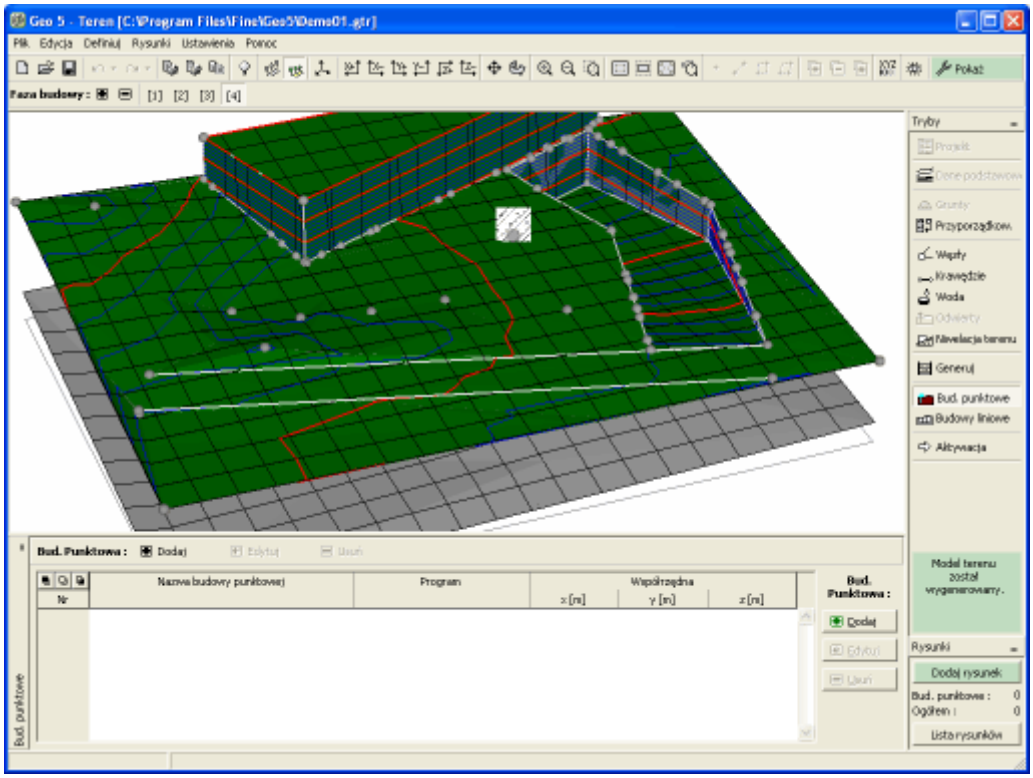
W celu wprowadzenia punktów, które wyznaczają położenie poszczególnych punktów budowy należy postępować w sposób podobny do definiowania punktów terenu (za pomocą tabeli lub myszy). Okno dialogowe "**Nowa budowa punktowa**" ("**Edytuj budowę punktową**") umożliwia również określenie nazwy programu do analizowania odpowiedniej budowy. Ramkę "Aktywacja" stosuje się następnie do uruchomienia programu obliczeniowego i przeniesienia miąższości warstw oraz przyporządkowania gruntów w programie.

Budowy punktowe można definiować, tylko jeżeli prawidłowy model terenu został wygenerowany.

Wizualizację rysunku na pulpicie można modyfikować w dowolnym trybie definiowania na postawie ustawień wprowadzonych w ramce "Konfiguracja rysunku" oraz za pomocą przycisków na paskach narzędzi "Wizualizacja".



Ramka "Budowy punktowe" - wprowadzanie, edycja



Ramka "Budowy punktowe" - zdefiniowane budowy

Budowy liniowe

Ramka "**Budowy liniowe**" służy do wprowadzania konstrukcji liniowych do terenu.

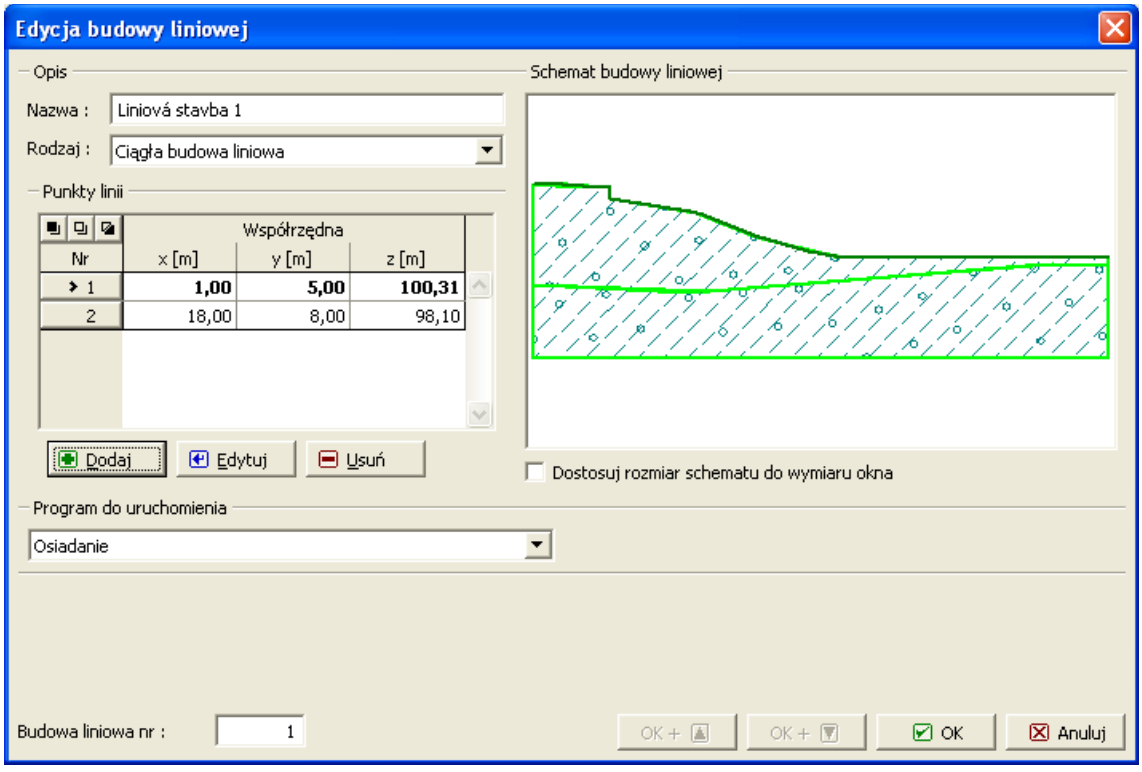
W celu wprowadzenia linii, które wyznaczają położenie poszczególnych budów liniowych należy postępować w sposób podobny do definiowania krawędzi terenu (za pomocą tabeli lub myszy). Okno dialogowe "**Nowa budowa liniowa**" ("**Edytuj budowę liniową**") umożliwia określenie nazwy i rodzaju budowy liniowej:

"**Ciągła budowa liniowa**" definiowana jest współrzędnymi punktu początkowego i końcowego (tabela jest częścią okna dialogowego). Z rozwijanej listy można wybrać określony program obliczeniowy (Osiadanie, Stateczność zbocza, MES…). W celu uruchomienia programu należy użyć ramki "Aktywacja". Kształt terenu i warstwy są przenoszone w ten sam sposób, jak przyporządkowywanie gruntów do warstw.

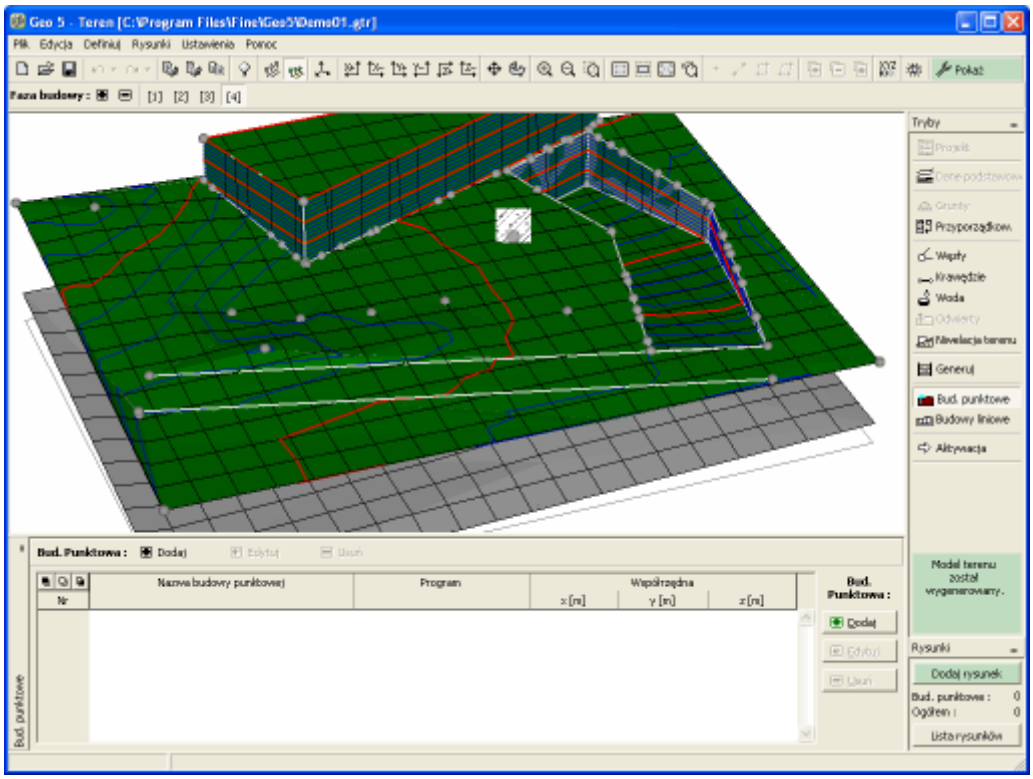
"**Linia z punktami**" jest definiowana współrzędnymi łamanej linii i może być używana do określania nowej budowy punktowej. Budowy punktowe definiuje się w tabeli "**Budowy punktowe na linii**", która jest częścią okna dialogowego "**Nowa budowa liniowa**". Ramkę "Aktywacja" stosuje się następnie do uruchomienia programu obliczeniowego i przeniesienia miąższości warstw oraz przyporządkowania gruntów w programie.

Budowy liniowe można definiować, tylko jeżeli prawidłowy model terenu został wygenerowany.

Wizualizację rysunku na pulpicie można modyfikować w dowolnym trybie definiowania na postawie ustawień wprowadzonych w ramce "Konfiguracja rysunku" oraz za pomocą przycisków na paskach narzędzi "Wizualizacja".



Okno dialogowe "Edycja budowy liniowej"- Dodaj, Edytuj

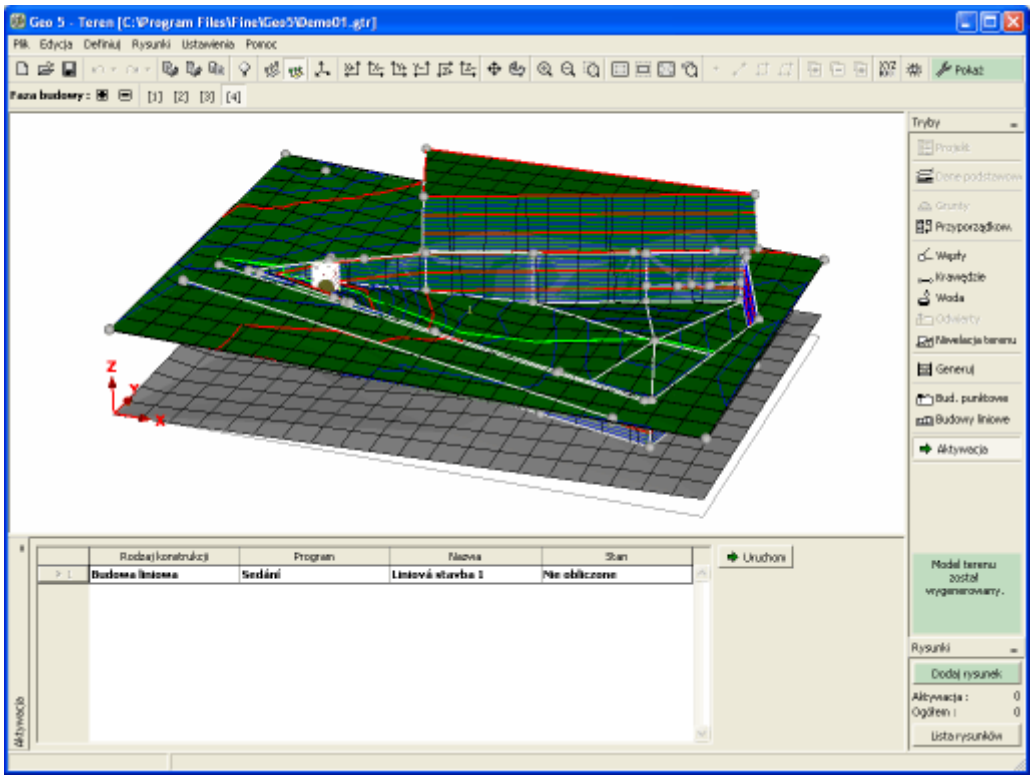


Ramka "Budowy liniowe" - zdefiniowane budowy

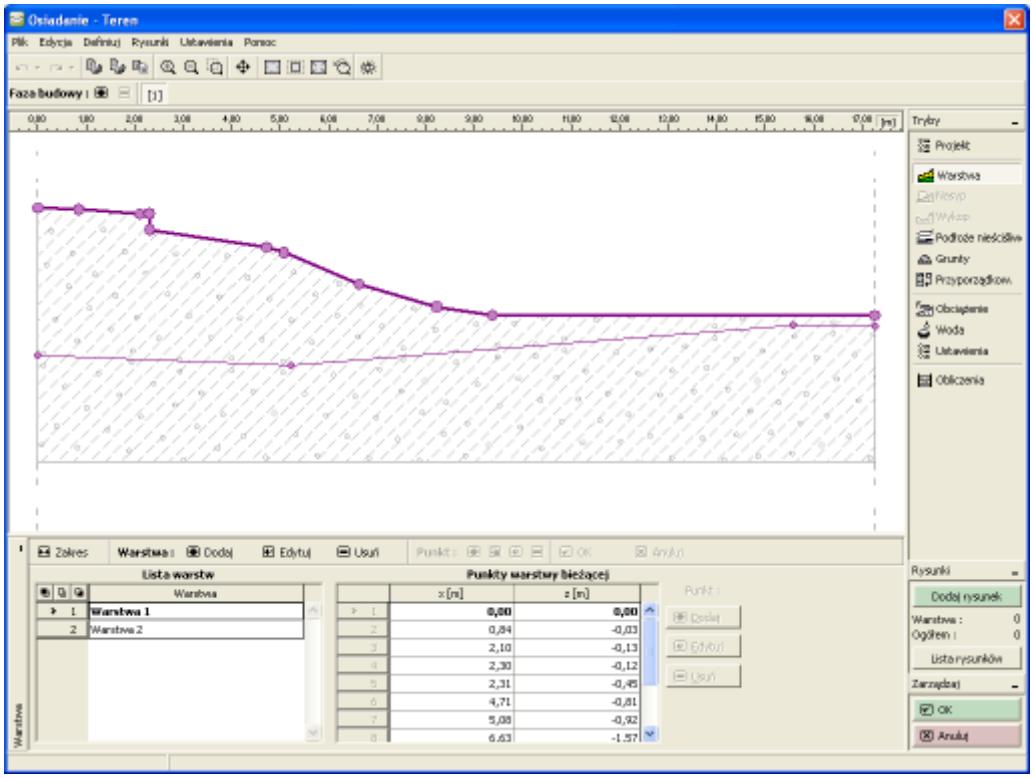
Aktywacja

Ramka "**Aktywacja**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych budów punktowych lub liniowych. Na podstawie wyboru w tabeli i po naciśnięciu przycisku "**Uruchom**" uruchamiany jest program powiązany z danym zadaniem (należy zakupić odpowiedni moduł obliczeniowy). Wymagane dane są przenoszone do tego programu. Następnie, program umożliwia przeprowadzenie określonych obliczeń i weryfikacji. Jeżeli program nie został zakupiony, wówczas przycisk Uruchom jest niedostępny.

Po przeprowadzeniu wszystkich obliczeń, program zamyka się naciśnięciem przycisku "**OK**" - wyniki i zdefiniowane obrazy są przenoszone z powrotem do odpowiedniego protokołu obliczeniowego w programie "**Teren**".



Ramka "Aktywacja"



Uruchomienie programu "Fundament bezpośredni" z programu "Teren"

Program Stratygrafia 3D

Zastosowanie programu:

- Tworzenie modelu cyfrowego budowy
- Import otworów badawczych i innych badań polowych rozpoznania geologicznego
- Creation of geological documentation
- Tworzenie modelu masywu gruntowego
- Eksport danych do programów GEO5 (przekroje 2D do "Stateczności zbocza", "Osiadania", "MES"; profile 1D do "Fundamentów bezpośrednich", "Pali" i wielu innych...)

Pomoc w programie "Stratygrafia 3D" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

Projekt	Ustawienia	Budowa	Punkty terenu	Terrain Edges	Badania polowe
Grunty	Profile badań	Geological Sections	Model geologiczny	Profile wynikowe	Przekroje

Some frames are accesible just for users with purchased specific module:

Templates - for users with module "**Logs**"

Geological Sections - for users with module "**Cross Sections**"

- Dane wyjściowe

- Teoria związana z definiowaniem badań polowych w programie "**Stratygrafia 3D**":

  Badania polowe

- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5

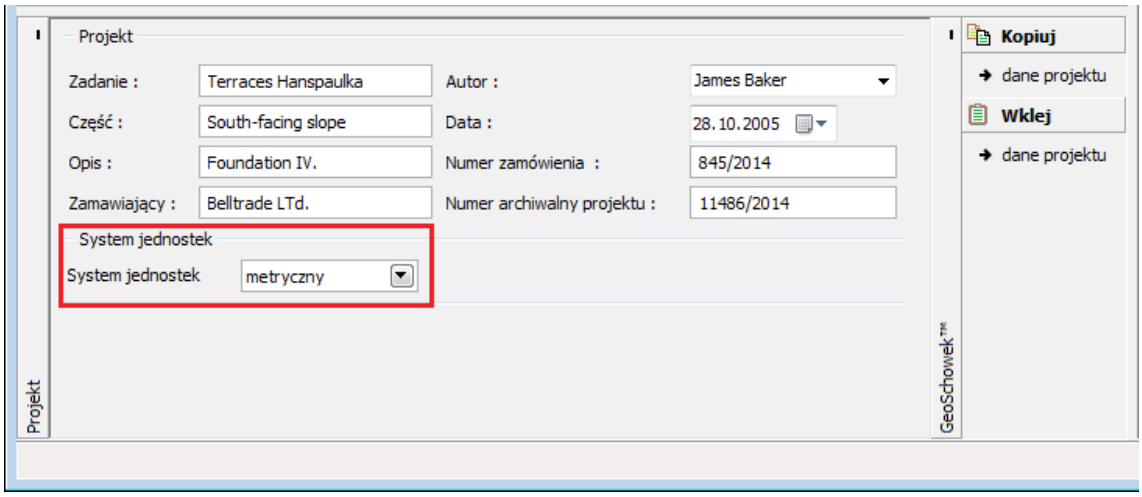
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programó

Projekt

Ramka "**Projekt**" stosuje się do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz definiowania ogólnych ustawień obliczeń. Zakładka "**Projekt**" zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje o projekcie, opis projektu, data, itp. Informacje te są później wykorzystywane w wydrukach graficznych i tekstowych and during creation of geological documentation.

Ramka "**Projekt**" umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi

programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

The basic parameters of task are entered in the frame "**Settings**":

- **Type of model**:

  - **standardowy 3D**
  - uproszczony model 2D - przewidziany specjalnie do konstrukcji liniowych

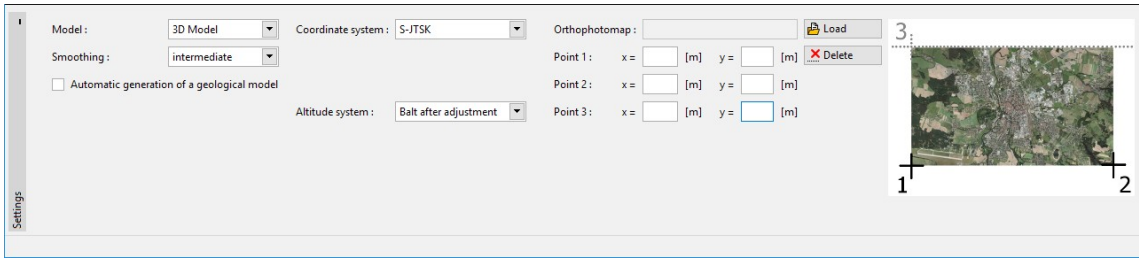
- Type of terrain model and layers smoothing. Intermediate smoothing is recommended for realistic model and fast generation.

- Coordinate system - determines orientation of x, y axis. Entered coordinates x, y **are not recalculated** after change of coordinate system

- **Altitude system of task** - is used just in description of geological documentation. It has no influence on the model generation. Altitude coordinates z **are not recalculated** after change of altitude system.

Następnie, definiuje się sposób tworzenia modelu. **Generowanie modelu geologicznego** może być wykonywane **automatycznie,** natychmiast po wprowadzeniu zmian w punktach terenu lub badaniach polowych, lub **ręcznie** poprzez zastosowanie przycisku "**Generuj**" w ramce "Model geologiczny". Ręczna generacja modelu jest zalecana szczególnie w przypadku tworzenia większych modeli lub kiedy komputer jest mniej wydajny.

The orthophotomap can be projected on the generated terrain model (DMT). This map is defined by three points (1, 2, 3) which are placed to the coordinates of the model. Points 1 and 2 define bottom corners of the map, point 3 defines its perpendicular distance to the bottom edge of the map (connection between points 1 and 2). It is necessary to input points 1 and 2, the point 3 can be undefined (then original ratio of the map is applied). Input of point 3 can be used also for mirroring of the map - in this case points 1 and 2 define upper edge of the map.

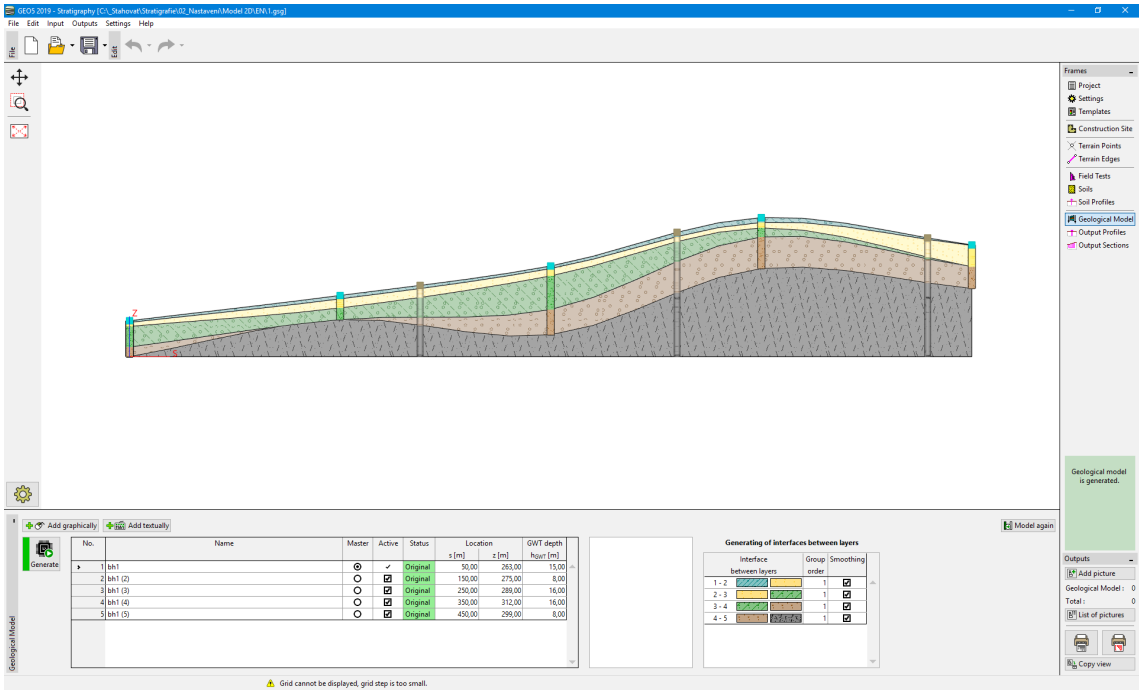


Ramka "Ustawienia"

Modelowanie 2D

Tryb 2D umożliwia tworzenie przekrojów 2D na podstawie "**Otworów**" i "**Punktów terenu**". Tryb ten może mieć zastosowanie do modelowania **konstrukcji liniowych** lub **złożonych przekrojów i skarp** - po zakończeniu budowy modelu 2D istnieje możliwość **przekształcenia** tego modelu **do modelu 3D** i edytowania go.

W trybie 2D program ma tylko jeden typ widoku - nie można przełączyć na widok 3D. Praca z modelem 2D jest jednakowa jak w trybie 3D - a w zasadzie prostsza, z jednym wymiarem mniej.



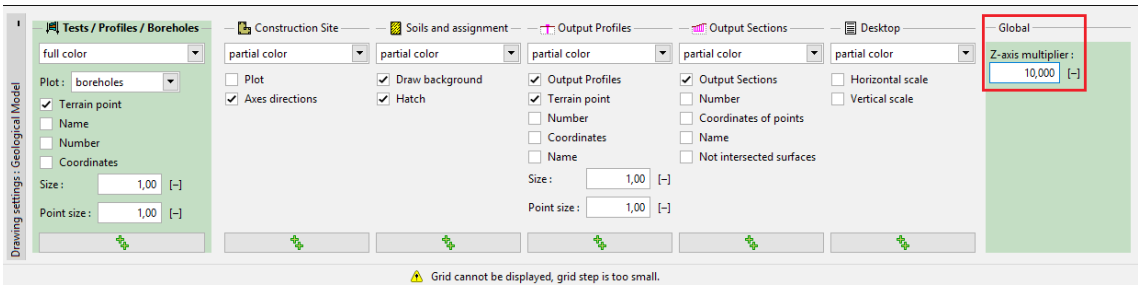
Model 2D

Po przełączeniu do trybu 2D, następujące zmiany są wykonywane:

- Granice obszaru budowy są zawsze przyjmowane jako "**Prostokąt**". Definiuje się lub wyznacza jedynie współrzędne S_{min}, S_{max}.
- **Punkty terenu, Badania, Profile badań, Otwory, Profile wynikowe, Przekroje** - w tych ramkach nie definiuje się współrzędnych x, y (tylko S).
- **Model geologiczny** - Na rysunku nie są widoczne (definiowane) "**Kształt terenu**" i "**Warstwy**". Przekrój wyświetlany jest w zakresie S_{min}, S_{max}.

- **Przekroje** - na całej długości zadania przekrój tworzony jest automatycznie. Przekrój ten nie może być usunięty.

"Mnożnik wysokości" jest istotnym narzędziem w modelowaniu 2D dużych rozmiarów skarp o niewielkim pochyleniu.



Konfiguracja rysunku

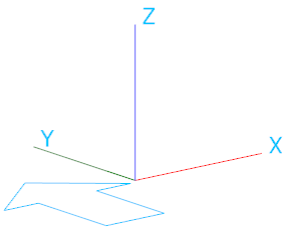
Model 2D można **przełączyć do modelu 3D** w ramce "Ustawienia". W tym przypadku, wymiary "Budowy" w kierunku Y określane są jako Y_{min}= -$S/2$, Y_{max}=$S/2$ i rodzaj budowy przyjmowany jest jako prostokąt. Współrzędne S przekształcane są we współrzędne X.

Coordinate systems

The **Stratigraphy** program allows to input coordinates in these **global coordinate systems**:

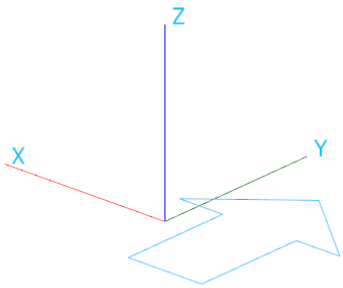
Right-handed coordinate systems

- Arbitrary north rotation



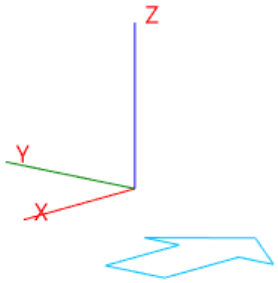
Left-handed coordinate systems

- Arbitrary north rotation



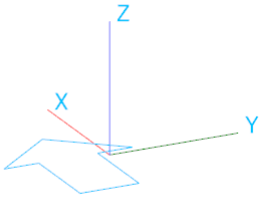
S-JTSK

- Left-handed coordinate system, default coordinate system for Czech Republic and Slovakia. Allows automatic transmition to **GPS cooridnates**.



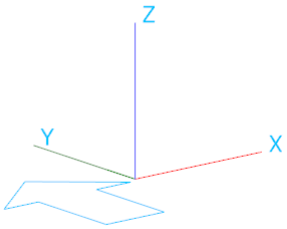
Gauss-Krüger

- Left-handed coordinate system with fixed north rotation in direction of X-axis (-90 degrees)



Cartesian

- Right-handed coordinate system with fixed north rotation in direction of Y-axis (0 degrees)
- Default coordinate system for all states except Czech Republic and Slovakia



Templates

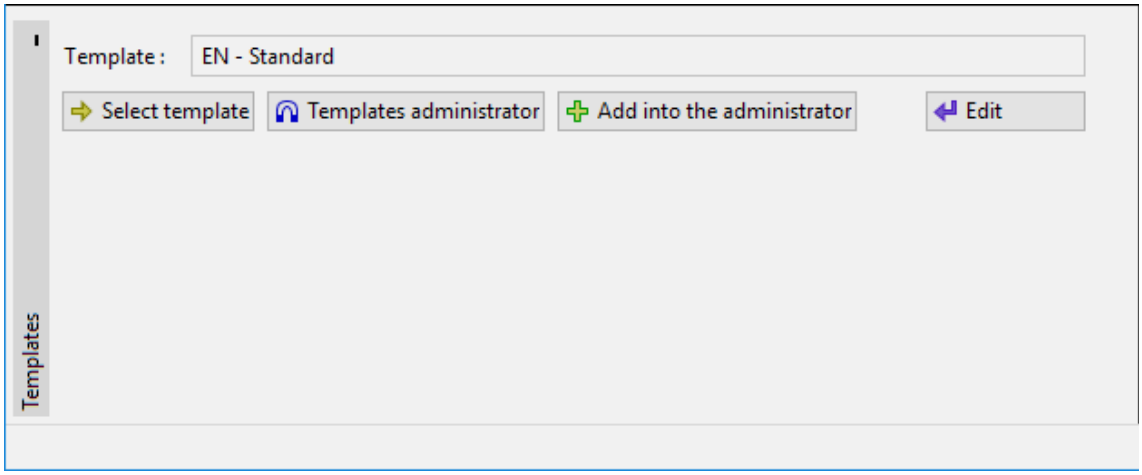
Frame "**Templates**" serves for working with **geological documentation**. It is available just for users with purchased module "**Logs**".

The templates define a geological documentation provided by program. The template contains:

- definition of input data

- definition of output protocols

The way of **working with templates is almost same as using settings** in the "Settings" frame in other GEO5 programs.

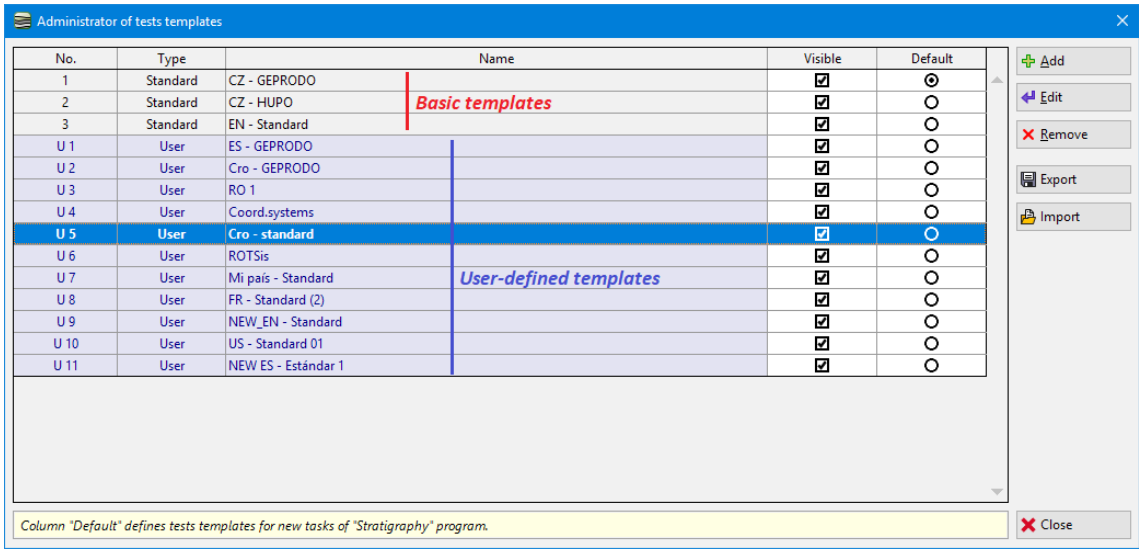


Frame "Templates"

The "**Select**" button allows to choose an already created template from the "List of tests templates".

The "**Templates administrator**" button opens the "Administrator of tests templates" dialog window, which allows for viewing and modifying individual templates. It is also possible to identify the visible template in the "List of tests templates". Data in the "Administrator of tests templates" can be also **exported and imported**.

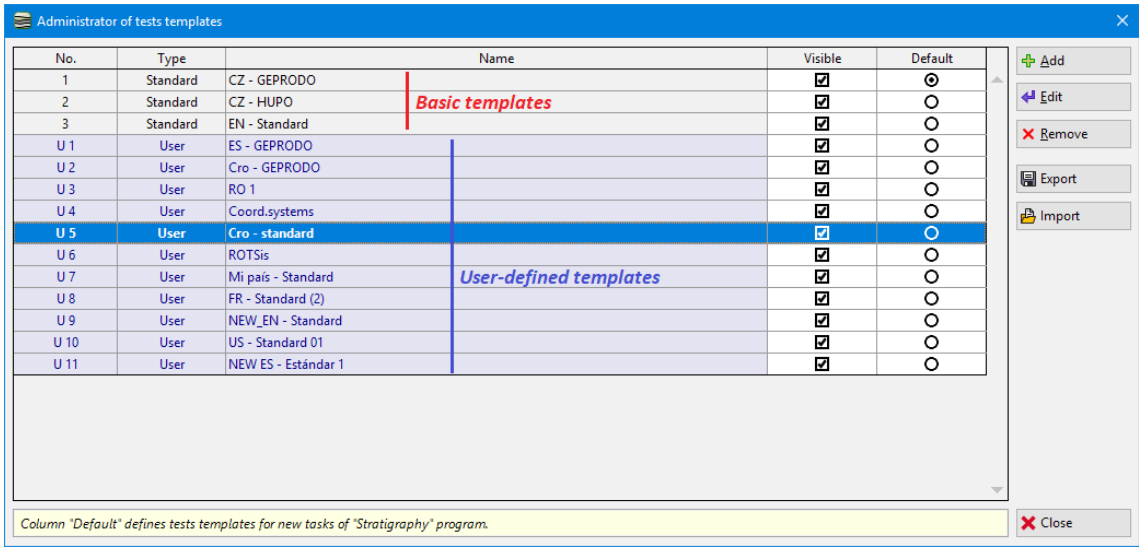
The programs not only contain the pre-defined **Basic templates**, but also allow the user to create their own User-defined template. The "**Add into the administrator**" button opens a dialog window with copy of current template, what can be modified. Created template is saved into the Templates administrator.



The "**Modify**" button enables a quick visualization and editing of the current Template. Modifying any of the parameters changes the title to "**Input for the current task**". The program is then working with this **local template**. Should we consider this template as suitable also for other tasks, we add the template into the "**Template administrator**" by pressing the "**Add into the administrator**" button.

Creation of User-defined Template

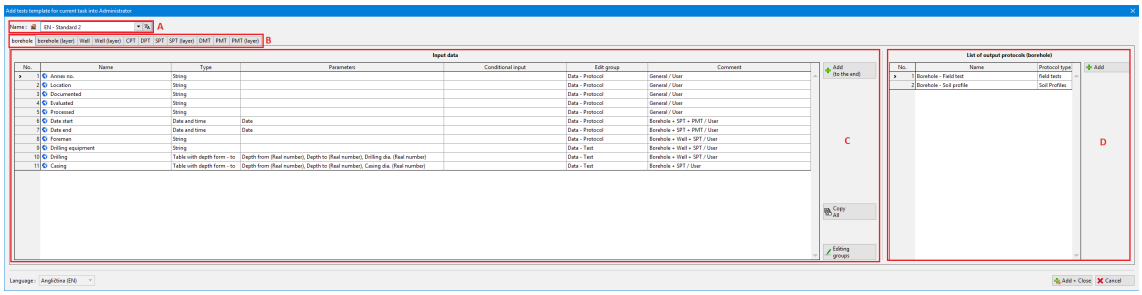
The programs contains the pre-defined **basic templates** for creation of geological documentation for all field tests (borehole, CPT, SPT...). Because of big amount of requirements for geological protocols (logs), it is also possible to create **User-defined templates**.



The best way to create own template is to start with predefined template and modify it according to the specific requirements. Using "**Add into the administrator**" button we define own template in the "**Templates**" frame.

The dialog window for **creation of new template** contains of 4 parts:

1. **Part A** - the name of new template is defined here (e.g. according to the country, name of company, standard...).
2. **Part B** - it is switched between field tests by tabs here. A separate tab is used for a description of borehole layers. Each template defines all field tests.
3. **Part C** - input data for selected tab (field test) are defined here.
4. **Part D** - the form of output protocols is defined here for each type of field test. The editing is done in spreadsheet and it is similar to work e.g. in MS Excel.



Dialog window "Add tests template"

Templates are compatible with each other and preserve the specified data as much as possible. The content of any fields that are taken from the basic templates will remain unchanged when the individual templates are switched.

The creation of User-defined Template is described in detail in the engineering manual No. 40 - Creation of User-defined Template.

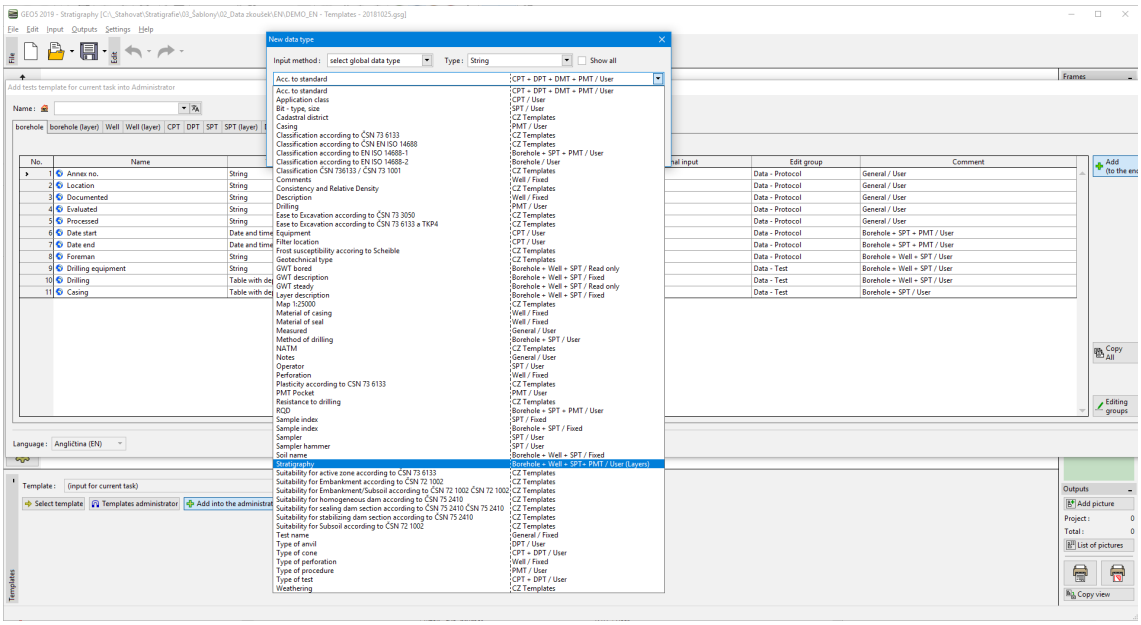
Input data

The data, that we want to enter for each field test and later print in output protocols are defined in the dialog window "**Modification of tests template**".

We can add new "**New data type**" (using "**Add**" button) for current template. Firstly, it is necessary to select a source of data - we can use:

- **Global data type** - data types used in predefined templates as a part of "**Stratigraphy**" program
- **Existing user data type** - data types used in user-defined templates
- **New user data type** - it is possible to define own data type

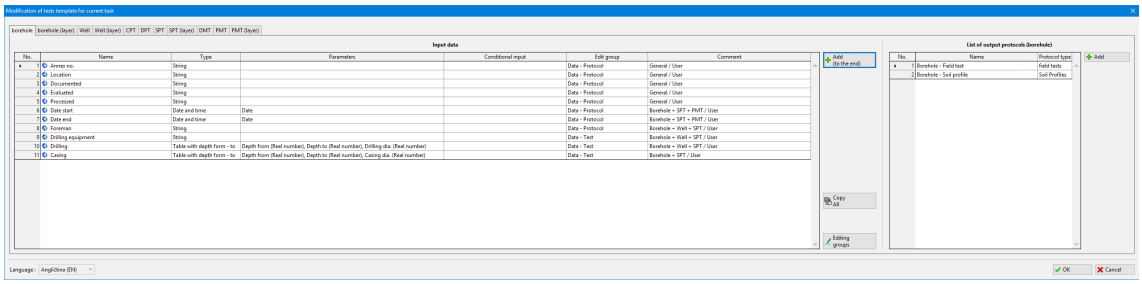
It is always useful to use already defined data types. For example, if you define a new template and want to add a "**Drill machine**" data, it's always better to find a data in the global library - in this case, the "**Drilling equipment**". We can edit the description when creating a template - but the relevant data (here the name of drill machine) contained in other templates or imported from different already defined formats will be **automatically loaded** into this data type.



Selection of data type

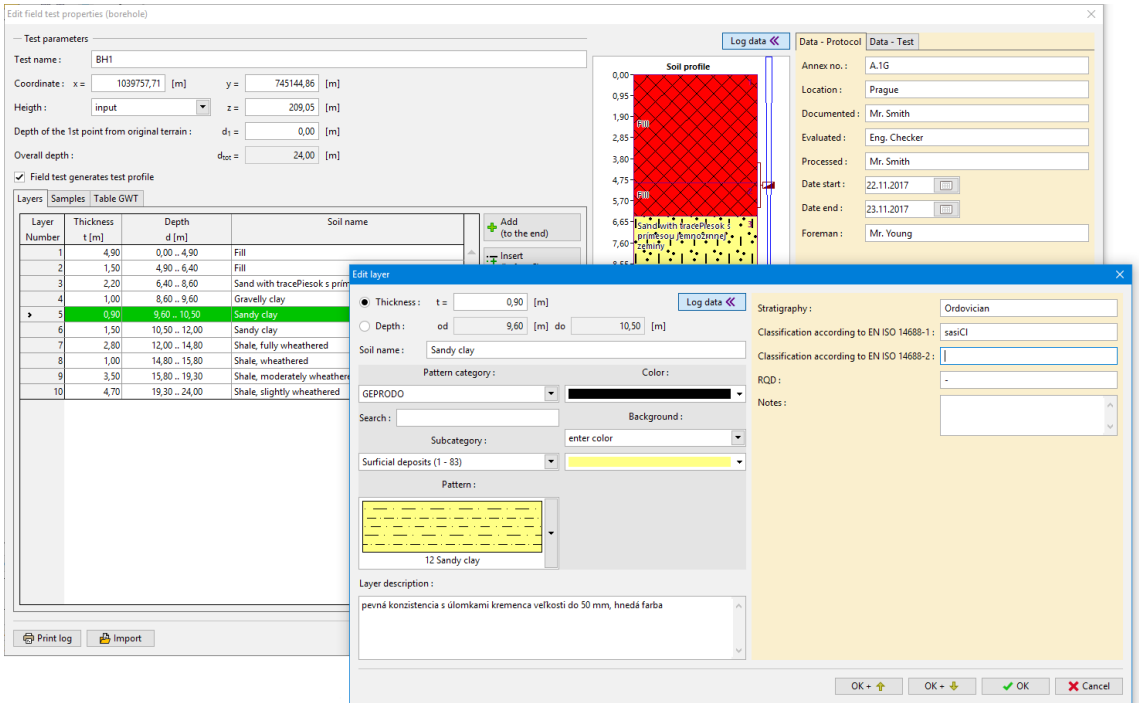
It is possible to define data of **different types**:

- **string**
- **multiline string**
- **date, time**
- **enumeration**
- **number** - it is possible to define units which are converted automatically when changing system of units
- **tables** - general or specific with compulsory depth, thickness of layer or depth interface (from-to) input



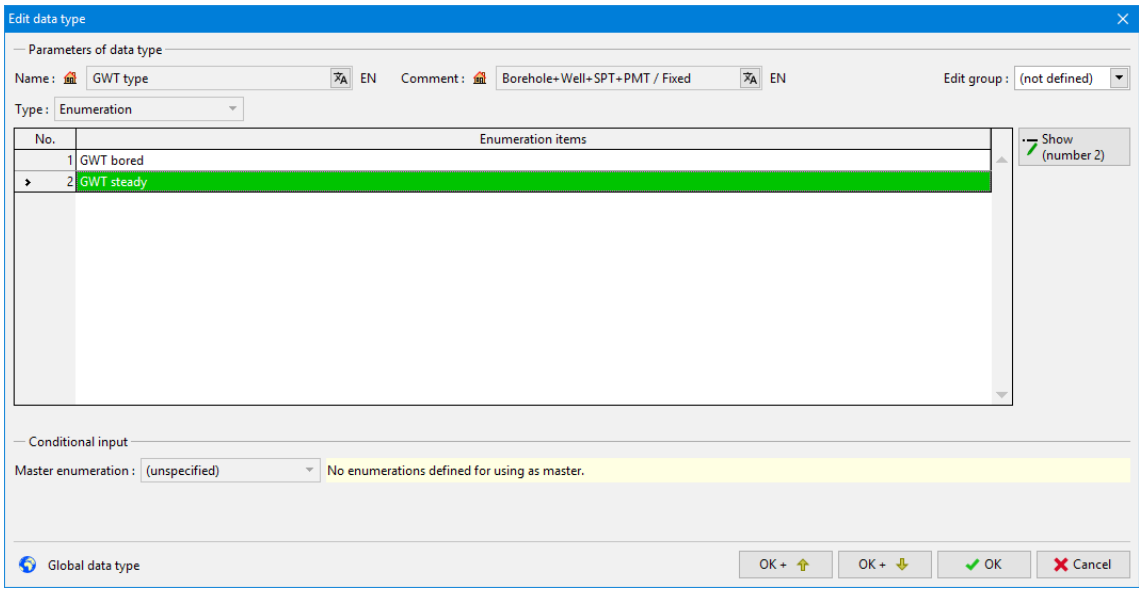
These optional input data are entered while entering field tests in the "Field tests" frame. **Global (default) data types** cannot be edited, it is possible just remove them. If any type is missing, it is possible to add it from the predefined or user database. If the required type is not in the database, it is possible to create it. Newly created type is automatically saved into the user database.

For better clarity it is possible to sort data types into **editing groups**, which determines tabs in field tests entering. Editing groups can be arbitrary modified using "**Editing groups**" button.

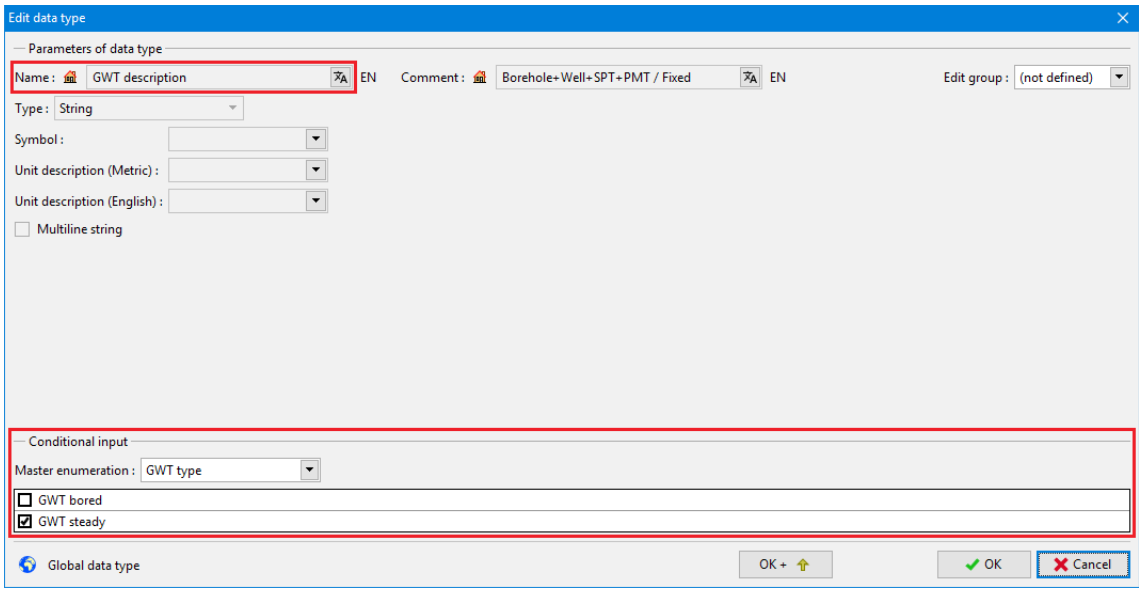


Using of editing groups in "Field Tests" frame

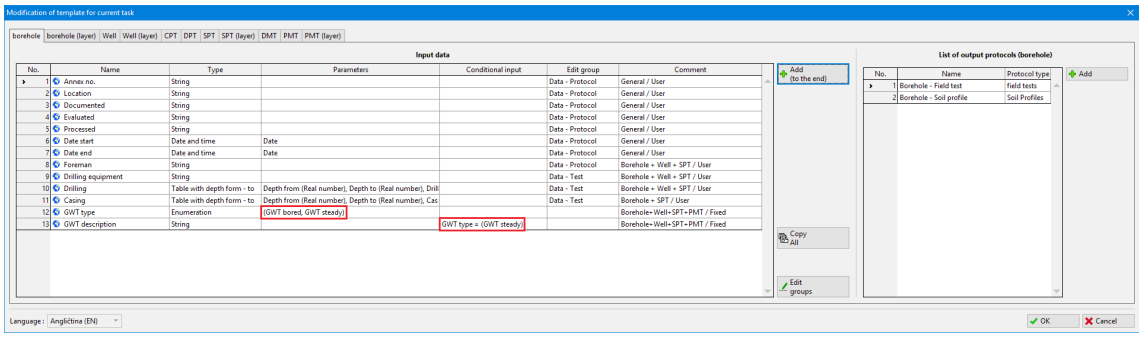
It is also possible to define **conditional input** depending on previous enumeration. We can show it on easy example. We use a global data type "**GWT type**", what contains two items (GWT bored and GWT steady). Next, we want to enter description for steady GWT. For this reason we define new data type "**GWT description**" where we use a conditional input just for "**GWT type = GWT steady**".



Definition of master enumeration (GWT type)



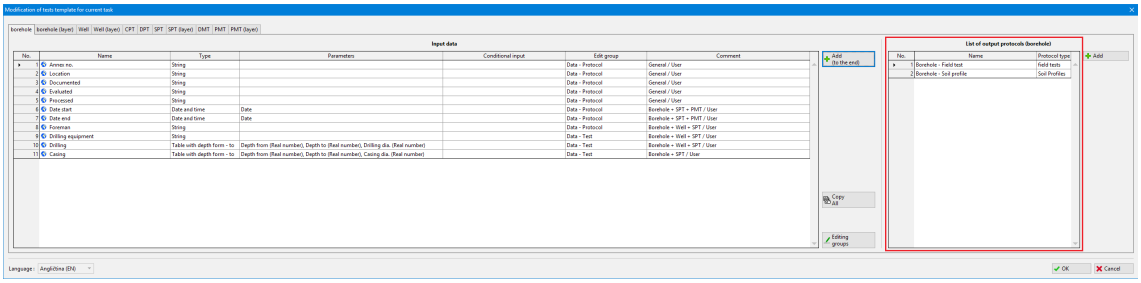
Set of conditional input (according to the GWT type)



Conditional input (according to the GWT type)

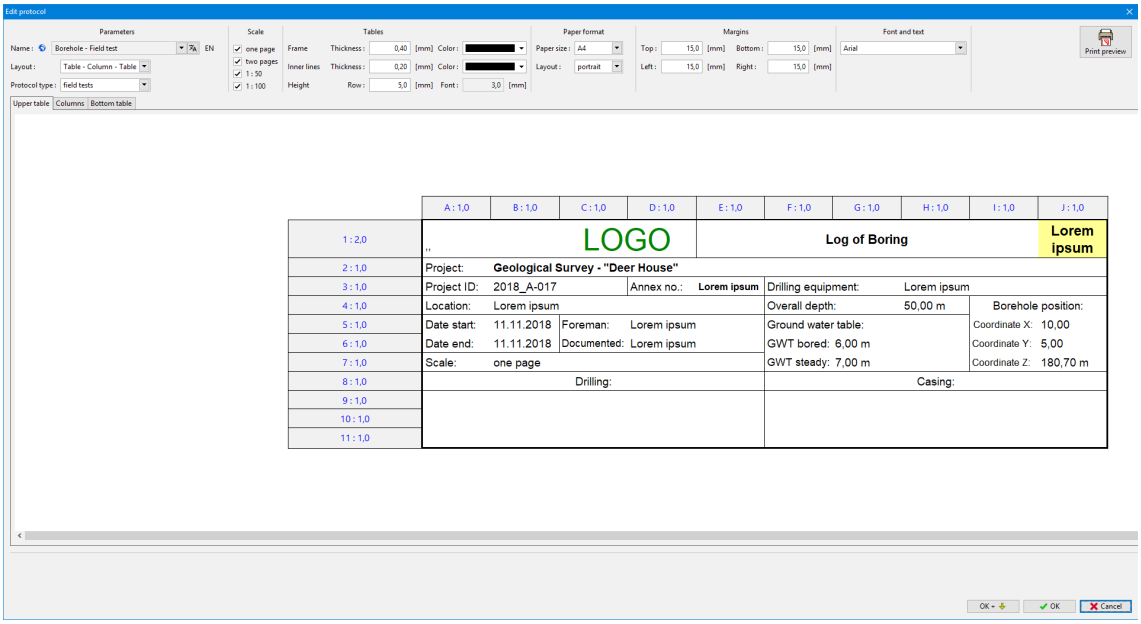
Print of Output Protocols

Design of output protocols is defined in the right side of the template dialog window. It is possible to define arbitrary amount of output protocols for each template - also for one type of field test.



In the upper part of window we define general look of output - there we select if the protocol is used for field ests or soil profiles and also we define **scale of protocol** (one or two pages, 1:50, 1:100).

We select an edited part of protocol by using tabs.



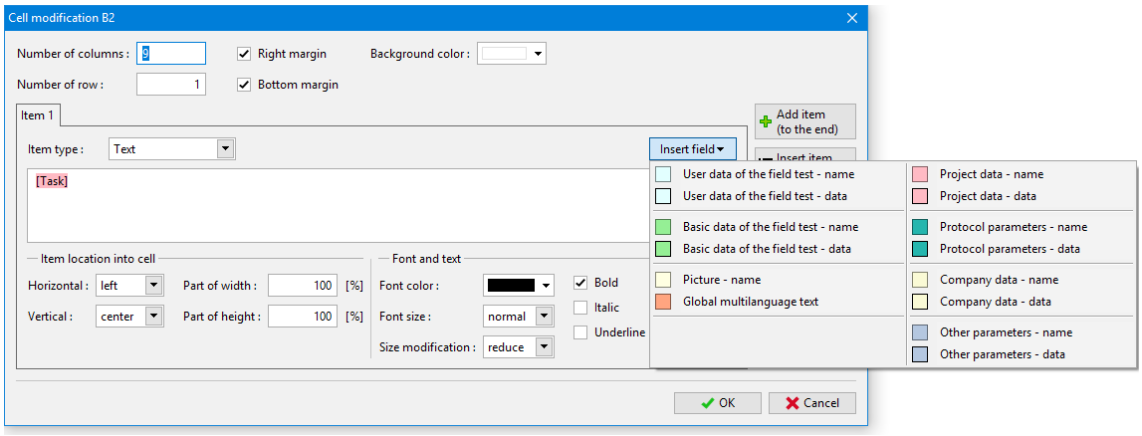
Editing of cell/field is similar to working e.g. in MS Excel - use a double click on field. The field can contain data from various sources - as you can see on the picture.

It is possible to enter **these data** to each field:

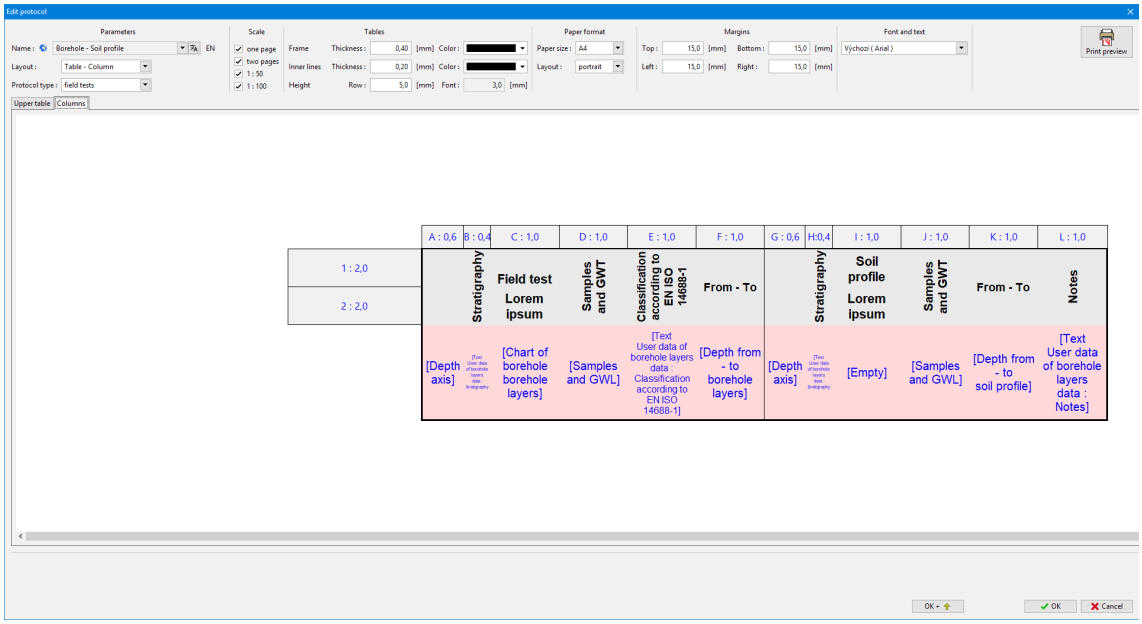
- **basic data of field test**
- user-defined data of field test from the current template
- project data - used in "Project" frame
- company data - used in "About the company" dialog window
- it is possible to select from predefined strings - item "**Global multilanguage text**"
- it is possible to select from predefined pictures - item "**Picture - name**"
- or write an arbitrary **own text into the field**.

It is important to distinguish between items "**Name**" and "**Data**". "**Name**" inserts **name of**

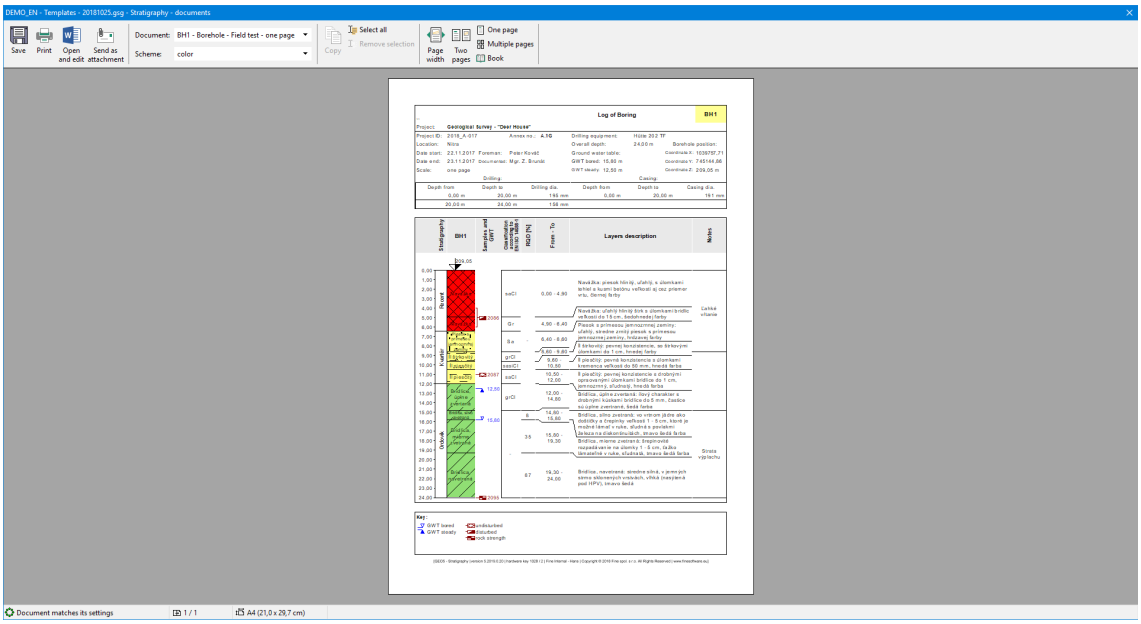
data type (e.g. Drilling foreman), "**Data**" inserts **entered information** (e.g. Mr. Smith).



Output regarding **soil layers data** has a different form - it is edited in columns.



After editing protocol we can check a final created template in the "Field Tests" or "Soil Profiles" frames - after selection of field test and pressing "**Print log**" button, the view of print is displayed.



View on print of log

Budowa

"**Budowa**" określa granice generowanego modelu. Można ją **zdefiniować (prostokąt, wielokąt)** lub **wyznaczyć automatycznie (prostokąt, obwiednia wypukła)** na podstawie zdefiniowanych punktów terenu i wszystkich badań.

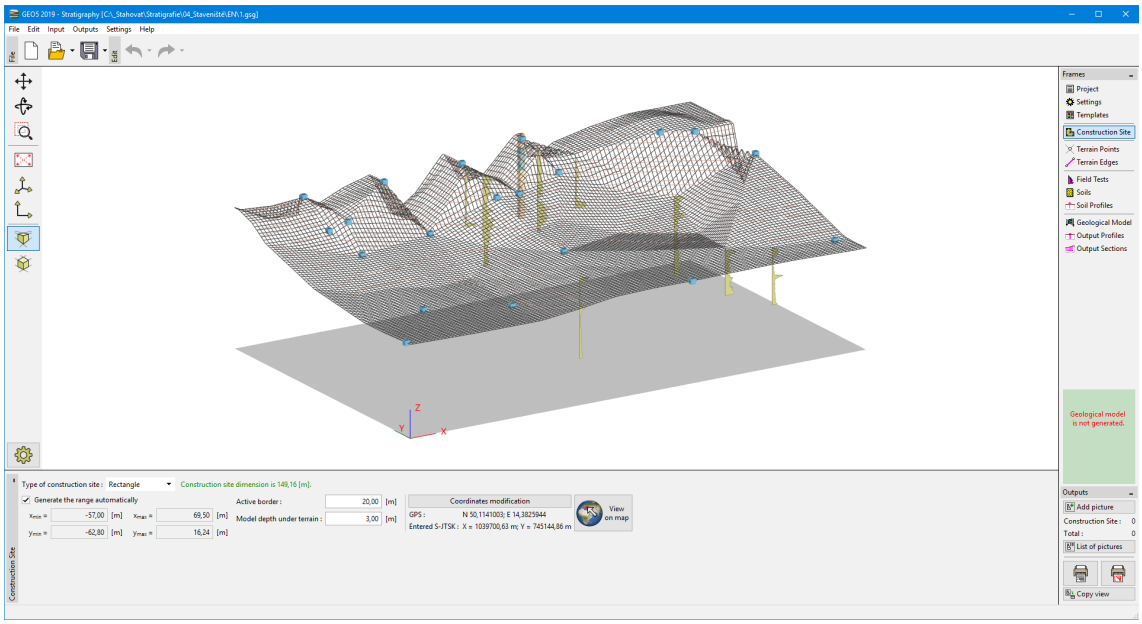
Zdefiniowane punkty krawędzi budowy nie mają zdefiniowanej współrzędnej z, która jest wyznaczana automatycznie jako współrzędna najbliżej położonego, ważnego punktu modelu (punktu lub badania z współrzędną z).

Punkty i warstwy w aktywnej krawędzi są także wyświetlane w granicach budowy.

Punkty terenu i badania polowe można także wprowadzić (importować) poza granicami budowy. W przypadku, gdy wymiary budowy definiowane są ręcznie, takie punkty i badania polowe mają oznaczenie Poza budową" i nie są wyświetlane na ekranie. jeśli natomiast wymiary budowy wyznaczane są automatycznie wówczas **budowa** jest po prostu regenerowana.

It is also possible to enter geographic coordinates for showing construction site on the Google Maps.

W przypadku, gdy wymiary budowy są **nierealnie duże** (odległość między punktami większa niż 5000 m), program nie rysuje budowy i konieczna jest weryfikacja/rewizja modelu.



Ramka "Budowa"

Aktywne krawędzie

Warunki brzegowe (wysokości punktów w narożnikach i na krawędziach budowy) są niezwykle ważne do prawidłowej generacji modelu geologicznego i modelu terenu.

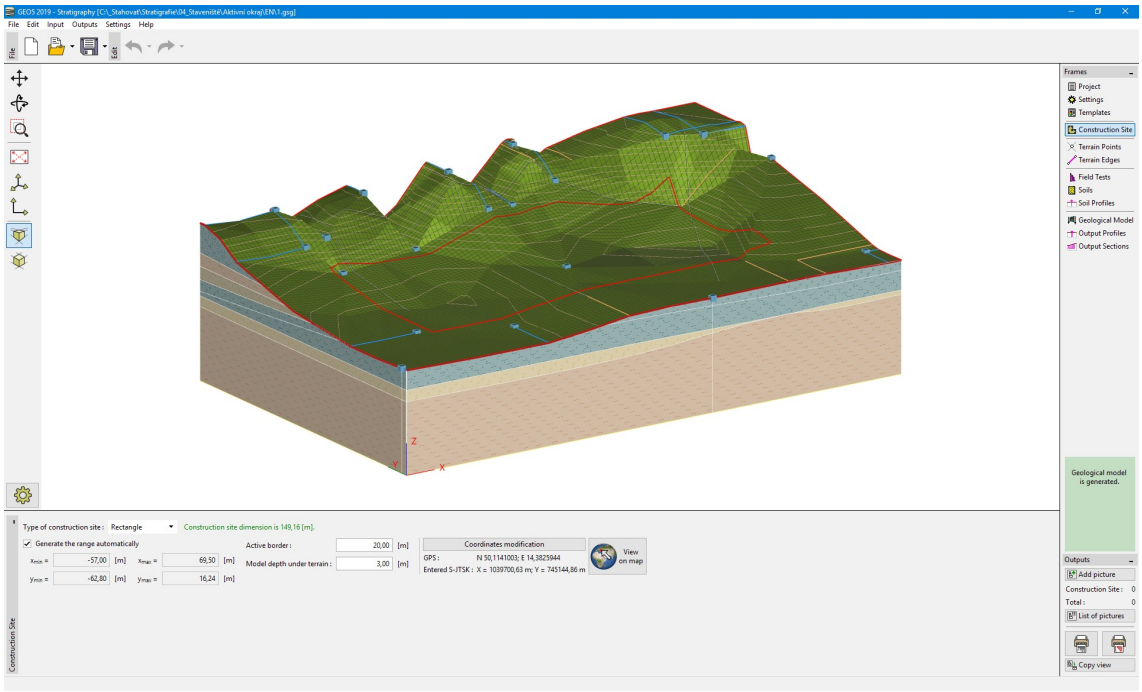
Punkty i otwory na krawędziach budowy są tworzone automatycznie podczas generowania modelu geologicznego. W pierwszej kolejności współrzędna *z* najbliższego punktu (lub badania) jest przypisywana do punktów budowy. Następnie, najbliższy otwór jest przyporządkowywany do tych punktów.

Tego typu modelowanie jest właściwe w przypadku terenów płaskich. W odniesieniu do modelowania terenów pochyłych, **model nie będzie stworzony prawidłowo na krawędziach**, na których warunki brzegowe nie zostaną zdefiniowane. **Krawędź aktywna** pomaga **zdefiniować warunki brzegowe na krawędziach budowy.**

Krawędź aktywna zaznaczona jest na rysunku **kolorem czerwonym**.

Podczas generacji modelu numerycznego terenu, wszystkie punkty i badania, które mają zdefiniowaną współrzędną z w obrębie krawędzi aktywnej tworzą punkty pomocnicze na krawędzi modelu. **Połączenia pomiędzy punktami (badaniami)** i **punktami pomocniczymi** zaznaczone są na rysunku w kolorem **niebieskim**.

Podczas generacji modelu geologicznego, wszystkie otwory w obrębie krawedzi aktywnej tworzą otwór pomocniczy na krawędzi modelu. **Połączenia pomiędzy otworami** i **otworami pomocniczymi** zaznaczone są na rysunku w kolorem **pomarańczowym**.



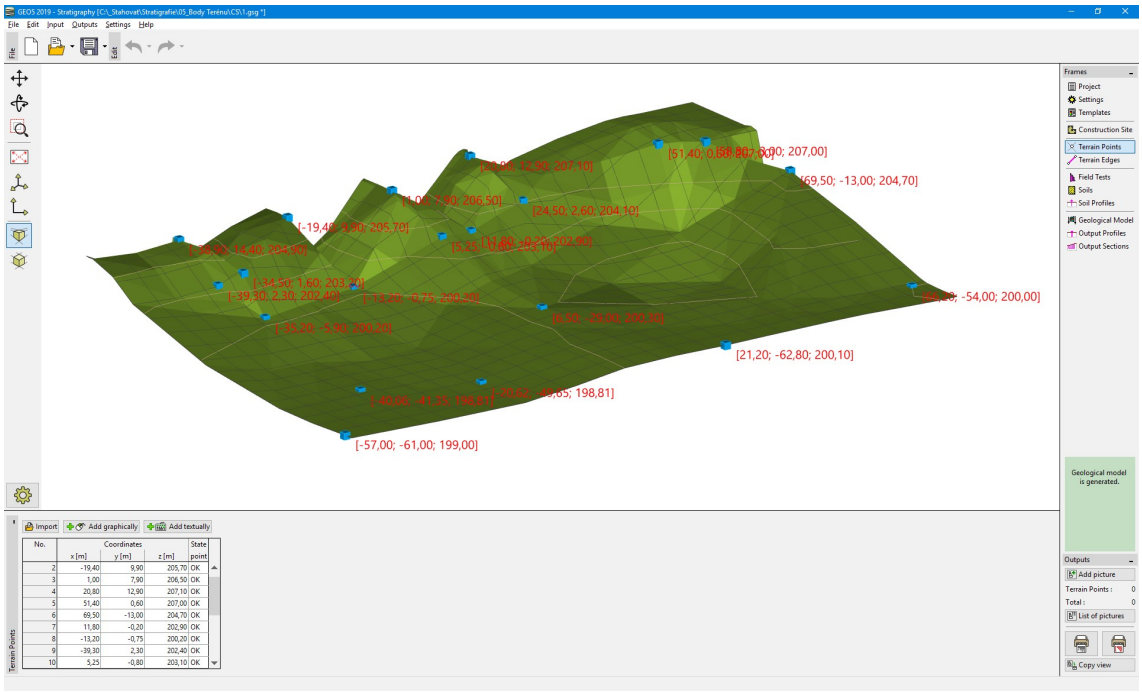
Ramka "Budowa" - ustawienia krawędzi aktywnej

Zastosowanie krawędzi aktywnych opisane jest również w przykładzie dotyczącym Krawędzi budowy.

Punkty terenu

Współrzędne punktów terenu definiuje się w ramce "**Punkty terenu**". Okno dialogowe "**Nowe punkty terenu**" służy do dodawania nowych punktów.

Jeśli dodawane są nowe punkty terenu do wygenerowanego wcześniej modelu, wysokości punktów (rzędne) Z wyznaczane są przez program automatycznie. Można dodać tylko jeden punkt do jednych współrzędnych X, Y.



Frame "Terrain Points"

Model terenu generowany jest zawsze po każdym dodaniu dowolnego punktu.

The points can be also imported using the "**Import**" button in various formats.

- Text tables
- XLSX and ODS Tables
- LandXML (*.xml)
- DXF (*.dxf) - import of points is similar as using LandXML data

Wizualizację rysunku na puplipcie można zmodyfikować w dowolnym trybie definiowania dostosowując ustawienia w ramce "Ustawienia rysunku", a także za pomocą przycisków na pasku narzędzi "Wizualizacja".

Terrain Edges

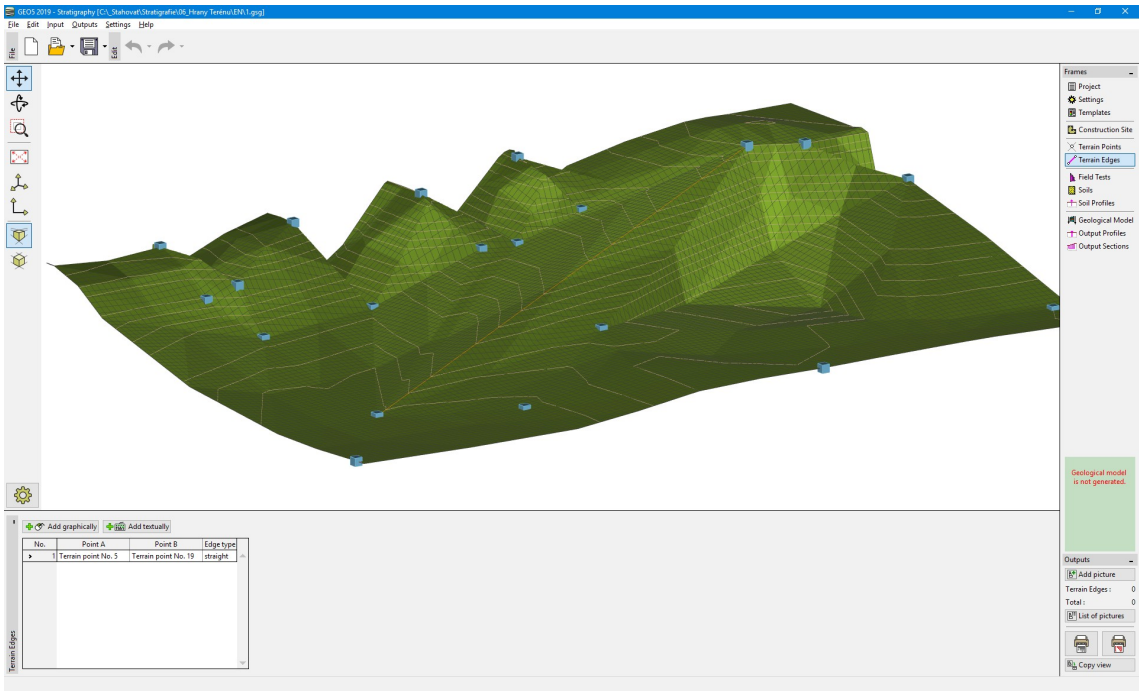
The edges connecting terrain points are entered in the frame "**Terrain Edges**". The dialog window "**New terrain edge**" serves to add new points.

The edge is defined between terrain points or field tests.

Furthermore, the type of edge is selected:

- **straight** - points are connected by straight line
- **curved** - points are connected by curve (the edge is smoothed according to the terrain)

Just one edge can be defined between two points. The edges cannot intersect.



Frame "Terrain Points"

The **terrain model is always generated** after any change of an edge.

Visualization of drawing on the desktop can be modified in any input mode based on the setting adjusted in the "Drawing Settings" frame and with the help of buttons on tool bar "Visualization".

Field Tests (Exploration Points)

Ramka "**Badania polowe**" zawiera tabelę ze wszystkimi wprowadzonymi badaniami polowymi. W tabeli tej widoczne są: **nazwa**, **rodzaj**, **współrzędne** i **status badania**. Z prawej strony tabeli wyświetlane jest wybrane badanie.

Ramka ta służy do wprowadzania **nieskorygowanych danych ze wszystkich badań polowych**, które były wykonane na budowie. Istnieje mozliwość wprowadzenia nie tylko danych niezbędnych do zbudowania modelu geologicznego, ale także danych uzupełniających do dokumentacji geologicznej.

Badania powinny być wprowadzane do programu zawsze w wersji oryginalnej, nieskorygowanej (tak jak były wykonane na budowie). Modyfikacja lub interpretacja badań wykonywana jest w ramce "Profile badań". Każde wprowadzone do programu badanie polowe automatycznie tworzy profil badania (jeśli funkcja ta nie zostanie wyłączona poprzez odznaczenie opcji "**Badanie generuje profil**").

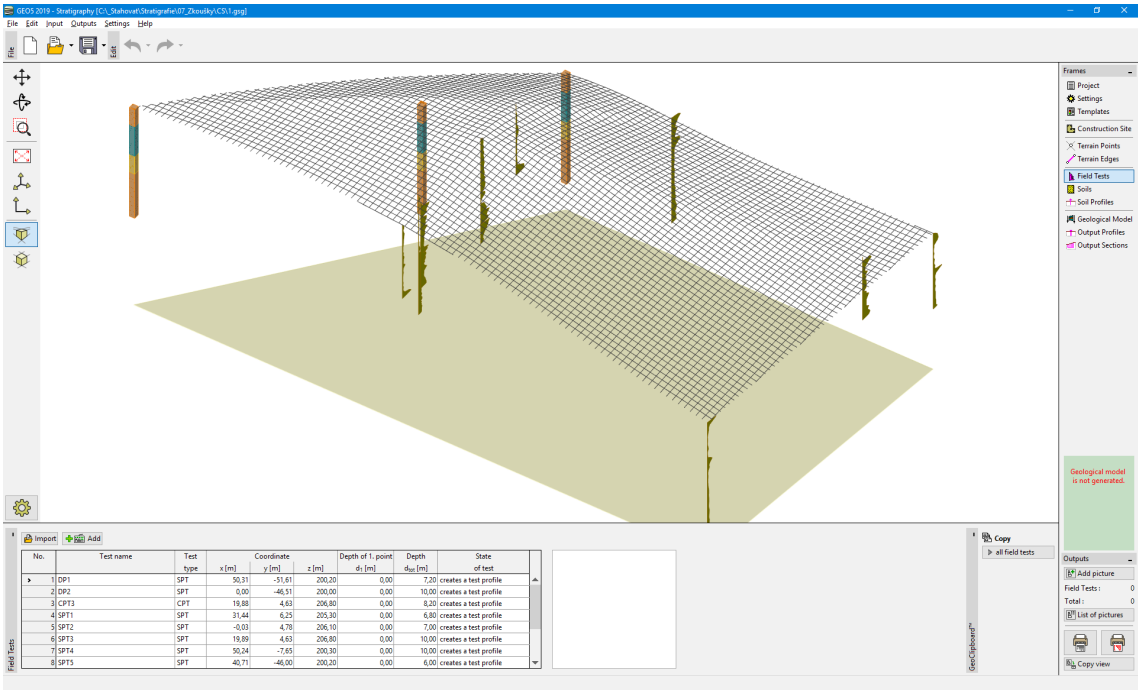
Jeśli importowana jest znaczna liczba badań polowych, może się zdarzyć, że któreś z badań będzie umiejscowione **poza terenem budowy**. W takim przypadku, **badanie nie tworzy profilu** i nie jest wyświetlane.

Badania polowe mogą być dodawane z wykorzystaniem przycisku "**Dodaj**" lub importowane przy pomocy przycisku "**Importuj**".

program "**Stratygrafia 3D**" obsługuje następujące rodzaje badań polowych:

- Otwory badawcze

- Sondowania statyczne CPT (Cone penetration tests)
- Sondowania dynamiczne DPT (Dynamic penetration test)
- Sondowania SPT (Standard penetration tests)
- Sondowania presjometryczne PMT (Pressuremeter tests)
- Badania dylatometryczne DMT (Dilatometric tests)



Ramka "Badania polowe"

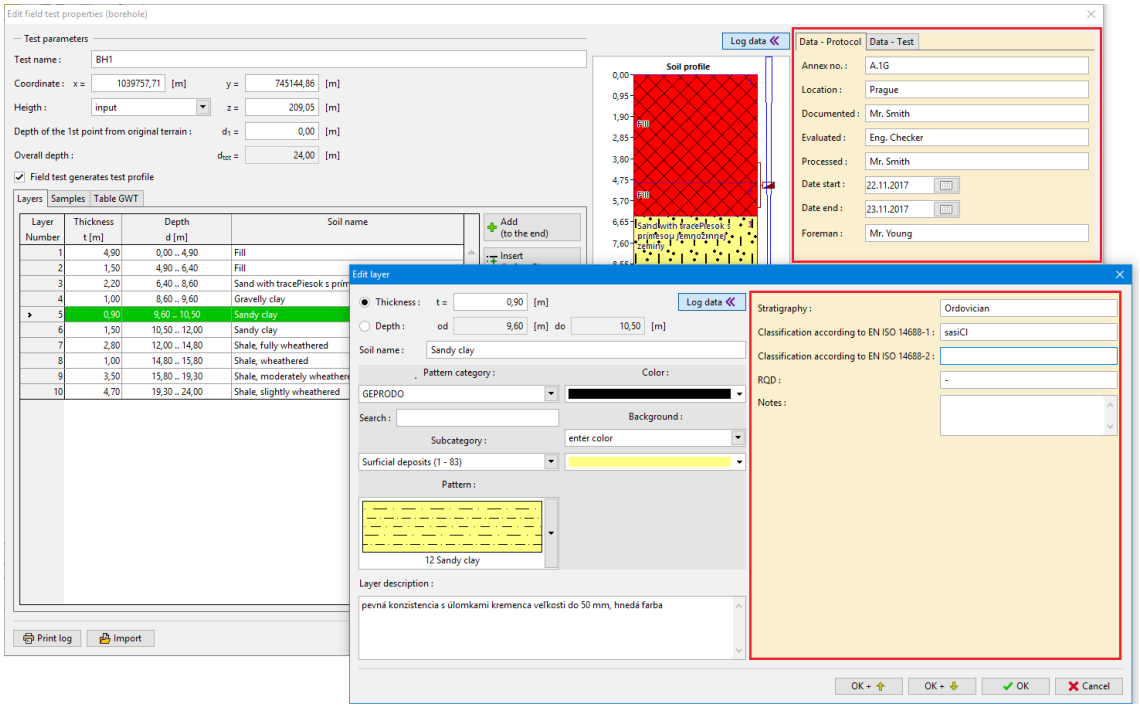
Wizualizację rysunku na pulpicie można modyfikować w dowolnym trybie definiowania na postawie ustawień wprowadzonych w ramce "Konfiguracja rysunku" oraz za pomocą przycisków na paskach narzędzi "Wizualizacja".

Przycisk "Cofnij" jest istotnym narzędziem w programie. Umożliwia przywrócenie **stanu pierwotnego sprzed wszystkich modyfikacji**.

Additional Data of Field Tests

In the dialog windows for field tests input, the **basic data** needed to create the **geological model** and the basic data required for further calculations in the GEO5 programs are entered.

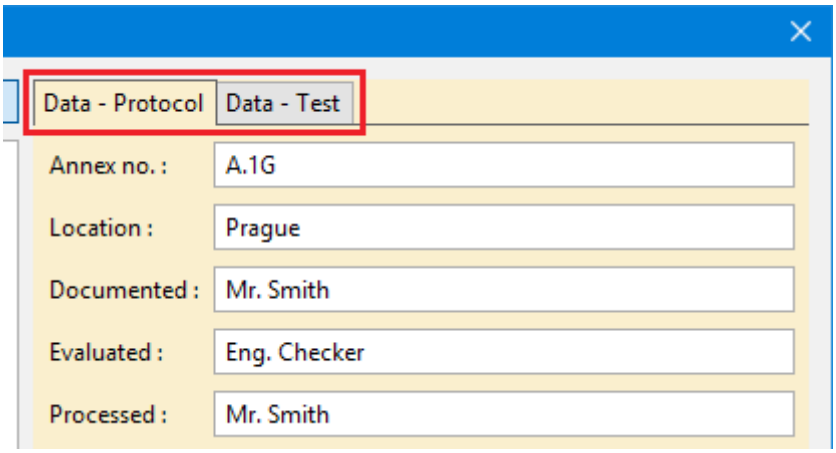
For users with purchased modul "**Logs**" it is also possible to enter arbitrary amount of geological data, defined in the "Templates" frame - for each test and also for each layer. These data are important for geological documentation print.



Input of user data

Log style is defined in the "Templates" frame. The data are stored in the global databse - it means that data are preserved when template changing, only some of them are shown - no imported or entered data get lost after template switch.

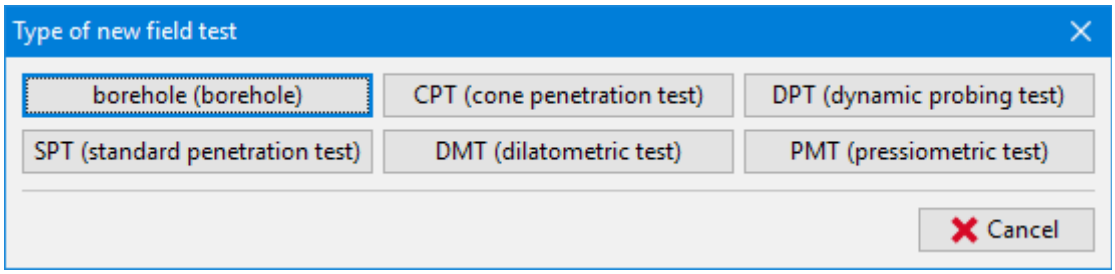
Using bigger amount of data it is possible to sort it into the groups. Groups are defined when defining field test data.



Editing groups

Import badań

Przycisk "**Importuj**" otwiera okno dialogowe "**Nowe badanie**". W oknie tym, należy określić rodzaj badania, które będzie importowane.



Dialog window "Type of new field test"

Program "**Stratygrafia 3D**" umożliwia import następujacych badań polowych:

Borehole

*.txt, *.xlss, *.csv, *.ods - a general text or table format

.son,.so2 - a data format used in Czech and Slovak Republic, originally from the GeProDo software

CPT (Cone Penetration Test)

*.txt, *.xlss, *.csv, *.ods - a general text or table format

*.spe - a data format used in Czech and Slovak Republic, originally from the GeProDo software

*.cpt - a text file standard particularly for Netherlands (used e.g., in programs Geodelft M-Serie), which serves to input elevations of individual points and values of penetration resistance (may contain more CPTs)

*.cpt - a text file Geotech AB CPT

*.cpt - a text file Gouda Geo CPT

*.cpt - a text file Hogentogler CPT

*.gef - GEF (Geotechnical Exchange Format) is a general language structure for storing and transferring of geotechnical information.

Detailed information available online:
https://publicwiki.deltares.nl/display/STREAM/GEF-CPT

*.ags a format used for transferring of geotechnical information in Great Britain.

Detailed information available online:
http://www.agsdataformat.com/datatransferv4/intro.php

DPT (Dynamic Probing Test)

*.txt, *.xlss, *.csv, *.ods - a general text or table format

*.pen - a data format used in Czech and Slovak Republic, originally from the GeProDo software

SPT (Standard Penetration Test)

*.txt, *.xlss, *.csv, - a general text or table format

*.ods

DMT (Dilatometric Test)

*.txt, *.xlss, *.csv, *.ods - a general text or table format

*.uni - a standardized and universal format for import of the measured data obtained from dilatometric tests

PMT (Pressumetric Test)

*.txt, *.xlss, *.csv, *.ods - a general text or table format

A general text or table format import allows for selecting a particular **system of units** to store data of the test. When importing the program automatically converts the adopted system of units to the one used in the program.

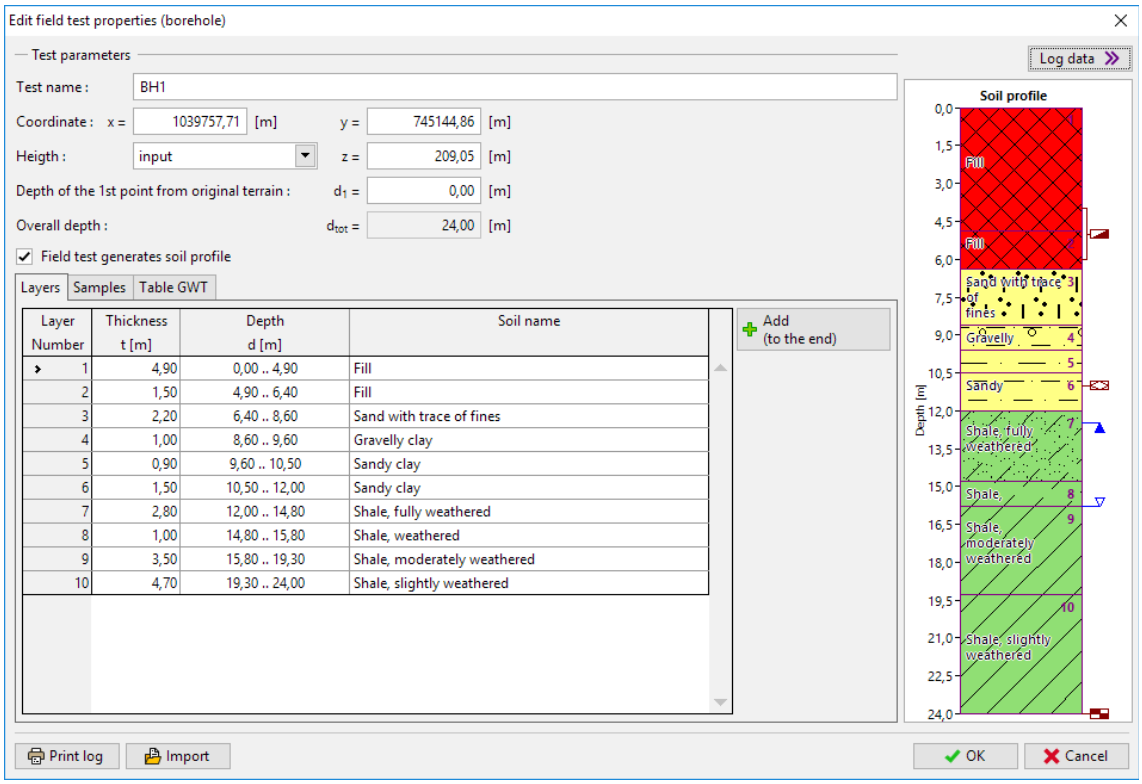
Providing you use a certain standard of a CPT text file not supported by the program, feel free to contact us at **hotline@fine.cz** - it will be introduced into the forthcoming version.

Otwór

W oknie dialogowym "**Nowe badanie polowe**" w pierwszej kolejności definiuje się nazwę badania, zagłębienie pierwszego punktu badania pod powierzchnią terenu oraz współrzędne x, y, z.

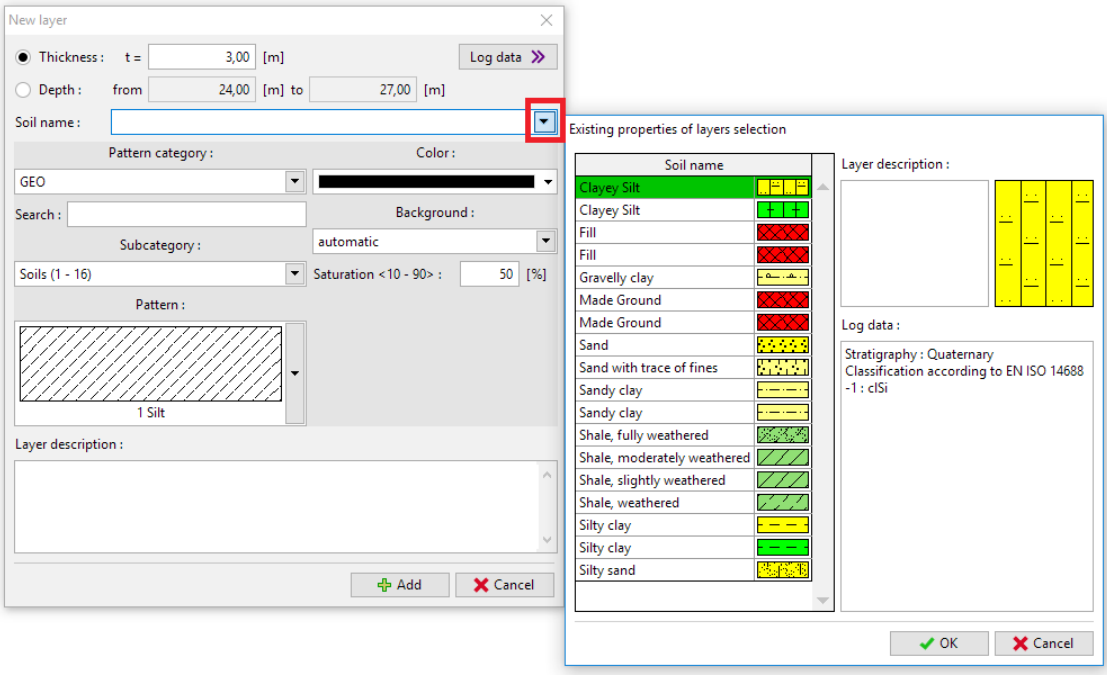
Wysokość pierwszego punktu (wspólrzędna z) może być zdefiniowana ręcznie przez użytkownika lub wyznaczona automatycznie przez program w przypadku, gdy badanie wykonane było z poziomu terenu.

W oknie tym można również zdefiniować poziomy zwierciadła wody gruntowej (nawierconego i ustabilizowanego).



Okno dialogowe "Nowe badanie polowe"

Przycisk "**Dodaj**" otwiera okno dialogowe "**Nowa warstwa**". W oknie tym definiuje się miąższość warstwy t, a także przyporządkowuje grunt do tej warstwy. W przypadku, gdy grunt nie był wcześniej zdefiniowany w ramce "Grunty", istnieje możliwość dodania nowego gruntu do listy poprzez zastosowanie przycisku "**Dodaj grunt**".

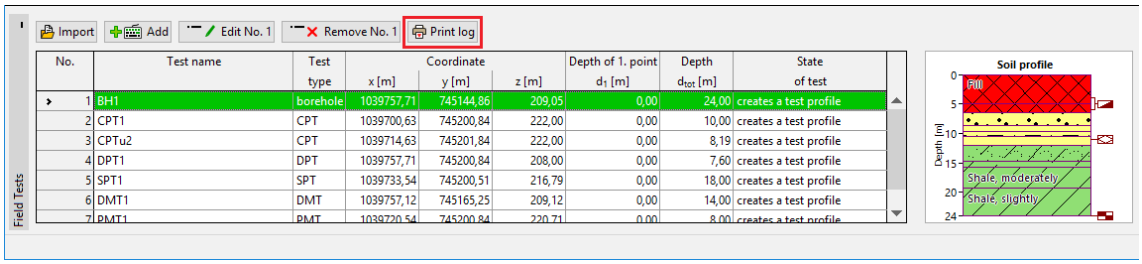


Okno dialogowe "Nowy grunt"

Dokumentacja geologiczna

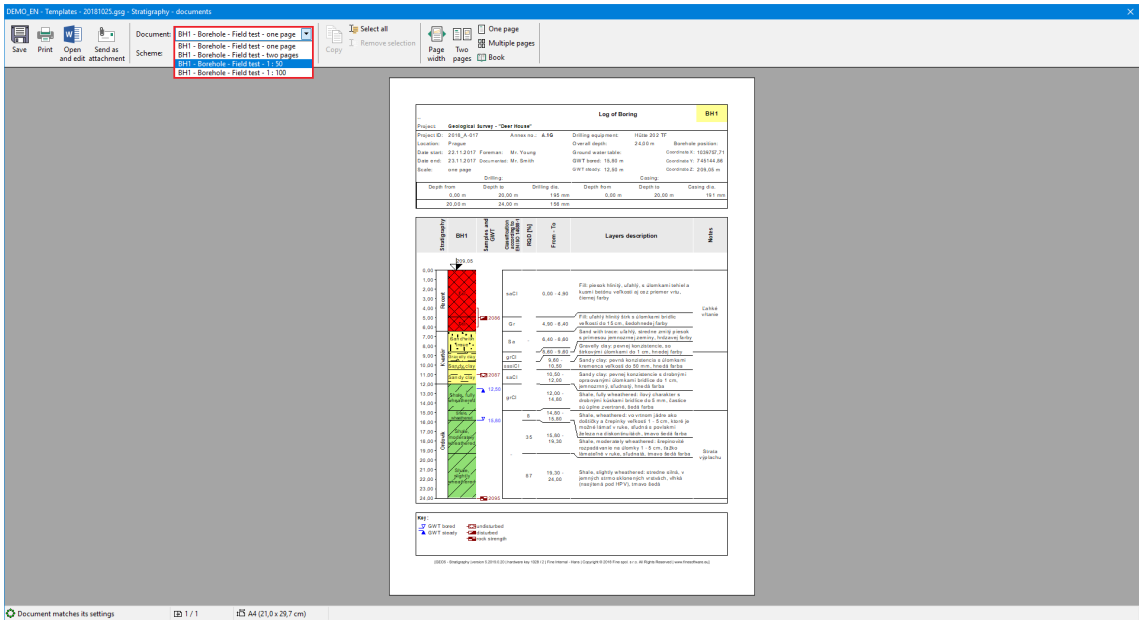
The program allows to print a geological documentation for **tests** and **soil profiles**.

After selecting one or more tests, the "**Print log**" button is shown on the toolbar.

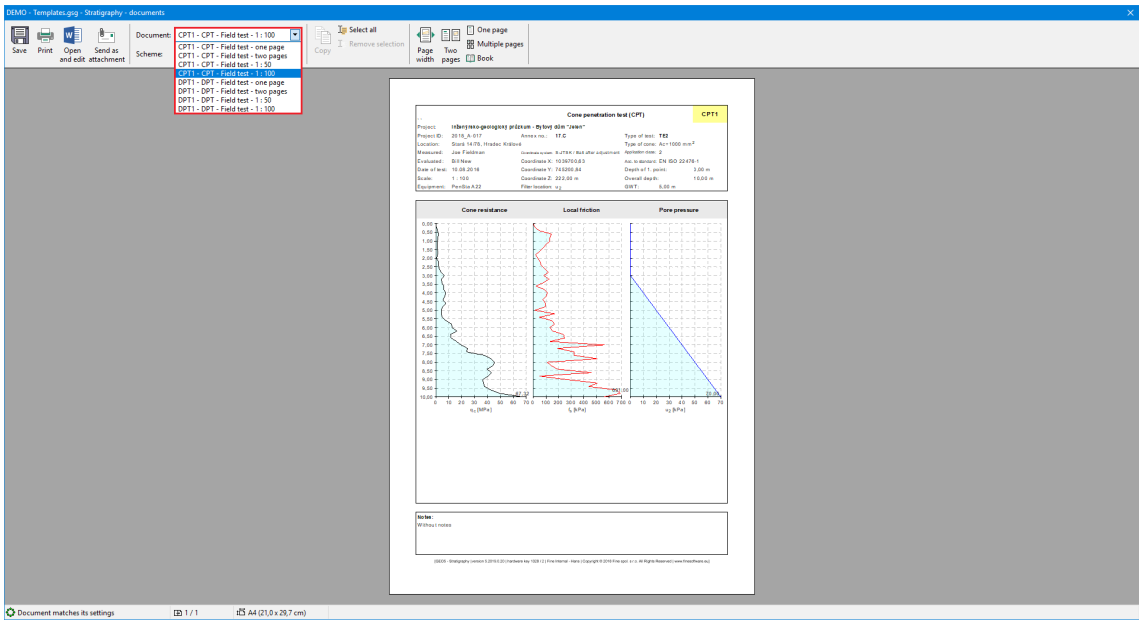


No.	Test name	Test type	Coordinate x [m]	Coordinate y [m]	Coordinate z [m]	Depth of 1. point d_1 [m]	Depth d_{tot} [m]	State of test
1	BH1	borehole	1039757,71	745144,86	209,05	0,00	24,00	creates a test profile
2	CPT1	CPT	1039700,63	745200,84	222,00	0,00	10,00	creates a test profile
3	CPTu2	CPT	1039714,63	745201,84	222,00	0,00	8,19	creates a test profile
4	DPT1	DPT	1039757,71	745200,84	208,00	0,00	7,60	creates a test profile
5	SPT1	SPT	1039733,54	745200,51	216,79	0,00	18,00	creates a test profile
6	DMT1	DMT	1039757,12	745165,25	209,12	0,00	14,00	creates a test profile
7	PMT1	PMT	1039720,54	745200,84	220,71	0,00	8,00	creates a test profile

Using this button, the dialog window for print is opened. Here it is possible to select a template for output protocol (This function is available just for users with purchased module "**Logs**" - if this module is not installed, only one default template is available for each type of field test).



When selecting more then one test, it is possible to print more tests of identical type together - we can see three different CPTs on the picture in scale 1:100.



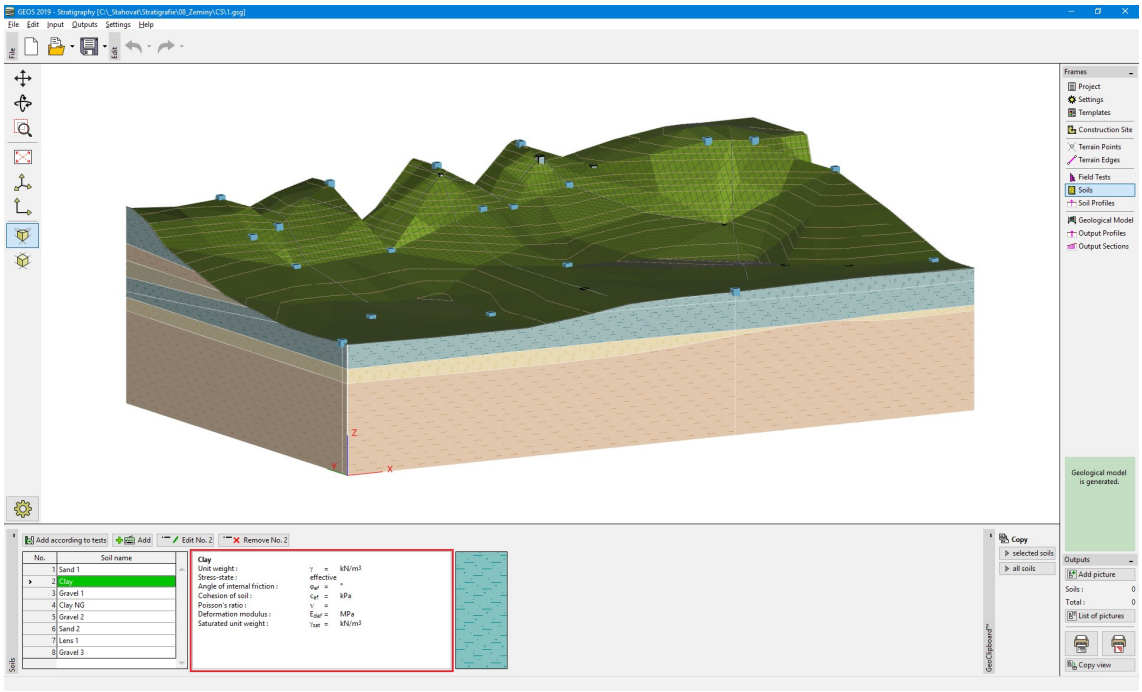
Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dodawanie gruntów wykonywane jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt". It is also possible to add all soils already entered in the frame "Field Tests" using "**Adopt from field tests**" button.

Program "**Stratygrafia 3D**" **nie wymaga definiowania żadnych parametrów gruntu** w celu zbudowania modelu geologicznego. Parametry można zdefiniować w celu umożliwienia **eksportu do innych programów GEO5.**

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane pomiędzy wszystkimi programami GEO5 poprzez "GeoSchowek". Można także wykorzystać opcję eksportu tych danych w ramkach "Profile wynikowe" lub "Przekroje".



Ramka "Grunty"

Profile badań

Ramka "**Profile badań**" zawiera tabelę z wszystkimi zdefiniowanymi profilami badań. W tabeli widoczne są **nazwa**, **współrzędne** i **rodzaj** profilu badania. Z prawej strony tabeli wyświetlany jest zaznaczony profil badania.

Profile badań tworzone są automatycznie na podstawie wprowadzanych do programu badań. Każdy profil odpowiada dokładnie jednemu badaniu. Nazwa badania i jego współrzędne nie mogą być w tym miejscu zdefiniowane ani modyfikowane - są zawsze odpowiadające badaniu.

Profil badania jest interpretacją wyniku badania do **profilu geologicznego**.

Profile badań są następnie wykorzystywane do tworzenia otworów. Model geologiczny budowany jest na podstawie otworów. Każdy, prawidłowo zdefiniowany, profil badania tworzy otwór (jeśli funkcja ta nie jest wyłączona poprzez odznaczenie opcji "**Profil jest aktywny do generowania modelu geologicznego**").

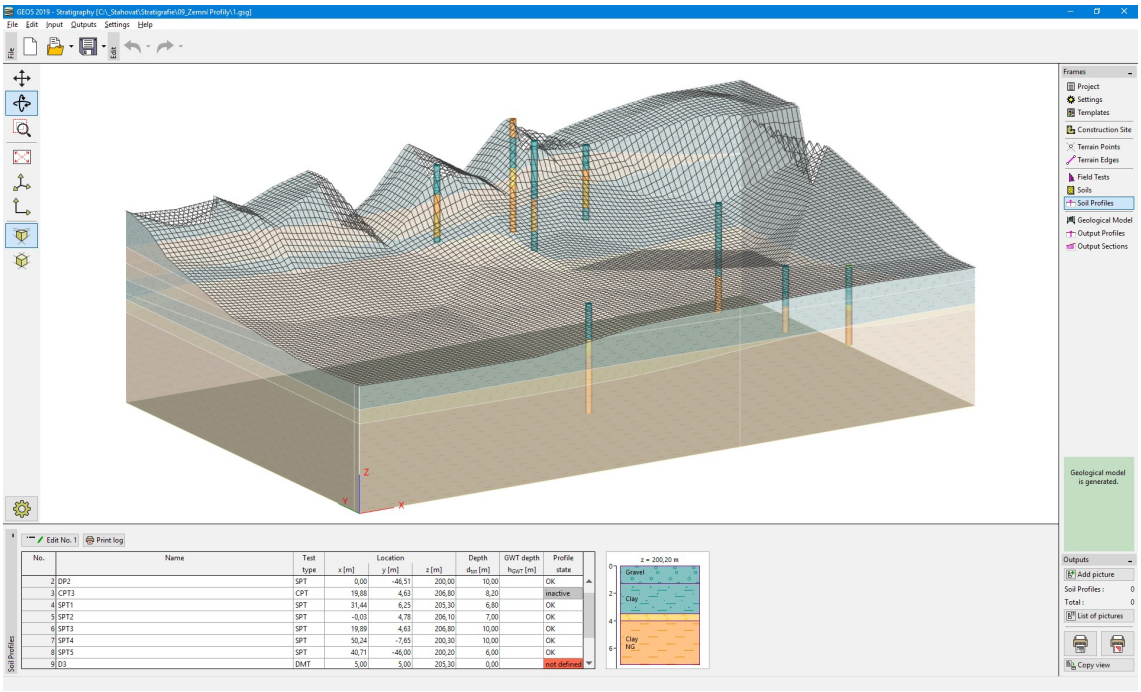
If one or more soil profiles are selected, the button "**Print log**" is shown on the toolbar. Using this button we can print soil profile together with field test as a part of geological documentation.

W przypadku, gdy profil badania **nie jest prawidłowo zdefiniowany**, w tabeli wyświetlany jest w kolorze czerwonym z opisem "**nie zdefiniowany**". W tej sytuacji otwór nie jest tworzony na podstawie badania.

Jeśli profil badania znajduje się **poza granicami budowy**, profil badania jest niewidoczny i nie tworzy otworu.

Tworzenie profilu badania zależy od rodzaju badania polowego:

- Tworzenie profilu badania na podstawie otworu badawczego
- Tworzenie profilu badania na podstawie sondowania statycznego CPT
- Tworzenie profilu badania na podstawie sondowań DPT, SPT, PMT i DMT



Ramka "Soil profiles"

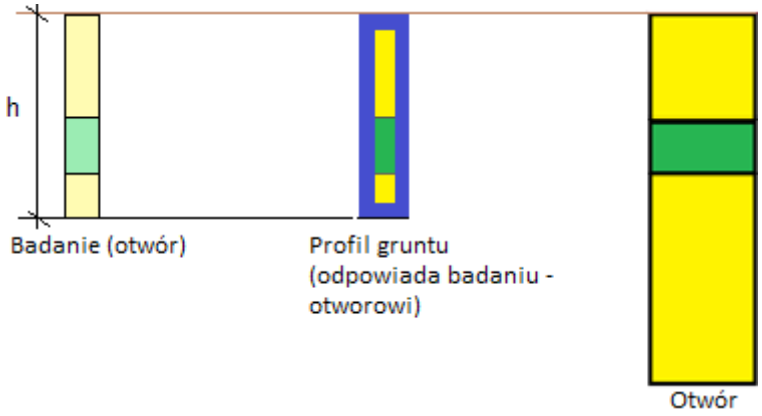
Wizualizację rysunku na puplipcie można zmodyfikować w dowolnym trybie definiowania dostosowując ustawienia w ramce "Ustawienia rysunku", a także za pomocą przycisków na pasku narzędzi "Wizualizacja".

Przycisk "Cofnij" jest istotnym narzędziem w programie. Umożliwia przywrócenie **stanu pierwotnego sprzed wszystkich modyfikacji.**

Zależność między Badaniem polowym, Profilem badania i Otworem

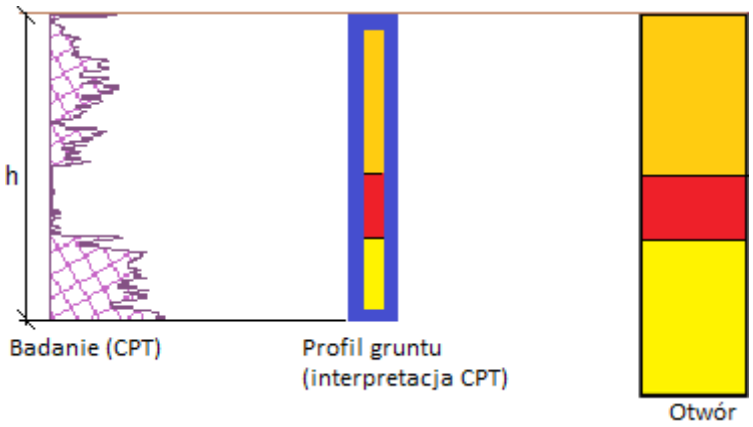
Profil badania tworzony jest na podstawie badania (exploration point), a **otwór tworzony jest z profilu badania**. Nie jest możliwa edycja współrzędnych profilu badania lub otworu, ponieważ odpowiadają one zawsze współrzędnym badania.

W przypadku, gdy wybranym rodzajem **badania jest otwór**, wówczas profil badania tworzony jest automatycznie i nie ma konieczności wykonywania żadnych modyfikacji.



Zależność pomiędzy profilem badania i badaniem (otworem)

Jeśli wybranym rodzajem **badania nie jest otwór**, wówczas konieczny jest transfer badania do profilu badania (miąższości warstw i przyporządkowane grunty).

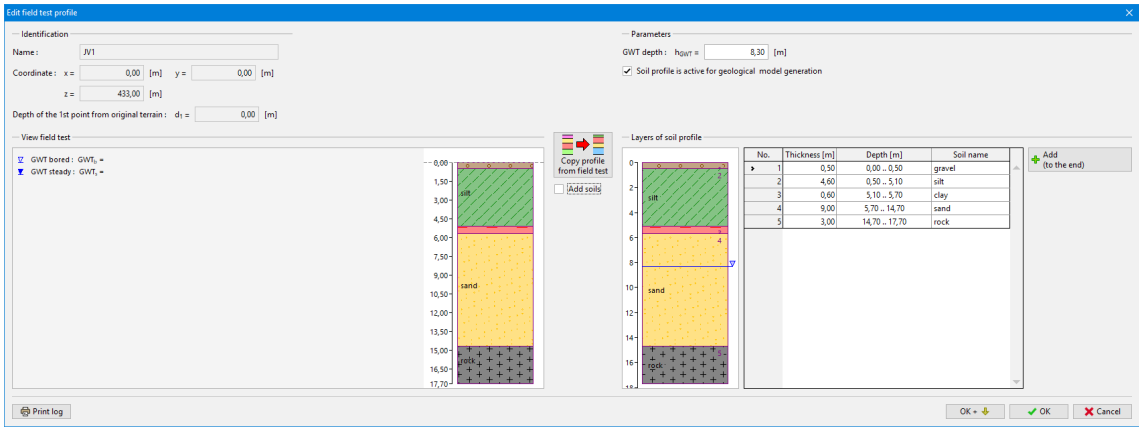


Zależność pomiędzy profilem badania i badaniem (otworem)

Jeśli dane badania polowego zmienią się, profil badania zmieniany jest automatycznie. Następnie, jeśli profil badania jest zmieniony, wówczas otwór także się zmienia, a to w konsekwencji prowadzi do zmiany całego modelu geologicznego.

Creation of Soil Profile from Borehole

W przypadku, gdy profil badania tworzony jest na podstawie otworu, wówczas przycisk "**Kopiuj profil z badania polowego**" kopiuje wszystkie warstwy gruntu, takie jak były zdefiniowane w ramce "Badania polowe". Using "**Add soils**" checkbox, all types of soils are also copied from the field test.



Okno dialogowe "Edycja profilu badania" - otwór

Oryginalnie zdefiniowane badanie polowe (otwór) wyświetlane jest w lewej części okna dialogowego, w prawej części - profil badania. Miąższości warstw i przyporządkowane grunty mogą być modyfikowane.

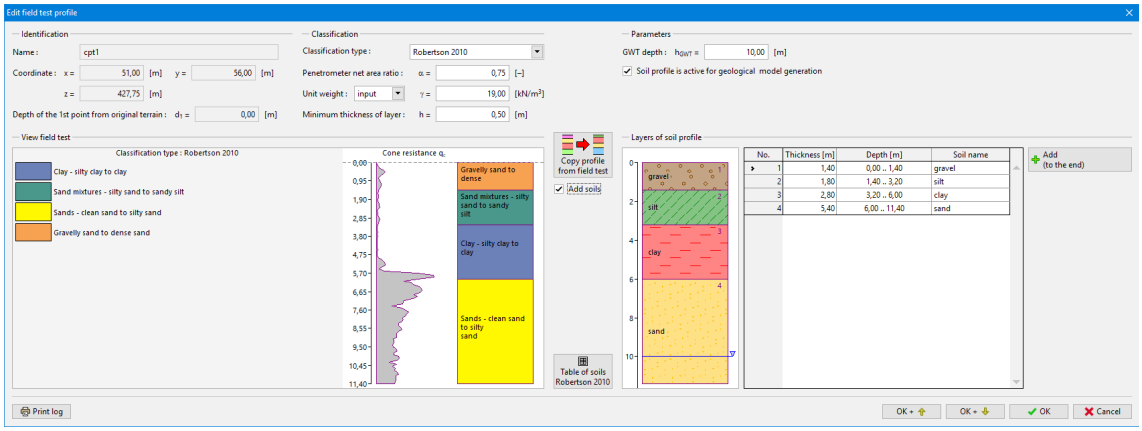
Creation of Soil Profile from CPT

W przypadku tworzenia profili badań na podstawie sondowań CPT, program udostępnia **dwa podstawowe sposoby** w zależności od wybranej **metody klasyfikacji**:

- **"Robertson 2010", "Robertson 1986"** - tworzenie profilu badania z wykorzystaniem

klasyfikacji gruntów

- **Nie klasyfikuj** - w tej sytuacji profil badania tworzony jest tak samo jak w przypadku sondowań DPT, SPT, PMT

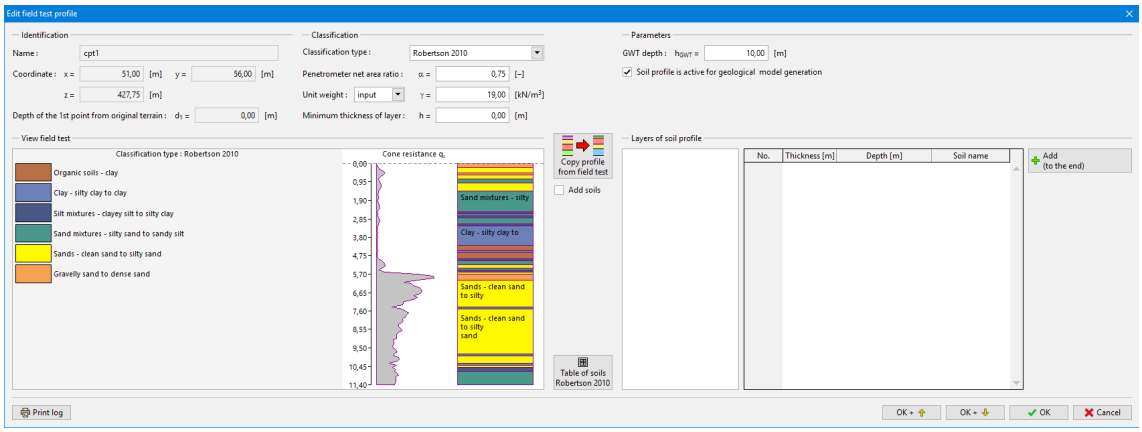


Okno dialogowe "Edycja profilu badania" - CPT

Creation of Soil Profile using Classification of Soils

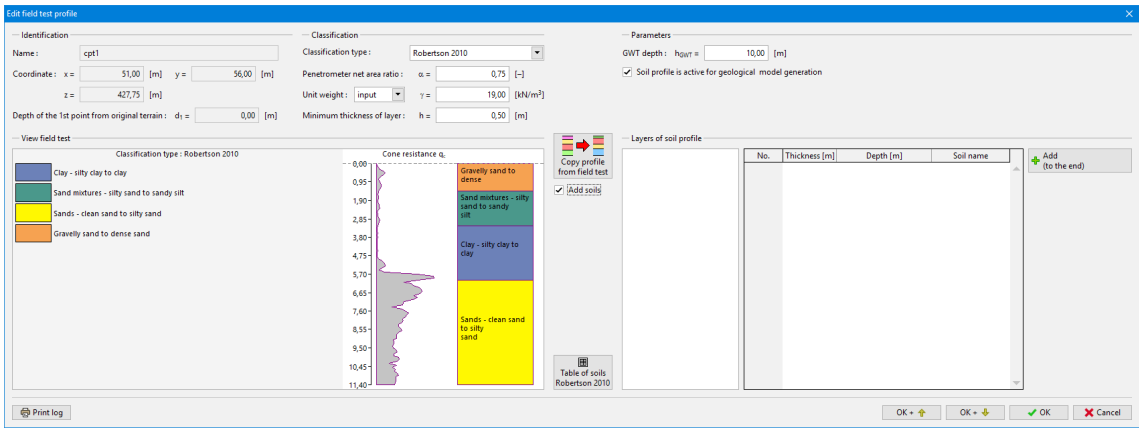
W części "**Klasyfikacja**" należy dokonać wyboru metody klasyfikacji (Robertson 2010, Robertson 1986) oraz zdefiniować inne parametry (Współczynnik penetrometru α , ciężar objętościowy γ).

Zwykle, wynikiem klasyfikacji jest znaczna liczba małej miąższości warstw gruntu.



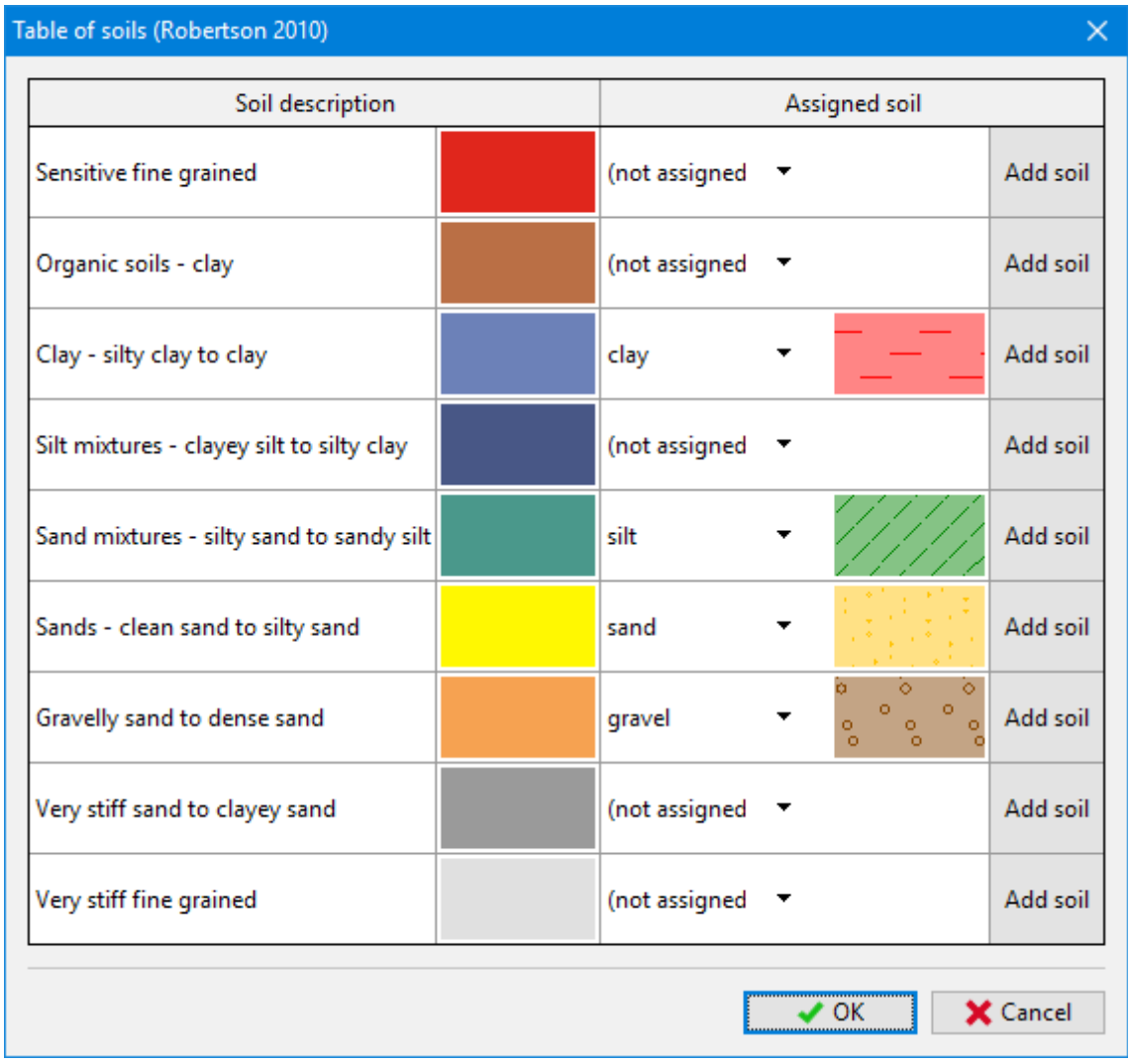
Okno dialogowe "Edycja profilu badania" - CPT (bez określania minimalnej miąższości warstw)

Z tego powodu korzystnym jest określenie minimalnej dopuszczalnej miąższości warstwy h. Filtr ten redukuje liczbę warstw i profil jest bardziej przejrzysty.



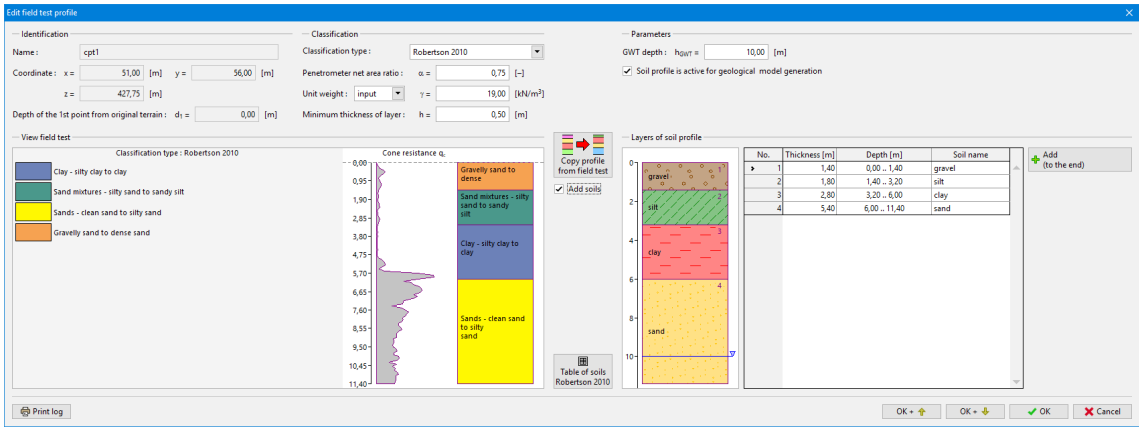
Okno dialogowe "Edycja profilu badania" - CPT (określona minimalna miąższość warstw)

Przycisk "**Tabela gruntów**" otwiera nowe okno dialogowe "**Tabela gruntów Robertson (1986** lub **2010)**". Istnieje możliwość przypisania zdefiniowanych gruntów opisom gruntów według klasyfikacji Robertsona. Jeśli grunt nie był wcześniej zdefiniowany w ramce "Grunty" można go także zdefiniować w tym miejscu, korzystając z przycisku "**Dodaj grunt**". Nie ma konieczności przypisywania gruntów do opisów, które nie były sklasyfikowane.



Okno dialogowe "Tabela gruntów"

Przycisk "**Kopiuj profil z badania polowego**" tworzy profil badania z uwzględnieniem zdefiniowanych gruntów odpowiadających warstwom z klasyfikacji na podstawie CPT.



Okno dialogowe "Edycja profilu badania" - CPT

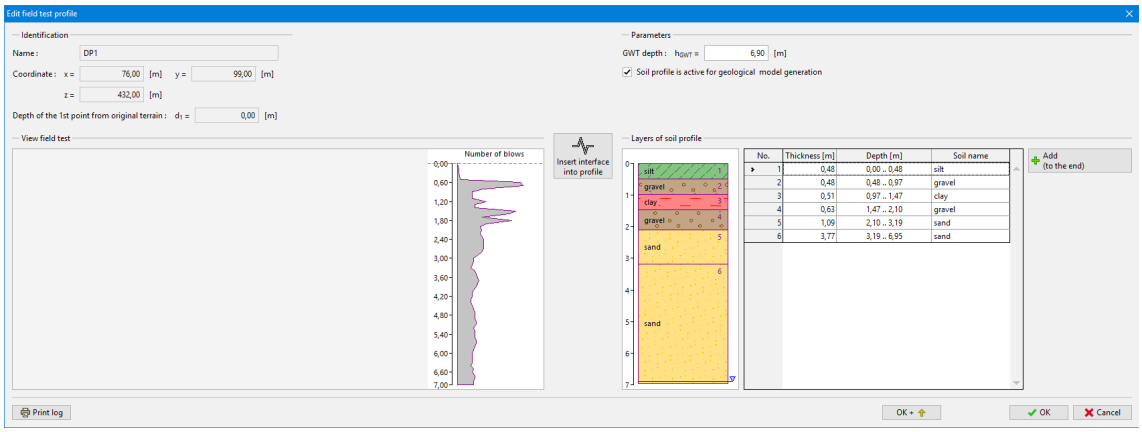
Stworzony w ten sposób profil można edytować za pomocą przycisków zlokalizowanych z prawej strony okna dialogowego.

Tworzenie Profilu badania na podstawie sondowań SPT, DPT, PMT

W przypadku tworzenia profili badań na podstawie sondowań DPT, SPT i PMT, konieczne jest ręczne stworzenie profilu badania.

Wynik pomiarów podczas badania (tutaj przykładowo SPT) wyświetlany jest w lewej części okna dialogowego. Z wykorzystaniem lewego klawisza myszki można stworzyć odpowiednią warstwę w profilu geologicznym. Warstwy te są natychmiast wyświetlane w prawej części okna dialogowego.

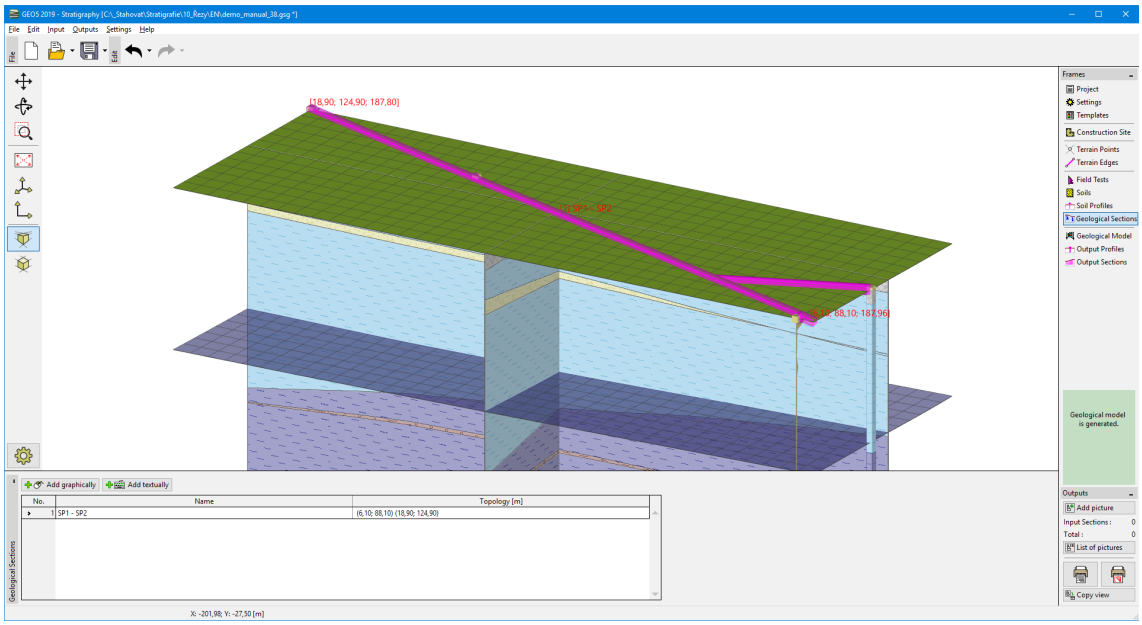
Istnieje także możliwość zdefiniowania głębokości poszczególnych warstw d ręcznie, stosując przycisk "**Wstaw warstwę do profilu**". Po zakończeniu dodawania warstw należy przyporządkować do nich grunty w tabeli w prawej części okna dialogowego. Jeśli grunt nie był wcześniej zdefiniowany w ramce "Grunty", można go zdefiniować i w tym miejscu korzystając z przycisku "**Dodaj grunt**".



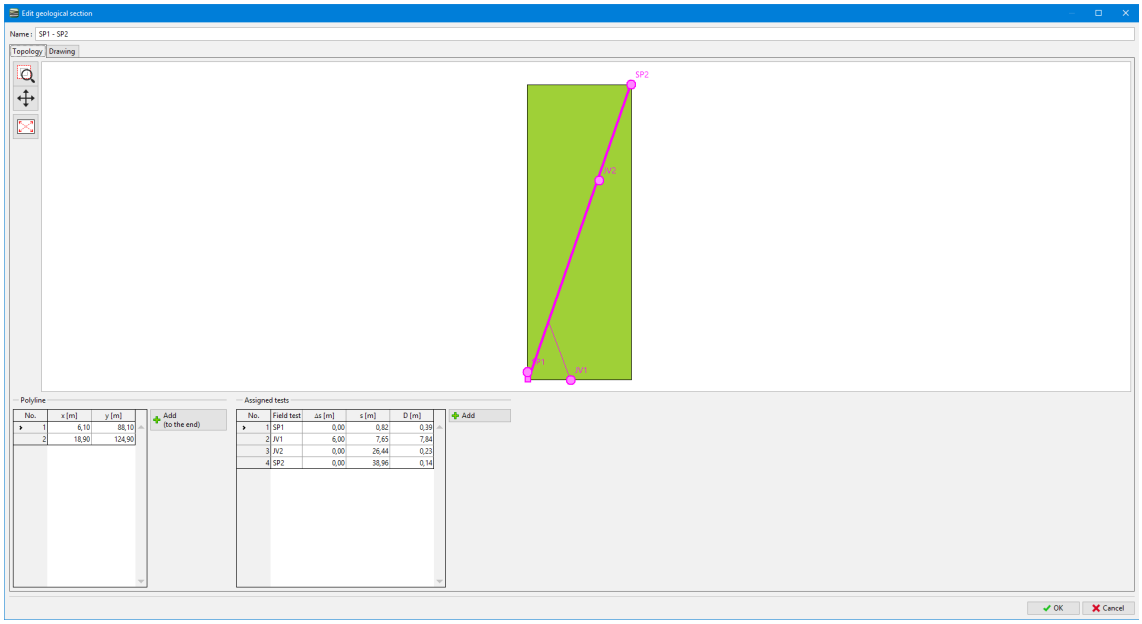
Okno dialogowe "Edycja profilu badania" - SPT

Geological Sections

Frame "**Geological Sections**" serves for creation of geological sections (fences), where entered field tests, soil profiles and other **user descriptions** are displayed. It is available just for user with purchased **module "Cross Sections"**. Created geological sections can be exported into several formats (*.DXF, *.DWG or *.PDF) in Drawing mode.



Firstly in this frame it is necessary to define designed cross section - **straight** or **polygon**. (Graphical input is terminated by double click on the same point). After input, the dialog window is opened in the "**Topology**" mode.



Topology mode

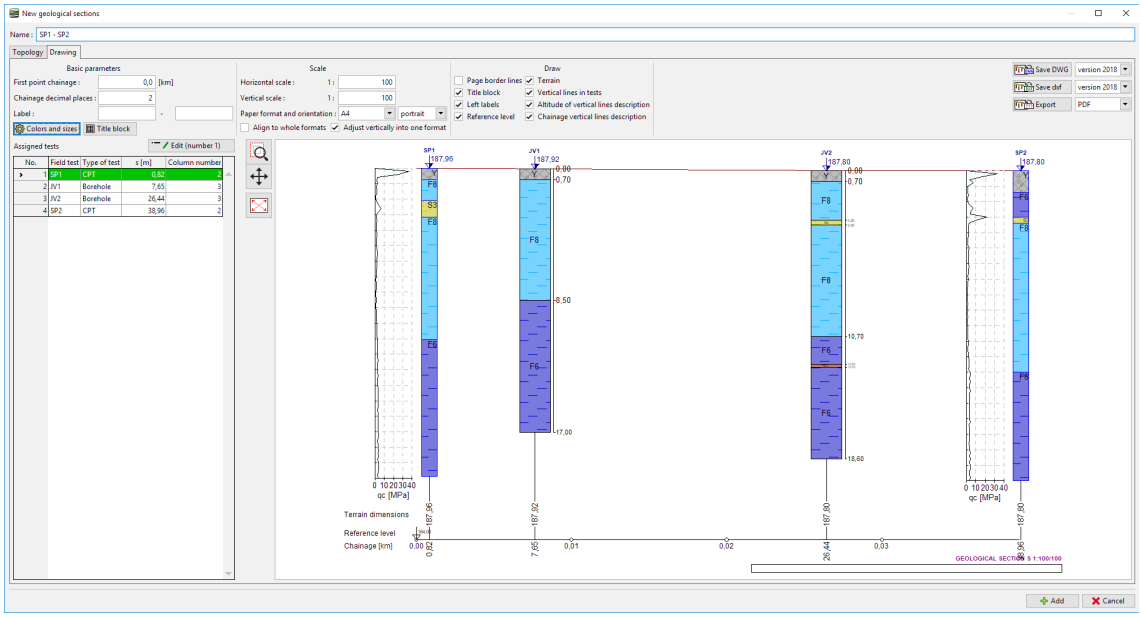
Next we assign all field tests to be displayed on the drawing. The field tests are normally projected perpendicularly to the geological section, but it is possible to shift them too. The **chainage of field test *s*** and its **distance from the geological section *D*** *are* displayed in

the "**Assigned tests**" table.

The final drawing is defined in "**Drawing**" mode.

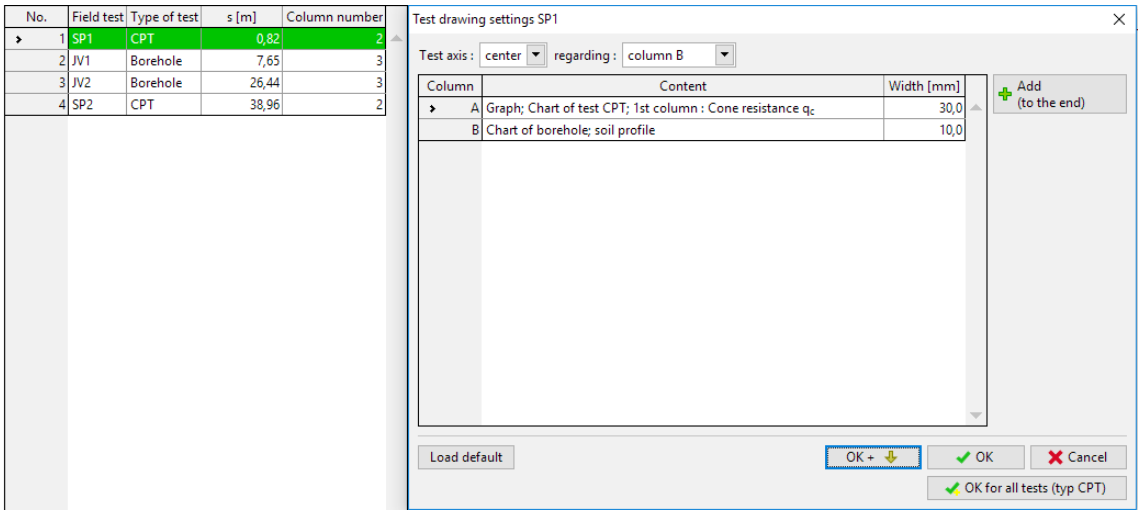
Drawing of Geological Section

In the "**Drawing**" mode we define, what we want to plot.



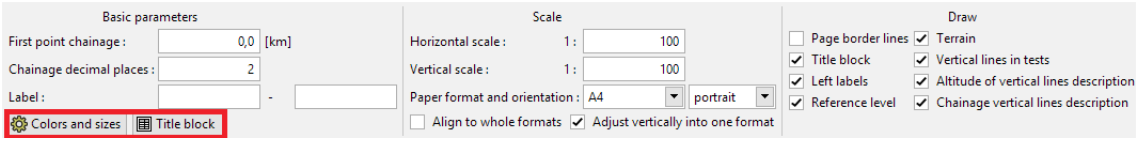
Drawing mode

We define **drawing columns** and **location of axis** for each field test. The created settings can be used for all tests of one type using "**OK for all tests**" button.



Definition of field test description - drawing columns

Global drawing settings is edited in the middle part of dialog window.

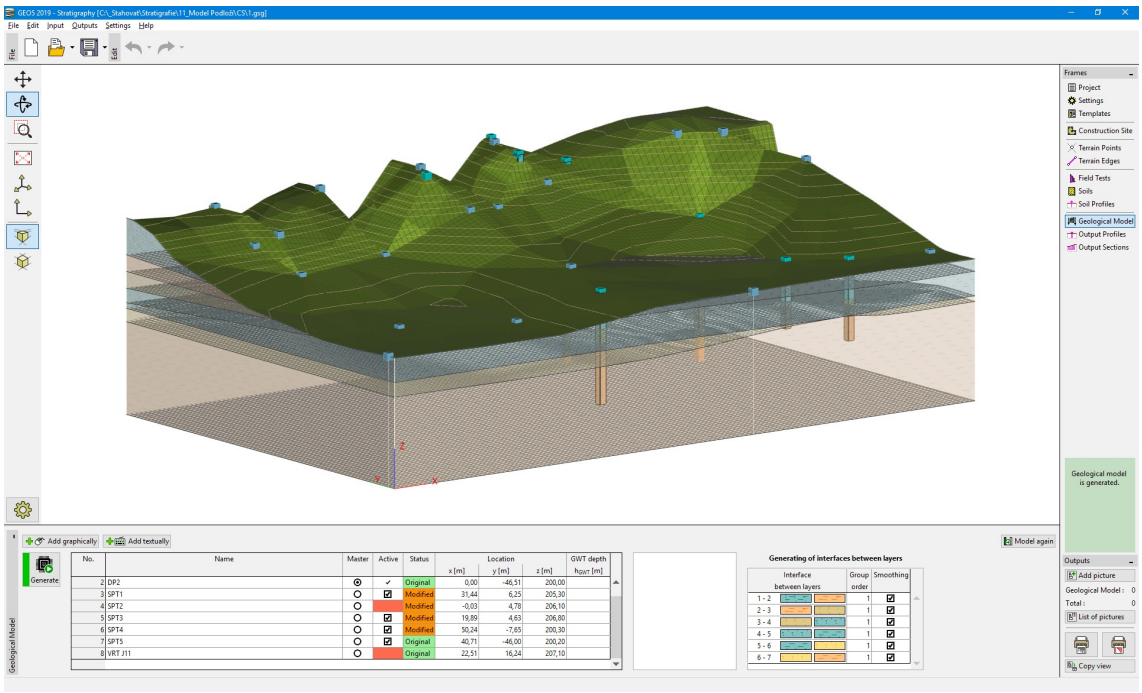


Buttons for drawing definition

Created drawing can be exported into **DXF**, **DWG** or **PDF** formats using buttons in the right part of dialog window. It is important to select the correct version of the format according to the target CAD program.

Model geologiczny

Model geologiczny **generowany jest na podstawie otworów**. Otwory są wyświetlane w tabeli i są jedynym elementem definiowanym w celu generacji modelu geologicznego.



Ramka "Model geologiczny"

Otwory tworzone są na dwa sposoby (sposób tworzenia zależy od statusu otworu):

- **Otwór oryginalny** lub **Otwór zmodyfikowany** tworzone są automatycznie z profili badań
- Nowy otwór tworzy się z wykorzystaniem przycisków "**Dodaj graficznie**" lub "**Dodaj tekstowo**"

Jeden otwór jest zawsze określany jako "Otwór bazowy". Profil geologiczny generowany jest na podstawie tego otworu bazowego oraz otworów kompatybilnych z otworem bazowym. Celem modelowania jest wykorzystanie wszystkich otworów i opracowanie modelu geologicznego, który odpowiada danym wejściowym.

Podczas modelowania modelu geologicznego otworysą edytowane. Konieczne jest dokonanie zamiany otworów niekompatybilnych na kompatybilne - dzięki temu otwory dodawane są do modelu geologicznego.

Utworzony model można w każdej chwili anulować korzystając z przycisku "**Rozpocznij modelowanie ponownie**". W tej sytuacji, wszystkie **nowo zdefiniowane otwory będą usunięte,** a otwory utworzone na podstawie profili badań zostaną **przywrócone do stanu wyjściowego**.

Analogiczna procedura ma zastosowanie w przypadku usuwania otworów - nowe otwory mogą być usunięte, otwory utworzone na podstawie profili badań są przywracane na podstawie właściwych profili badań.

Jeśli nie chcemy wykorzystywać utworzonego otworu do generowania modelu geologicznego, w dowolnym momencie, w tabeli można wyłączyć przycisk "**Aktywny**".

Nowym użytkownikom polecamy w pierwszej kolejności przeanalizowanie i przećwiczenie krok po kroku poszczególnych przykładów modelowania.

Wizualizację rysunku na puplipcie można zmodyfikować w dowolnym trybie definiowania dostosowując ustawienia w ramce "Ustawienia rysunku", a także za pomocą przycisków na pasku narzędzi "Wizualizacja".

Przycisk "Cofnij" jest istotnym narzędziem w programie. Umożliwia przywrócenie **stanu pierwotnego sprzed wszystkich modyfikacji.**

Tworzenie modelu geologicznego

Program "**Stratygrafia 3D**" umożliwia tworzenie, w bardzo prosty sposób, modeli geologicznych. Nawet niezwykle skomplikowane przykłady można zamodelować logicznie, krok po kroku.

Program nie podejmuje żadnych decyzji automatycznie, wszystkie decyzje muszą być potwierdzone przez użytkownika. Po zrozumieniu podstawowych zasad budowanie modelu jest łatwym i intuicyjnym zadaniem.

Następujace przykłady przedstawiają **podstawowe procedury budowania i modyfikacji modelu geologicznego**.

- Tworzenie modelu geologicznego
- Budowanie modelu terenu
- Model geologiczny z poziomym uwarstwieniem
- Model geologiczny z warstwami zgodnymi z powierzchnią terenu
- Krawędzie budowy - krawędź aktywna
- Edycja warstw gruntu
- Tworzenie soczewek gruntu
- Dodawanie nowej warstwy do modelu
- Modelowanie uskoków

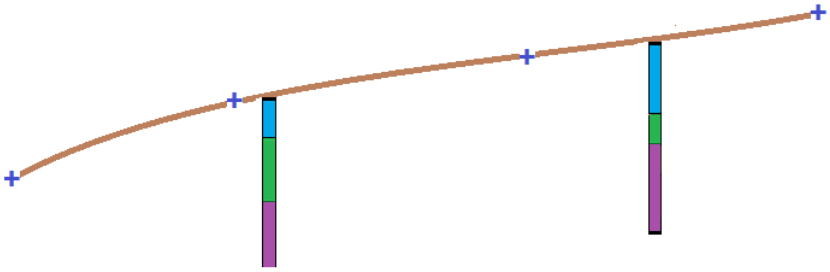
Przycisk "Cofnij" jest istotnym narzędziem w programie. Umożliwia przywrócenie **stanu pierwotnego sprzed wszystkich modyfikacji.**

Tworzenie modelu geologicznego

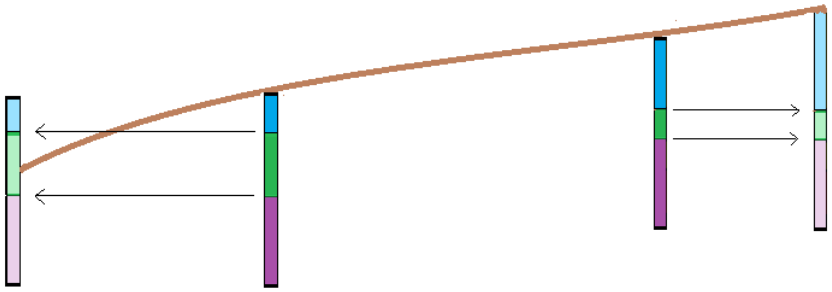
Następny przykład

W pierwszej kolejności należy poznać procedurę generowania modelu geologicznego, aby zrozumieć w jaki sposób tworzyć model.

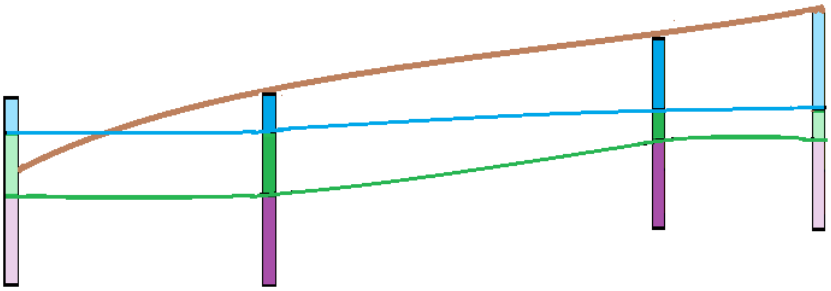
1. Najpierw, tworzony jest model numeryczny na podstawie punktów terenu i badań polowych o **zdefiniowanej współrzędnej** *z*. Następnie, otwory umieszczane są w modelu.



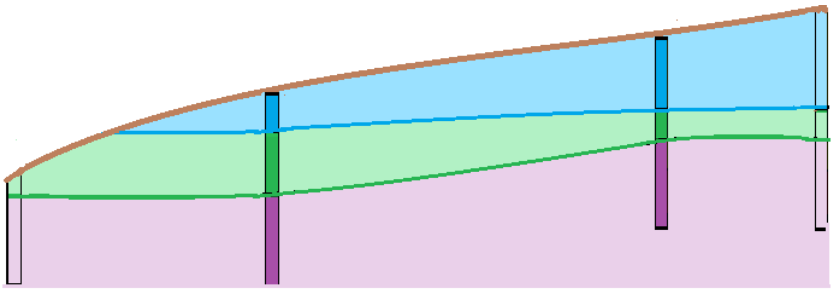
2. We wszystkich narożach "budowy" automatycznie generowane są **otwory pomocnicze** odpowiadające najbliższym **otworom aktywnym.** Następnie, na krawędziach budowy dodawana jest projekcja (rzut), **wszystkich otworów** znajdujących się w obrębie krawędzi aktywnej.



3. **Warstwy gruntów** i zwierciadła wody gruntowej generowane są na podstawie otworów i otworów pomocniczych (w punktach na krwędziach budowy).



4. Warstwy są weryfikowane - czy nie przecinają powierzchni terenu (lub siebie nawzajem). Warstwa wykraczająca ponad powierzchnię terenu jest **przycinana** zgodnie z terenem.



Następny przykład

Budowanie modelu terenu

Poprzedni przykład Następny przykład

Tworzenie **numerycznego modelu terenu** jest pierwszym krokiem w większości zadań. Model numeryczny terenu budowany jest w obrębie terenu budowy na podstawie **zdefiniowanych** punktów terenu.

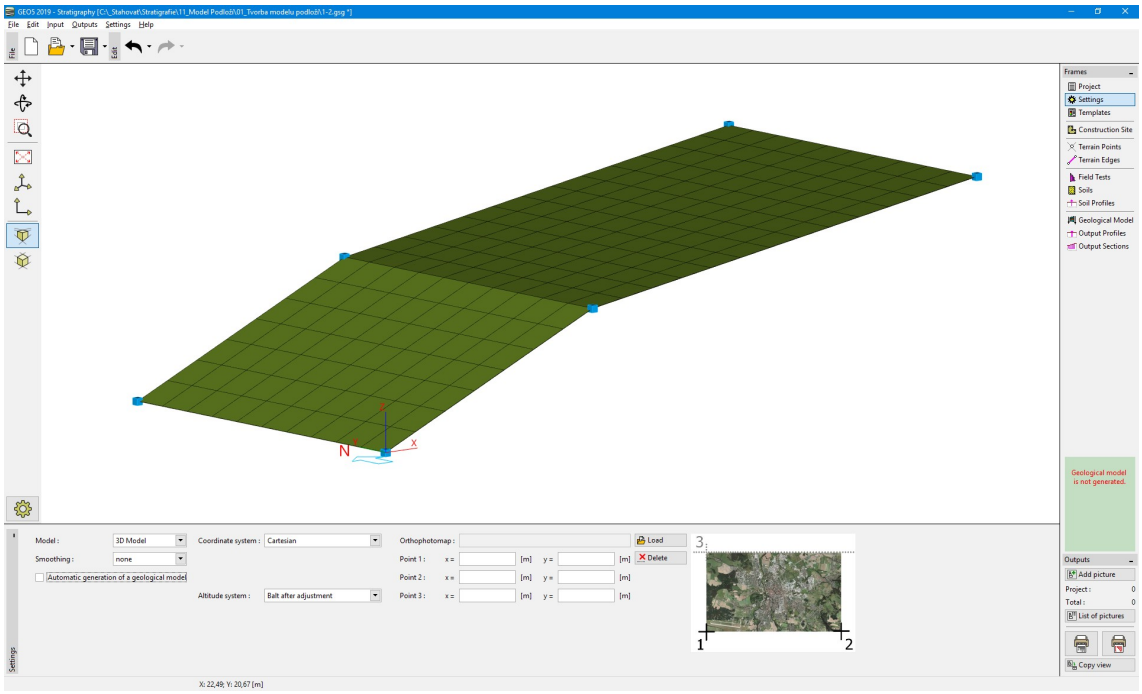
Punkty terenu można zdefiniować lub importować. Teren generowany jest automatycznie po każdej zmianie zdefiniowanych punktów. Na kształt terenu mają także wpływ badania polowe o **zdefiniowanej współrzędnej** z. Przy definiowaniu skarp lub terenów załamanych istotne jest także zdefiniowanie krawędzi aktywnej.

W poniższym przykładzie, pokazana jest skarpa zamodelowana na podstawie sześciu punktów o wspólrzędnych $[x; y; z]$: [0; 0; 0], [0; 10; 0], [7; 0; 3], [7; 10; 3], [20; 0; 5], [20; 10; 5].



Terrain with medium smoothing

Na kształt modelu znaczący wpływ ma **wygładzanie** powierzchni pomiędzy trojkątami. Wygładzanie definiuje się w ramce "Ustawienia". Powyższy model zbudowany był z założeniem "**średniego**" wygładzania. Jeśli wygładzanie ustawione jest na "**brak**", wygenerowany model wygląda jak na rysunku poniżej.



Teren wygenerowany bez wygładzania

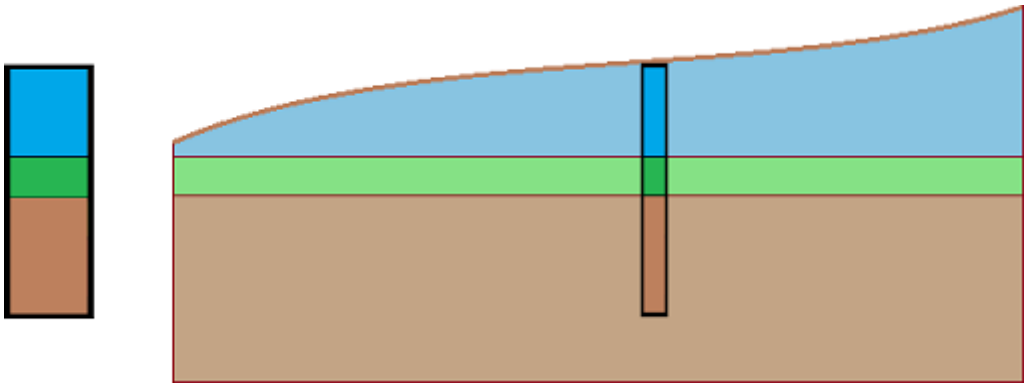
Dokładniejsze wygładzanie pozwala na tworzenie modeli bardziej realistycznych, ale generowanie może trwać znacznie dłużej, zwłaszcza w przypadku dużej liczby warstw. Czasami, dla większych modeli, zaleca się zbudowanie całego modelu bez wygładzania i włączenie wygładzania dopiero w fazie generowania dokumentacji wynikowej lub profili i przekrojów.

Poprzedni przykład Następny przykład

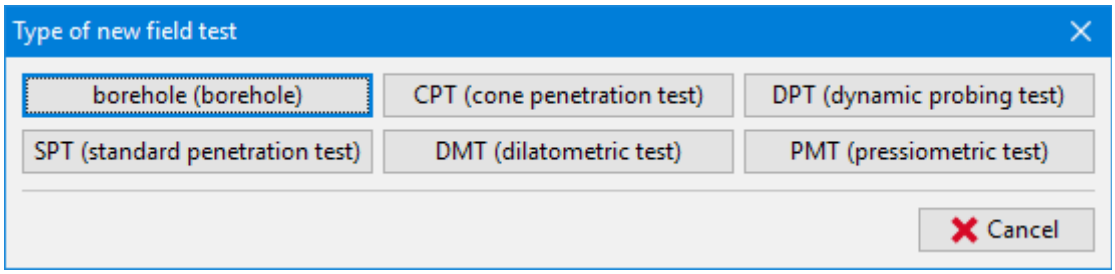
Model geologiczny z poziomym uwarstwieniem

Poprzedni przykład Następny przykład

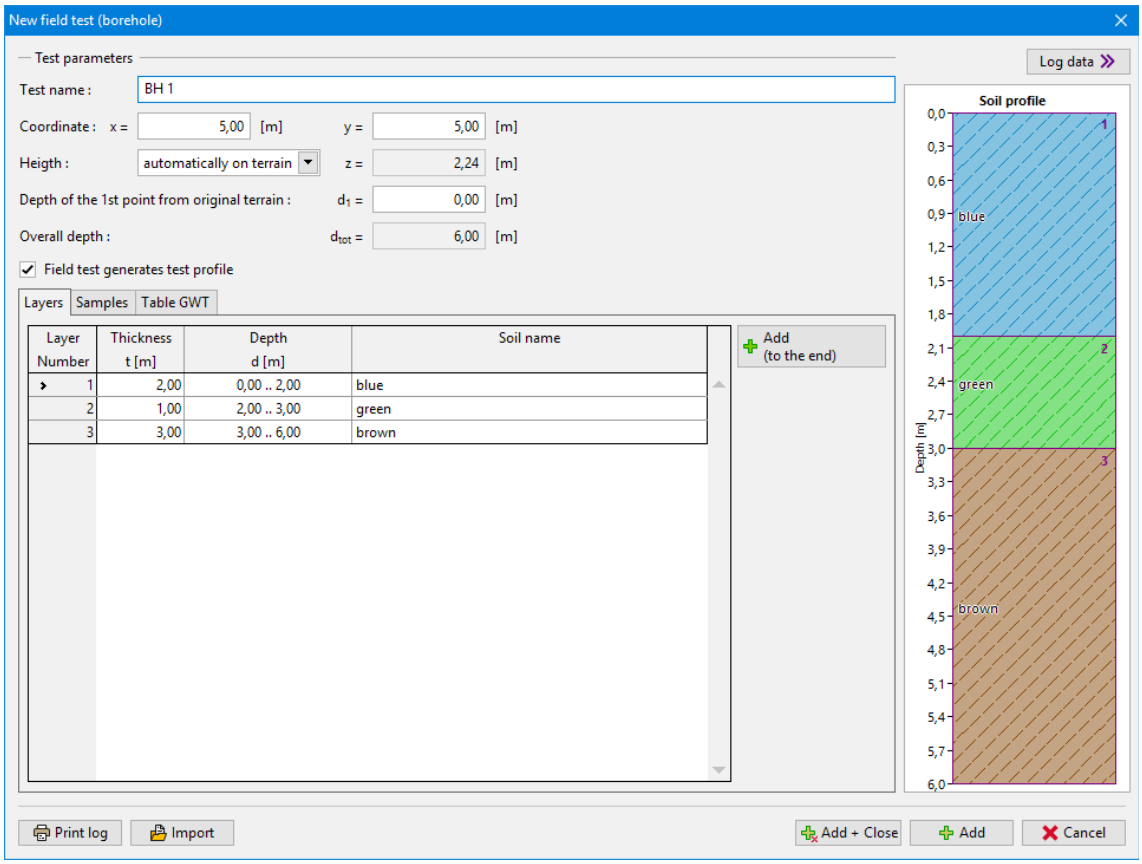
W niniejszym przykładzie zbudujemy model geologiczny z poziomymi warstwami gruntu zgodnie z ponizszym rysunkiem.



W pierwszej kolejności, w ramce "Badania polowe" zdefiniujemy badanie polowe (w postaci otworu) - nazwa BH1, współrzędne $[x; y; z]$ - [5; 5; na terenie], miąższość kolejnych warstw gruntu [2; 1; 3].

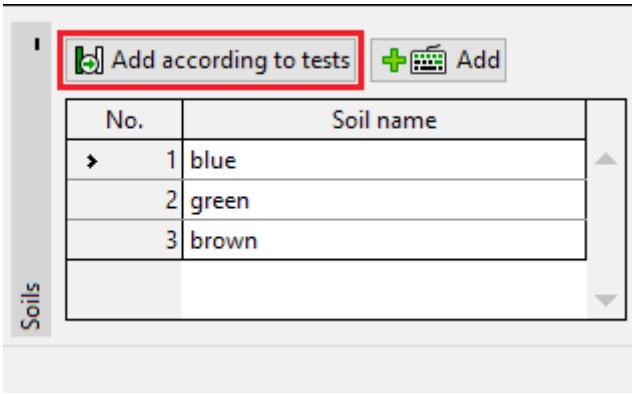


Selection of field test type



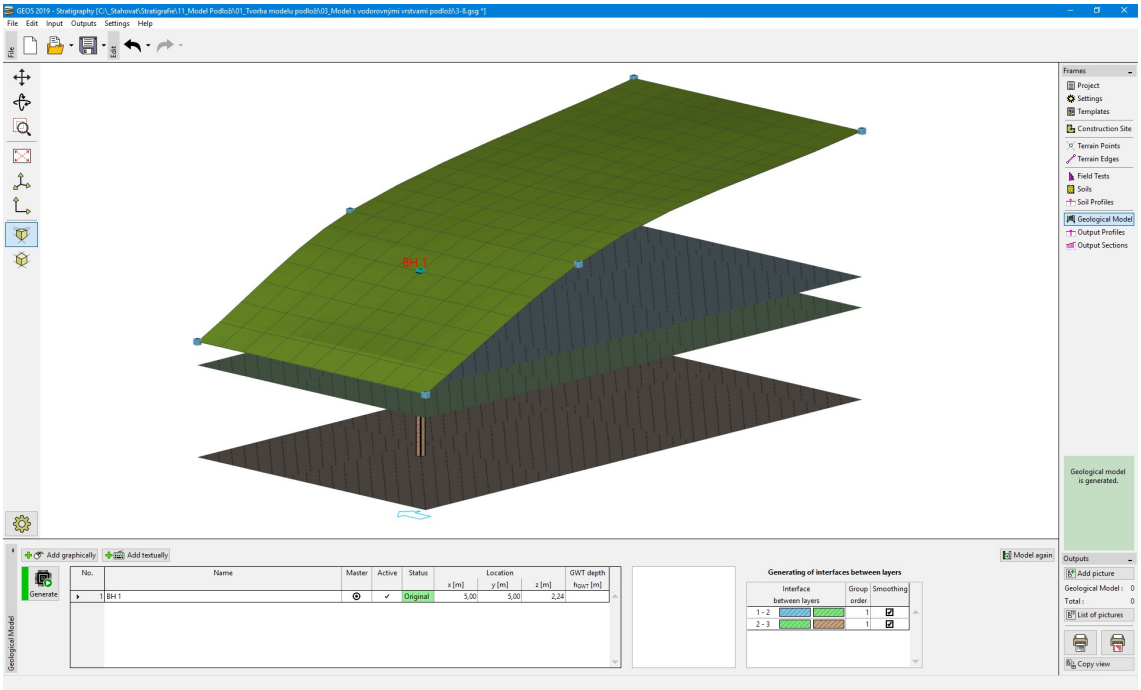
Definiowanie otworu

The **soils** [blue, green, brown] can be added directly in the window "**layers of borehole**" or in the "Soils" frame. The easiest way is copy all soils from the tests using "**Adopt from field tests**" button. The list of soils used in tests is created.



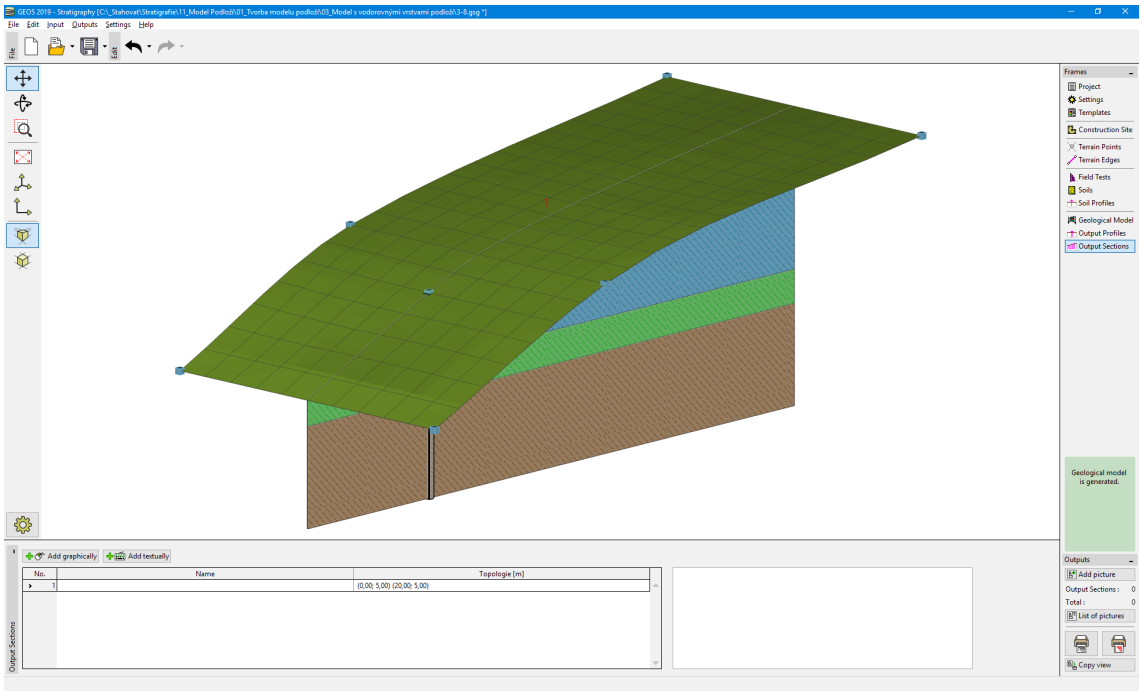
Adding soils according to tests

Profil badania oraz otwór tworzone są automatycznie **na podstawie tego badania (typu - otwór)**. Po przełączeniu do ramki "**Model geologiczny**", model jest automatycznie generowany. Jeśli w ramce "Ustawienia" wyłączymy automatyczne generowanie modelu, wówczas konieczne jest przyciśnięcie przycisku "**Generuj**", aby wygenerować model.



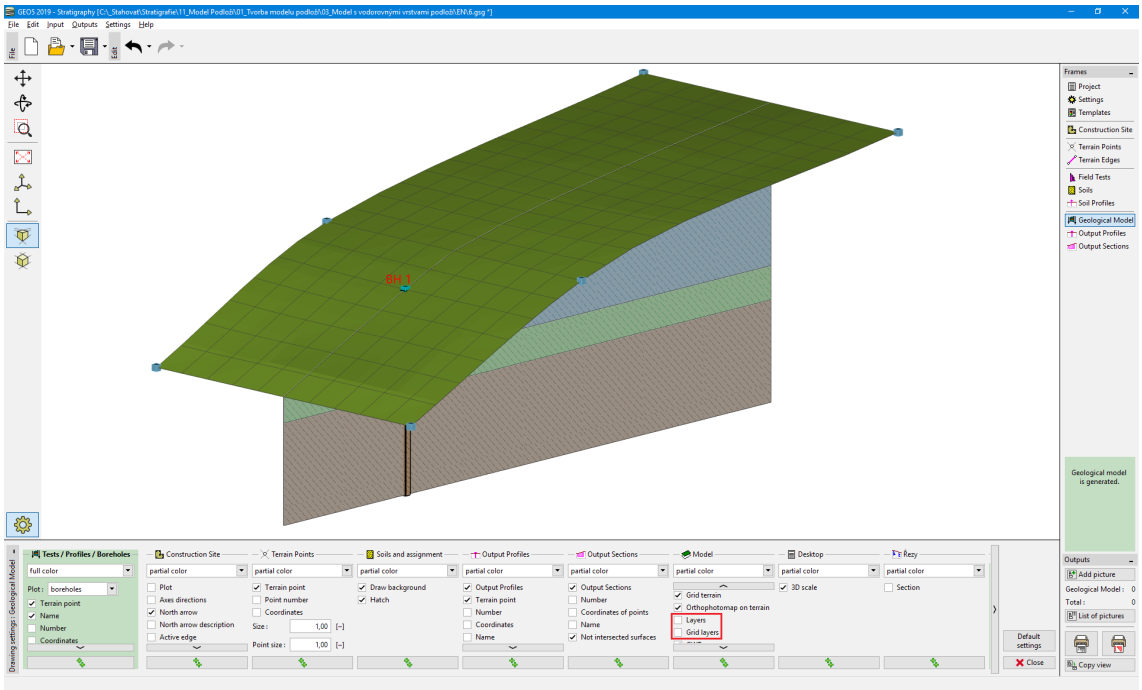
Wygenerowany model

W celu lepszego obejrzenia modelu należy wejść do przekroju w ramce "Przekroje" - punkty [x; y] - [0; 5], [20; 5].



Wizualizacja modelu z wykorzystaniem Przekroju

It is necessary to change the drawing settings for correct visualisation of cross section in the **"Geological Model**" frame.



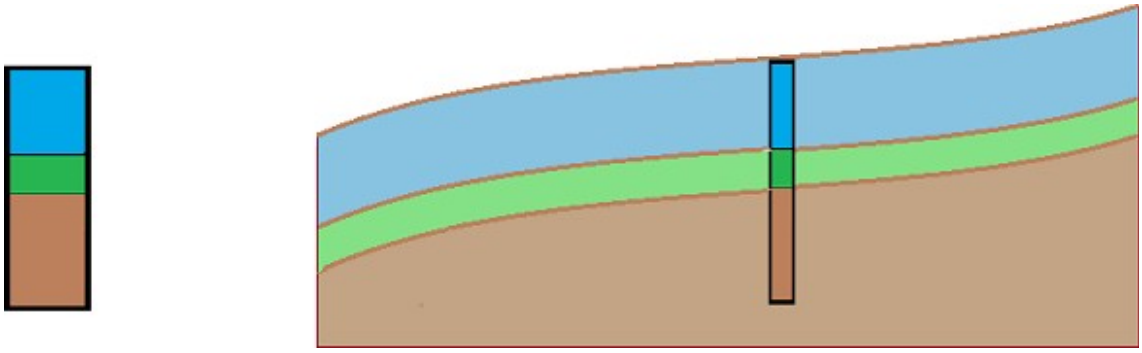
Ramka "Model geologiczny" - ustawienia rysunku

Poprzedni przykład Następny przykład

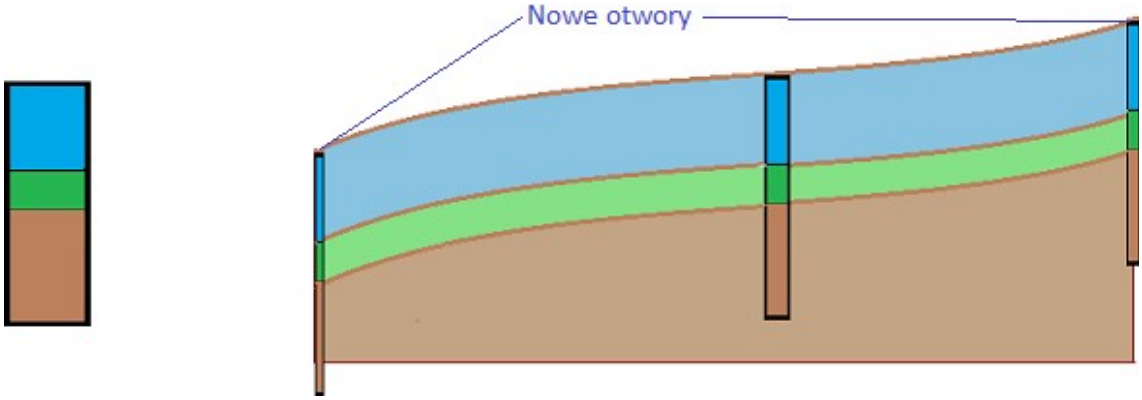
Model geologiczny z warstwami zgodnymi z powierzchnią terenu

Poprzedni przykład Następny przykład

W tym przykładzie zbudujemy model geologiczny o warstwach naśladujących powierzchnię terenu.

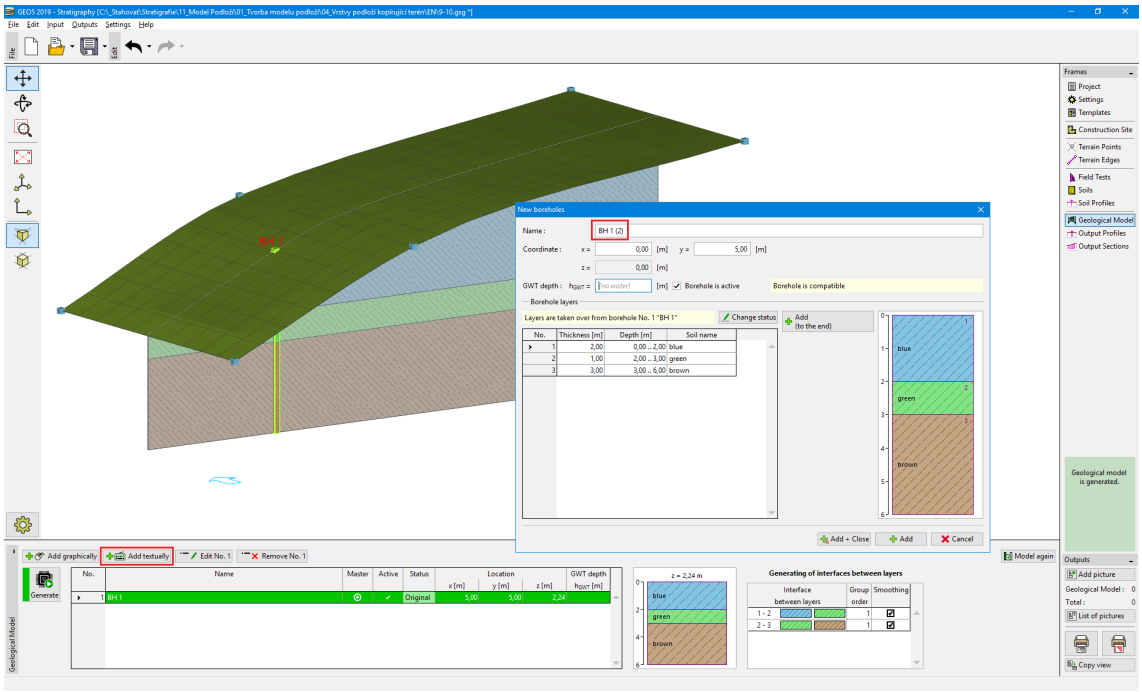


Wykorzystamy do tego i będziemy kontynuować poprzedni przykład. Sposób, w jaki należy dokonać modyfikacji, widać jasno na poniższym rysunku - należy wprowadzić nowe otwory na krawędziach budowy.



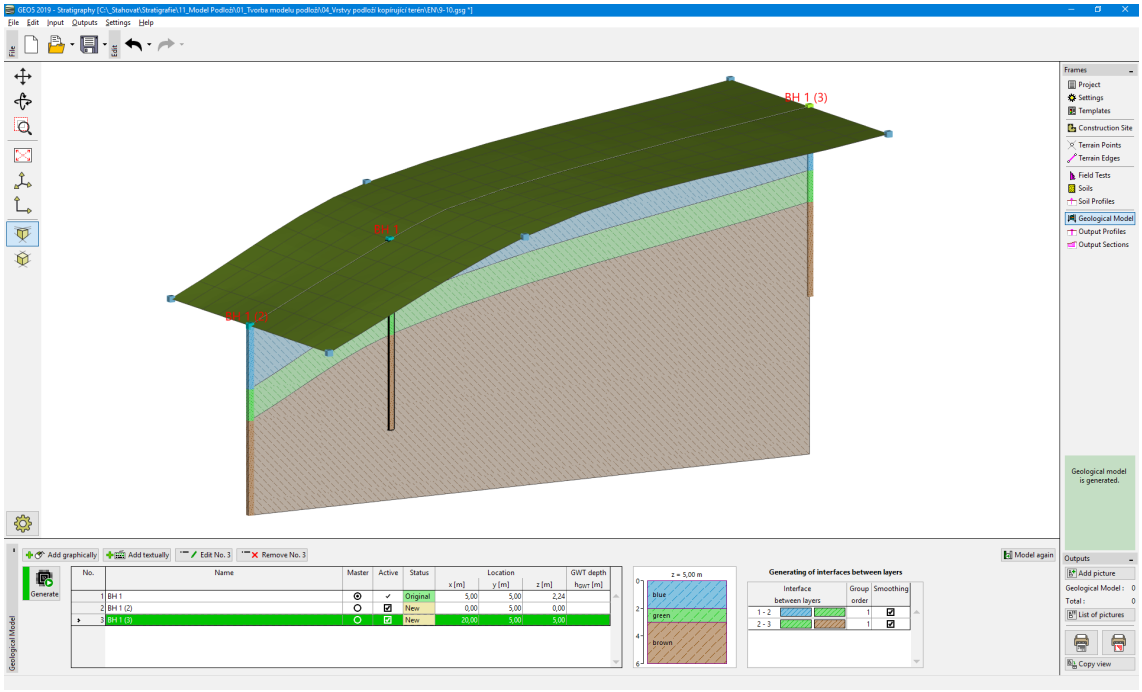
W ramce "**Model geologiczny**" wybirz otwór i zdefiniuj dwa nowe otwory w punktach [0; 5], [20; 5] (korzystając z przycisków "**Dodaj graficznie**" lub "**Dodaj tekstowo**"). If the borehole were not selected before pressing "**Add graphically**" or "**Add textually**" button, new boreholes will not copy borehole "**BH 1**", but they will correspond to the already created geological model.

W oknie dialogowym "**Nowy otwór**", można zaobserwować, że dane nowego otworu są **kopiowane z otworu** "**BH1**".



Oknow dialogowe "Nowy otwór"

W ten sposób model został zbudowany.



Model końcowy

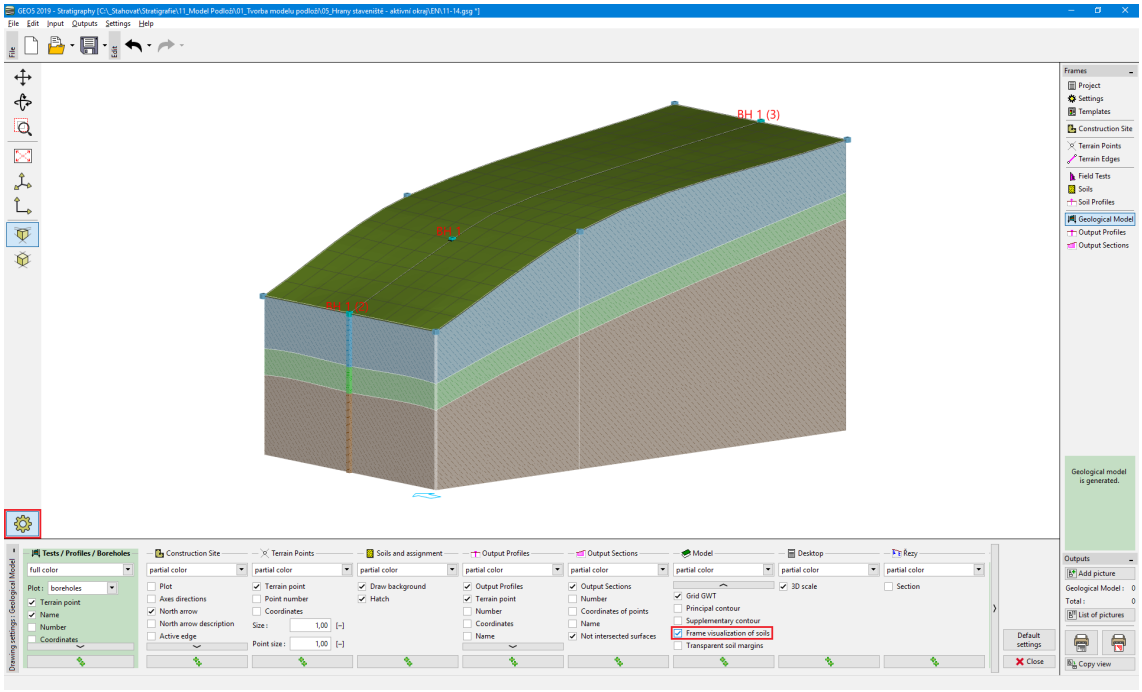
Poprzedni przykład Następny przykład

Krawędzie budowy - krawędź aktywna

Poprzedni przykład Następny przykład

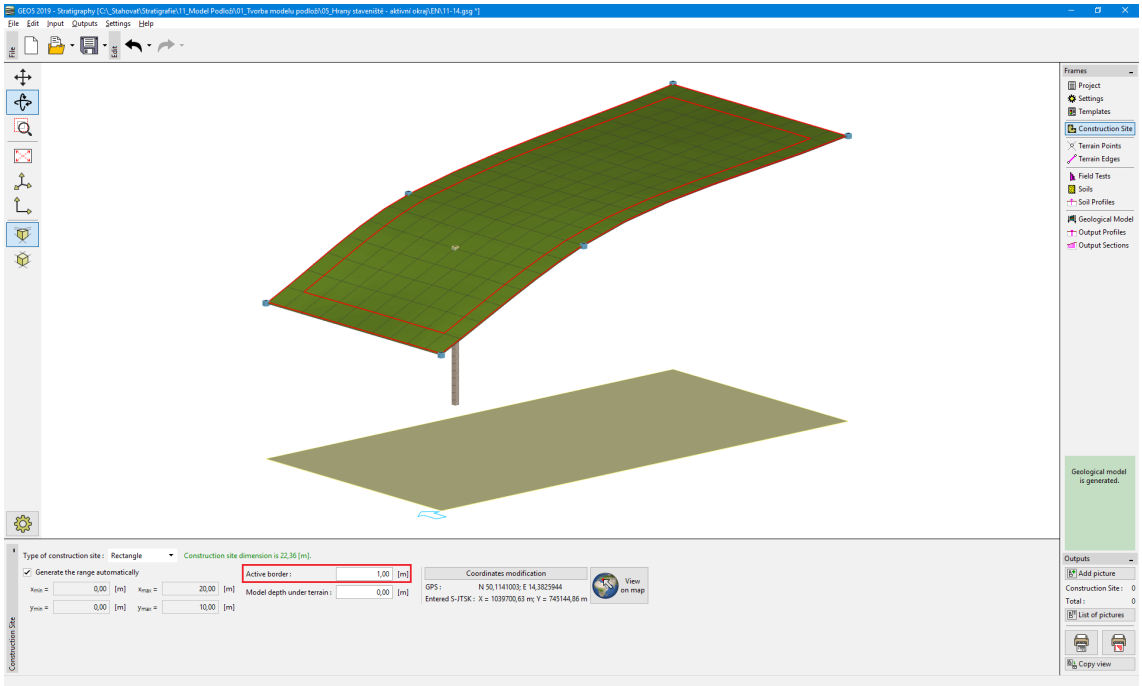
Włącz "**Boczne krawędzie gruntów**" w ustawieniach rysunku w poprzednim zadaniu.

Krawędzie modelu tworzone są na podstawie otworów pomocniczych w narożach modelu - warstwy są w zasadzie proste na krawędziach modelu.



Model geologiczny z prawie prostymi warstwami na krawędziach

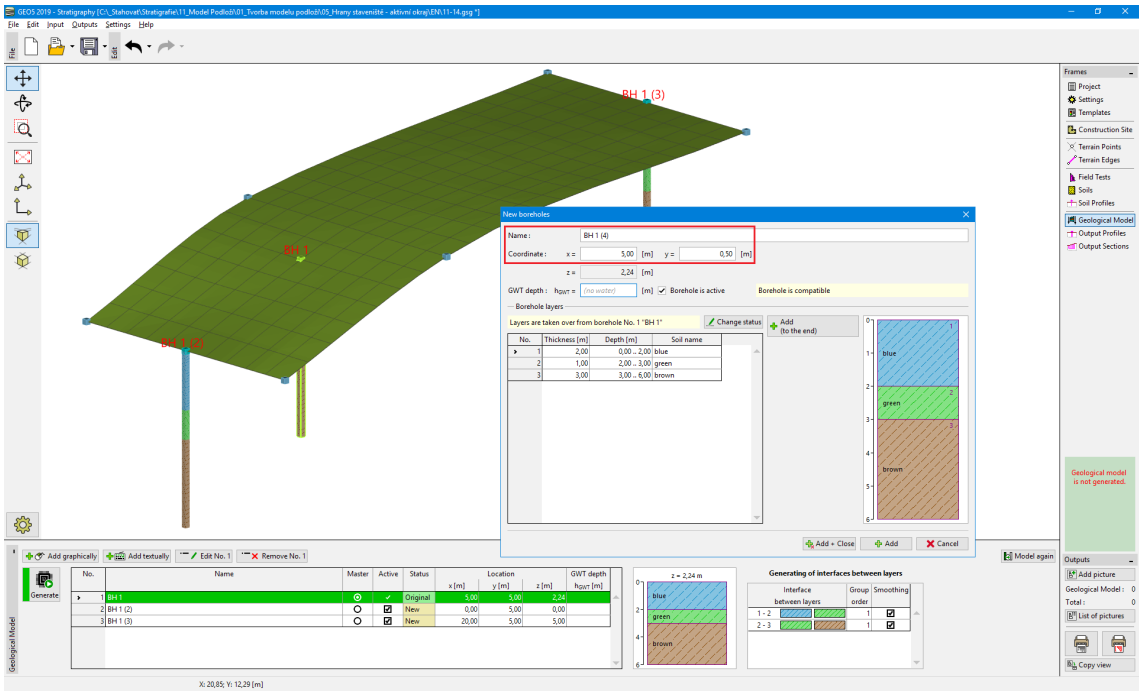
Przejdź do ramki "**Budowa**" i dodaj "Krawędź aktywną" o szerokości 1m. Krawędź aktywna pokazana jest na czerwono.



Active edge visualization - "Construction Site" frame

Otwór "**BH 1**" nie znajduje się w obrębie krawędzi aktywnej, dlatego wygenerowany model

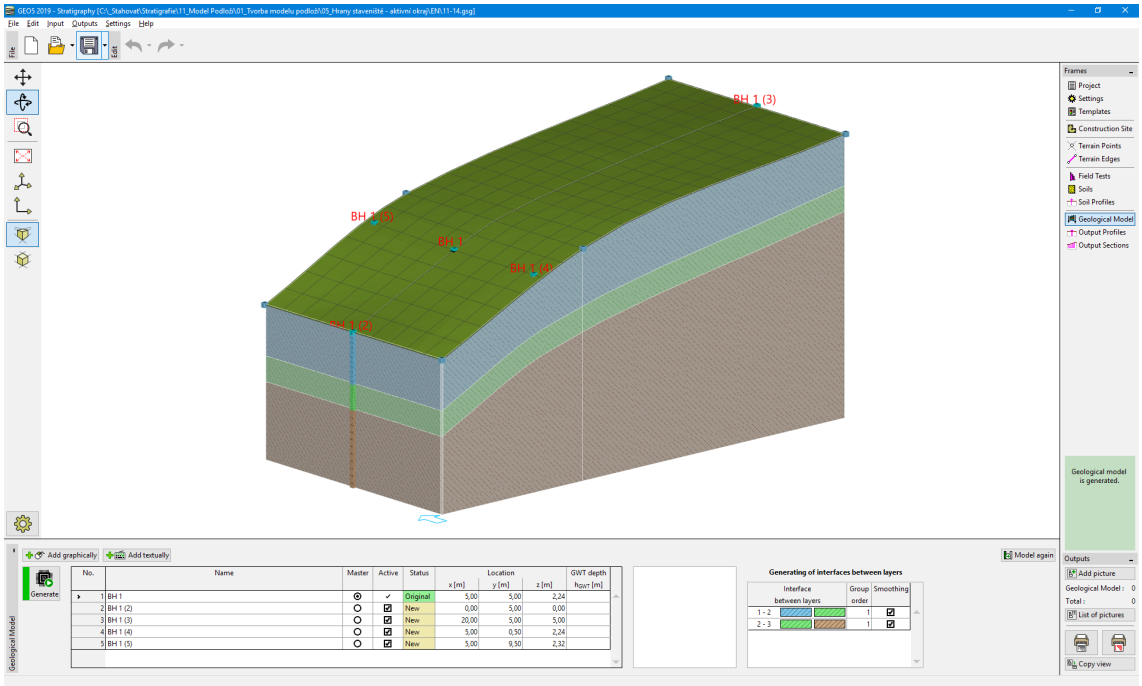
pozostaje bez zmian. Przejdź ponownie do ramki "**Model geologiczny**", wybierz otwór BH1 i dodaj dwa nowe otwory "**BH 1**(4)" [5; 0,5] oraz "**BH 1**(5)" [5; 9,5] korzystając z przycisku "**Dodaj tekstowo**".



Definiowanie nowych otworów w obrębie krawędzi aktywnej

Obydwa dodane otwory znajdują się w obrębie krawędzi aktywnej. Żółta linia na powierzchni terenu pokazuje sposób **tworzenia otworów pomocniczych**.

Tym razem model na krawędziach znacząco się zmienił. Obecnie jest taki sam jak przekrój w środku modelu.



Model końcowy

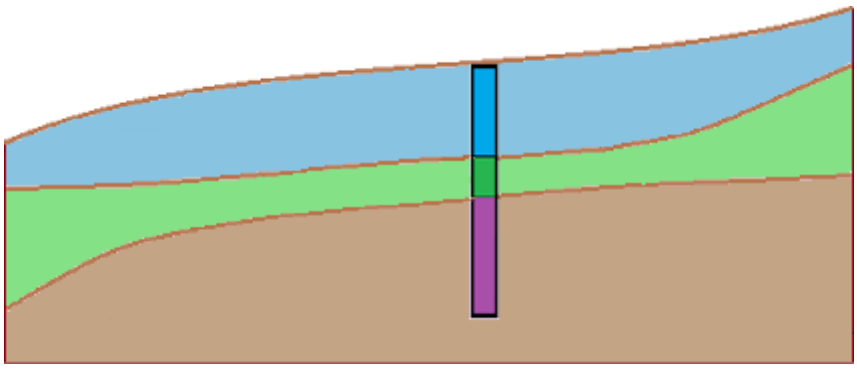
Podczas modelowania rzeczywistych budów, wskazane jest definiowanie krawędzi aktywnej, aby właściwie odwzorować **punkty i otwory położone najbliżej** krawędzi budowy.

Poprzedni przykład Następny przykład

Edycja warstw gruntu

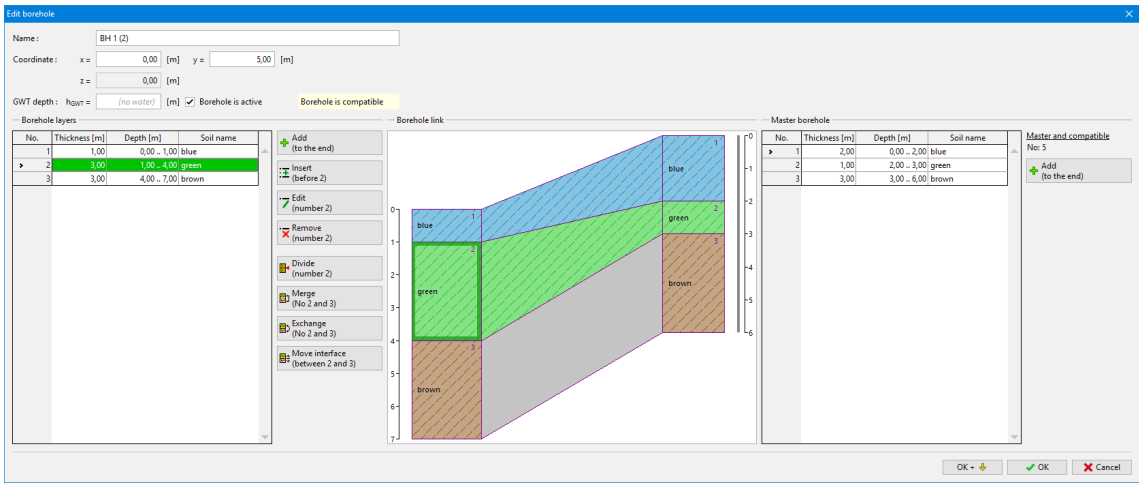
Poprzedni przykład Następny przykład

W tym przykładzie zmodyfikujemy zieloną warstwę tak, aby została rozciągnięta do krawędzi modelu.



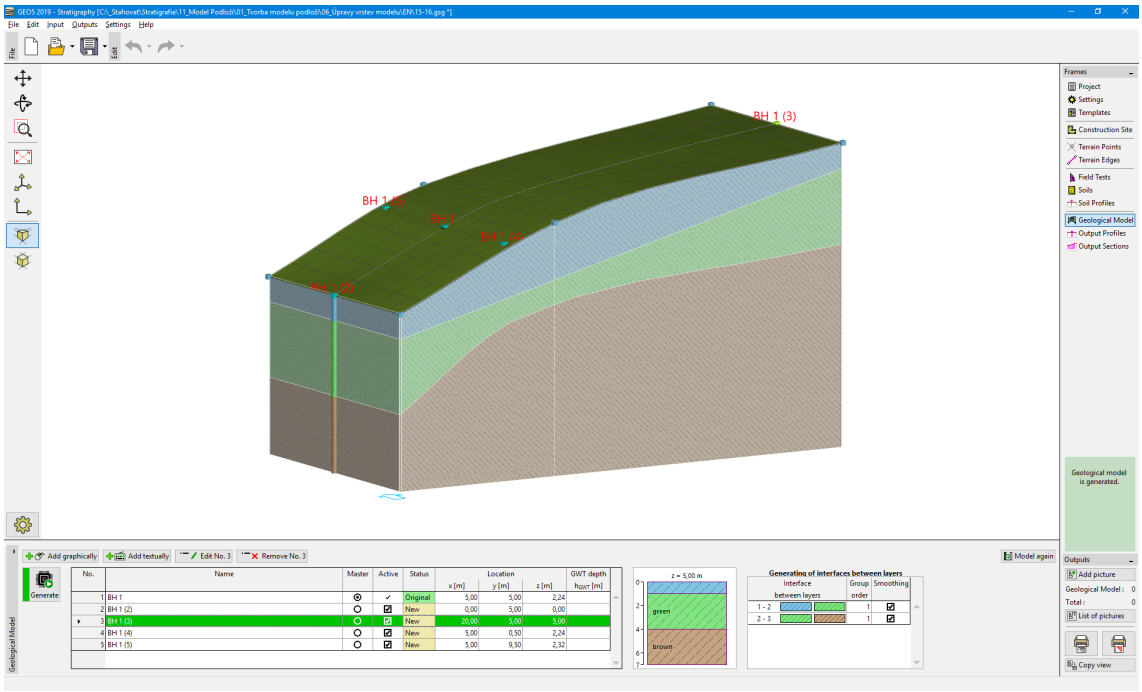
Przyporządkowanie - rozciągnięcie warstwy zielonej

W celu wykonania zadania wykorzystamy okno dialogowe "Edycja otworu". W oknie tym wykonamy jednakową zmianę obydwu nowych otworów **BH 1 (2) i BH 1 (3)**, **tj. zwiększenie miąższości warstwy zielonej z** [1 m] do [3 m] oraz **redukcję miąższości warstwy niebieskiej z** [2 m] **do** [1 m].



Okno dialogowe "Edycja otworu"

W ten sposób model został zmodyfikowany.



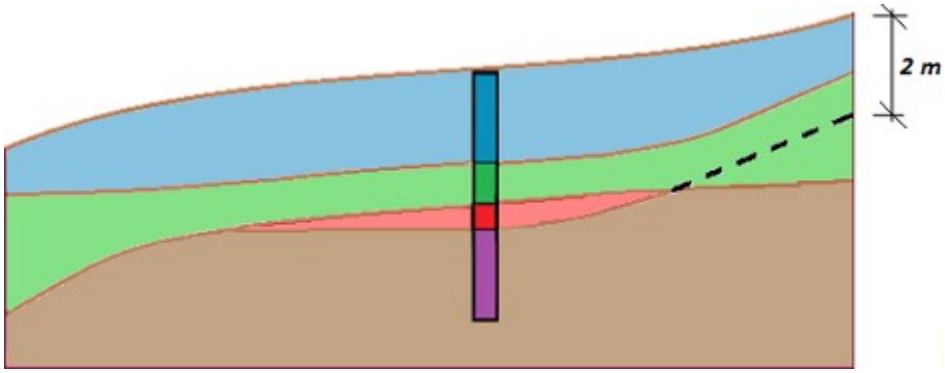
Model zmodyfikowany

Poprzedni przykład Następny przykład

Tworzenie soczewek gruntu

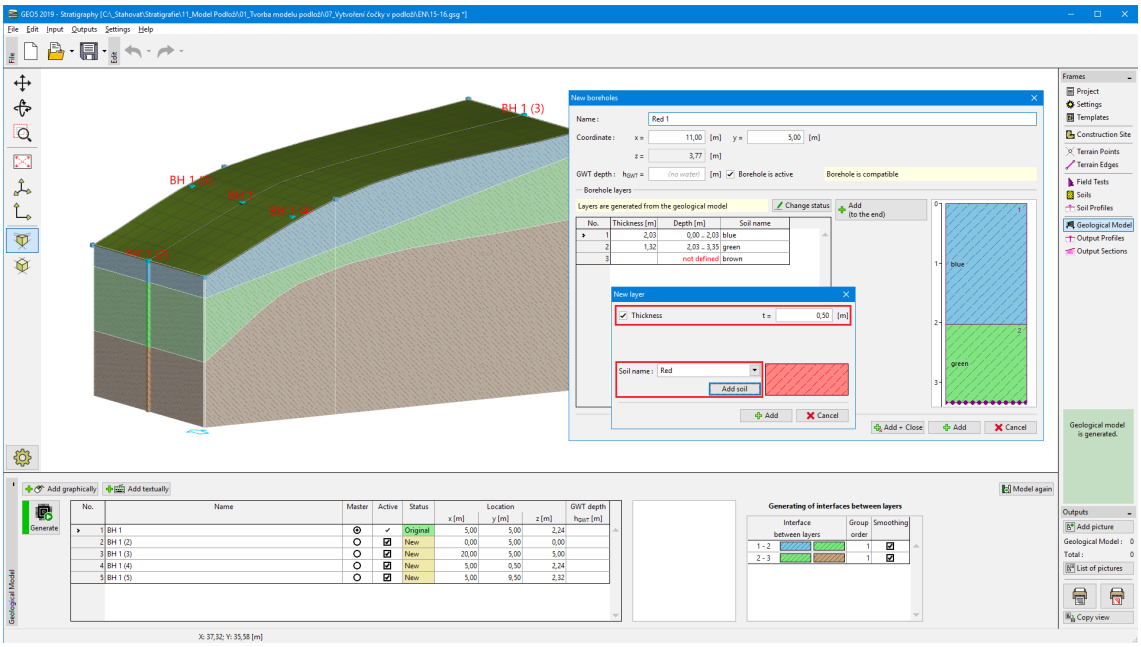
Poprzedni przykład Następny przykład

W tym przykładzie zamodelujemy "**soczewkę gruntu**" zgodnie z poniższym rysunkiem.



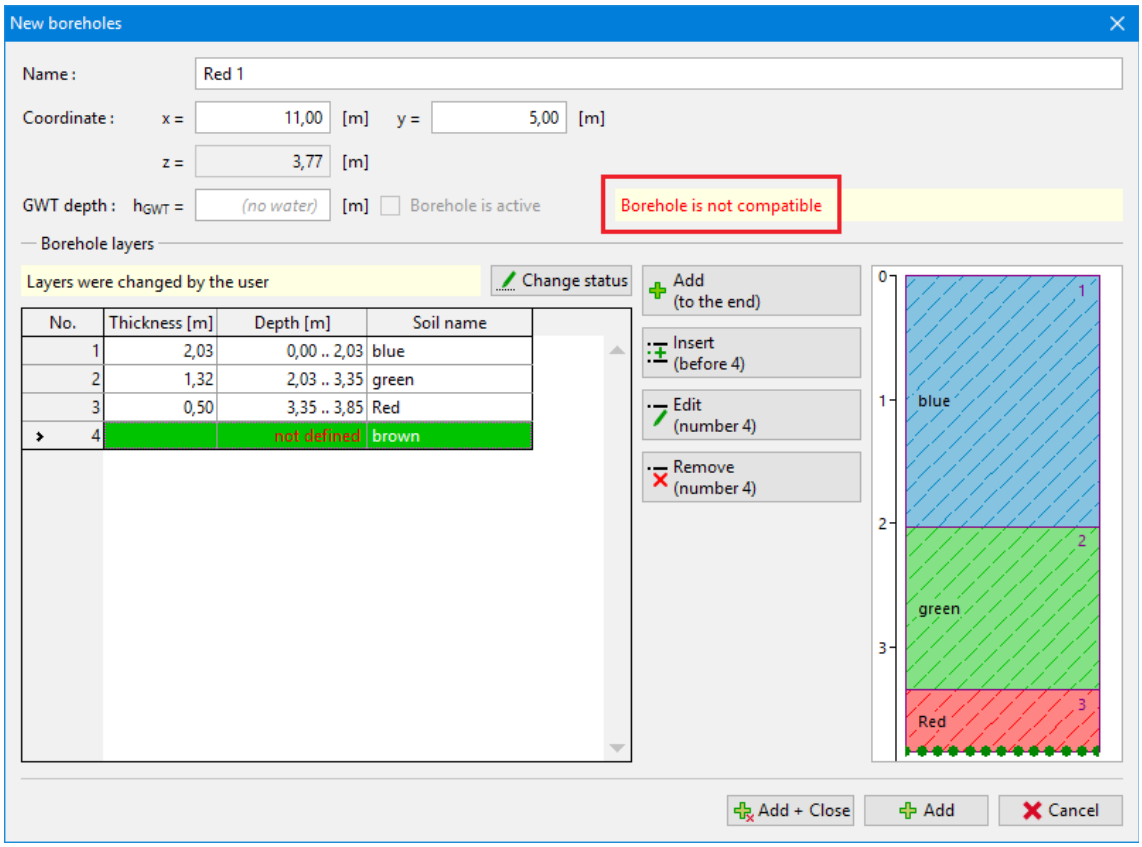
Następnie, definiujemy nowy otwór w środku soczewki [11; 5] oraz dodajemy nową warstwę gruntu (**Red 1**), o miąższości [0,5 m], za pomocą przycisku "**Wstaw (przed 3)**".

Note: W oknie dialogowym "**Nowy otwór**", wyświetlana jest informacja o utworzeniu otworu. W naszym przypadku pojawia się także opis "**Warstwy wygenerowane z modelu geologicznego**". Jeśli informacja jest inna (kopiujemy inny otwór), istnieje możliwość jej modyfikacji poprzez przyciśnięcie przycisku "**Zmień status**".



Input of new borehole in the middle of soil lens

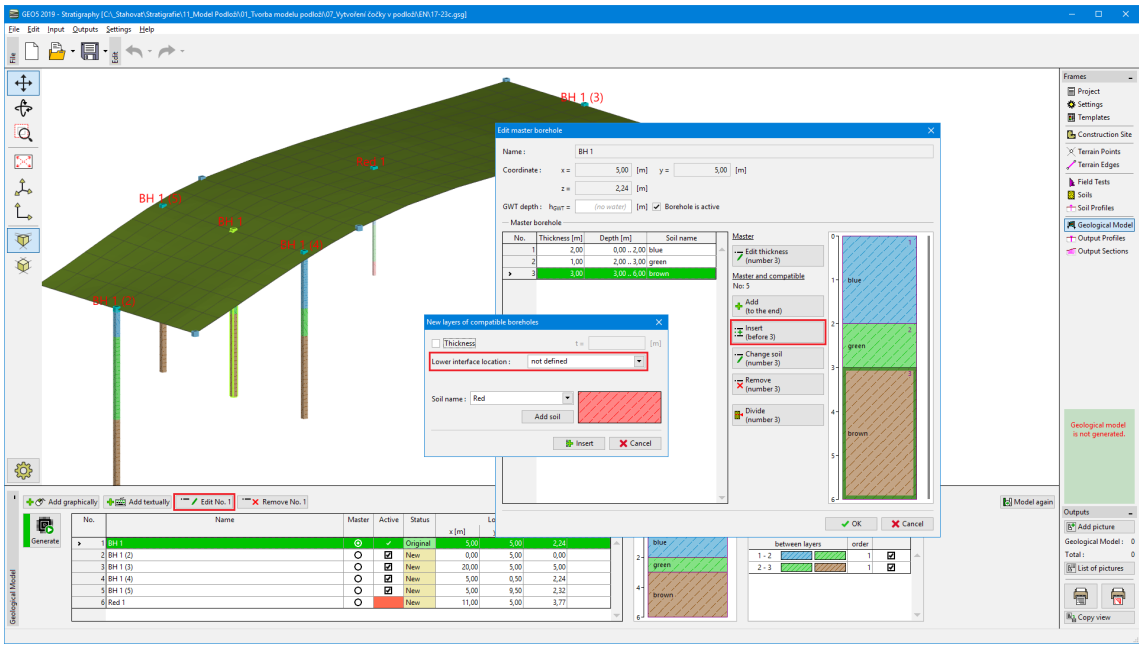
Po dodaniu, otwór wyświetlany jest na czerwono i jest nieaktywny - ponieważ nie jest kompatybilny z innymi otworami.



Definiowanie nowego otworu w środku soczewki gruntu

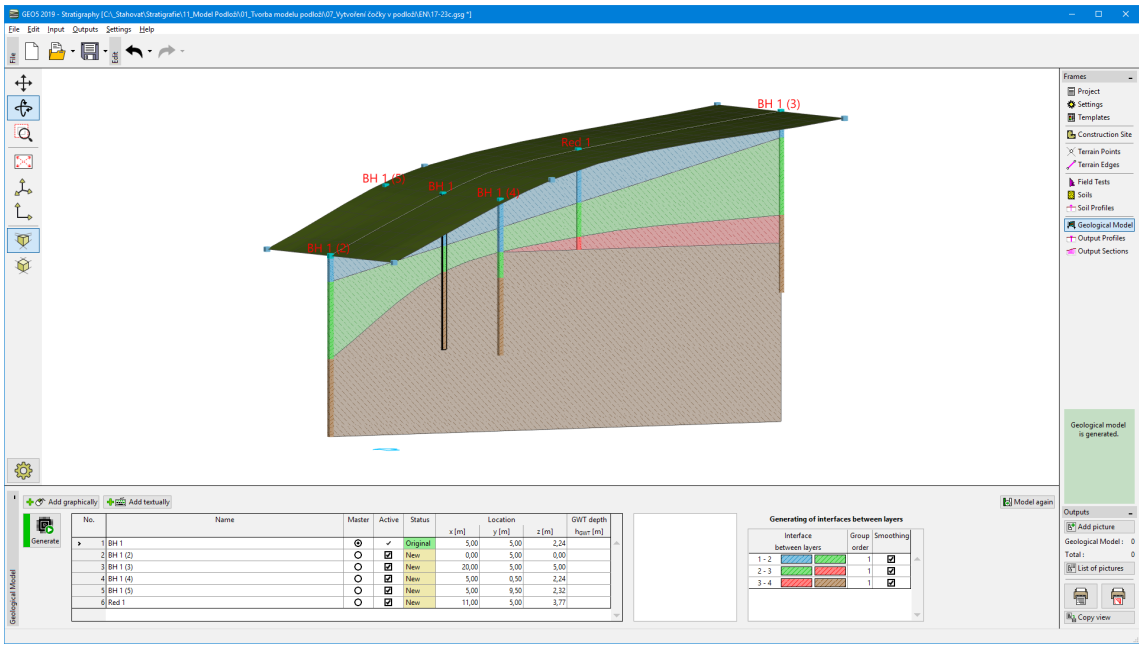
Następnie zmodyfikujemy dodany otwór - dodajemy **czerwoną warstwę** o **zerowej**

miąższości do otworu bazowego (zawsze z prawej strony). Warstwa ta jest przenoszona (kopiowana) do wszystkich innych otworów. We will not enter a thickness of this layer, we set a location of lower interface of layer as a "**not defined**".



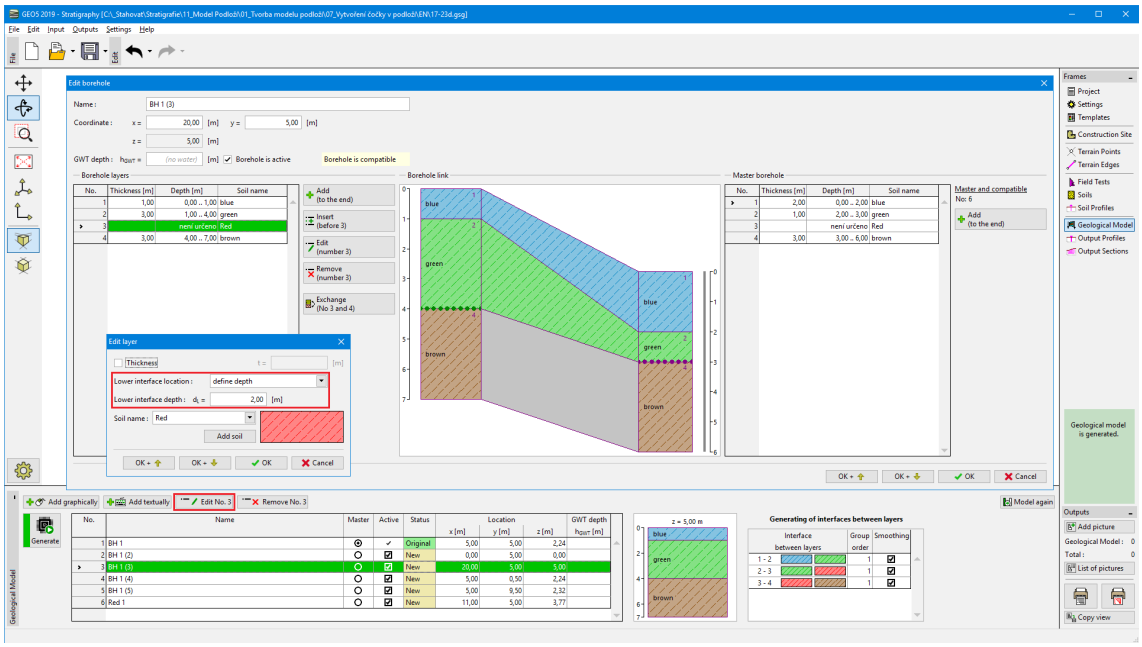
Modification of master borehole

This red layer is subsequently transferred to all other boreholes, but it has no exact location. The layer thickness used in the model generation is defined only in the borehole "**Red 1**".



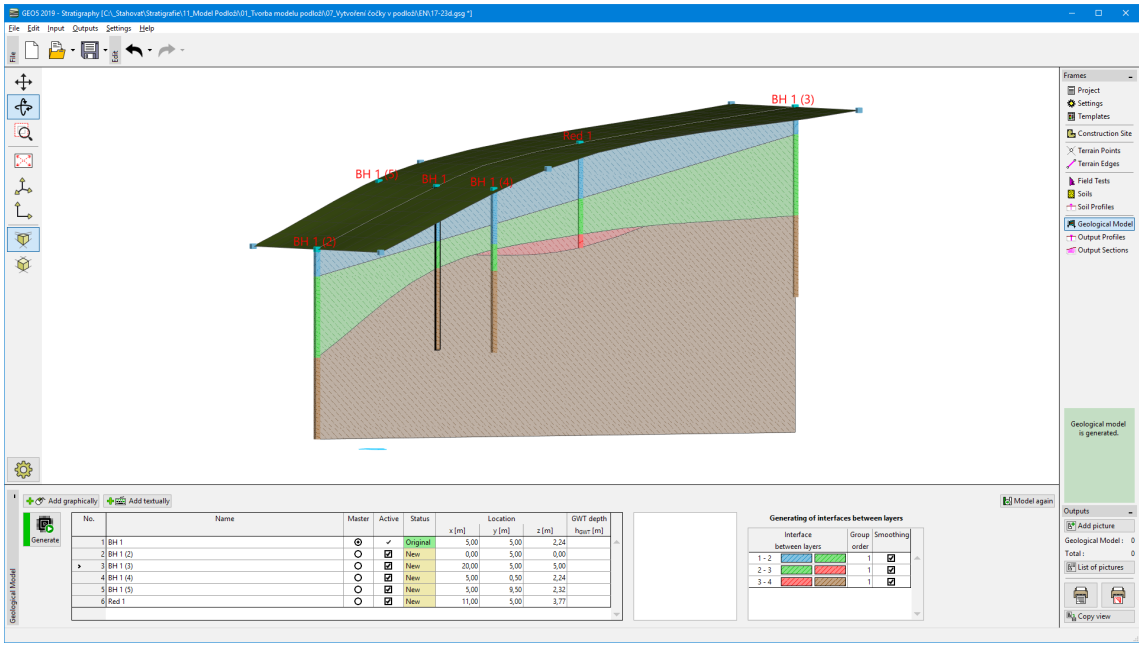
Model after adding the red layer to Master borehole

Now we modify red soil layer in the borehole **BH 1 (3)**. We change location of lower interface from "not defined" to "define depth" and enter **the depth of lower interface** of red layer [2 m]. (The depth is measured from the top of the borehole, positive values downward, negative upward).



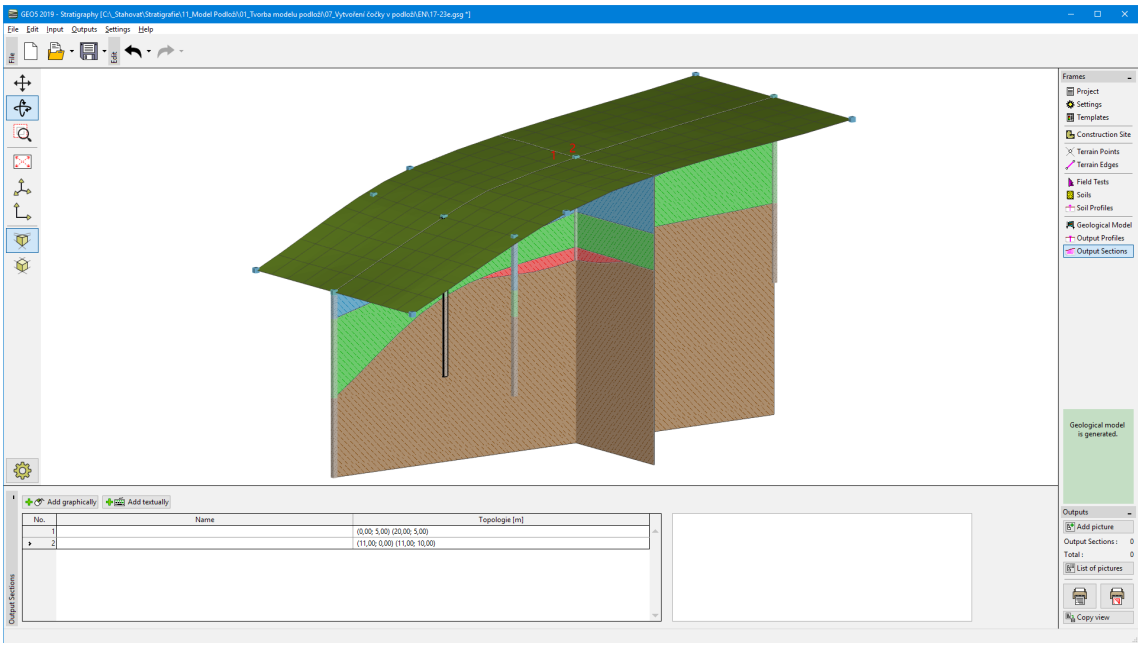
Modification of borehole BH 1 (3)

The model with red soil len is ready.



Model końcowy z nową soczewką gruntu

W celu lepszej wizualizacji soczewki dodamy nowy przekrój o współrzędnych [11; 0], [11; 10].



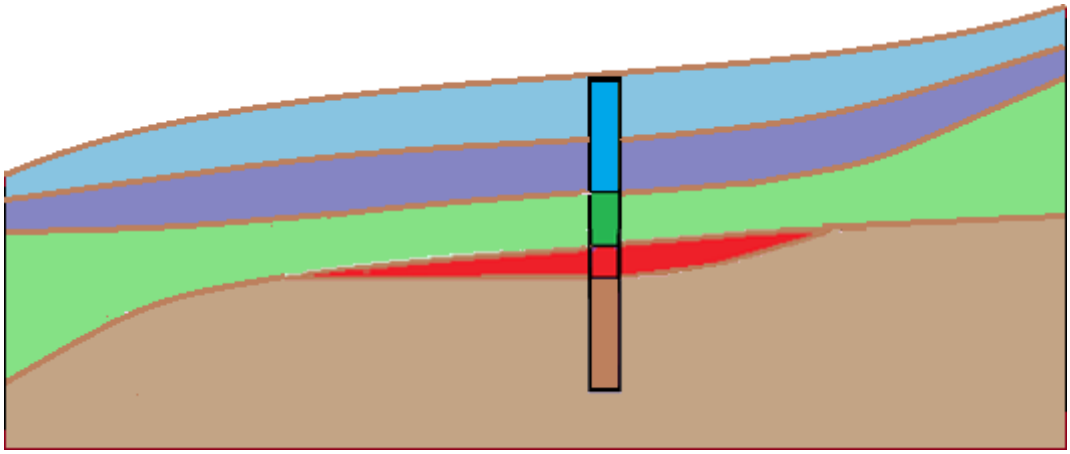
Model końcowy z nową soczewką gruntu

Poprzedni przykład Następny przykład

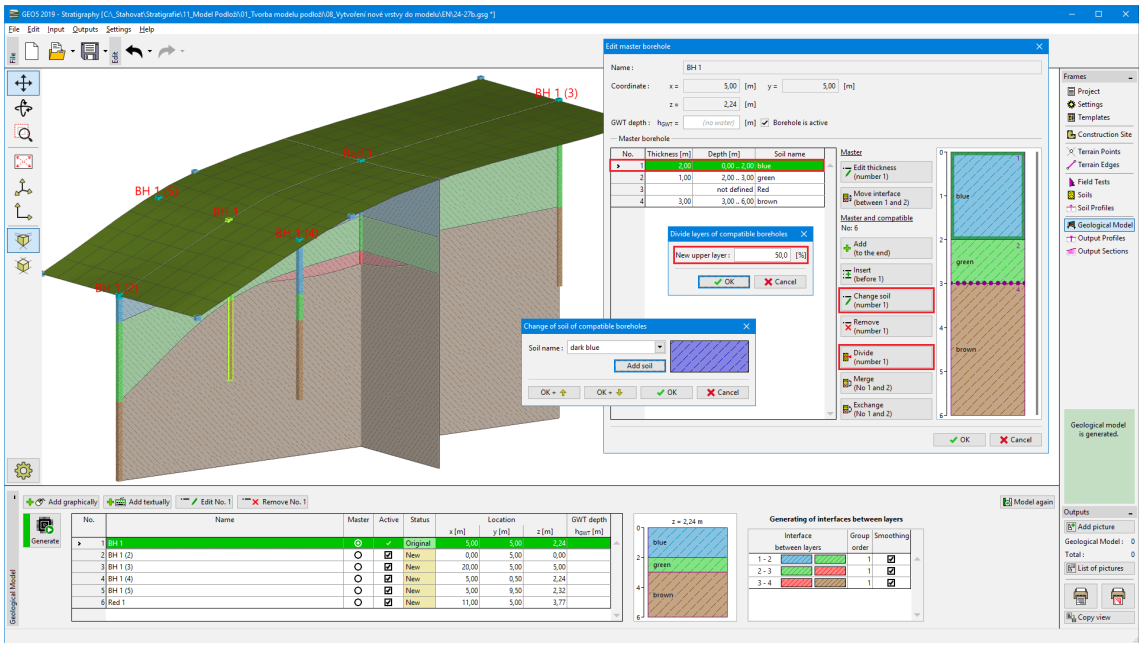
Dodawanie nowej warstwy do modelu

Poprzedni przykład Następny przykład

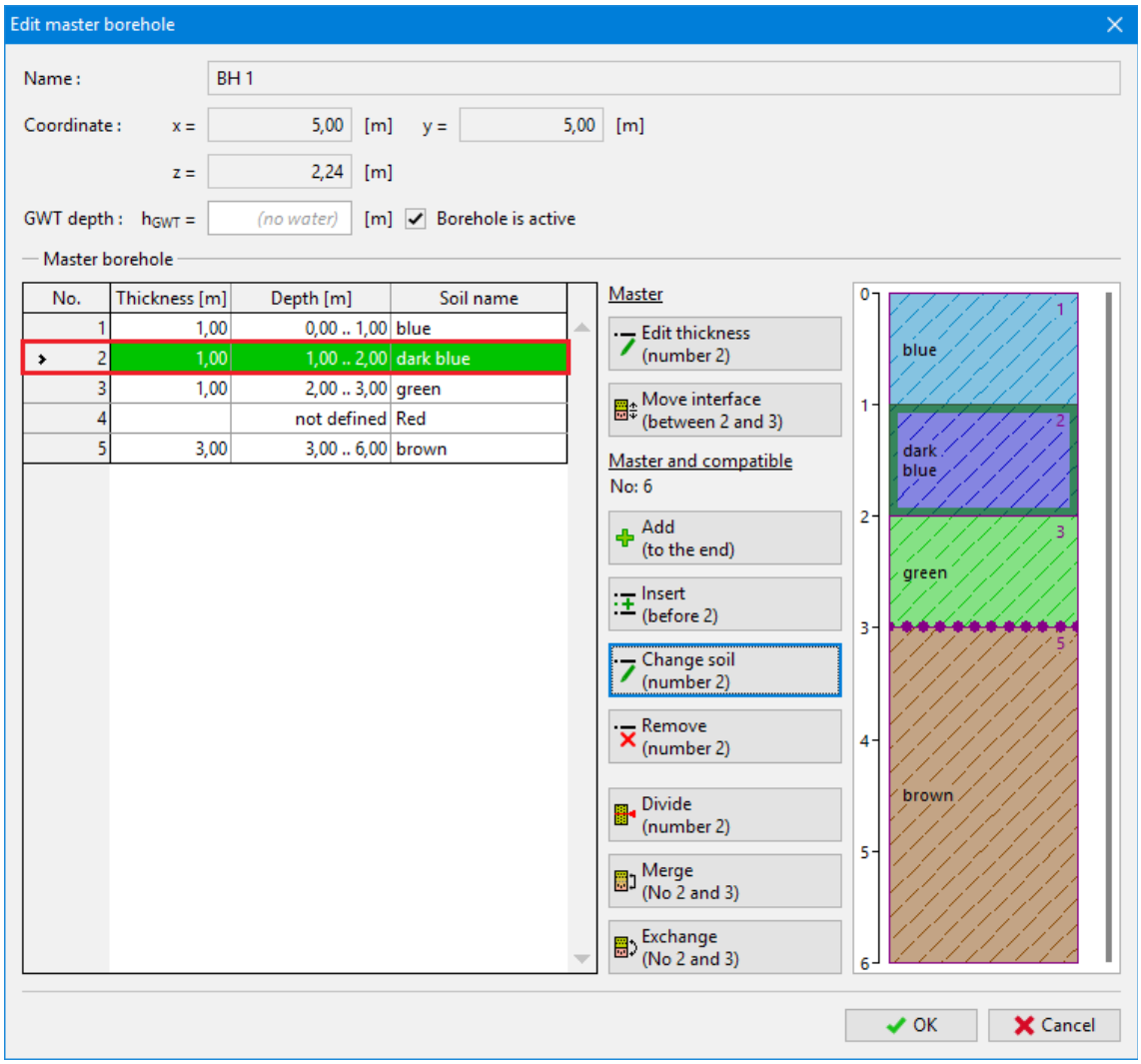
W tym przykładzie podzielimy niebieską warstwę z poprzedniego przykładu na dwie warstwy - niebieską i granatową. **Dzielenie lub łączenie warstw** jest bardzo częstym zadaniem ze względu np. na zmianę parametrów gruntu z głębokością.



W ramce "**Model geologiczny**" edytujemy otwór bazowy - w pierwszej kolejności należy podzielić niebieską warstwę korzystając z przycisku "**Podziel (Nr 1)**", a następnie zmienić nową, dolną warstwę na granatową korzystając z przycisku "**Zmiana gruntu (Nr 2)**".

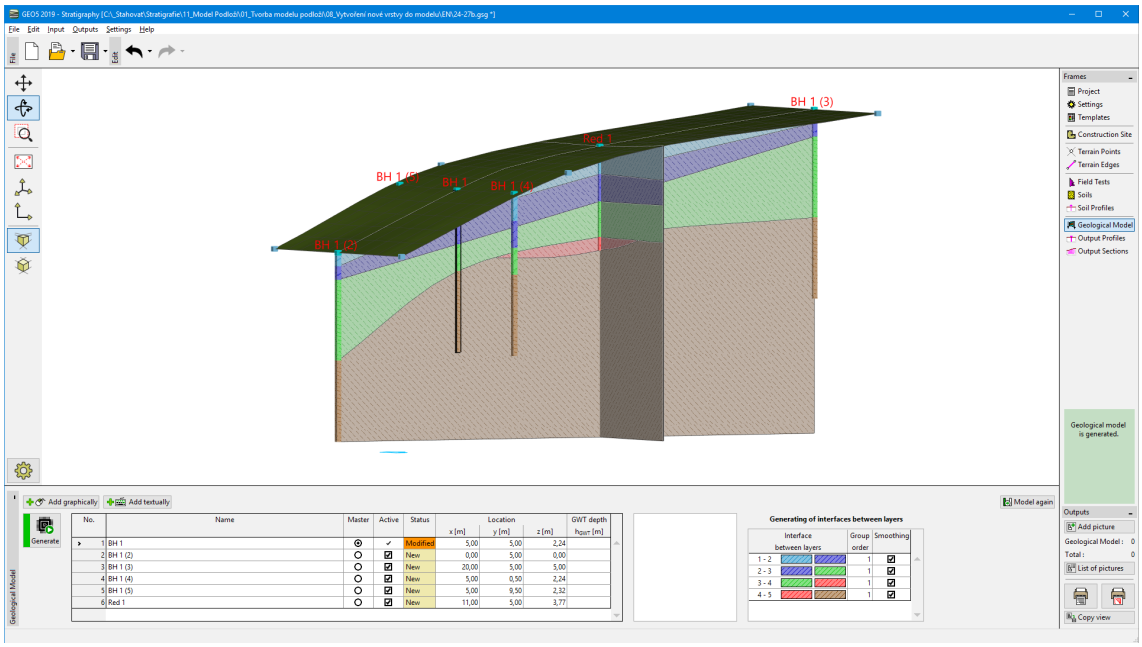


Okno dialogowe "Edycja otworu bazowego" - przed modyfikacją



Okno dialogowe "Edycja otworu bazowego" - po modyfikacji

Po wygenerowaniu modelu, warstwa została zmieniona.



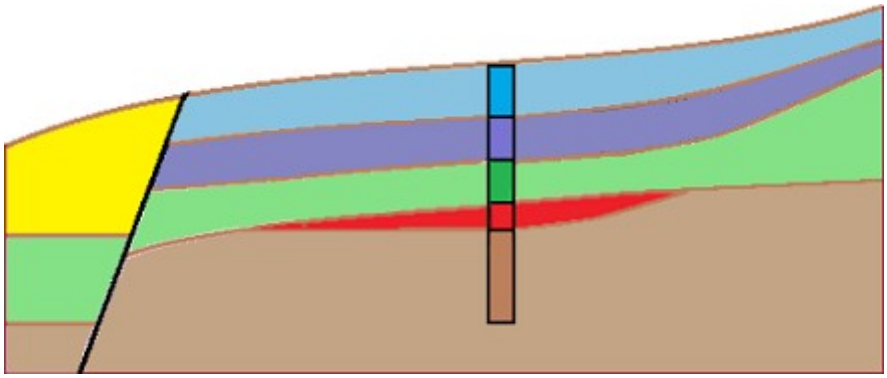
Model końcowy

Poprzedni przykład Następny przykład

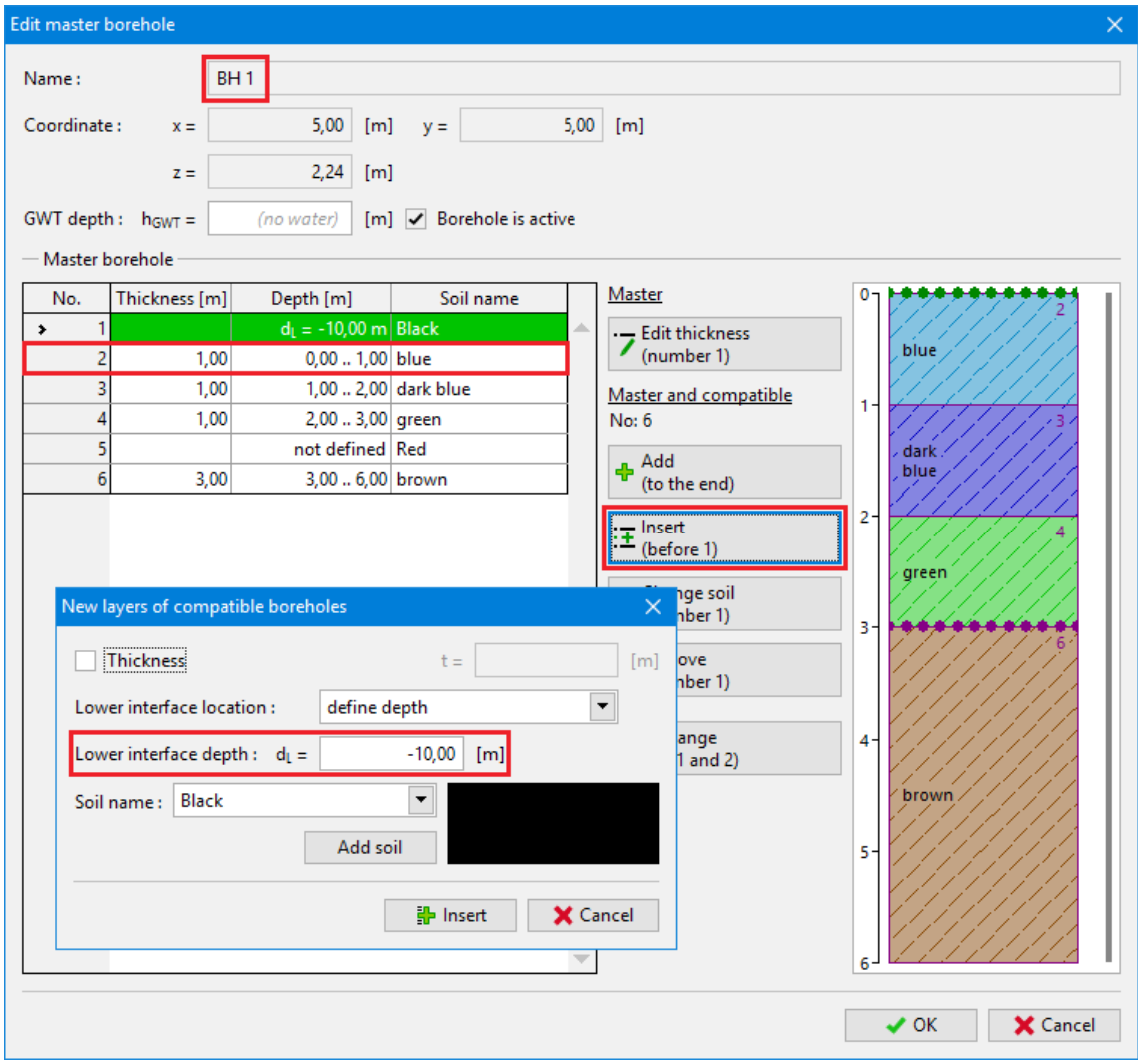
Modelling of Fault

Poprzedni przykład

Celem niniejszego przykładu jest zamodelowanie **uskoku geologicznego,** przecinającego budowę. Z lewej strony budowy, masyw gruntowy zbudowany jest z żółtej warstwy o miąższości 3 m, pozostałe warstwy z poprzednich przykładów zalegają poniżej tej warstwy.

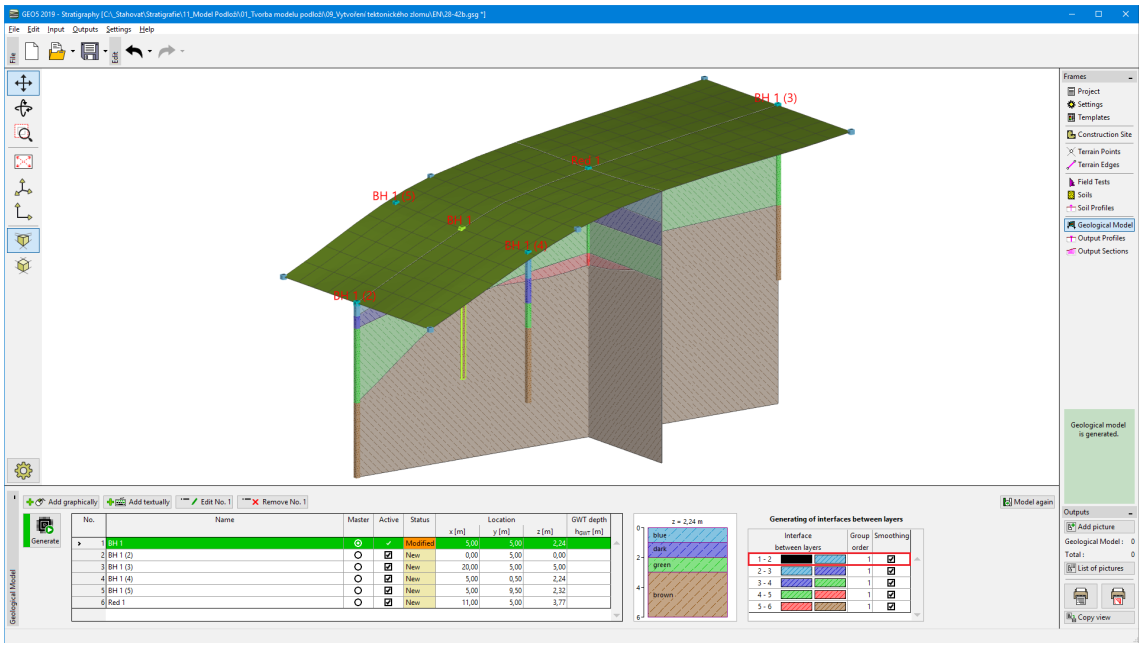


Firstly we enter a fault interface to the master borehole using "**Insert (before 1)**" button. We enter a depth of lower interface location as [-10 m] - it is located high above the terrain. The fault is made up of new soil "**Black**".



Input of new soil / fault in master borehole

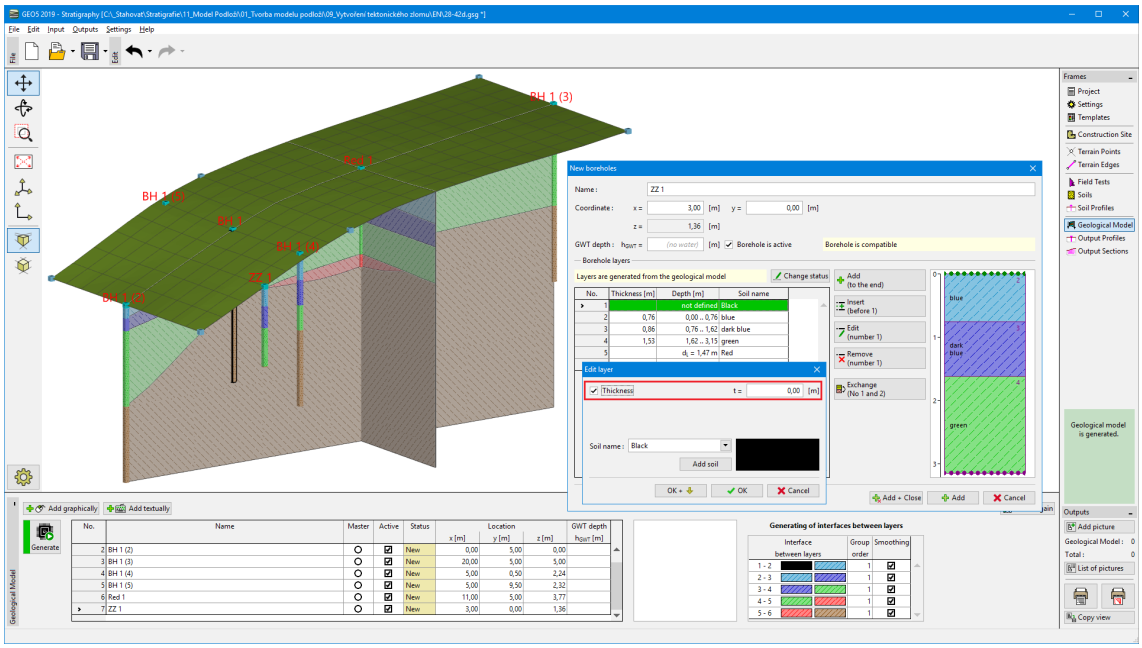
After generating, the model remains same, but we can see a new layer (fault) in the bottom right corner. For better clarity we used a black color.



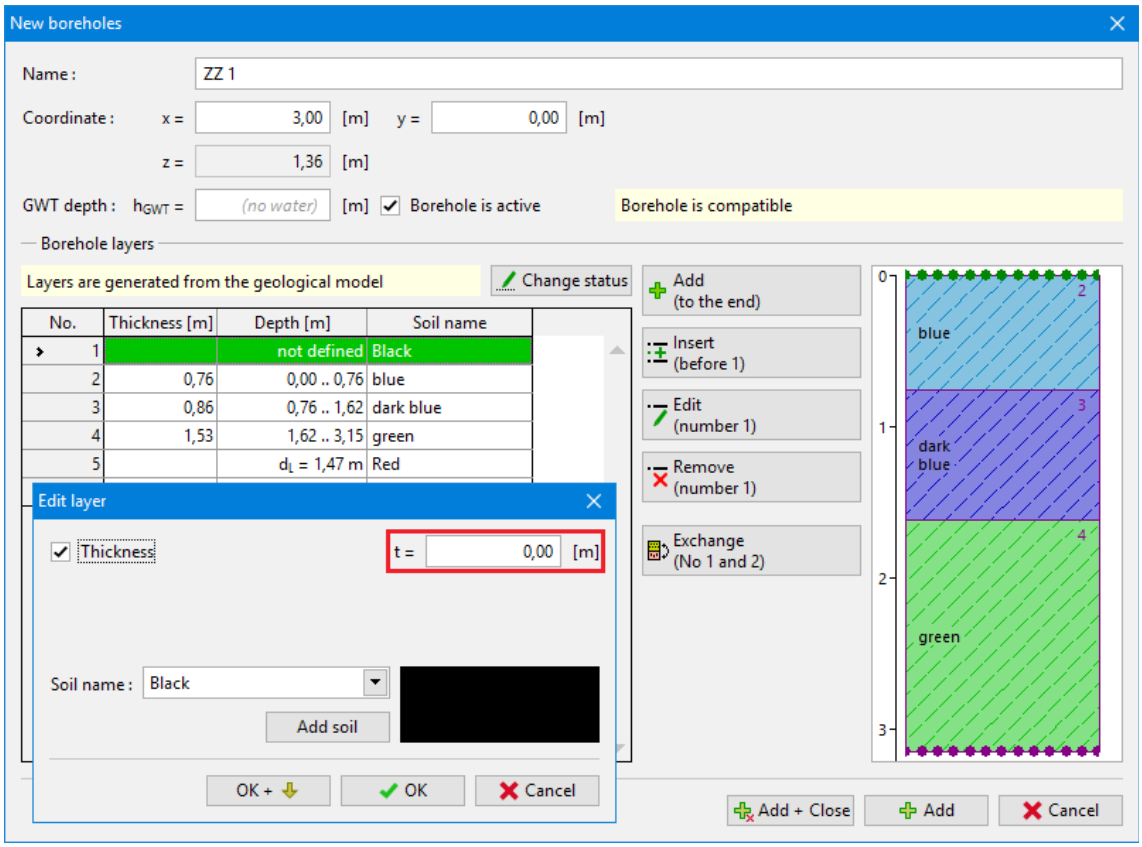
Model with new black layer what represents a fault

In following steps we define a location of fault on the terrain. We define boreholes **ZZ 1** [3; 0], **ZZ 2** [3,7; 5] and **ZZ 3** [4; 10] step by step.

During text input of borehole, firstly empty dialog window is shown. After coordinates input [3; 0], the gelogical profile is loaded from the model. **Now we change properties of upper black layer (fault) and enter its thickness as a [0 m].**



Input of borehole ZZ 1 determining the location of fault on the terrain

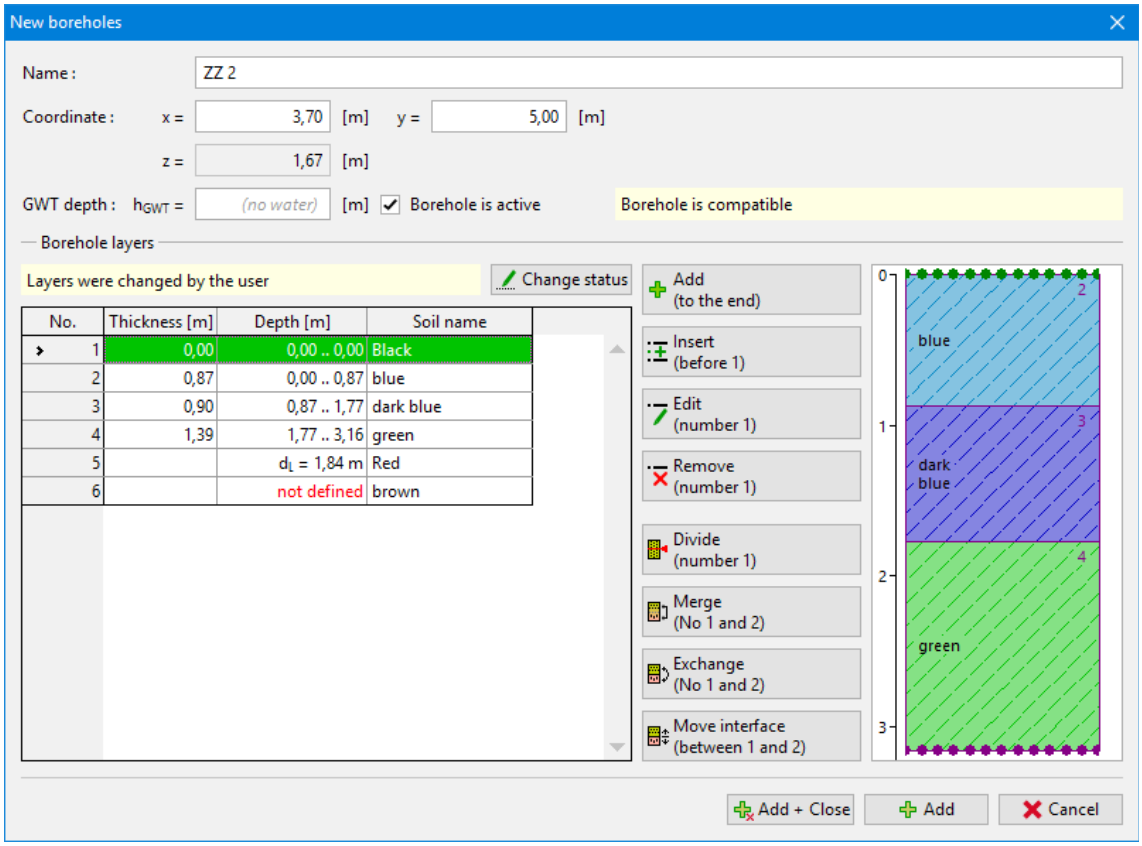


Input of borehole ZZ 1 determining the location of fault on the terrain

We leave using "**Add + close**" and regenerate the model.

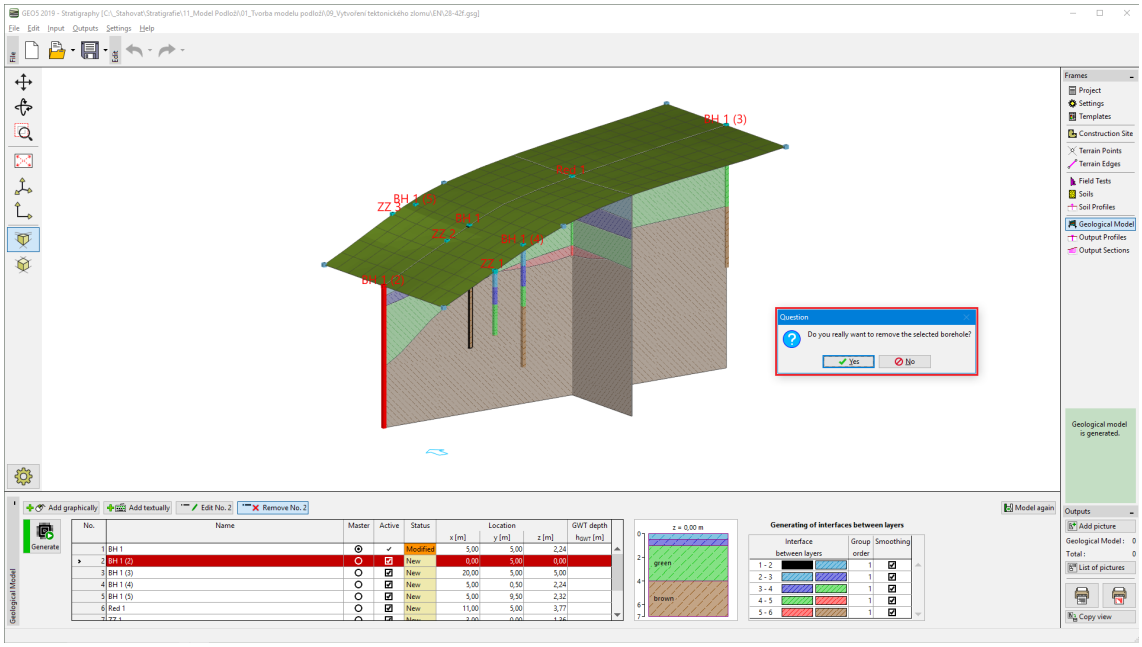
We repeate a process also for boreholes **ZZ 2** and **ZZ 3** (set a black layer as a [0 m] thickness).

The model must be regenerated after each borehole input. It is necessary for correspondation of borehole to original geological model.

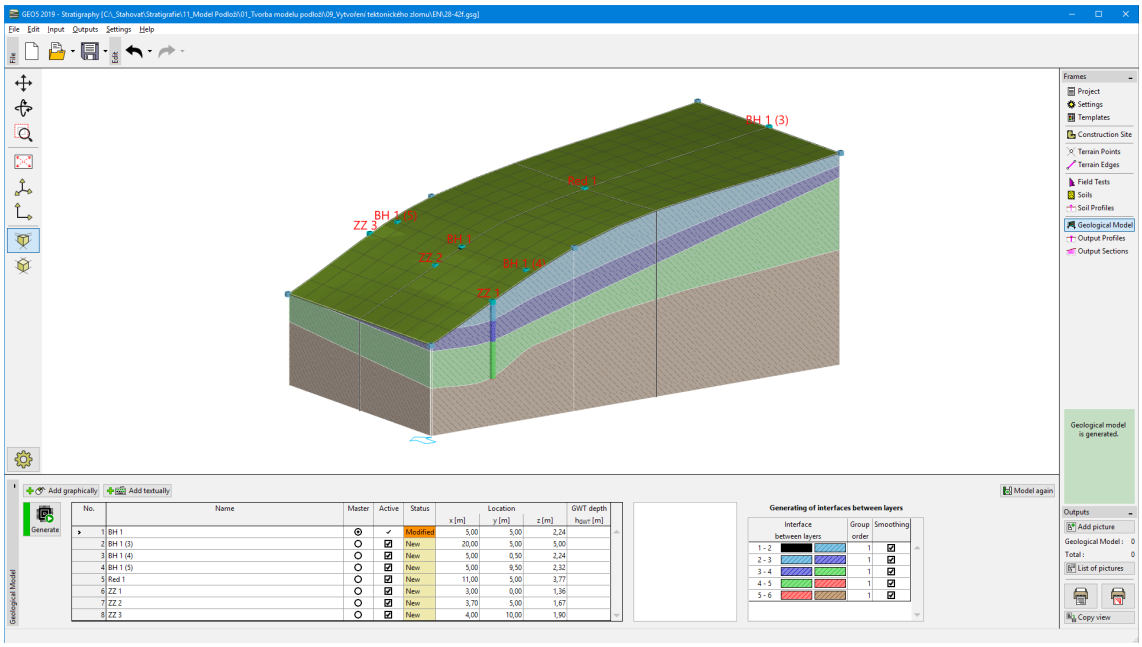


Input of borehole ZZ 2 determining the location of fault on the terrain

After input of the fault on the terrain, we remove boreholes in front of the fault - in this case borehole **BH 1(2)**.



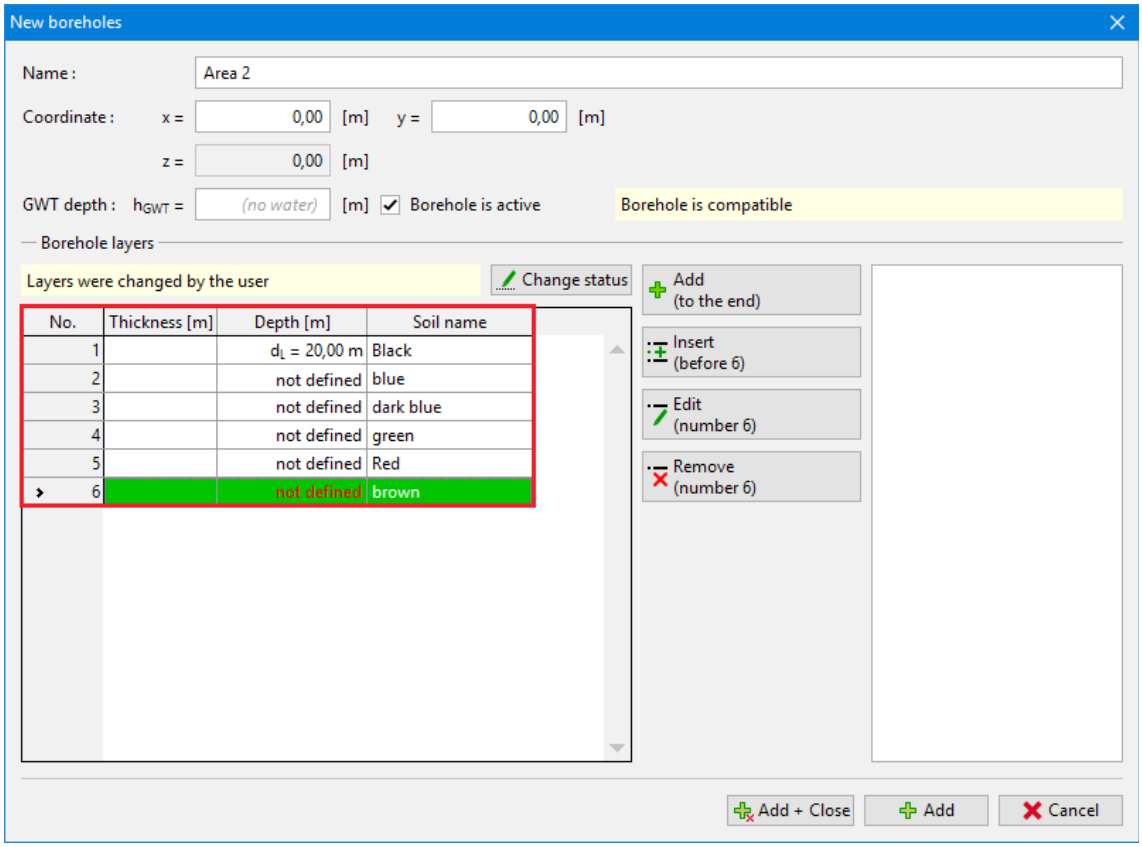
Removing of assistant boreholes in area in front of fault



Geological model after input of fault on the terrain

Now the model is ready for creation of area in front of the fault. We regenerate the model and enter two new boreholes: **Area 2** (coordinates **[0; 0]**) and **Area 2(2)** (coordinates **[0; 10]**).

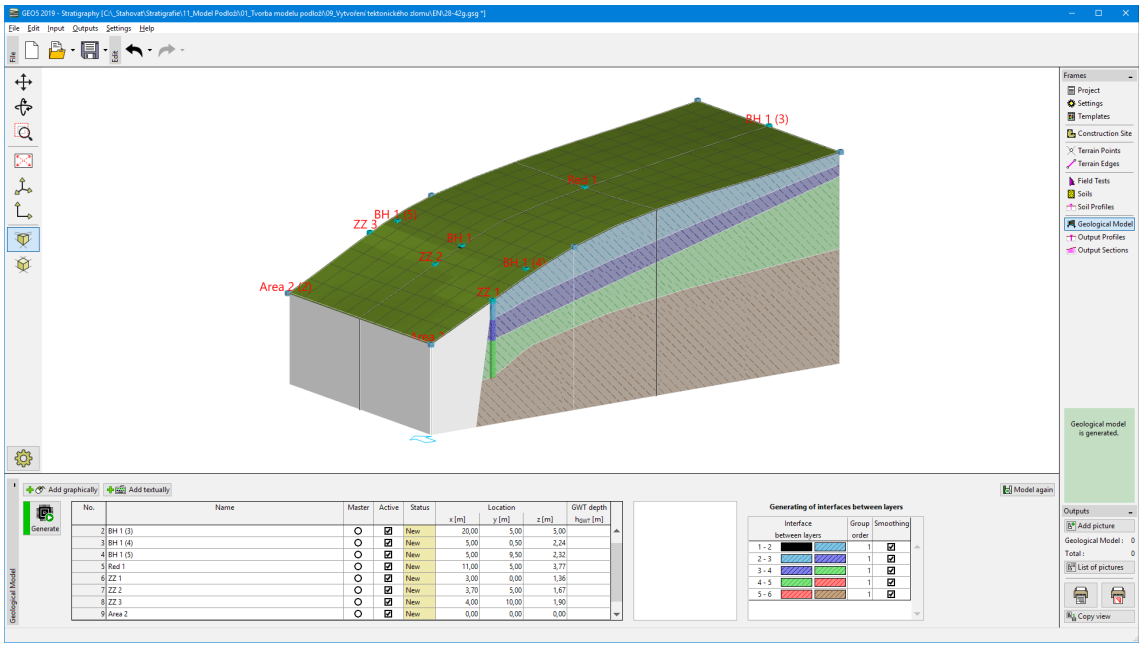
We modify both boreholes using "**Edit**" button. We define interface of fault (layer 1) in depth of [20 m], other layers have location of interface "not defined". Modified borehole **Area 2** looks as follows:



Input of fault in depth

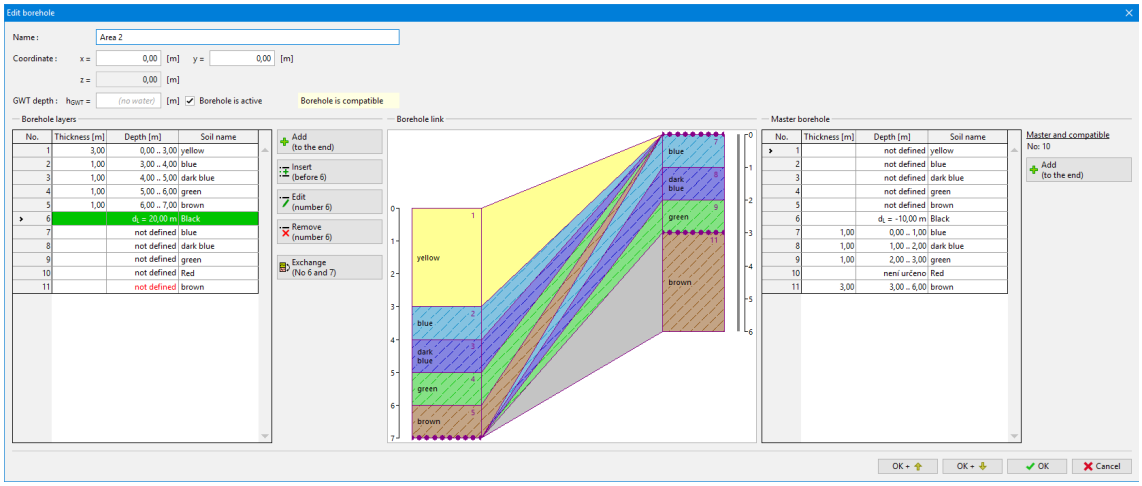
We confirm an input by "**Add**" button and enter second borehole (**Area 2(2)**) in coordinates [0; 10].

Then we generate a model - the fault is visible. The area in front of the fault is shown in grey.



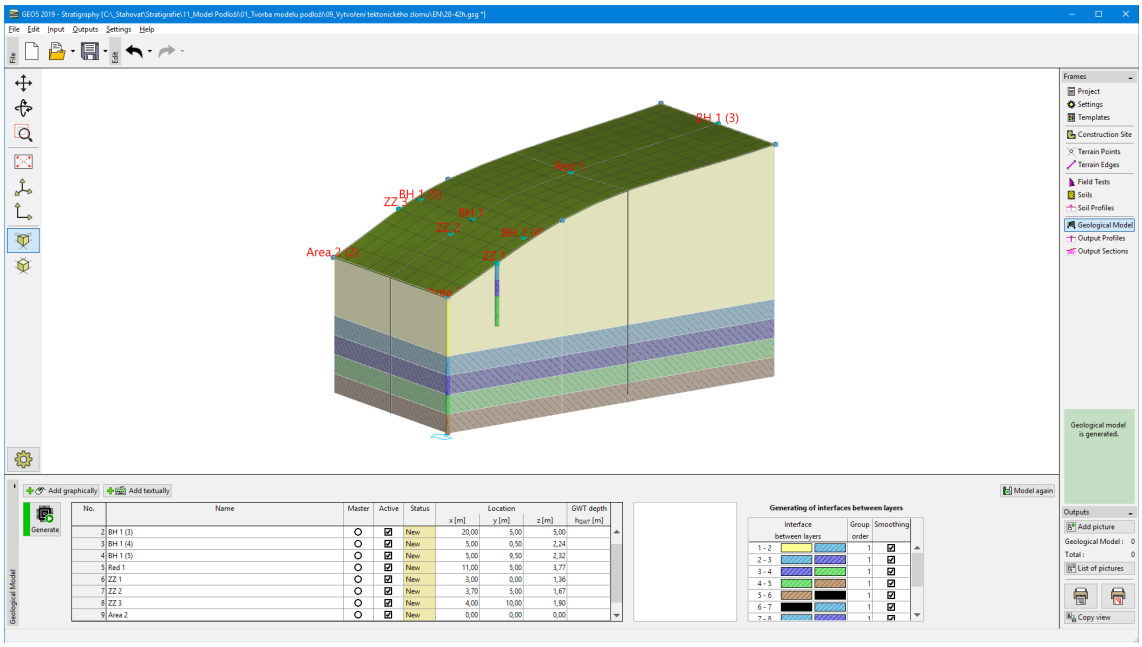
Created geological fault

Now it is necessary to define layers in the area in front of the fault. We select one of boreholes in front - **Area 2** or **Area 2(2)** and add layers above the fault (using "**Insert**" button). We define thickness of layers in this borehole -3 *m - yellow*, 1 *m - blue*, 1 *m - dark blue*, 1 *m - green*, 1 *m - brown*. In next step it is necessary to add new defined layers to the master borehole using "**Add upper layers (into master borehole)**" button. Modified borehole **Area 2** looks as follows:



Input of layers into the area in front of fault

After generating model, it looks different than we supposed - new entered layers overlay whole model (also behind the fault).



Generated model with wrong order of layers generating

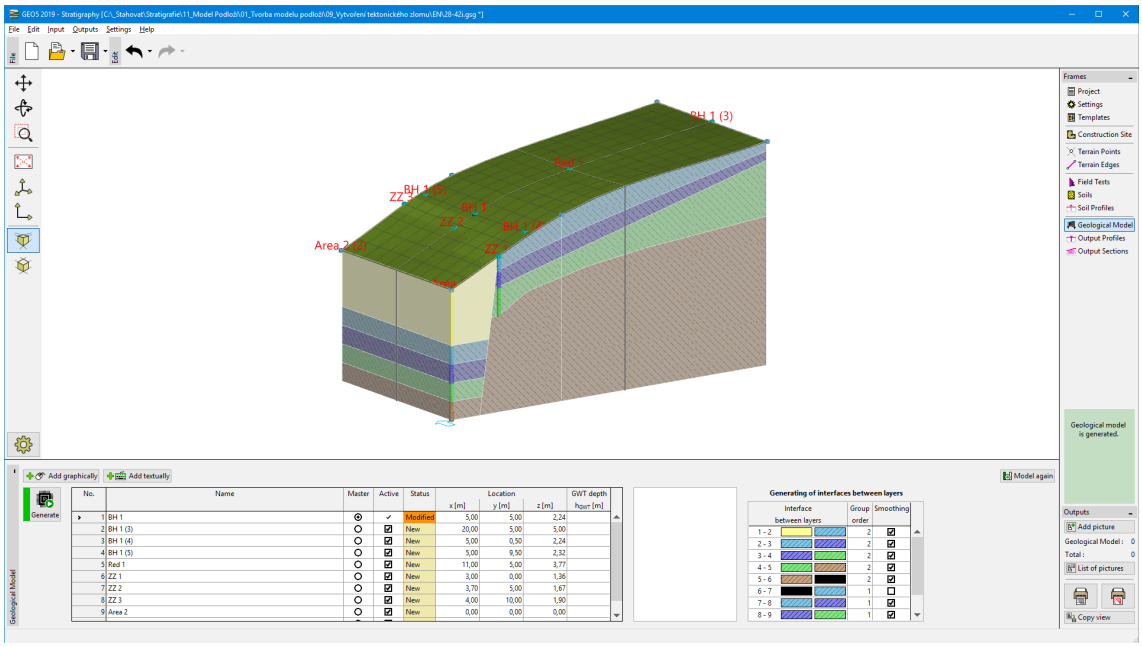
It is possible to solve this problem using changes in order of layers generation. Firstly, we generate fault (row 6-7 with black rectangle on the right side) and layers behind the fault (7-8...etc). We leave a "Group order" as "1". Layers in area in front of the fault are in group "2". The fault (row 6-7 with black rectangle on the right side) is usually straight - we do not use smoothing here.

Generating of interfaces between layers

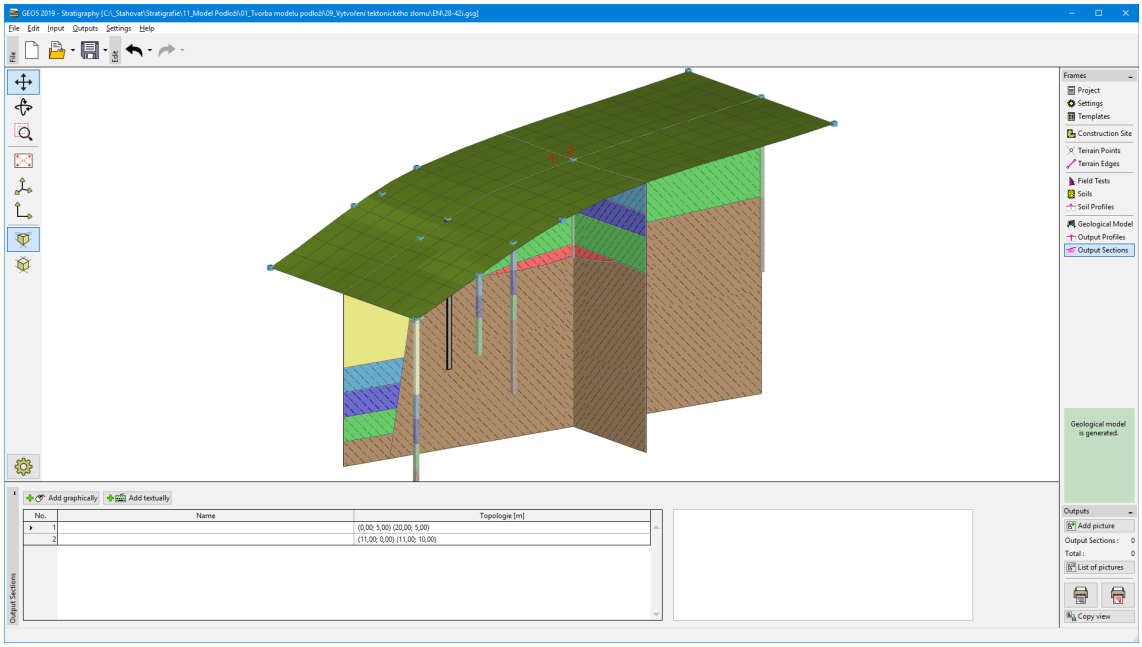
Interface between layers	Group order	Smoothing
1 - 2	2	☑
2 - 3	2	☑
3 - 4	2	☑
4 - 5	2	☑
5 - 6	2	☑
6 - 7	1	☐
7 - 8	1	☑
8 - 9	1	☑
9 - 10	1	☑
10 - 11	1	☑

Group order of interfaces between layers

The model is created.



Model końcowy

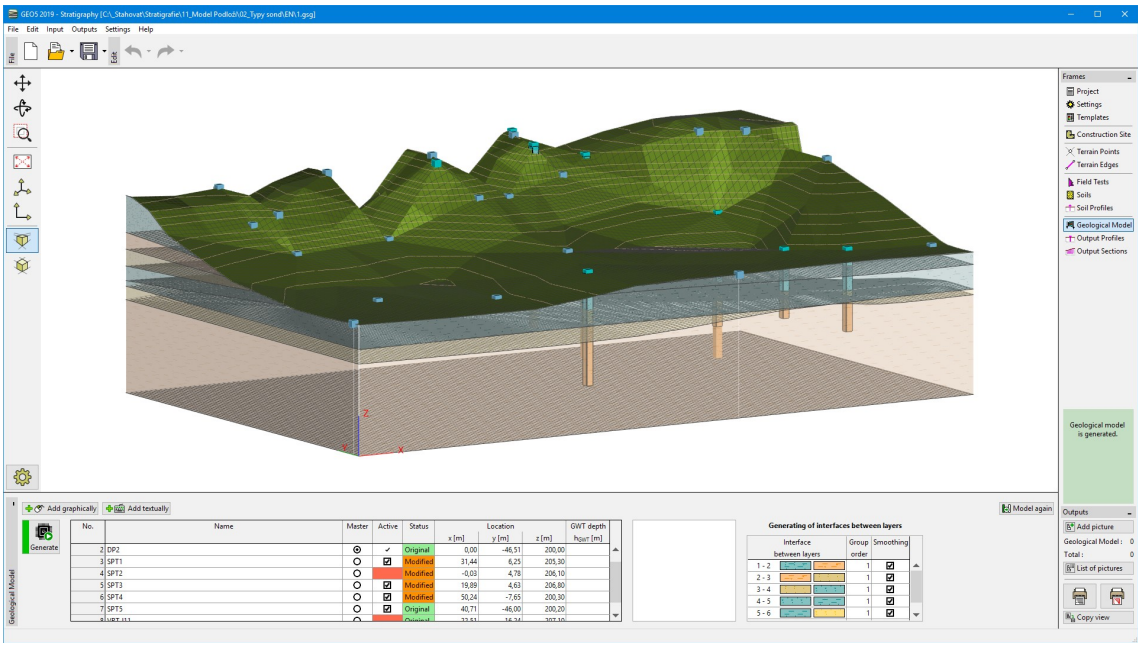


Model końcowy

Poprzedni przykład

Status otworu

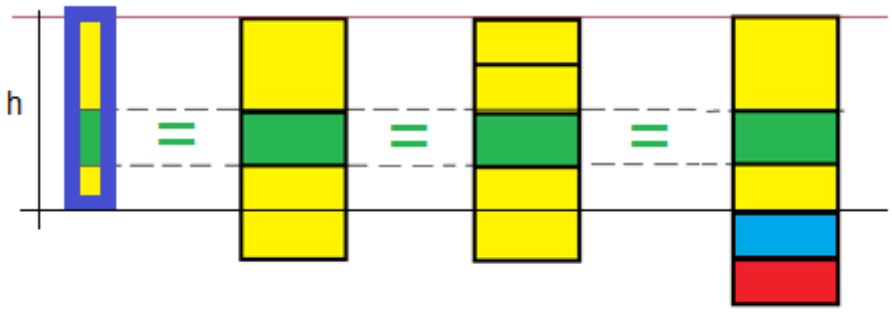
Status otworu określa zależność pomiędzy oryginalnym "Profilem badania" i "**Otworem**". Nie ma konieczności znajomości statusu otworu przy generowaniu modelu geologicznego, informacja ta jest natomiast przydatna w celu lepszego zrozumienia wykonanych modyfikacji modelu.



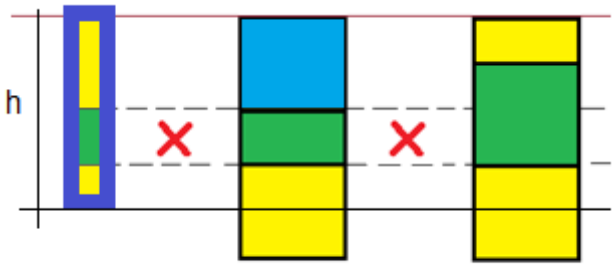
Frame "Geological model" - Borehole Status

Otwory mogą mieć przypisane trzy różne statusy:

Oryginalny - otwór generowany jest na podstawie "**profilu badania**" i odpowiada jego profilowi geologicznemu (co oznacza ten sam grunt na tej samej głębokości). Warstwy zlokalizowane poniżej całkowitej długości profilu badania nie wpływają na status otworu. Otwór może mieć dowolną liczbę warstw gruntu o zerowej miąższości - status otworu pozostaje w tym przypadku również bez zmian "oryginalny".



Zmodyfikowany - otwór utworzony jest na podstawie profilu badania, ale jego profil geologiczny został zmodyfikowany - poprzez zmianę gruntów lub miąższości warstw.

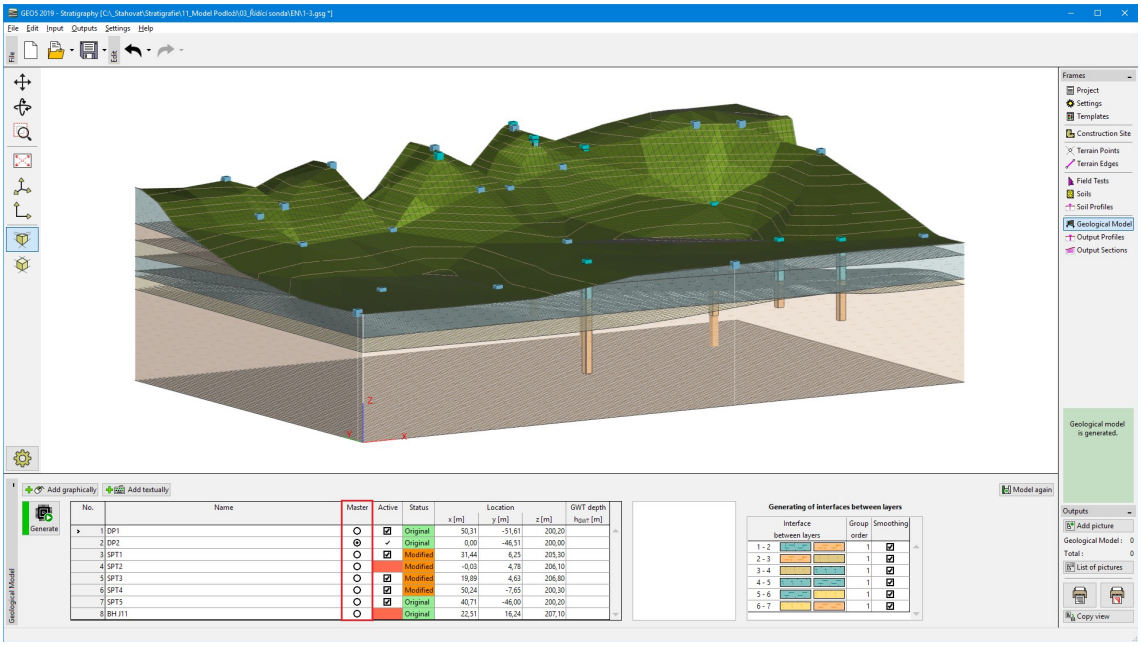


Nowy – otwór utworzony był oddzielnie, nie ma związku z badaniami ani profilami badań. Taki otwór można w dowolnym momencie usunąć z modelu.

Otwór bazowy

Otwór bazowy ma największy wpływ na wygląd modelu geologicznego. Model geologiczny generowany jest na podstawie otworu bazowego i otworów, które są kompatybilne z otworem bazowym.

Otwór bazowy wybierany jest w ramce "**Model geologiczny**".



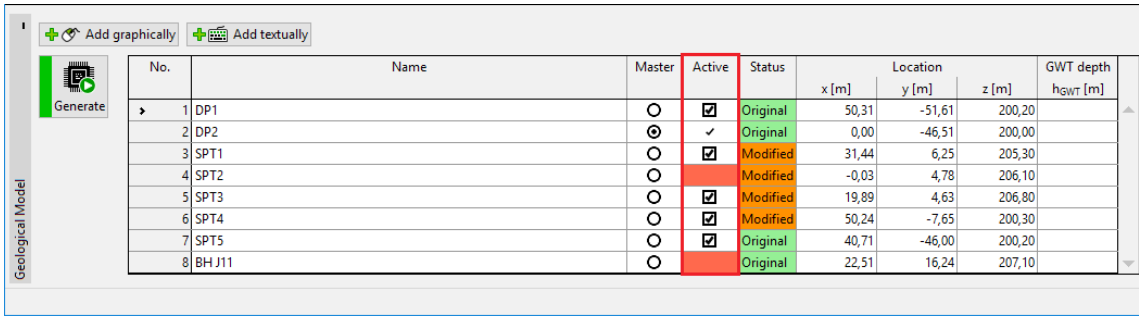
Ramka "Model geologiczny" - wybór otworu bazowego

Otwór bazowy powinien:

- maksymalnie **charakteryzować profil geologiczny**
- być **najgłębszy**
- być najbardziej **wiarygodny**.

Zazwyczaj najkorzystniej jest jako otwór bazowy wybrać otwór **opracowany na podstawie wiercenia rdzeniowego,** a nie opracowany na podstawie interpretacji wyników sondowania statycznego CPT.

Podczas budowania modelu, niezbędna jest modyfikacja otworów niekompatybilnych z otworem bazowym na kompatybilne - dzięki czemu będą one dodane do modelu geologicznego. Jeśli wszystkie otwory są kompatybilne, model geologiczny budowany jest na podstawie wszystkich otworów (w takim przypadku otwór bazowy nie jest istotny). **Otwory niekompatybilne** w kolumnie "**Aktywny**" zaznaczone są **na czerwono** - otwory te nie mogą być wykorzystane do generowania modelu.



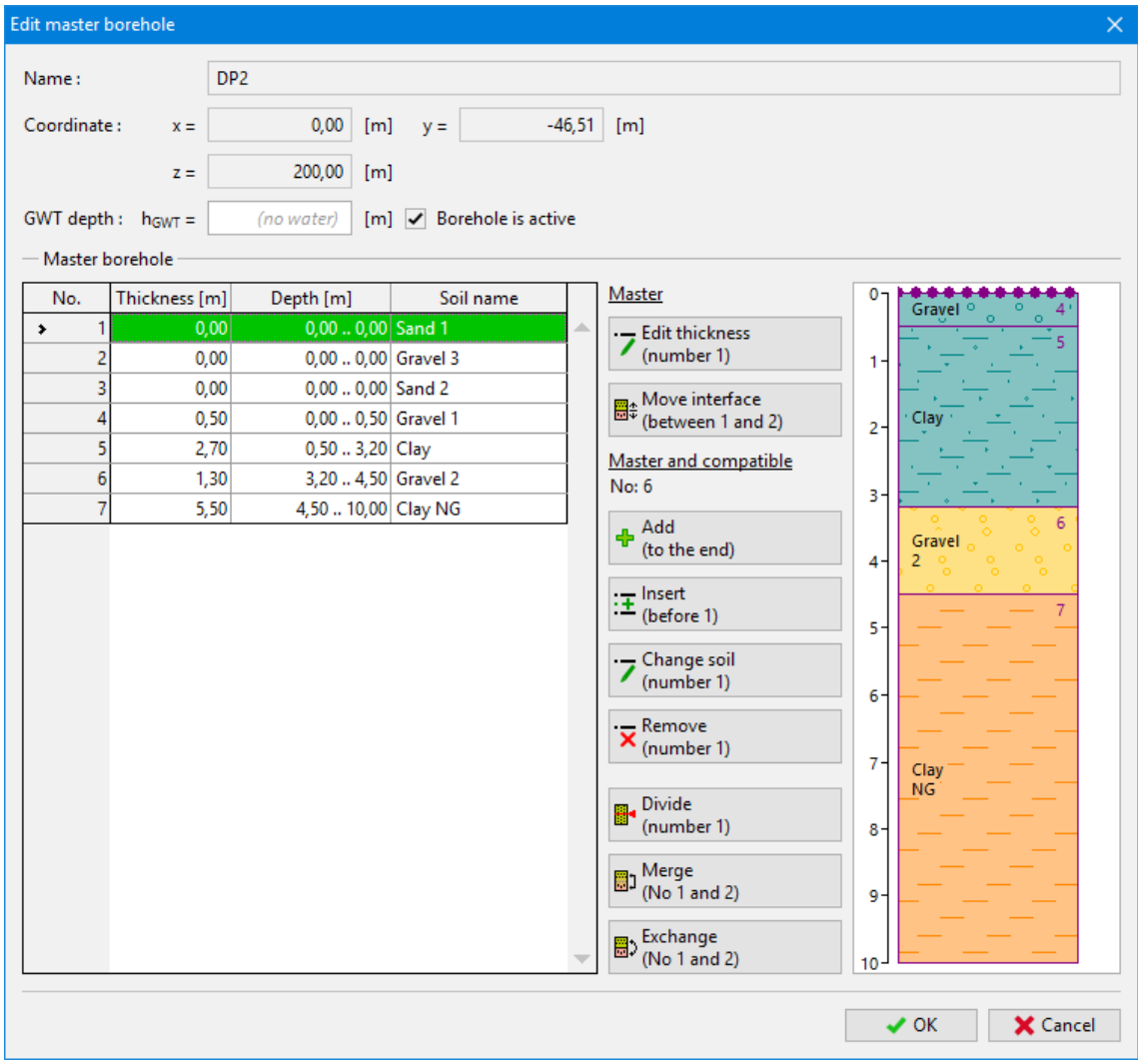
No.	Name	Master	Active	Status	Location x [m]	Location y [m]	Location z [m]	GWT depth h_{GWT} [m]
1	DP1	○	☑	Original	50,31	-51,61	200,20	
2	DP2	◉	✓	Original	0,00	-46,51	200,00	
3	SPT1	○	☑	Modified	31,44	6,25	205,30	
4	SPT2	○		Modified	-0,03	4,78	206,10	
5	SPT3	○	☑	Modified	19,89	4,63	206,80	
6	SPT4	○	☑	Modified	50,24	-7,65	200,30	
7	SPT5	○	☑	Original	40,71	-46,00	200,20	
8	BH J11	○		Original	22,51	16,24	207,10	

W przypadku **modyfikacji otworu bazowego**, określane są nowe otwory kompatybilne i generowany jest nowy model geologiczny.

Modyfikacji otworu bazowego można dokonać w oknie dialogowym "**Edycja otworu bazowego**". Można go także zmodyfikować podczas edycji innych otworów.

Najwyżej położony przycisk "**Edytuj miąższość**" dotyczy tylko otworu bazowego.

Inne przyciski ("**Wstaw**", "**Dodaj**", "**Edytuj**", "**Podziel**", "**Scal**", "**Usuń**") zmieniają wraz z otworem bazowym wszystkie otwory kompatybilne - w ten sposób możliwa jest modyfikacja większej liczby otworów poprzez jedną zmianę. Funkcję tę można wykorzystać na przykład w celu stworzenia nowej warstwy w wygenerowanym wcześniej modelu.

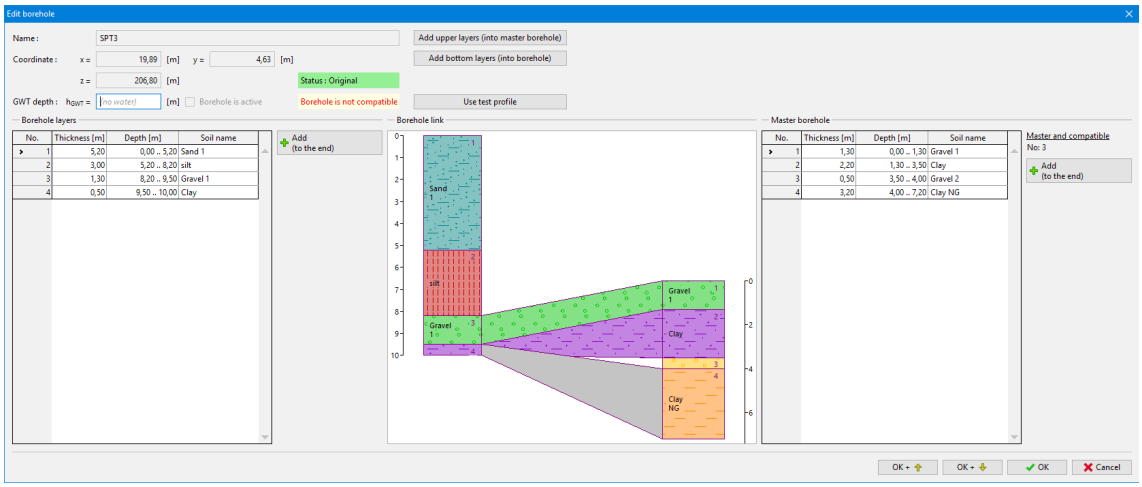


Okno dialogowe "Edycja otworu bazowego"

Edycja otworu

Otwory można edytować w oknie dialogowym "**Edycja otworu**". Okno to pozwala na **dokonywanie zmian w edytowanym otworze** (z lewej strony okna dialogowego), a także **w otworze bazowym** (w prawej części okna dialogowego).

Narzędzia dostępne w tym oknie opisane są na przykładzie otworu pokazanego na poniższym rysunku.



Okno dialogowe "Edycja otworu" - not compatible boreholes

W lewej części okna dialogowego wyświetlane są informacje dotyczące edytowanego otworu. Status otworu (kompatybilny/niekompatybilny) pokazany jest powyżej schematu otworu. Celem modyfikacji jest **zmiana otworu na kompatybilny** oraz dodanie go do modelu geologicznego.

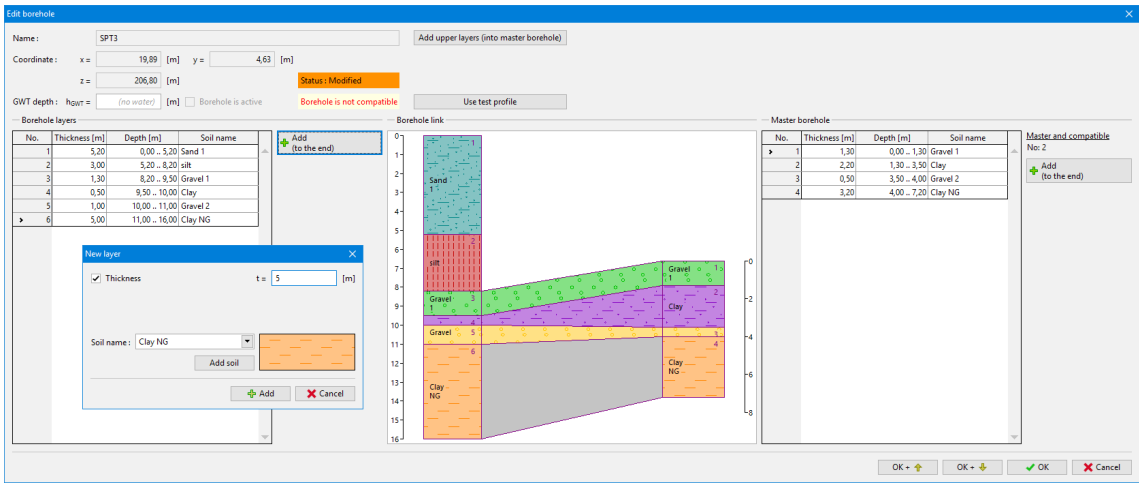
In the right part of the dialog window, the data of **master borehol**e are displayed.

W środkowej części okna dialogowego, pokazane jest **powiązanie otworów.** Wysokości otworów prezentowane są prawidłowo, wobec czego oczywistym jest, które warstwy są poziome. Jeśli otwór (bazowy lub zmieniony) utworzone są na podstawie badania, **długość badania** wyświetlana jest w kolorze szarym. Na rysunku widzimy, że edytowany otwór utworzony był na podstawie badania, które było zbyt płytkie, aby osiągnąć warstwy żółte. Z drugiej strony, otwór bazowy opracowany był także na podstawie badania, z tym, że wykonanego w wykopie poniżej - brakuje więc w nim górnych warstw.

Dla obydwu tabeli, istnieje możliwość wykorzystania następujących przycisków w celu edycji otworu: ("**Wstaw**", "**Dodaj**", "**Edytuj**", "**Podziel**", "**Scal**", "**Exchange**", "**Move interface**", "**Usuń**"). Jeśli żaden rządek nie jest wybrany/zaznaczony w tabeli, dostępny jest tylko przycisk "**Dodaj**". Po wybraniu rzędu others buttons are displayed).

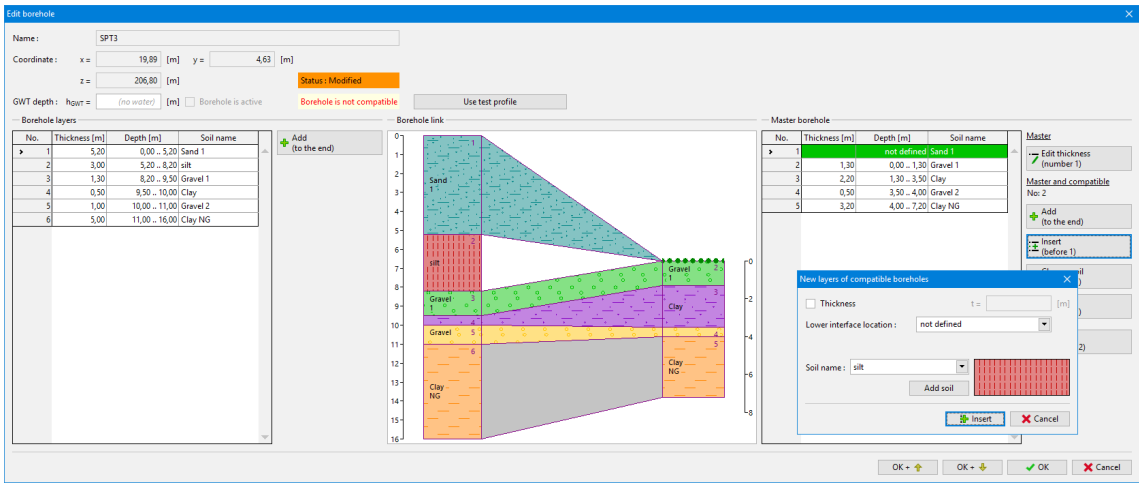
Otwór może być **zmodyfikowany z niekompatybilnego na kompatybilny w następujący sposób**:

- **Edit selected borehole on the left part of the dialog window - z**a pomocą przycisku "**Dodaj**" dla **edytowanego otworu w lewej części okna dialogowego**, dodawane są warstwy "**Gravel 2**" (**yellow**) oraz "**Clay NG**" (**orange**). We can enter their assumed thickness, depth of interface or do not specify exact location.



Okno dialogowe "Edycja otworu" - modification of edited borehole

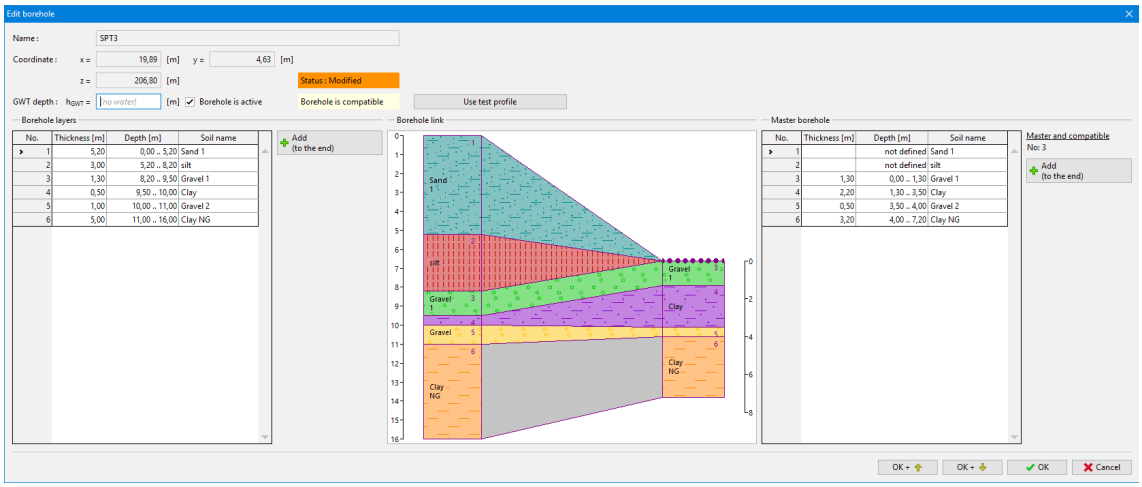
- **Edit master borehole on the right** part of the dialog window - następnie, z wykorzystaniem przycisku "**Wstaw (przed 1)**" (pierwszy rządek w tabeli otworu bazowego musi być zaznaczony) **w otworze bazowym w prawej części okna dialogowego,** dodawane są zerowej miąższości warstwy "**Silt**" (**red**) oraz "**Sand 1**"(**blue**). W ten sposób otwory stają się ze soba kompatybilne. In this case the best way is not to specify exact location of the interface.



Okno dialogowe "Edycja otworu" - modification of master borehole

Ponieważ tego typu zadania są bardzo często wykonywane, a przedstawiona powyżej metoda dosyć czasochłonna (szczególnie w przypadku większej liczby warstw), program umożliwia wykonanie tego zadania w prostszy sposób za pomocą przycisków "**Dodaj warstwę na górze**" i **Dodaj warstwę na dole**" umieszczonych w górnej części okna.

This way, the connection between boreholes is compatible.

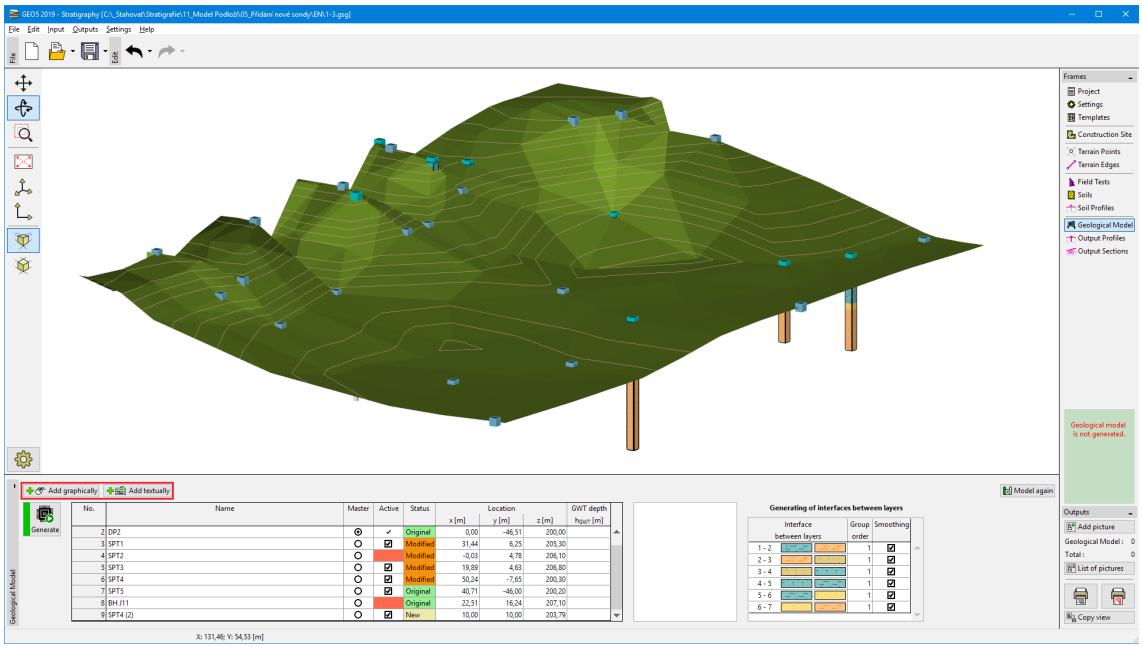


Okno dialogowe "Edycja otworu" - compatible boreholes

W oknie dialogowym wyświetlany jest również status otworu - tzn. informacja czy otwór jest **oryginalny** (odpowiada profilowi badania) czy **zmodyfikowany**. Istnieje możliwość powrotu do statusu "oryginalny" poprzez wciśnięcie przycisku "**Kopiuj z profilu badania**".

Dodawanie otworu

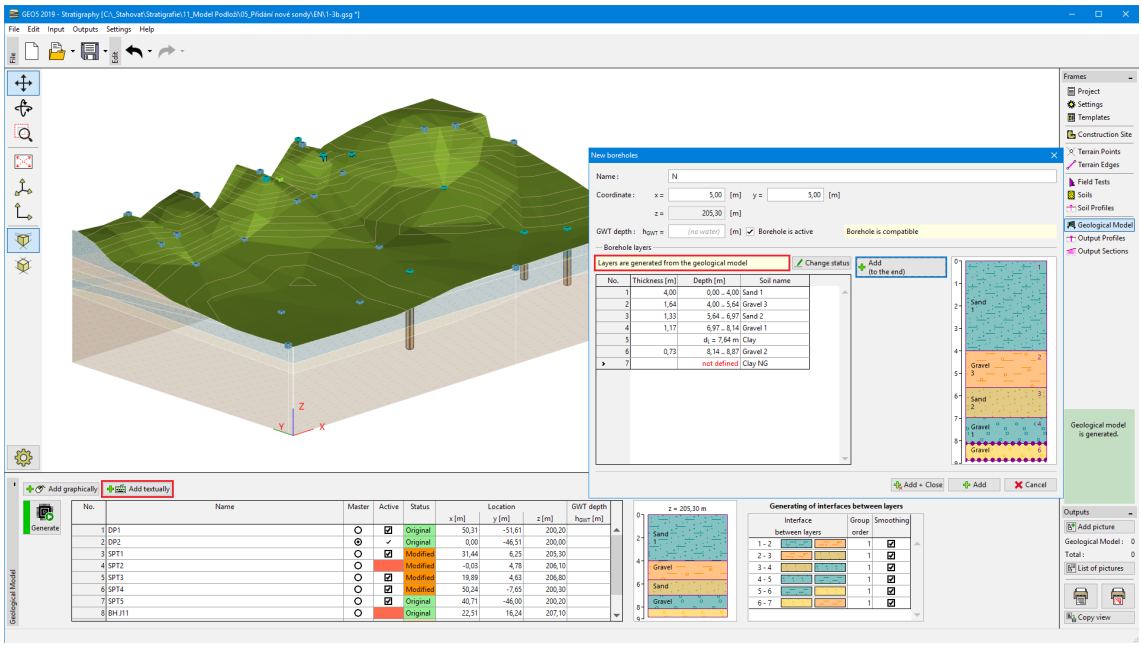
Nowe otwory mogą być dodane do modelu za pomocą przycisków "**Dodaj graficznie**" lub "**Dodaj tekstowo**".



Frame "Geological Model" - adding of new borehole

Jeśli **żaden otwór nie jest wybrany**, kiedy korzystamy z przycisku "**Dodaj**", wówczas nowy otwór **generowany jest z modelu geologicznego**.

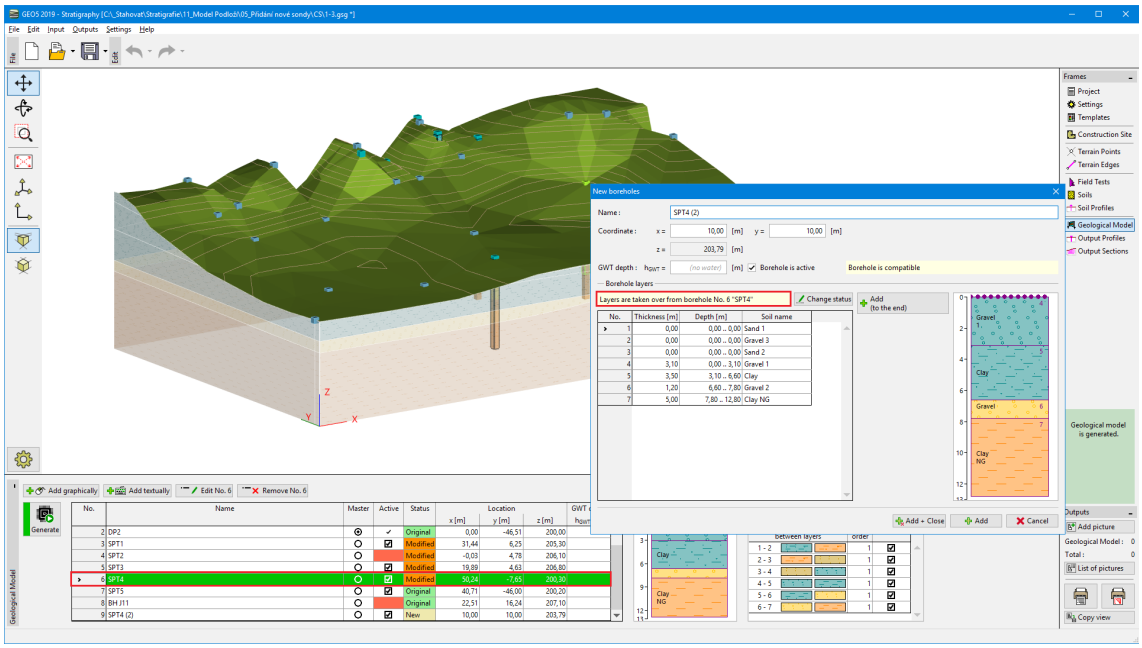
Dodawanie nowego otworu z **automatyczną generacją warstw na podstawie modelu geologicznego** jest ważna przy edycji modelu geologicznego (model edytowany jest za pomocą otworów - jeśli nie ma otworu w modelu, w miejscu, które chcemy edytować, konieczne jest dodanie otworu w tej lokalizacji), a także przy dodawaniu soczewek gruntu.



The layers of new borehole were generated from the geological model

W przypadku, gdy podczas zastosowania przycisku "**Dodaj**", jakiś otwór jest zaznaczony/wybrany, nowy otwór jest kopią tego zaznaczonego, istniejącego otworu.

Dodawanie nowego otworu będącego **kopią otworu istniejącego** ma zastosowanie w następujących przykładach: Model geologiczny z warstwami zgodnymi z powierzchnią terenu, Tworzenie soczewek gruntu, Modelowanie uskoków.



New borehole is a copy of selected borehole

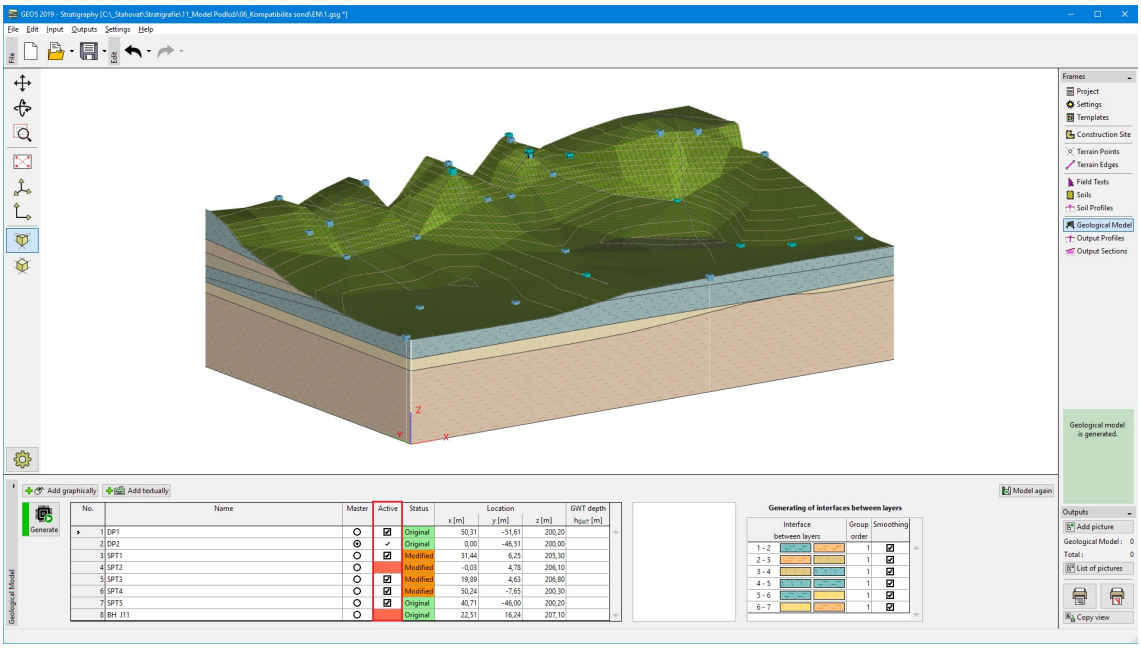
Przycisk "Cofnij" jest istotnym narzędziem w programie. Umożliwia przywrócenie **stanu pierwotnego sprzed wszystkich modyfikacji.**

Kompatybilność otworów

Celem generacji modelu geologicznego jest uzyskanie (zbudowanie) maksymalnie realistycznego modelu - modelu, w którym wszystkie otwory są wykorzystane. W tym celu, wszystkie otwory powinny być kompatybilne.

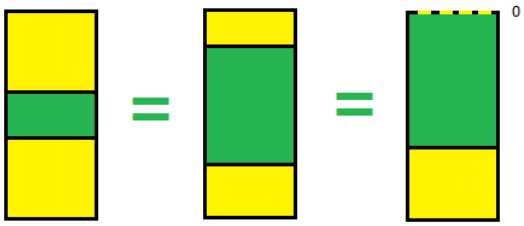
Otwory kompatybilne maja identyczną liczbę oraz kolejność warstw jak otwór bazowy. Wyświetlony jest w kolorze białym w kolumnie "**Aktywny**". Jeśli otwór ten jest również aktywny, będzie także wykorzystany do generacji modelu.

Otwory niekompatybilne z otorem bazowym pokazane są na czerwono w kolumnie "**Aktywny**" i nie mogą one być wykorzystane przy generowaniu modelu geologicznego.

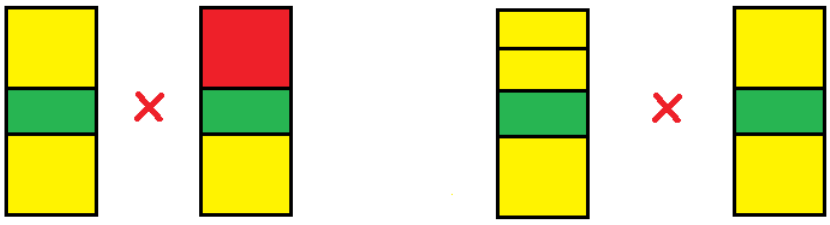


Frame "Geological model" - compatibility of boreholes

Przykłady **otworów kompatybilnych**:



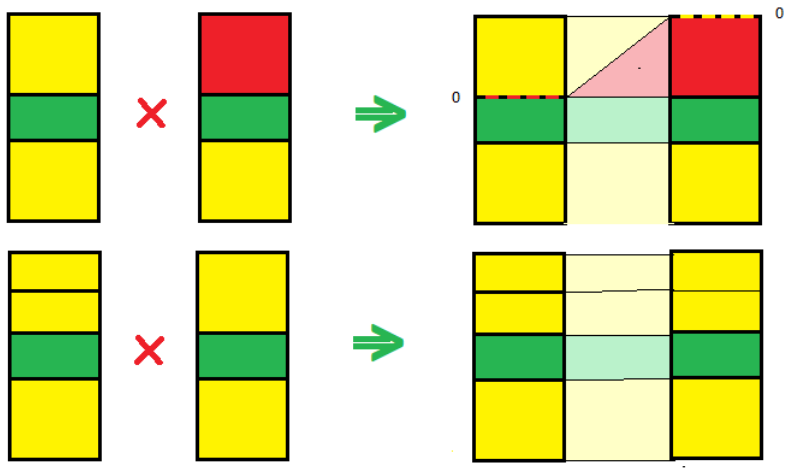
Przykłady **otworów niekompatybilnych**:



Otory niekompatybilne mogą być zmienione na kompatybilne w oknie dialogowym "Edycja

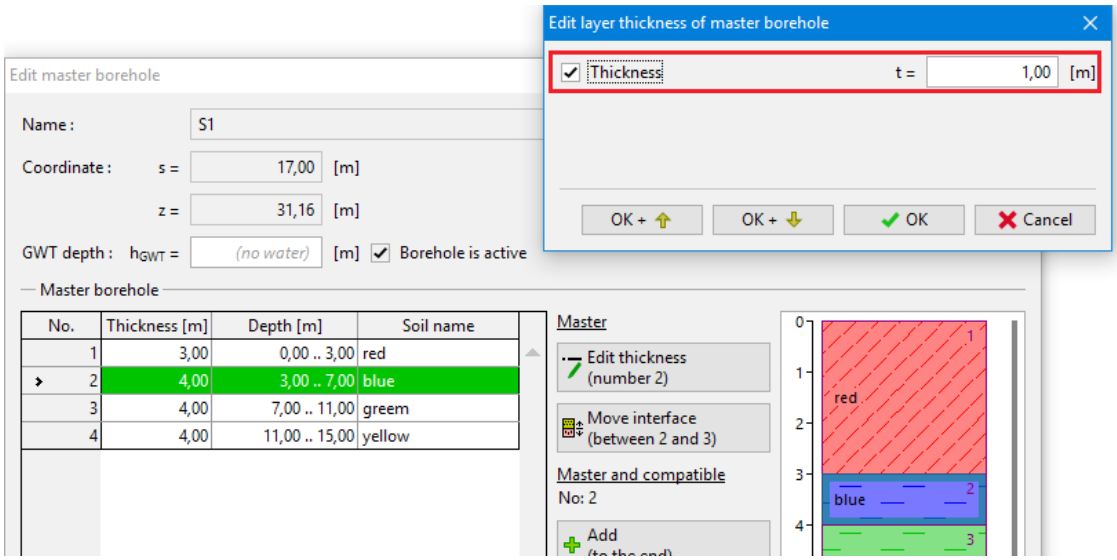
otworu" - np. poprzez **wstawienie warstw o zerowej miąższości** lub **dodanie (usunięcie) warstwy gruntu**.

Przykład modyfikacji otworów niekompatybilnych, tak aby były kompatybilne:



Definition of Interface in Borehole

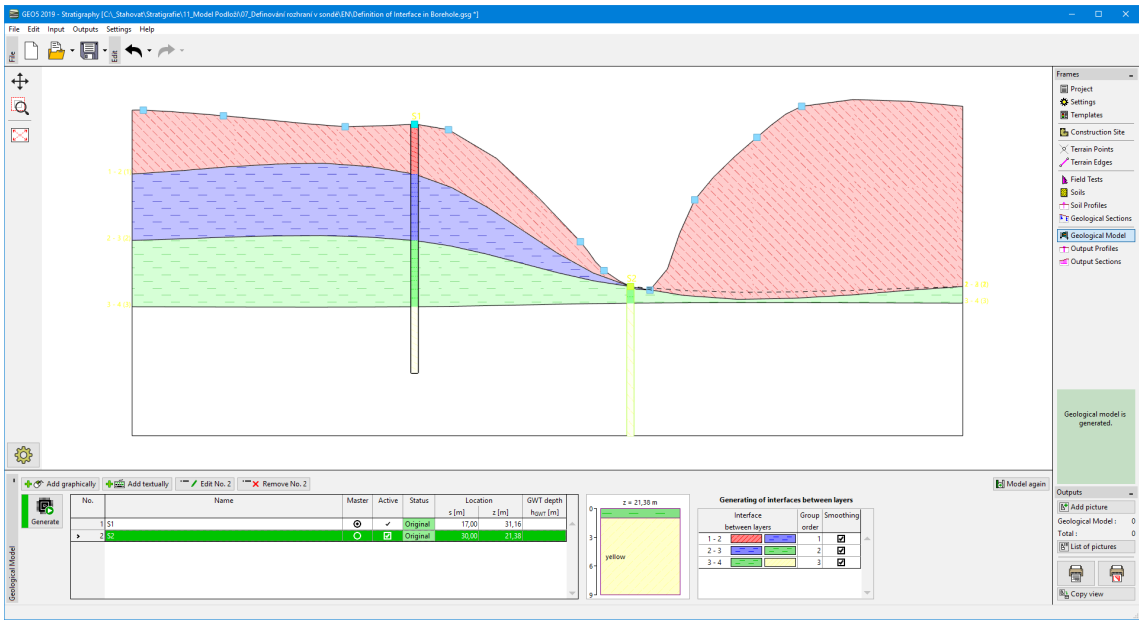
Thickness of layers are defined in the boreholes, it determines the position of layers.



In some cases, the layer is not within the borehole - then we have **three options how to define such layer**:

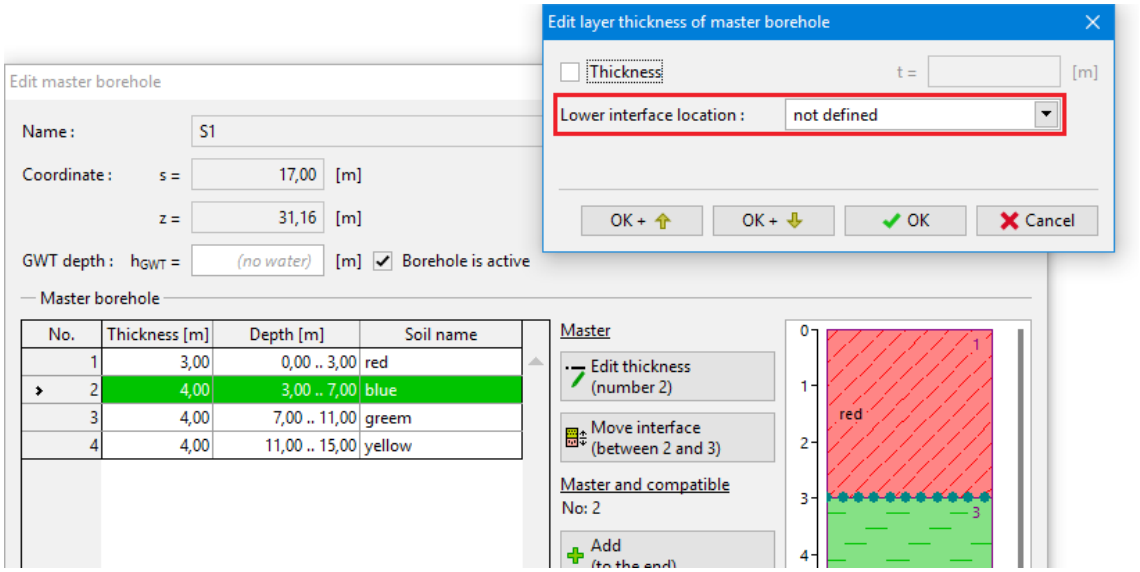
- **- enter thickness "0" m** - generation of model is performed normally, just in the point (borehole coordinates) the thickness layer is equal to zero. The final model usually does not correspond to real state.

On the picture is the model of erosion with layers of zero thickness in the borehole S2 - the result is not realistic.

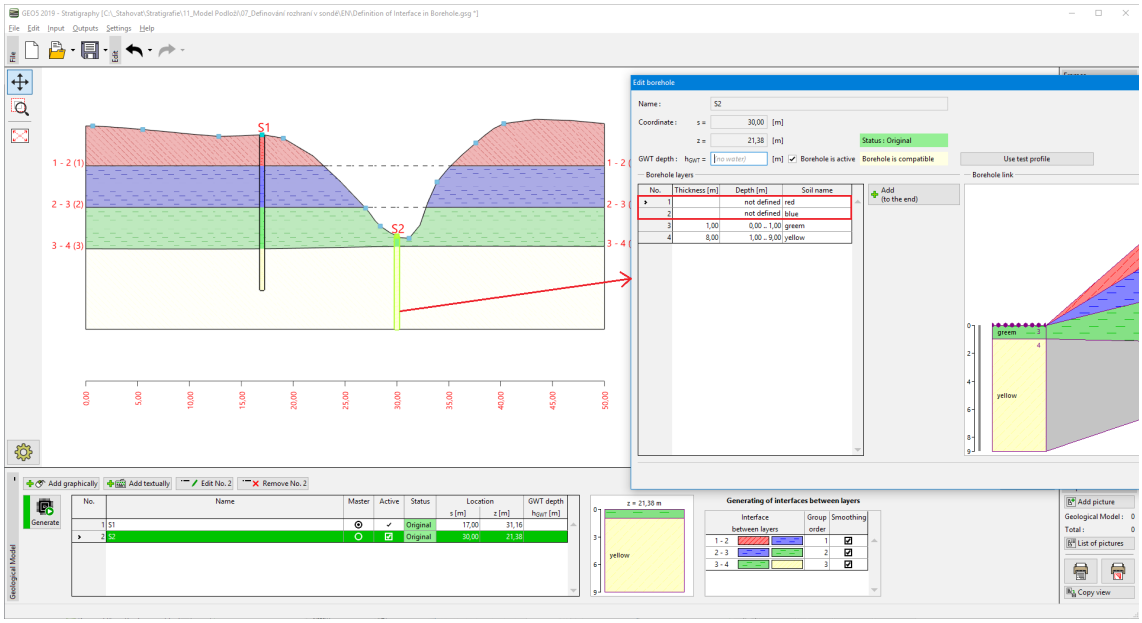


Layers with "zero thickness" above borehole S2

- **do not define** an interface in the borehole - when generating model, no points of layer interface are added in the position of borehole. It can be used when modeling soil lenses or faults and also when borehole is not deep enough and we do not know the lower layers. Location of not defined layers are than determined by surrounding boreholes.



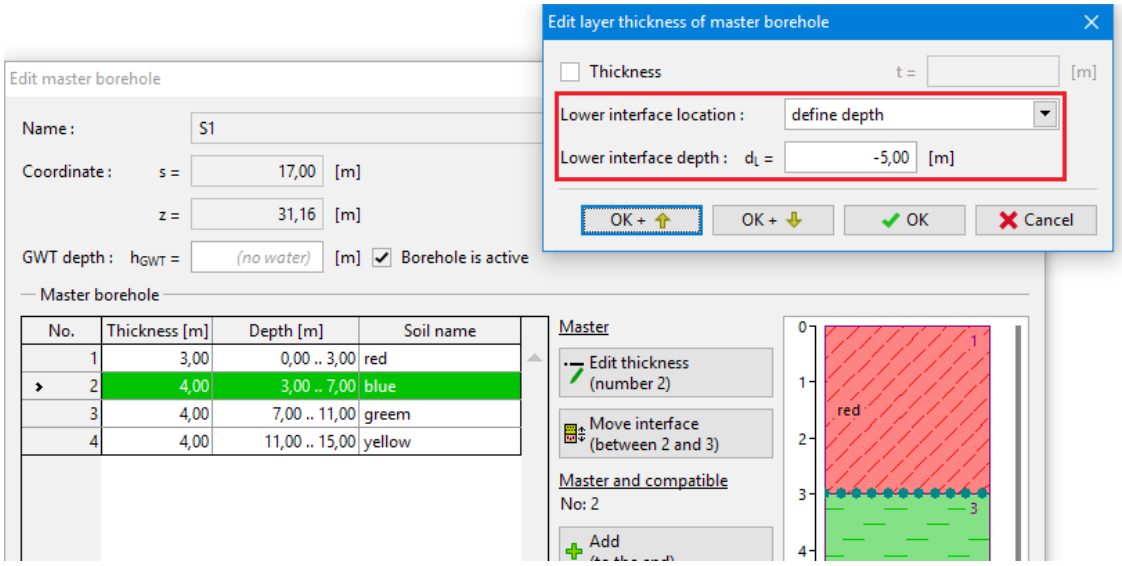
The same model, but the upper layers are "not defined".



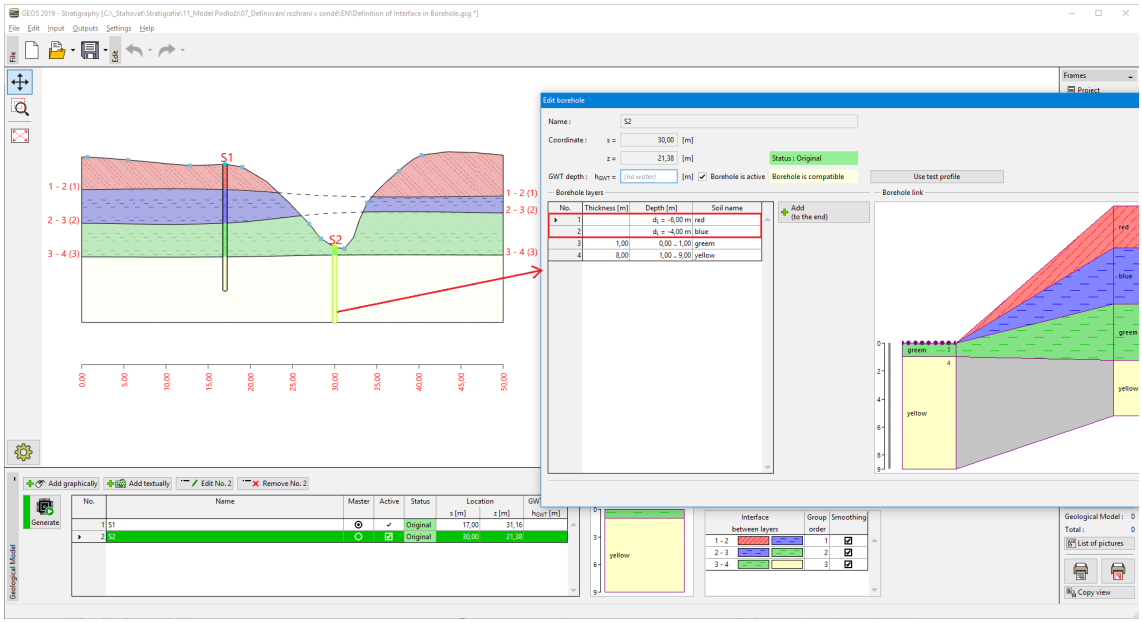
Model of erosion - "not defined" interfaces above borehole S2

- **define** depth of **lower interface** - the interface is generated with input depth of layer in the position of borehole. The depth is measured from the top of the borehole, positive values downward, negative upward.

This option can be used for soil lenses modeling or editing of **layers shape**. In some cases, the order of interface generation is very important.



The previous model with input interfaces location in the borehole S2.



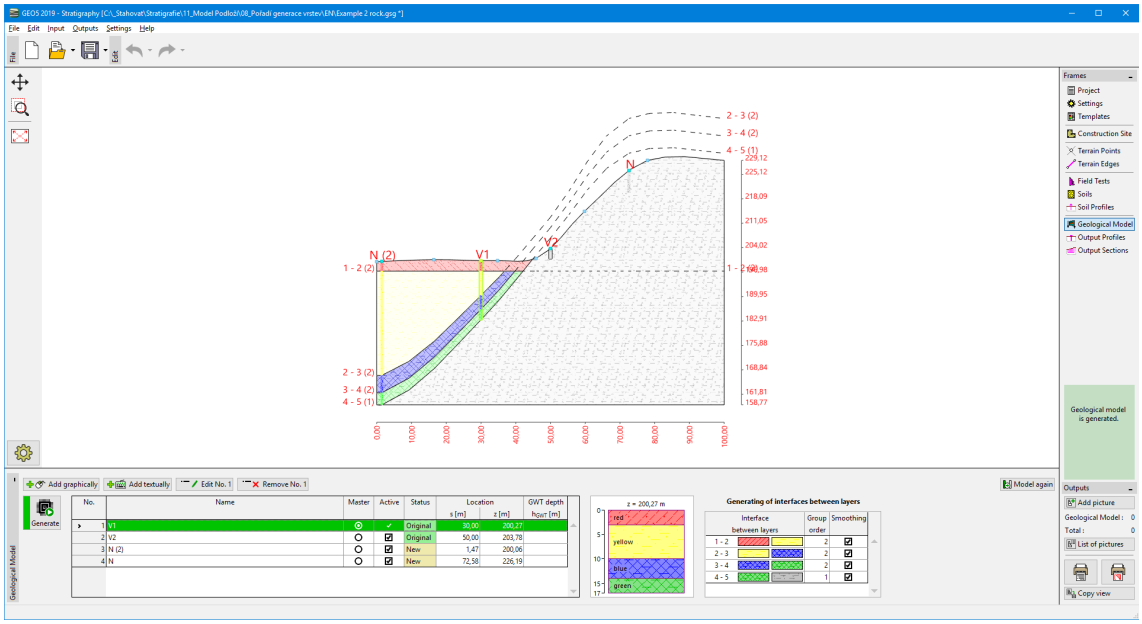
Model of erosion - specified locations of interfaces above borehole S2

Order of layer generation

While model creation, **firstly** the model of **terrain** is generated, then other interfaces between layers. If the interface lays over the terrain, it is "**cutted**".

After the terrain, interfaces are generated **from the top to the bottom** and the individual interfaces are always cut by the previous interface.

This process is clear, but it is not always appropriate for more complex tasks. Typical example is the rock covered by layers of sediments.

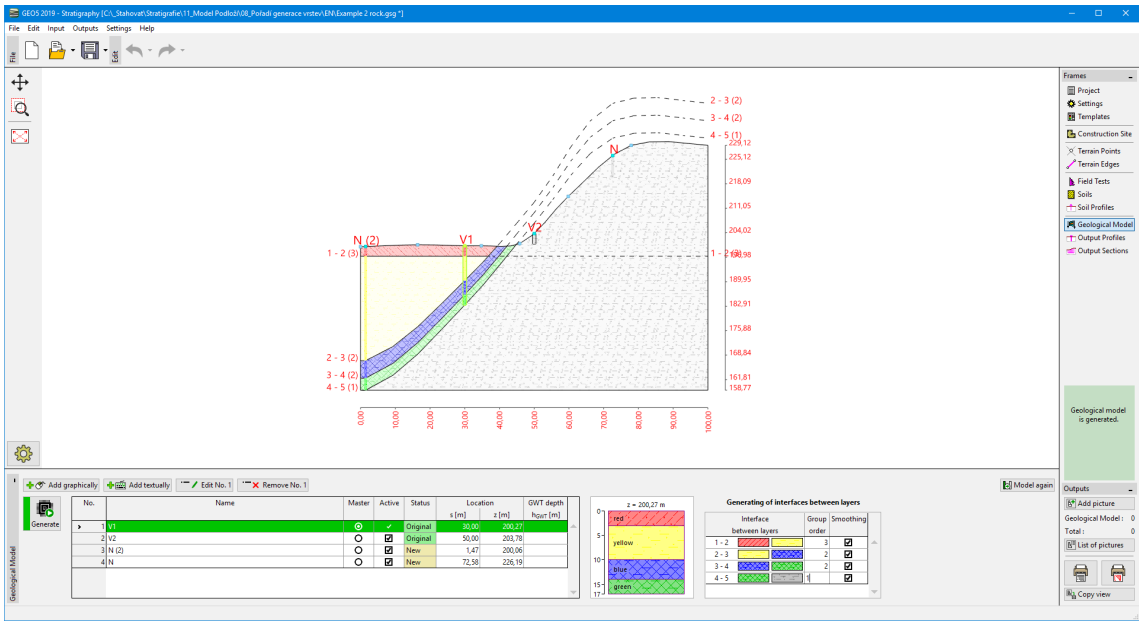


Model of outcrop - order of generation is 4-5, 1-2, 2-3, 3-4

Interface between green soil and grey rock subsoil is generated as first after the terrain. We reach this state using change of order in layer generation.



The same model with original order of layer generation - 1-2, 2-3, 3-4, 4-5

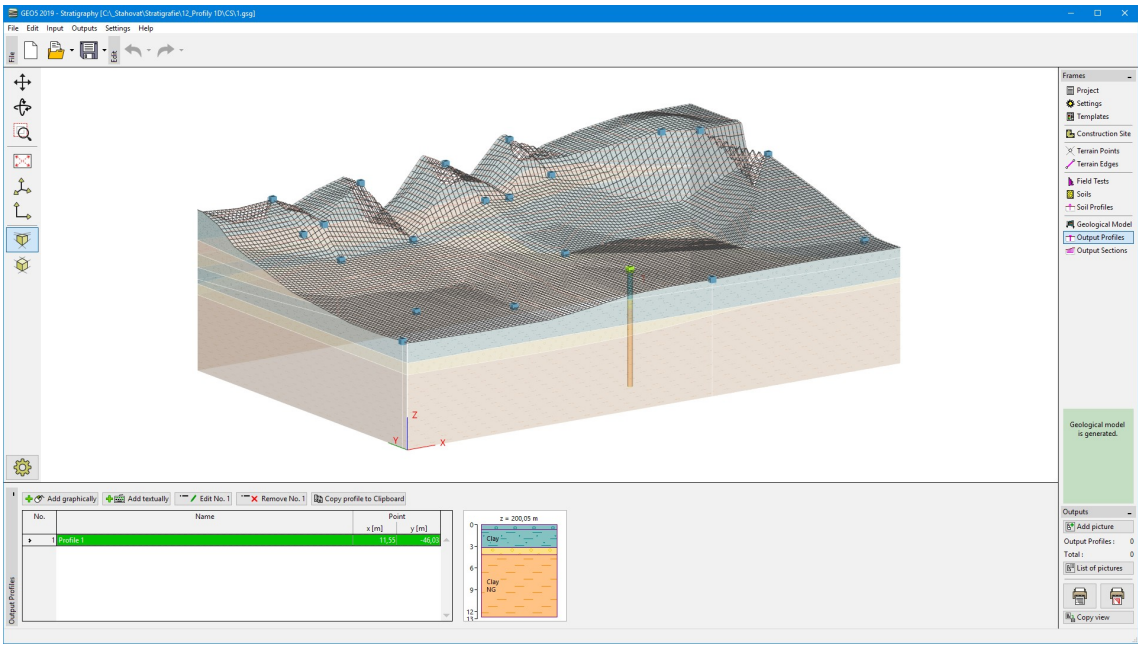


The same model with changed order of layer generation 4-5, 2-3, 3-4, 1-2

The possibility of changing layer generation order is important when modeling geological faults. This way it is possible to model more individual models in one task - individual models are seperated by faults generated as first - then the other layers are generated. It is also possible to specify smoothing of the layers - again it is conviently for fault generating.

Profile wynikowe

Ramka "**Profile wynikowe**" zawiera tabelę z wszystkimi zdefiniowanymi profilami 1D. W tabeli widoczne są **nazwa profilu i współrzędne punktu** definiującego dany profil. Z prawej strony tabeli wyświetlany jest zaznaczony/wybrany profil.



Ramka "Profile wynikowe"

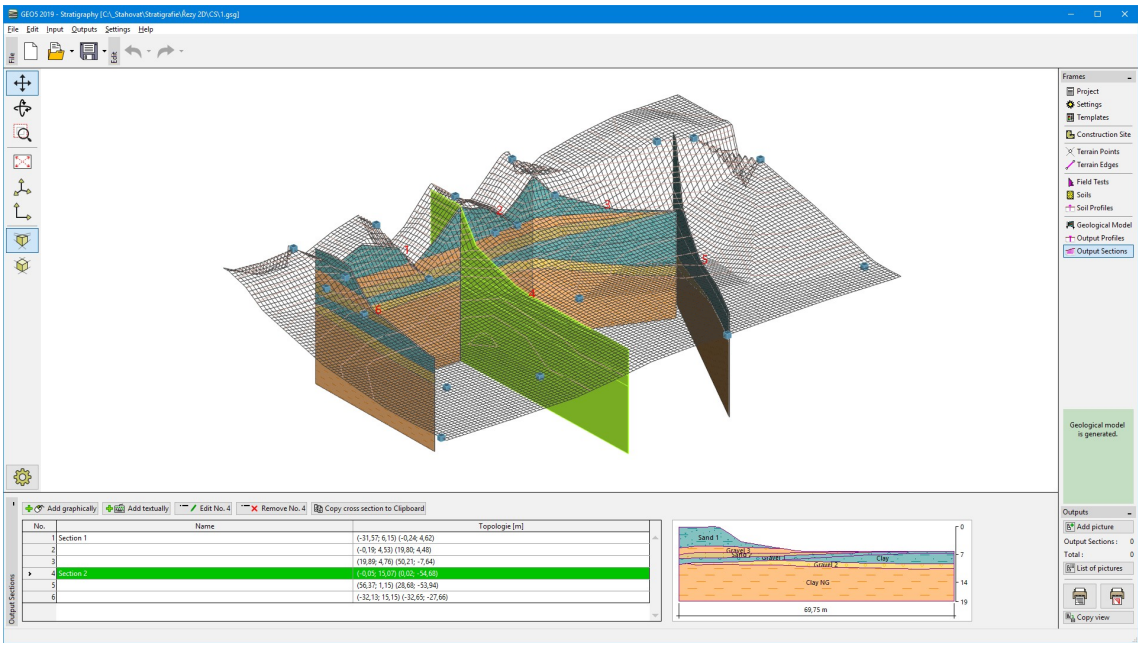
Wizualizację rysunku na puplipcie można zmodyfikować w dowolnym trybie definiowania dostosowując ustawienia w ramce "Ustawienia rysunku", a także za pomocą przycisków na pasku narzędzi "Wizualizacja".

Przycisk "Cofnij" jest istotnym narzędziem w programie. Umożliwia przywrócenie **stanu pierwotnego sprzed wszystkich modyfikacji.**

Data of 1D profiles can be copied within other GEO5 programs.

Przekroje

Ramka "**Przekroje**" zawiera tabelę z wszystkimi zdefiniowanymi przekrojami. W tabeli widoczne są **nazwa przekroju i współrzędne punktów** definiujących dany przekrój. Z prawej strony tabeli wyświetlany jest zaznaczony/wybrany przekrój.



Ramka "Przekroje"

Wizualizację rysunku na puplipcie można zmodyfikować w dowolnym trybie definiowania dostosowując ustawienia w ramce "Ustawienia rysunku", a także za pomocą przycisków na pasku narzędzi "Wizualizacja".

Przycisk "Cofnij" jest istotnym narzędziem w programie. Umożliwia przywrócenie **stanu pierwotnego sprzed wszystkich modyfikacji.**

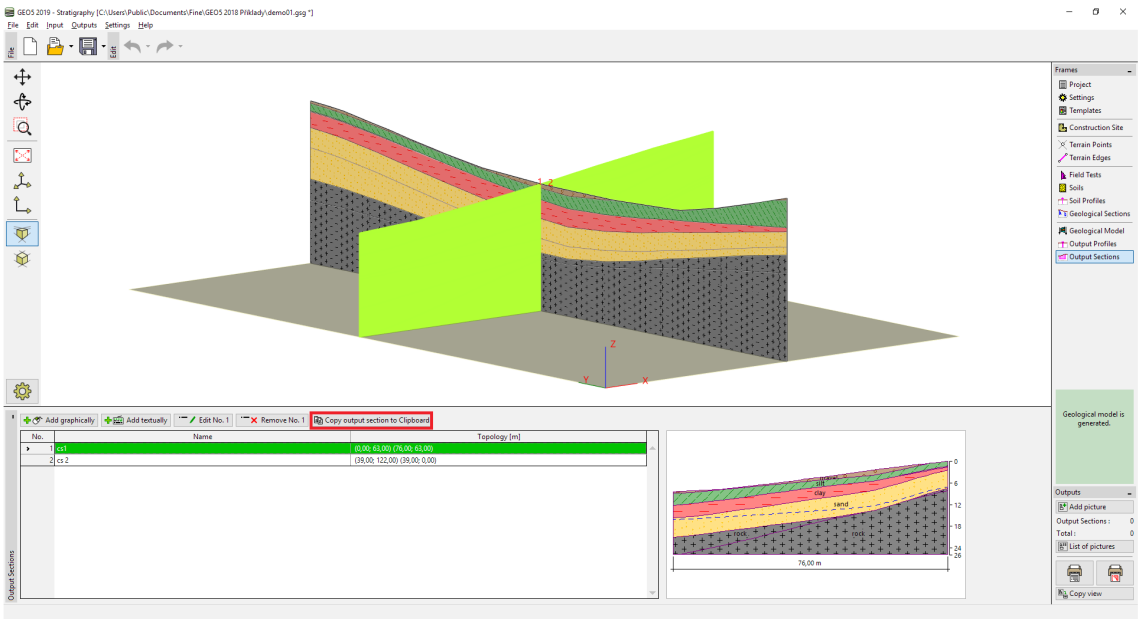
Data of cross sections can be copied within other GEO5 programs.

Kopiowanie danych z programu Stratygrafia 3D do innych programów GEO5

Program **Stratygrafia 3D** umożliwia kopiowaniei wklejanie Przekrojów oraz Profili wynikowych do innych programów GEO5.

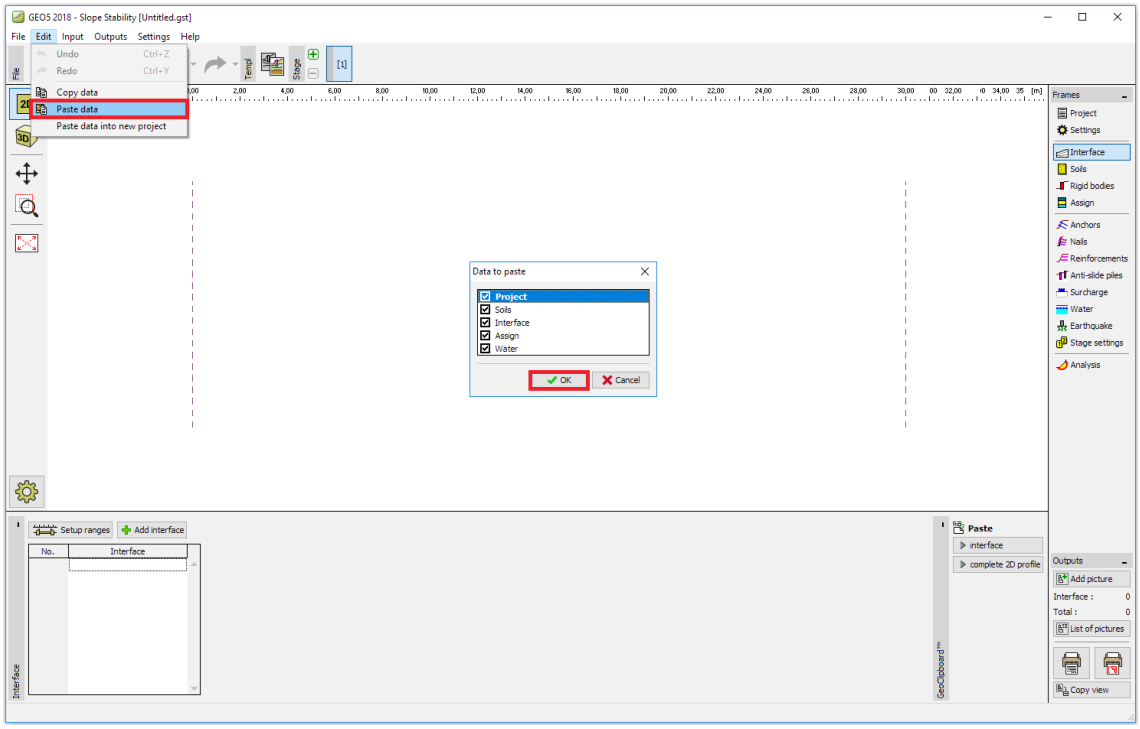
Poniższa procedura pokazuje w jaki sposób **skopiować przekrój do programu Stateczność zbocza.** Sposób kopiowania przekrojów (profili) do innych programów GEO5 jest identyczny.

1. W programie **Stratygrafia 3D**, wybierz przekrój, który ma być skopiowany i użyj przycisku "**Kopiuj przekrój do Schowka**".



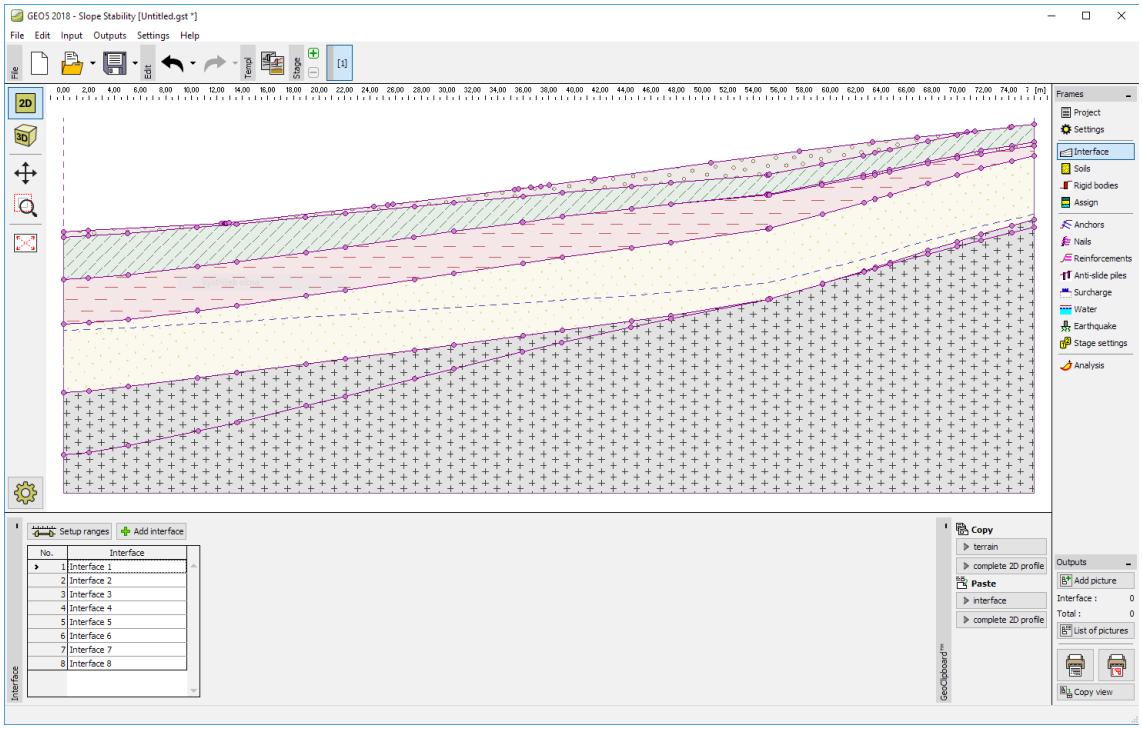
Kopiowanie przekroju z programu Stratygrafia 3D

2. Otwórz program **Stateczność zbocza** i w menu górnym kliknij na "**Edytuj**" i wybierz "**Wstaw dane**". Aby potwierdzić, że wszystkie dane zostaną wstawione wciśnij "**OK**".



Wstawianie przekroju do programu Stateczność zbocza

Wynikiem tej operacji jest skopiowany kompletny przekrój obejmujący wszystkie warstwy i przyporządkowania gruntów.



Wynikowy, skopiowany przekrój w programie Stateczność zbocza

Program MES

Program MES (oraz moduły Konsolidacja, Przepływ wody, Tunel) umożliwiają modelowanie szerokiego zakresu zagadnień geotechnicznych, takich jak:

- osiadanie terenu, konsolidacja
- obudowy wykopów
- konstrukcje oporowe
- stateczność zboczy
- wykopy, analiza tuneli
- obliczenia tuneli, wyrobisk i niecki osiadania
- analiza przepływu wody itp.

Pomoc w programie "MES" obejmuje następujące tematy:

- Wprowadzanie danych do poszczególnych ramek:

Topologia:	Projekt	Ustawienia	Warstwa	Grunty	Elementy sztywne	Przyporządkowanie
Typy elementów kontaktowyc	Obudowa	Punkty swobodne	Linie swobodne	Zagęszczenie punktów	Zagęszczenie linii	Dowolne zagęszczenie

h

Generacja siatki

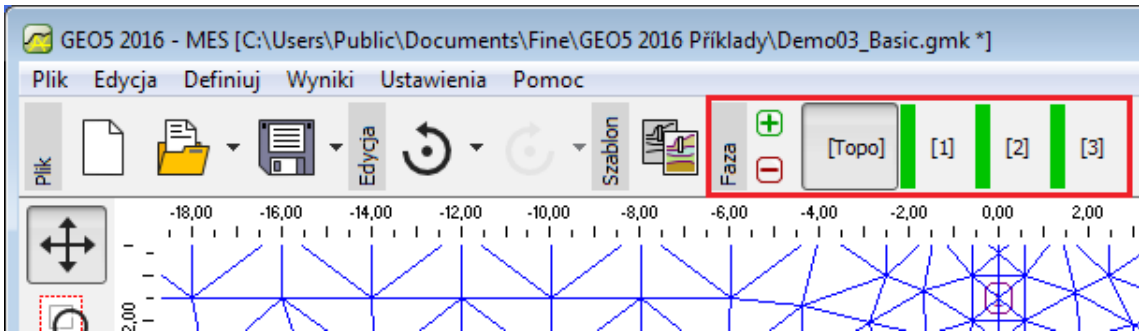
Fazy budowy:	Wykop	Aktywacja	Przyporządkowanie	Obudowa	Elementy belkowe	Elementy kontaktowe
Elementy kontaktowe i belkowe (przepływ)	Podparcie punktowe	Punkty - przepływ	Podparcie liniowe	Linie - przepływ	Kotwy	Rozpory
Zbrojenie	Obciążenie	Elastic Regions	Obciążenie belki	Woda	Obliczenia	Monitory
Wykresy	Stateczność					

- Dane wyjściowe
- Informacje ogólne na temat pracy w Środowisku użytkownika w programach GEO5
- Wspólne wprowadzanie danych dla wszystkich programów

Topologia

Sposób wprowadzania danych w programie GEO MES różni się nieco od stosowanego w innych programach pakietu GEO5, ponieważ wymaga określenia topologii konstrukcji przed wykonaniem obliczeń. Krok ten obejmuje wprowadzanie warstw gruntu, konstrukcji liniowych, parametrów gruntów oraz elementów kontaktowych, a na koniec wygenerowanie siatki elementów skończonych. W celu uniknięcia niespodziewanych błędów przy tworzeniu modelu obliczeniowego użytkownik powinien najpierw zapoznać się z dostępnymi układami współrzędnych.

Wyboru trybu wprowadzania topologii dokonujemy wciskając przycisk "**Topo**" na pasku poziomym "Fazy budowy".



Pasek "Fazy budowy" - przełączanie między trybem Topologia i fazami obliczeniowymi

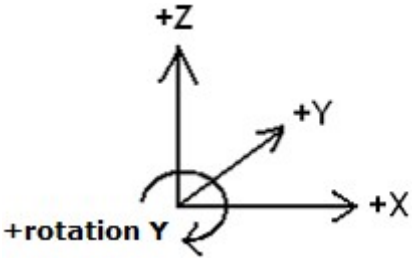
Właściwa analiza wykonywana jest w poszczególnych fazach budowy (fazy obliczeniowe), co pozwala użytkownikowi na definiowanie aktywności konstrukcji, wprowadzanie belek, kotew i obciążeń dodatkowych, oraz na modelowanie oddziaływania wody itp..

Zależnie od wybranego trybu, zmienia się również pionowy pasek narzędzi.

Układy współrzędnych

Globalny układ współrzędnych

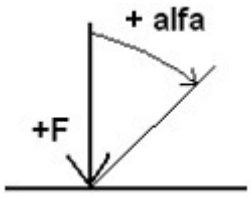
- jest prawostronny
- dodatnia oś X skierowana jest od lewej do prawej
- dodatnia oś Z skierowana jest od dołu ku górze
- dodatnia oś Y wkręca się w płaszczyznę XZ
- obrót wokół osi Y jest dodatni, jeżeli mierzony jest w prawo



- globalny układ współrzędnych (GUW) jest używany dla współrzędnych
- zasadniczo, zakłada się, że dodatnie obciążenie dodatkowe oddziałuje w kierunku przeciwnym do osi dodatniej, a obrót dodatni ma zwrot taki sam jak dodatni zwrot obrotu globalnego
- zaleca się dokładne sprawdzanie definicji kierunku dodatniego dla każdego przypadku

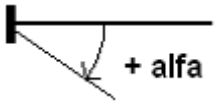
Obciążenie

- zakłada się, że zawsze oddziałuje wzdłuż linii poziomej (lub punktowo)
- początek (punkt początkowy) i długość - to niezbędne dane wejściowe
- dodatnie obciążenie dodatkowe pod kątem zero uważane jest za oddziałujące przeciwnie do kierunku dodatniego osi Z
- kąt równy zero odpowiada obciążeniu pionowemu
- kąt wzrasta zgodnie z kierunkiem wskazówek zegara
- kąt przyjmuje wartości od $<$-180^o do 180^o$>$



Kotwy

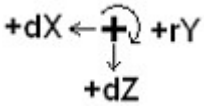
- kotwę można również opisać za pomocą początku i kąta
- kąt zero odpowiada kierunkowi osi X
- kąt wzrasta zgodnie z kierunkiem wskazówek zegara



- kąt przyjmuje wartości od $<$-180^o do 180^o$>$

Zakładane przemieszczenia i obrót podpór

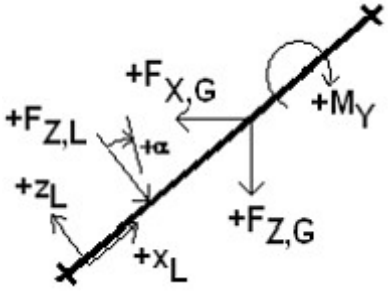
- zakładane przemieszczenia są dodatnie w kierunku osi X, Z i wokół osi Y
- przemieszczenia są dodatnie, gdy występują przeciwnie do dodatnich kierunków osi współrzędnych



- obrót dodatni mierzony jest zgodnie z kierunkiem wskazówek zegara

Obciążenie belek

- lokalny układ współrzędnych jest prawostronny
- dodatnia oś X_L belki - przyjmuje się, że ma kierunek od punktu początkowego do punktu końcowego
- dodatnia oś Z_L jest prostopadła i obrócona w lewo o 90^o w stosunku do osi belki
- obciążenie może być przyłożone w trzech kierunkach:
  - globalnym Z
  - globalnym X
  - lokalnym normalnym (Z)
- obciążenie dodatnie w kierunku globalnym oddziałuje przeciwnie do kierunku dodatniego odpowiedniej osi
- obciążenie dodatnie w kierunku normalnym oddziałuje przeciwnie do kierunku dodatniego lokalnej osi Z_L
- kąt obciążenia dodatniego α mierzony jest zgodnie z kierunkiem wskazówek zegara
- moment jest dodatni, jeżeli oddziałuje zgodnie z kierunkiem wskazówek zegara



- zdefiniowanie obciążenia wzdłuż osi X_L
  - współrzędne, współrzędne początku
  - zasięg (długość) obciążenia

- rodzaje obciążeń (zawsze we wspomnianych wyżej kierunkach)
  - siła skupiona
  - moment skupiony
  - ciągłe równomierne na całej belce
  - ciągłe trapezowe na całej belce
  - ciągłe równomierne na części belki
  - ciągłe trapezowe na części belki

Naprężenia i odkształcenia

- dodatnie normalne naprężenie *Sigma* odpowiada ściskaniu, ujemne rozciąganiu
- dodatnie normalne naprężenie *Epsilon* odpowiada ściskaniu, ujemne rozciąganiu

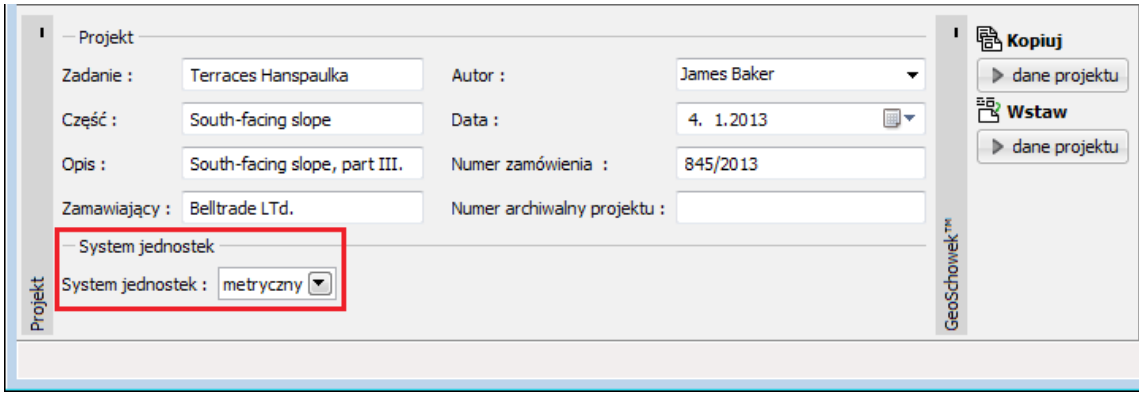
Siły wewnętrzne wzdłuż belek

- dodatnia siła normalna odpowiada rozciąganiu, ujemna ściskaniu
- dodatnie normalne odkształcenie *Epsilon* odpowiada ściskaniu, ujemne rozciąganiu

Projekt

Ramka "**Projekt**" używana jest do wprowadzania podstawowych danych projektu oraz określenia ogólnych ustawień wykonywanych analiz. Ramka zawiera formularz do wprowadzania podstawowych danych o analizowanym zadaniu, tzn. informacje i opis projektu, data, itp. Informacje te są dalej wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji tekstowej i graficznej.

Ramka umożliwia również przełączanie jednostek analizy (metryczne / angielskie). Dane dotyczące projektu mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



Ramka "Projekt"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" służy do dokonywania wyboru norm i metod wykonywania obliczeń.

Ramka ta pozwala na definiowanie podstawowych parametrów obliczeń przewidzianych do wykonania, w tym rodzaju zadania i obliczeń, metod obliczania naprężenia początkowego

(naprężenie geostatyczne, procedura K_O) oraz dostępnych norm dla konstrukcji betonowych i stalowych.

Dostępne rodzaje zagadnień (płaski stan odkształcenia**,** symetria osiowa) **i analiz** (**naprężenie,** stateczność zbocza, przepływ wody, tunele, konsolidacja) **zależne są od zakupionej konfiguracji programu.**

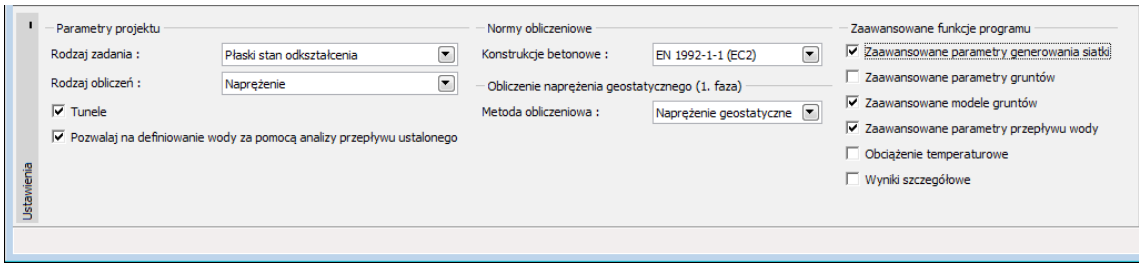
W przypadku, gdy dostępne są wszystkie tryby, zalecamy najwyższą ostrożność przy wyborze rodzaju obliczeń - rodzaje bardziej złożone wymagają znacznie większej liczby danych wejściowych i mogą powodować niepotrzebne komplikacje w korzystaniu z programu.

Ponadto, ramka ta służy do wybrania metody obliczeń naprężenia początkowego w pierwszej fazie budowy - albo obliczania **naprężenia geostatycznego** w sposób standardowy, albo za pomocą procedury K_O.

Istnieje także możliwość wyboru **zaawansowanych funkcji programu**, które zwykle nie są potrzebne dla standardowych analiz.

Dostępne są następujące funkcje zaawansowane:

- **Zaawansowane parametry generowania siatki**
- **Zaawansowane parametry gruntów**
- **Zaawansowane modele konstytutywne gruntów**
- **Zaawansowane parametry przepływu wody**
- **Obciążenie temperaturowe**
- **Wyniki szczegółowe**



Ramka "Ustawienia"

Analiza stateczności

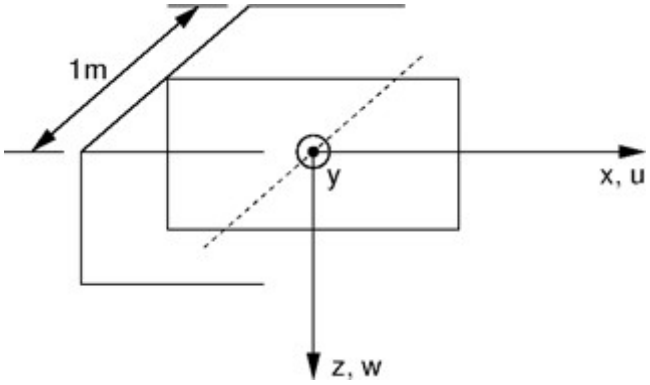
W programie MES dostępne są dwie opcje rozwiązania zadgadnienia stateczności skarpy:

1. Ustawienie rodzaju obliczeń jako "**Stateczność zbocza**" w ramce "Ustawienia".
2. Uruchomienie modułu w trybie "**Stateczność zbocza**" w dowolnej fazie budowy dla obliczeń standardowych poprzez wciśnięcie przycisku "**Stateczność**" - w takim przypadku wygenerowane zostanie nowe zadanie uzupełniające (które można zapisać niezależnie). Rozwiązanie tego zadania odbywa się dalej jak w kroku 1.

Stworzenie modelu i wprowadzanie danych w trybie "**Stateczność zbocza**" realizowane jest w taki sam sposób, jak w trybie "**Naprężenie**" - z tą różnicą, że przycisk "**Obliczenia**" uruchamia analizę stateczności zbocza dla danej konstrukcji. Poszczególne obliczenia stateczności zbocza w różnych fazach budowy są zupełnie od siebie niezależne i nie mają odniesienia do **wcześniejszych faz i obliczeń**.

Płaski stan odkształcenia

Ten moduł obliczeniowy służy do analizy zagadnień liniowych (**tuneli, nasypów, zapór**, itp.), których wymiar podłużny jest o około rząd wielkości większy od wymiarów przekroju poprzecznego analizowanego modelu.



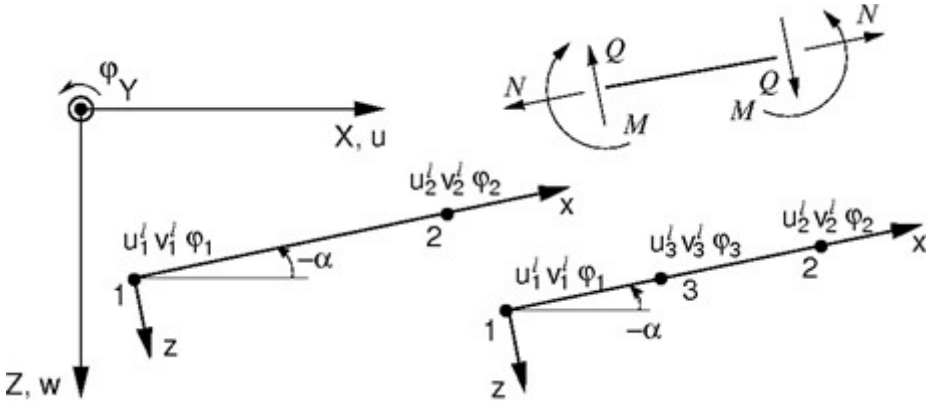
Płaski stan odkształcenia

W takim przypadku obliczenia mogą być przeprowadzone na 1 m bieżący konstrukcji, patrz Rysunek. Odpowiada to założeniu płaskiego stanu odkształcenia. Składowe wektora odkształcenia powstałe w płaszczyznach normalnych do osi podłużnej mogą być wówczas pominięte. Zakłada się więc, że masyw gruntowy jest obciążony składowymi wektorów naprężenia i odkształcenia odpowiednimi do płaszczyzny poprzecznej, normalnej do osi wzdłużnej oraz przez podłużne naprężenie normalne, które powstaje w wyniku efektu Poisson'a. Odpowiadające, niezerowe składowe wektorów naprężenia i odkształcenia są następujące:

$$\sigma^T = \left\{ \sigma_{xx}\ \sigma_{zz}\ \tau_{xz}\ \sigma_{yy} \right\}$$

$$\varepsilon^T = \left\{ \varepsilon_{xx}\ \varepsilon_{zz}\ \gamma_{xz}\ \varepsilon_{yy} = 0 \right\}$$

Uwzględnianie elementów belkowych w analizie odpowiada rozwiązaniu pasma płyty o szerokości przekroju równej 1 m. Składowe niezerowe generalizowanych przemieszczeń węzłów można odczytać z następującego Rysunku, dla dwu-węzłowego elementu belkowego kompatybilnego z trój-węzłowym trójkątnym elementem płaskim oraz trój-węzłowego elementu belkowego kompatybilnego z sześcio-węzłowym trójkątnym elementem płaskim.



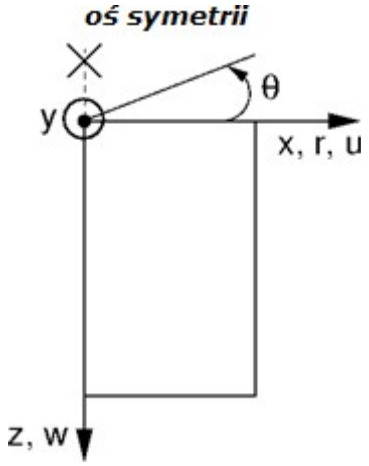
Dwu-węzłowy i trój-węzłowy element belkowy

Odpowiednie składowe sił wewnętrznych (patrz Rysunek) w odniesieniu do 1 m szerokości przekroju wyznacza się następująco:

$$\sigma^T = \left\{ N \equiv n_{x1},\, M \equiv m_y,\, Q \equiv q_{z1} \right\}$$

Symetria osiowa

Ten model obliczeniowy jest odpowiedni do obliczeń konstrukcji osiowo symetrycznych (obrotowych). Założenie to musi być spełnione zarówno w odniesieniu do konstrukcji jak i obciążeń. Typowe przykłady takich zadań to: analiza pojedynczego pala obciążonego siłą pionową, głęboki wykop o kształcie kołowym czy pompowanie wody z okrągłego otworu.



Analiza zagadnień osiowo symetrycznych

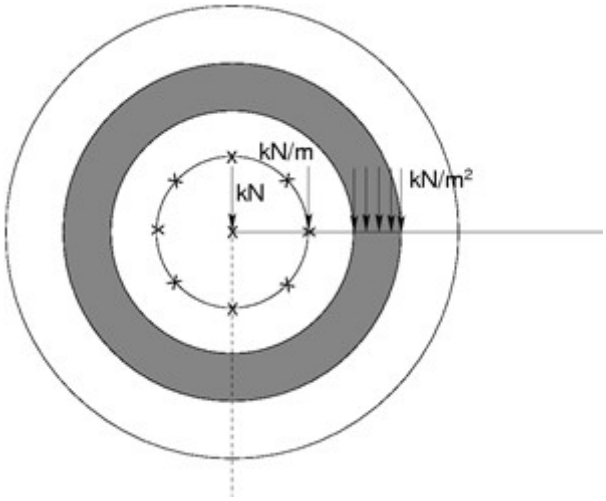
Podobnie jak w zagadnieniach modelowanych w płaskim stanie odkształcenia i w tym przypadku zagadnienie obliczeniowe jest trójwymiarowe, może być jednak sprowadzone do zagadnienia dwuwymiarowego (patrz Rysunek). Obliczenia są wówczas prowadzone w odniesieniu do 1 m długości łuku o średnicy równej $x(r)$. Oś symetrii zawsze odpowiada początkowi współrzędnej $x(r)$. Składowe naprężeń ścinających w kierunku obrotu mogą być pominięte. Pozostają zatem składowe wektorów odkształcenia i naprężenia oddziałujące na płaszczyznę przekroju symetrycznego oraz składowe wektorów odkształcenia i naprężenia w kierunku obwodowym. Odpowiednie niezerowe składowe wektorów naprężenia i odkształcenia są następujące:

$$\sigma^T = \left\{ \sigma_{xx}\, \sigma_{zz}\, \tau_{xz}\, \sigma_{\theta\theta} \right\}$$

$$\varepsilon^T = \left\{ \varepsilon_{xx}\, \varepsilon_{zz}\, \gamma_{xz}\, \varepsilon_{\theta\theta} = \frac{u}{r} \right\}$$

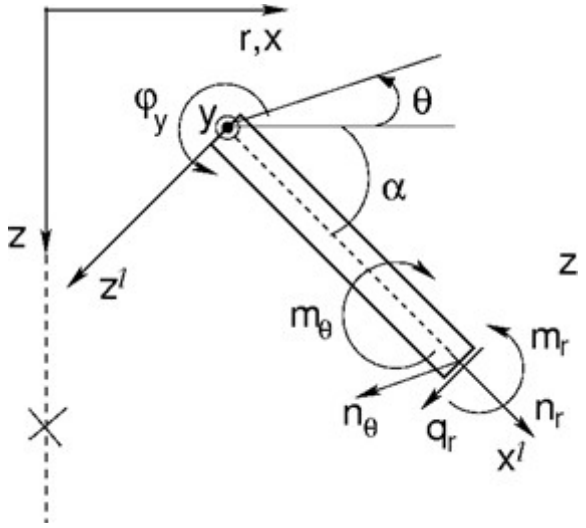
Oczywistym jest, że odkształcenie obwodowe, a przez to także wymuszone naprężenie normalne, przyjmują wartość nieskończoną w osi symetrii. Dlatego też, uwzględniając aproksymację elementów skończonych, uzyskanie wiarygodnych wyników o właściwej dokładności wymaga zastosowania stosunkowo gęstej siatki wzdłuż osi symetrii.

Przyłożenie obciążeń liniowych i powierzchniowych jest także warte omówienia. Kilka przykładów przyłożenia obciążeń na powierzchni terenu pokazano na kolejnym Rysunku. Ewidentne jest, że ich wpływ zwiększa się wraz z odległością od osi symetrii. W związku z tym zdefiniowanie tego typu obciążenia w osi symetrii nie daje żadnego efektu. W takim przypadku konieczne jest dokonanie rodzaju obciążenia osi symetrii. Program umożliwia zdefiniowanie wyłącznie sił skupionych.



Przykłady obciążeń przyłożonych na powierzchni terenu

W przypadku elementów belkowych rozwiązanie odpowiada rozwiązaniu płaskiej membrany osiowo symetrycznej z uwzględnieniem efektów zginania. Niezerowe stopnie swobody są przyjęte analogicznie dla elementów belkowych w analizie w płaskim stanie odkształcenia. Oprócz efektów osiowych (południkowych) należy również uwzględnić efekty membrany oraz zginania w kierunku obwodowym (patrz kolejny Rysunek).

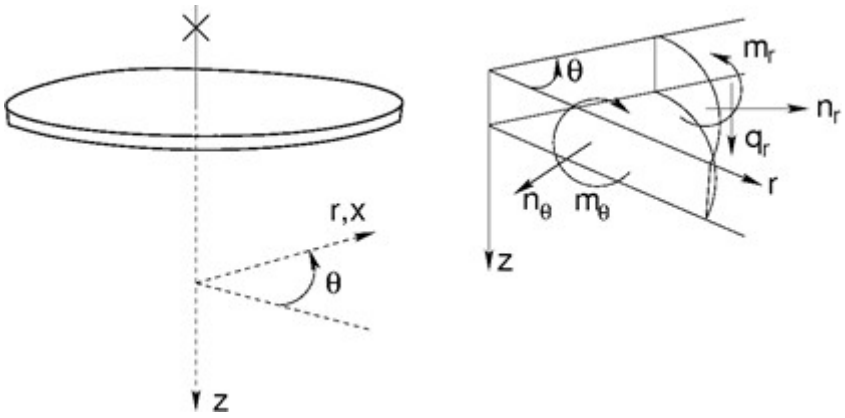


Element belkowy w symetrii osiowej

Odpowiednie składowe sił wewnętrznych (patrz Rysunek) w odniesieniu do 1 m szerokości przekroju wyznacza się następująco:

$$\sigma^T = \{n_r, m_r, q_r, n_\theta, m_\theta\}$$

W specyficznym przypadku płyty kołowej (kąt α = 0) można odnieść się do promieniowych i obwodowych składowych sił wewnętrznych (patrz kolejny Rysunek).



Siły wewnętrzne w płycie kołowej

Siły wewnętrzne są związane z odpowiednimi odkształceniami i krzywiznami w sposób następujący:

$$\begin{Bmatrix} n_r \\ m_r \\ q_r \\ n_\theta \\ m_\theta \end{Bmatrix} = \frac{1}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} EA & 0 & 0 & \nu EA & 0 \\ 0 & EI_y & 0 & 0 & \nu EI_y \\ 0 & 0 & \frac{(1-\nu)kEA}{2} & 0 & 0 \\ \nu EI_y & 0 & 0 & EA & 0 \\ 0 & \nu EI_y & 0 & 0 & EI_y \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\mathrm{d}u^l}{\mathrm{d}x} \\ \frac{\mathrm{d}\varphi_y}{\mathrm{d}x} \\ \varphi_y + \frac{\mathrm{d}w^l}{\mathrm{d}x} \\ \frac{u^l \sin\alpha - w^l \cos\alpha}{r} \\ \frac{\varphi_y \cos\alpha}{r} \end{Bmatrix}$$

Przyjmując r dążące do nieskończoności uzyskuje się warunki płaskiego stanu odkształcenia. Należy także zauważyć, że wartości sił tnących (w przeciwieństwie do analizy w płaskim stanie odkształcenia) są silnie zależne od zagęszczenia siatki elementów skończonych. Podobnie jest w przypadku reakcji pionowych.

Uwaga do przepływu wody

Podobnie jak w przypadku sił reakcji w obliczeniach naprężeń przepływy punktowe o zdefiniowanej wartości ciśnień porowych są analizowane w odniesieniu do 1 m długości łuku o średnicy równej $x(r)$. W analizie zagadnień w płaskim stanie odkształcenia odpowiednie wartości brane są na 1 m bieżący. Odpowiednie przepływy całkowite (napływ/wypływ) mogą być wyznaczone na podstawie przepływów punktowych [$m^3/dobę/m$] w następujący sposób:

Analiza w płaskim stanie odkształcenia

$$\sum Q = \sum_{i=1}^{N} Q_i \left[m^3 / dobę / m \right]$$

Analiza zagadnienia osiowo symetrycznego

$$\sum Q = \sum_{i=1}^{N} 2\pi x_i Q_i \left[m^3 / dobę \right]$$

gdzie N oznacza liczbę węzłów wzdłuż danej linii siatki, w których obliczane są przepływy punktowe Q_i [$m^3/dobę/m$]. W przypadku analizy zagadnienia symetrii osiowej xi reperezentuje współrzędną x-ową danego punktu. Z tego względu, w symetrii osiowej otrzymuje się całkowity napływ/wypływ [$m^3/dobę$] przez np. powierzchnię cylindryczną (linia pionwa) lub powierzchnię

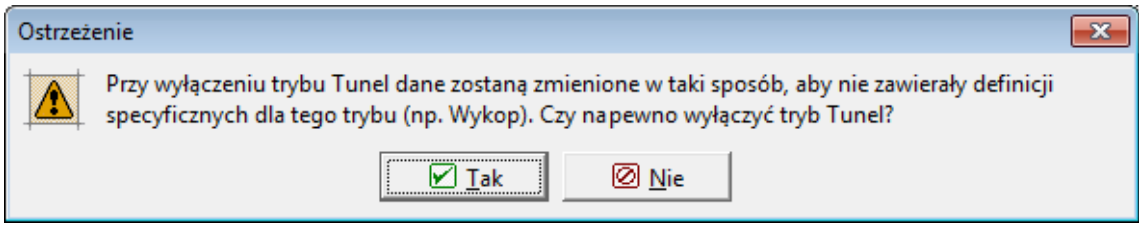
kołową (linia pozioma).

Tunele

Ramka "Ustawienia" w połączeniu z zakładką "**Analiza**" umożliwia wybór opcji "**Tunele**". (Moduł ten musi być **zakupiony** przez użytkownika, w przeciwnym razie opcja nie będzie dostępna). Wybranie trybu "**Tunele**" umożliwia definiowanie i analizę:

- **wykopów** (modelowanie efektu 3D na przodku tunelu z zastosowaniem Nowej Metody Austriackiej)
- **stopniowego pogorszenia stanu belek**
- **poddania belek obciążeniom temperaturowym**
- **obciążeń temperaturowych oddziałujących w wybranych obszarach** (zaawansowane funkcje programu)
- **zakładanie naprężeń wynikających z pęcznienia gruntu dla wybranych obszarów**
- **monitorowanie wyników**

Tryb "**Tunele**" można w każdej chwili włączyć/wyłączyć. W takim przypadku, utracimy wcześniejsze wyniki. Podczas gdy przełączenie z trybu standardowego na tryb "**Tunele**" jest bezpieczne, to wykonanie tej czynności w odwrotnym kierunku skutkuje usunięciem wszystkich wprowadzonych danych - przed ukończeniem tej czynności pojawia się ostrzeżenie.



Ostrzeżenie o modyfikacji danych przy wyjściu z trybu "Tunel"

Konsolidacja

Analiza Konsolidacji jest opcjonalnym/uzupełniającym modułem programu MES. W programie MES, możemy włączyć analizę konsolidacji w ramce "**Ustawienia**" przełączając "**Rodzaj obliczeń**" na "**Konsolidacja**".

Definiowanie danych wejściowych ma następujące ograniczenia:

- nie może być użytkowany tryb "**Tunele**"
- w obliczeniach konsolidacji mogą być stosowane tylko niektóre modele materiałowe: model sprężysty, Mohra-Coulomba, Mohra-Coulomba Modyfikowany oraz model Druckera-Pragera
- obszary aktywne mogą być w pełni definiowane tylko w pierwszej fazie budowy, w następnych fazach dopuszczalne jest tylko aktywowanie obszarów zlokalizowanych powyżej terenu poprzedniej fazy budowy. Niemożliwe jest definiowanie otworów ani wykopów.
- siatka jest generowana obligatoryjnie z zastosowaniem elementów wielowęzłowych
- woda gruntowa może być zdefiniowana wyłącznie w pierwszej fazie budowy, z wykorzystaniem tylko dwóch opcji: "**Brak wody**" lub "**ZWG**"
- Elementy belkowe są zawsze nieprzepuszczalne w kierunku poprzecznym. Istnieje jedynie

możliwość zdefiniowania dreanżu wzdłuż belki po każdej jej stronie

- niedostępna jest opcja definiowania przepływów punktowych, przepływ liniowy na krawędziach modelu posiada warunki graniczne wyłącznie w postaci "**przepuszczalny**" lub "**nieprzepuszczalny**"

Wprowadzanie danych wejściowych i obliczenia są następujące:

- topologia definiowana jest w ten sam sposób jak w analizie naprężeń, generowana jest siatka elementów skończonych
- w pierwszej fazie budowy w ramce "**Woda**" określane jest ciśnienie porowe poprzez zdefiniowanie zwierciadła wody gruntowej
- w kolejnych fazach budowy definiowane są: dane do analizy naprężeń, warunki brzegowe przepływu wody, elementy belkowe i parametry przepływu wody dla elementów kontaktowych, parametry analizy, np. czas trwania fazy budowy oraz obciążenia

Wyniki analizy prezentowane są w taki sam sposób jak wyniki analizy naprężeń, dodatkowo istnieje możliwość edycji prędkości przepływów wody.

Podstawowe informacje na temat stosowanych rozwiązań numerycznych opisano w rozdziale Numeryczne rozwiązanie konsolidacji.

Zasada numerycznego rozwiązania konsolidacji

Konsolidacja

W standardowej analizie naprężeń, program GEO5 MES pozwala realizować dwa specyficzne podejścia do modelowania oddziaływania ciśnienia porowego na podłoże gruntowe. W przypadku warunków bez odpływu, zakłada się, że wszystkie obrzeża (krawędzie) otaczające grunt w warunkach bez odpływu są nieprzepuszczalne, a grunt jest traktowany jako objętościowo nieściśliwy. Przyłożone obciążenie powoduje wygenerowanie nadwyżki ciśnienia porowego w tej warstwie. Wprowadzenie odpowiednich warunków brzegowych, które pozwalają na stopniowe rozproszenie nadwyżki ciśnienia porowego, zapewnia uzyskanie przejścia do warunków z odpływem. W przypadku warunków z odpływem, zakładamy, że wynikowe ciśnienie porowe nie jest już zależne od odkształcenia podłoża gruntowego. Przejście z warunków z odpływem do warunków bez odpływu opisuje teoria konsolidacji. Termin konsolidacja oznacza deformację gruntu w czasie, która została spowodowana przez obciążenie zewnętrzne - stałe lub zmienne w czasie. Jest to proces reologiczny. W zastosowanym obecnie rozwiązaniu, ograniczamy nasze rozumowanie do tzw. konsolidacji pierwotnej, która polega na zmniejszeniu objętości porów i zmiany wewnętrznej struktury gruntu na skutek obciążenia wraz z towarzyszącym temu zjawisku odpływowi wody z porów. W analizie zakłada się, że grunt jest w pełni nasycony. Analiza konsolidacji gruntu częściowo nasyconego nie została na tym etapie wprowadzona do programu. Podstawowe równanie opisujące przepływ wody (równanie ciągłości, $\dot{a}$ reprezentuje pochodną czasu danej wielkości) w całkowicie nasyconym ($S=1, \dot{S}=0$) gruncie podlegającym deformacji (patrz równanie Richarda dla opisu przejściowego (nieustalonego) przepływu wody) jest następujące.

$$\frac{1}{\mathrm{M}}\dot{p}+\alpha\dot{\varepsilon}_{\mathrm{v}}+\nabla^{\mathrm{T}}\left(-\frac{\mathbf{K}_{\mathrm{sat}}}{\gamma_{\mathrm{w}}}\left(\nabla p-\gamma_{w}\,i_{g}\right)\right)=0 \qquad (1)$$

gdzie: M - moduł Biota, założony w zakresie M = (100-1000)K_{sk} (K_{sk} jest jednostkowym modułem sprężystości objętościowej szkieletu). Ogólnie, jest to duża wartość decydująca o nieściśliwości objętościowej danego, w pełni nasyconego, gruntu w bardzo krótkim czasie w momencie

konsolidacji. Założona wartość domyślna wynosi $M = 10^6\ kPa$.

α - parametr Biota, typowa wartość $\alpha = 1$

p - ciśnienie porowe

∇p - gradient ciśnienia porowego

$\mathbf{K}_{sat}$ - współczynniki regresji dla całkowicie nasyconego gruntu, typowe wartości dla wybranych gruntów są przedstawione w Tabeli

ig - gradient hydrauliczny

Prędkość zmian całkowitego ciśnienia jest opisana przez:

$$\dot{\sigma} = \mathbf{D}^{ep}\,\dot{\varepsilon} - \alpha\,3\mathbf{m}\,\dot{p}_{ex} \qquad (2)$$

gdzie: $\mathbf{D}^{ep}$ - bieżąca macierz sztywności

p_{ex} - nadwyżka ciśnienia porowego

$\mathbf{m} = \left\{\frac{1}{3},\frac{1}{3},0,\frac{1}{3}\right\}^T$ - dla płaskiego stanu odkształcenia lub symetrii osiowej

Należy zauważyć, że całkowite ciśnienie porowe p jest sumą ciśnienia porowego stanu ustalonego p_{ss} i nadwyzki ciśnienia porowego p_{ex}. Przyjmuje ono postać:

$$\dot{p}_{ss} = 0 \qquad (3)$$

Równanie ciągłości (1) może być dzięki temu zapisane w postaci:

$$\frac{1}{\mathrm{M}}\dot{\mathrm{p}}_{ex} + \alpha\,\dot{\varepsilon}_{\mathrm{v}} + \nabla^{\mathrm{T}}\left(-\frac{\mathbf{K}_{\mathrm{sat}}}{\gamma_{\mathrm{w}}}\nabla p_{ex}\right) = 0 \qquad (4)$$

Przyjmując warunek brzegowy o zerowej nadwyżce ciśnienia porowego dla brzegu o definiowanym ciśnieniu jako:

$$p_{ex}(t) = 0 \qquad (5)$$

oraz zerowy przepływ ($q(t) = 0$) przez brzeg o definiowanej gęstości strumienia wody:

$$\mathbf{n}^{\mathrm{T}}\left(\frac{\mathbf{K}_{\mathrm{sat}}}{\gamma_{\mathrm{w}}}\nabla p_{ex}(t)\right) = 0 \qquad (6)$$

gdzie: $\mathbf{n}$ - składowe zewnętrznych jednostkowych stanów normalnych

Porównaj: **Ustawienia hydraulicznych warunków brzegowych.**

Całkowite naprężenie jest wówczas określone przez:

$$\sigma = \mathbf{D}^{el}\left(\boldsymbol{\varepsilon} - \boldsymbol{\varepsilon}^{pl}\right) - \alpha\,3\mathbf{m}\left(p_{ss} + p_{ex}\right) \qquad (7)$$

gdzie: $\mathbf{D}^{el}$ - macierz sztywności w zakresie sprężystym

$\boldsymbol{\varepsilon}$ - wektor odkształceń całkowitych

$\boldsymbol{\varepsilon}^{pl}$ - wektor całkowitych odkształceń plastycznych

Wartość bieżąca odkształceń i nadwyżki ciśnienia porowego w równaniu (7) wynika z zastosowania równań statycznych równowagi i równania ciągłości (4) w ramach sprzężonego

rozwiązania naprężeń i zagadnienia przepływu wody z zastosowaniem zasady przemieszczeń wirtualnych. Tak jak w przypadku analizy nieustalonego przepływu wody, przyjęto zastosowanie w pełni niejawnej metody Eulera, do dyskretyzacji czasu w równaniu (4). Dalsze szczegóły można znaleźć w [1,2,3].

Analiza konsolidacji

Tak jak w przypadku analizy przejściowego (nieustalonego) przepływu wody, pierwsza faza budowy służy do określenia warunków początkowych, to znaczy rozkładu naprężeń geostatycznych i stanu ustalonego ciśnienia porowego. Wartości ustalone ciśnienia porowego są także równe wartościom całkowitego ciśnienia na końcu procesu konsolidacji. Początkowe wartości ciśnienia porowego określa się tylko poprzez zdefiniowanie zwierciadła wody gruntowej (ZWG). Warto zwrócić uwagę na fakt, że nawet jeśli zwierciadło wody gruntowej jest zdefiniowane w analizie w obrębie podłoża gruntowego, i rozpatrujemy grunt poniżej i powyżej zwierciadła wód gruntowych (GTW), to przyjmujemy dla nich stan całkowitego nasycenia. Zasada ta dotyczy również gruntów dodawanych do obliczeń w kolejnych fazach budowy (aktywacja nowych obszarów). Usuwanie gruntów lub wykonywanie wykopów (deaktywacja istniejących obszarów) nie jest mozliwe w obecnej wersji programu. Właściwa analiza konsolidacji rozpoczyna się od drugiej fazy budowy i wymaga zdefiniowania następujących elementów: odpowiednich hydraulicznych warunków brzegowych, czasu trwania danej fazy obliczeniowej, spodziewanej liczby kroków czasowych oraz określenia sposobu wprowadzenia obciążeń do analizy.

Definiowanie hydraulicznych warunków brzegowych

Program umożliwia określenie dwóch typów hydraulicznych warunków brzegowych; odwołując się do równań (5) i (6):

- Warunek zerowego ciśnienia porowego ($p = 0$), który umożliwia swobodny odpływ wody z podłoża gruntowego, tzn. warunek określający granice przepuszczalne. Mówiąc dokładniej, odpowiada to zerowej wartości nadwyżki ciśnienia porowego p_{ex}. Całkowita wartość ciśnienia porowego wzdłuż krwędzi/granicy jest równa p_{ss}. Jest to domyślny warunek brzegowy, dotyczy zarówno wszystkich zewnętrznych krawędzi modelu, jaki i zewnętrznych krawędzi nowych obszarów.
- Warunek zerowej gęstości strumienia (brak wpływu/wypływu, $q = 0$), co innymi słowy oznacza granicę nieprzepuszczalną. Warunek tego typu musi być zdefiniowany ręcznie przez użytkownika.

Wybór danego warunku brzegowego wpływa na prędkość konsolidacji. Szczegółowe informacje na ten temat omówione zostały w [1].

Definiowanie rozmiaru kroku czasowego - spodziewana liczba kroków czasowych w danej fazie

W przeciwieństwie do analizy nieustalonego przepływu wody początkowy rozmiar kroku czasowego (wartość dyskretna przyrostu czasu podczas rozwiązywania równania (4)) nie jest, w przypadku konsolidacji, bezpośrednio definiowany. W zamian, rozmiar kroku wyznaczany jest na podstawie określonego czasu trwania fazy obliczeniowej i zdefiniowanej liczby kroków czasowych, spodziewanych w danej fazie. W przypadku konsolidacji liniowej (wszystkie grunty zdefiniowane jako liniowo sprężyste) realizowana jest zdefiniowana liczba kroków czasowych. W przypadku konsolidacji nieliniowej, jeśli wystąpi brak zbieżności w bieżącym kroku czasowym, może nastąpić redukcja kroku czasowego. Zwiększa to liczbę kroków niezbędnych do ukończenia analizy danej fazy. Przy definiowaniu liczby kroków w odniesieniu do czasu trwania fazy należy pamiętać, że w momencie rozpoczęcia konsolidacji krok czasowy powinien być stosunkowo krótki (w szczególności w przypadku fazy obciążeniowej w połączeniu z konsolidacją nieliniową), natomiast wraz ze stopniowym postępem konsolidacji krok czasowy

może osiągnąć do kilkudziesięciu dni. Szczegółowe informacje na ten temat omówione zostały w [1].

Wprowadzenie obciążenia do analizy

Podobnie jak w przypadku analizy nieustalonego przepływu wody program umożliwia wybór spośród dwóch opcji:

- Obciążenie jest przyłożone w jednym kroku na początku fazy obliczeń. Mówiąc dokładniej, przyjmuje się liniowy wzrost obciążenia w pierwszym kroku czasowym. W tej sytuacji, jeśli jesteśmy zainteresowani zachowaniem masywu przy $t \rightarrow 0$, należy właściwie określić kombinację liczby kroków czasowych i czasu trwania pierwszej fazy (tj. 1 i 0.001). W przypadku bardzo krótkiego kroku czasowego oraz nieprzepuszczalnych granic (krawędzi modelu) ($q = 0$) modeluje się odpowiedź gruntu objętościowo nieściśliwego ($K \rightarrow \infty$) o skończonej wartości modułu sprężystości poprzecznej. Wyniki dla $t \rightarrow 0$ będą wówczas odpowiadały wynikom uzyskanym w standardowej analizie naprężeń w warunkach bez odpływu. Szczegółowe informacje na ten temat omówione zostały w [1].
- Obciążenie przyrastające liniowo w ciągu fazy obliczeniowej. Przyrost obciążenia zależy od rozmiaru bieżącego kroku czasowego. Szczególnie w przypadku konsolidacji nieliniowej, należy dokładnie sprecyzować czas, w którym wprowadzane jest obciążenie, aby uniknąć trudności ze zbiżnością analizy.

W przypadku gdy obciążenie nie zmienia się w ramach danej fazy, powyższe opcje ustawień nie mają zastosowania.

Zastosowanie elementów belkowych w konsolidacji

Przepuszczalność elementu belkowego zależy od jego lokalizacji i wyboru hydraulicznych warunków brzegowych. Element belkowy, który znajduje się w podłożu gruntowym, jest z założenia nieprzepuszczalny w kierunku normalnym. Na krawędziach/brzegach modelu, przepuszczalność elementu belkowego w kierunku normalnym, podobnie jak w przypadku analizy przepływu wody, jest zależna od wybranych warunków brzegowych. W przypadku krawędzi/brzegu przepuszczalnego ($p = 0$), element belkowy zlokalizowany na tym brzegu jest w pełni przepuszczalny, natomiast w przypadku granicy nieprzepuszczalnej ($q = 0$) element belkowy jest również nieprzepuszczalny.

Zastosowanie elementów kontaktowych w konsolidacji

Istnieją dwa podstawowe powody, dla których do analizy MES wprowadza się elementy kontaktowe. Po pierwsze, w celu zapewnienia możliwości wzajemnego względnego przesunięcia pomiędzy dwoma gruntami, gruntem a skałą, gruntem i elementem belkowym, np. w analizie współpracy gruntu i konstrukcji obudowy wykopu. Po drugie, w celu modelowania potencjalnego drenażu wzdłuż elementu belkowego lub ogólnie wzdłuż linii, do której przypisane są elementy kontaktowe. W każdym przypadku, należy zdać sobie sprawę z istnienia połączonej symulacji obydwu tych zjawisk, to znaczy analizy naprężeń i przepływu wody, prowadzonych równocześnie. Jeśli nie zostanie zdefiniowane inaczej, program zakłada warunki przepływu w elementach kontaktowych, jako zależne od przepuszczalności otaczającego gruntu zarówno w kierunku podłużnym i poprzecznym. W przypadku elementu kontaktowego związanego z elementem belkowym, przepuszczalność w kierunku normalnym k_n jest nieistotna, jako że zakłada się, że element belkowy jest w tym kierunku albo całkowicie nieprzepuszczalny ($k_n = 0$) albo całkowicie przepuszczalny ($k_n \rightarrow \infty$), patrz "**Zastosowanie elementów belkowych w konsolidacji**".

Uwagi ogólne

Zmiana w czasie poszczególnych zmiennych, np. osiadania lub nadwyżki ciśnienia porowego, będzie w przypadku liniowej konsolidacji zawsze ograniczona rozwiązaniami analizy naprężeń, zarówno w warunkach bez odpływu (wszystkie aktywne grunty w analizowanym obszarze są

zdefiniowane jako "bez odpływu"), jak i w warunkch z odpływem (ustawienie domyślne, wszystkie aktywne grunty w analizowanym obszarze są zdefiniowane jako "z odpływem"). Ten drugi przypadek jest zbieżny z analizą stanu ustalonego z całkowitym rozproszeniem nadwyżki ciśnienia porowego. Wyniki analizy liniowej naprężeń w gruntach w warunkach z odpływem i liniowej konsolidacji przeprowadzonej przy założeniu $t \rightarrow \infty$ muszą być identyczne. Nie dotyczy to natomiast analizy nieliniowej, ponieważ w tym przypadku zasada superpozycji nie może mieć zastosowania. Szczegółowe informacje na ten temat omówione zostały w [1].

W przeciwieństwie do analizy przepływu, rozwiązanie zagadnienia konsolidacji wymaga zastosowania elementów wyższego stopnia (np. 6- węzłowe elementy trójkątne lub 8- węzłowe elementy czworoboczne). Wynika to z faktu, że przemieszczenia obliczane są we wszystkich węzłach danego elementu (aproksymacja kwadratowa pola przemieszczeń), natomiast ciśnienie porowe obliczane jest wyłącznie w węzłach narożnych (aproksymacja liniowa ciśnienia porowego).

W przeciwieństwie do jednowymiarowej konsolidacji zaimplementowanej w programie "**Osiadanie**", dwuwymiarowa konsolidacja przy $t \rightarrow 0$ prowadzi do zerowego odkształcenia objętościowego i w ten sposób również zerowych średnich naprężeń efektywnych. Poszczególne składowe pola przemieszczenia są generalnie niezerowe.

Literatura:

[1] M. Šejnoha, T. Janda, H. Pruška, M. Brouček, Metoda konečných prvků v geomechanice: Teoretické základy a inženýrské aplikace, předpokládaný rok vydání (2015)

[2] Z. Bittnar and J. Šejnoha, Numerické Metody Mechaniky II. České vysoké učení technické v Praze, 1992

[3] Z. Bittnar and J. Šejnoha, Numerical methods in structural engineering, ASCE Press, 1996

Procedura Ko

Procedura Ko jest metodą umożliwiającą obliczanie naprężenia geostatycznego (1. faza), gdy niezbędne jest uwzględnienie konkretnego stosunku między pionową i **poziomą składową naprężenia**. Na przykład, dla gruntów **prekonsolidowanych**, rzeczywiste naprężenie poziome może osiągać znacznie wyższe wartości niż występujące w normalnie skonsolidowanych gruntach.

W przypadku **obliczeń standardowych**, początkowe naprężenie określane jest za pomocą metody elementów skończonych. Nieliniowe modele materiałowe mogą być stosowane w celu uwzględnienia rozwoju ewentualnych powierzchni zniszczenia, już w 1. fazie obliczeń. W przypadku odpowiedzi sprężystej zależność składowej pionowej σ_z i poziomej σ_x naprężenia opisuje wzór:

$$\sigma_x = \frac{\nu}{(1-\nu)} \sigma_z$$

gdzie: σ_z - pionowe naprężenie normalne

σ_x - poziome naprężenie normalne

ν - współczynnik Poissona

Ten rodzaj obliczeń może prowadzić do uzyskania odkształceń plastycznych.

Procedura K_O prowadzi do uzyskania wyłącznie odkształceń sprężystych. Naprężenie poziome w 1. fazie budowy określa wzór:

$$\sigma_x = K_0 \sigma_z$$

gdzie: K_O - współczynnik naprężenia poziomego w spoczynku zdefiniowany przez użytkownika

σ_z - pionowe naprężenie normalne

σ_x - poziome naprężenie normalne

Współczynnik K_O jest przyjmowany jako parametr gruntu. Jeżeli wartość parametru K_O nie zostanie określona, to można uzyskać ją ze wzoru:

$$K_o = \frac{\nu}{1-\nu}$$

Uzyskiwane naprężenia mogą jednakże naruszać warunek plastyczności w *2.* fazie budowy, w przypadku zastosowania nieliniowych modeli materiałowych. Iteracja równowagi jest wtedy wykonywana nawet jeśli w *2.* fazie nie występują żadne zmiany.

Przepływ wody

Program umożliwia wykonanie **analizy stanu ustalonego lub nieustalonego (przejściowego) przepływu wody w masywie gruntowym**. Analiza stanu nieustalonego (przejściowego) pozwala na monitorowanie rozwoju ciśnień porowych oraz stopnia nasycenia w czasie. Czas, po którym nie powstają dalsze zmiany dystrybucji ciśnień porowych określa czas niezbędny do osiągnięcia warunków stanu ustalonego. Wartość ta zależy zarówno od parametrów hydraulicznych gruntów (współczynnika filtracji), parametrów modeli opisujących krzywą retencji (wpływ stopnia nasycenia lub zawartości wody na ujemne zwierciadło wody lub ssanie) oraz rodzaju analizowanego zagadnienia (np. przepływ ograniczony/nieograniczony). W przypadku analizy przepływu ustalonego poszczególne etapy obliczeń są od siebie niezależne. W analizie stanu nieustalonego wyniki otrzymujemy podobnie jak w standardowych analizach naprężeń. Poszczególne etapy obliczeń (etapy konstrukcji) są więc zależne od siebie. Pierwszy etap konstrukcji pozostaje niezależny i służy do ustalenia warunków początkowych, to znaczy przypisania początkowych ciśnień porowych oraz stopnia nasycenia na początku analiz zależnych od czasu zarówno w gruntach w pełni nasyconych (dodatnie ciśnienia porowe) oraz w gruntach częściowo nasyconych (ujemne ciśnienia porowe - ssanie). Kolejne definiowane etapy wymagają wprowadzenia czasu trwania danego etapu, wraz z historią obciążeń (historia czasowa hydraulicznych warunków brzegowych). Aktualna wersja programu pozwala na wprowadzenie jednorazowo całego obciążenia na początku wykonywania obliczeń, lub na założenie, że obciążenie wzrasta liniowo z czasem podczas obliczeń etapowych.

W obydwu przypadkach (stan ustalony/nieustalony) program opisuje ogólnie przepływ w nienasyconym lub częściowo nasyconym masywie gruntowym. Przepływ w pełni nasyconym masywie gruntowym występuje jedynie poniżej zwierciadła wody gruntowej. Powyżej ZWG (przepływ w częściowo nasyconym masywie) przepływ jest określany z wykorzystaniem odpowiedniego modelu materiałowego. Do analizy zagadnień przepływu nieograniczonegoprogram wprowadza trzy modele materiałowe: **model Log-liniowy**, **model Gardnera** oraz **model van Genuchtena**. W przypadku prowadzenia analizy przepływu nieustalonego zaleca się stosowanie modelu van Genuchtena, ze względu na fakt, że model ten jest w stanie wiarygodnie reprezentować parametry retencji gruntu. Ponieważ wybór modelu materiałowego wpływa na ustalanie warunków początkowych (wartość początkowa stopnia nasycenia) dlatego program nie zezwala na zmiany modeli materiałowych w kolejnych fazach obliczeń. Z tego samego względu zmiany geometrii w odniesieniu do pierwszej fazy nie są dopuszczane.

Przy wykonywaniu obliczeń przepływu nieustalonego w pierwszej kolejności należy w piwerszej

fazie budowy zdefiniować początkowe wartości ciśnień porowych/zwierciadła wody w czasie t = 0, w szczególności powyżej zwierciadła wody gruntowej w gruntach nienasyconych lub częściowo nasyconych (w strefie ssania). Program oferuje trzy możliwości wprowadzenia ssania, tj. poprzez przeprowadzenie analizy stanu lub przy założeniu dystrybucji równowagi zapisanej w postaci $p = -\gamma_w z$, gdzie z mierzone jest od bieżącego poziomu zwierciadła wody gruntowej, lub też początkowe wartości ssania mogą być bezpośrednio definiowane przez użytkownika. Przy rozwiązywaniu obszarów praktycznych zaleca się nie definiować wartości ujemnych parcia wody h_p mniejszych niż -10m (p > -100kPa ◦ wz), w szczególności w przypadku gruntów gruboziarnistych. Przykładowo, dla piasków krzywa retencji jest prawie płaska dla wartości h_p <-1m, a w przypadku znacznych zmian zwierciadła wody praktycznie nie zachodzą zmiany wartości stopnia nasycenia. Dotyczy to również współczynnika przepuszczalności względnej K_r, który służy do redukcji w pełni nasyconej przepuszczalności w strefach nienasyconych lub częściowo nasyconych. Formułowanie ogólnych zaleceń ustalania minimalnych wartości ujemnego zwierciadła wody jest jednak bardzo trudne, ponieważ dla gruntów drobnoziarnistych może ono osiągać wartość rzędu kilkuset, a dla iłów nawet do tysiąca metrów.

Następnym krokiem jest zdefiniowanie warunków brzegowych, w punkcie lub wzdłuż linii brzegowej, na początku nowej fazy obliczeniowej.

W obrębie masywu gruntowego można także definiować elementy belkowe i elementy kontaktowe. **Wyniki obliczeń** przedstawiane są w postaci rozkładów ciśnienia porowego i zwierciadła wody gruntowej, ssania, prędkości i kierunków przepływu oraz danych dotyczących całkowitego dopływu/odpływu do/z elementu gruntowego. W przypadku przepływu nieustalonego istnieje także możliwość wydruku rozkładu stopnia nasycenia masywu gruntowego.

Obliczenia przepływu

Przepływ nieustalony (przejściowy)

Analiza przepływu nieustalonego w częściowo nasyconym medium oparta jest na rozwiązaniu równania Richardsa (równanie ciągłości):

$$n\dot{S} + div\left(-K_r \mathbf{K}_{sat} \nabla h\right) = Q$$

gdzie:
- n - porowatość materiału
- $\dot{S}$ - szybkość zmian stopnia nasączenia
- K_r - współczynnik przepuszczalności względnej
- $\mathbf{K}_{sat}$ - macierz przepuszczalności gruntu w pełni nasyconego
- ∇h - gradient całkowitej wysokości ciśnienia

Dyskretyzacja czasu w równaniu Richardsa opiera się na w pełni jawnym schemacie iteracji Picadrsa [1]. Odpowiada to opracowaniu hybrydowemu przy zapewnieniu zachowania masy. Dzięki rozwiązaniu w zasadzie problemu nieliniowego, analiza wykonywana jest przyrostowo. Dla spełnienia warunków równowagi stosowany jest schemat iteracyjny Newtona-Raphsona. Analiza wymaga ustawienia warunków początkowych i przepływu brzegowego. Należy zauważyć, że na szybkość i stabilność procesu iteracji, w dużym stopniu ma wpływ wybór modelu materiałowego (sposób wyliczania współczynnika przepuszczalności względnej K_r, stopnia nasycenia S a w szczególności aproksymacja pojęcia przepustowości $C = \frac{dS}{dh_p}$) w

odniesieniu do nieliniowych parametrów danego gruntu. Znaczące nieliniowe zachowanie jest typowe dla piasków, w których nieprawidłowo zdefiniowane warunki początkowe mogą prowadzić do powstawania problemów numerycznych. Szczegóły można znaleźć w [2, 3].

Przepływ ustalony

Analiza stanu ustalonego zakłada brak zmian stopnia nasycenia w odniesieniu do czasu. Tak więc równanie główne zostaje zredukowane do postaci:

$$\mathrm{div}\left(-K_r\,\mathbf{K}_{sat}\,\nabla h\right)=Q$$

W przeciwieństwie do przepływu nieustalonego, analiza nie jest uzależniona od czasu i wymaga tylko wprowadzenia warunków brzegowych. Jednakże jest to nadal ogólny problem nieliniowości (np. analiza przepływu nieograniczanego), wymagający stosowania iteracji metodą Newtona-Raphsona. Szczegóły można znaleźć np. w [2, 3].

Literatura:

[1] M. A. Celia and E. T. Bouloutas, A general mass-conservative numerical solutionfor the unsaturated flow equation, Water Resources Research 26 (1990), no. 7, 1483-1496.

[2] M. Šejnoha, Finite element analysis in geotechnical design, to appear (2015).

[3] M. Šejnoha, T. Janda, H. Pruška, M. Brouček, Modelování geotechnických úloh metodou konečných prvků: Teoretická základy a aplikace, předpokládaný rok vydání (2015).

Warstwa

Ramka "**Warstwa**" służy do wprowadzania warstw między poszczególnymi gruntami. Szczegółowy opis postępowania z warstwami przedstawiono w dalszej części pomocy.

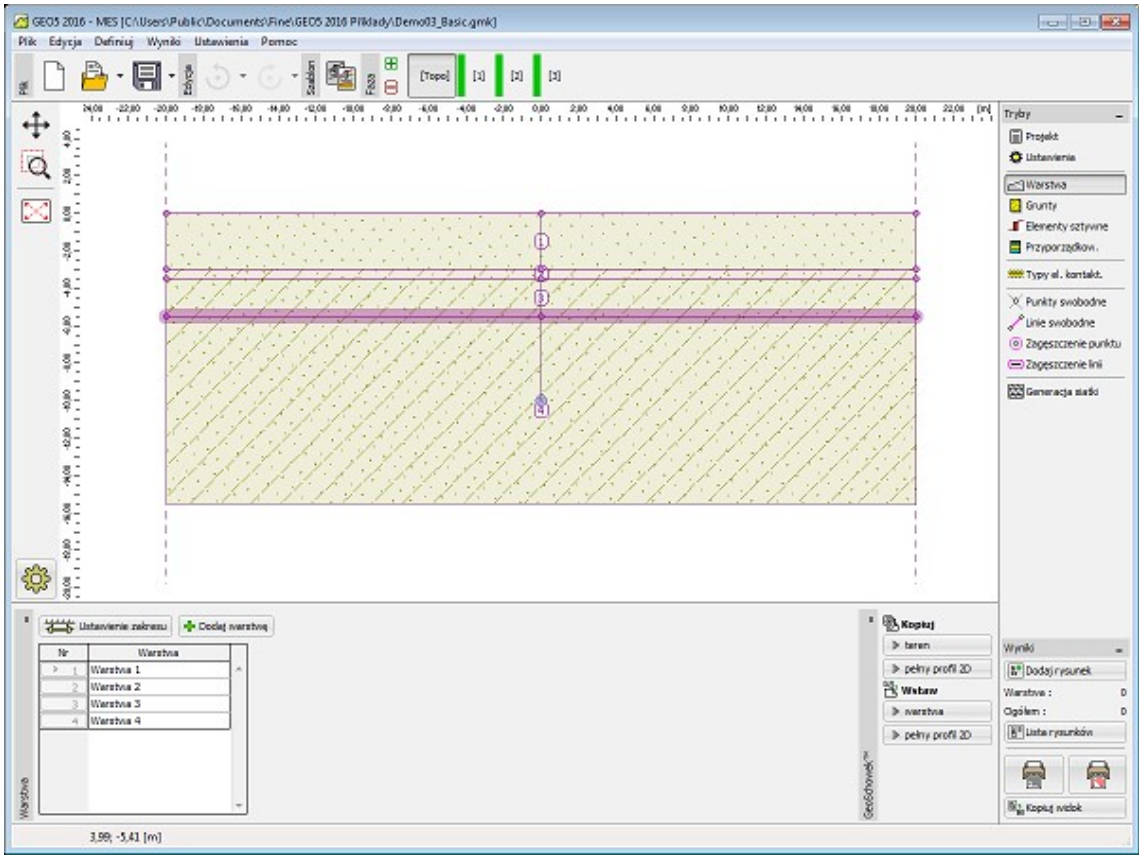
Szerokość modelu geometrycznego można zazwyczaj oszacować bez większych problemów (przy obliczaniu stateczności należy pamiętać o zachowaniu odpowiednio dużej przestrzeni otaczającej obszar krytyczny). Głębokość siatki jest jednak dość istotna. Najniższy punkt siatki można wyobrazić sobie jako grunt nieściśliwy. Jeżeli w profilu geologicznym nie ma takiej warstwy materiału gruntowego lub skalnego, to można przyjąć założenie, iż na pewnej głębokości od powierzchni ziemi siły wewnętrzne zanikną w związku z czym nie wystąpi odkształcenie. Będzie to najniższy punkt modelu geometrycznego.

Jeżeli nie mają Państwo pewności co do granic modelu geometrycznego, to przydatny będzie następujący sposób postępowania:

- W pierwszym kroku wprowadzić większe granice, użyć rzadszej siatki i obliczyć zmiany w rozkładzie naprężeń wewnątrz masywu gruntowego.
- W następnym kroku zmodyfikować granice modelu (obszary bez widocznych odkształceń lub zmian naprężenia można odciąć), utworzyć nową, gęstszą siatkę i przeprowadzić nową, dokładniejszą analizę.

Warstwy można również importować z innych modułów oprogramowania GEO za pomocą schowka.

Program umożliwia import lub eksport warstw w formacie *.DXF. Zdefiniowane warstwy mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.



Ramka "Warstwa"

Grunty

Ramka "**Grunty**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych gruntów. Tabela ta dostarcza również informacje o aktualnie wybranym gruncie. Informacje te wyświetlane są w prawej części ramki. W przypadku zaznaczenia większej liczby pozycji (gruntów) w tabeli, informacje o poszczególnych gruntach są podane kolejno.

Dane definiujące grunt są uzależnione od wybranego modelu materiałowego, lub modelu materiałowego w analizie przepływu.

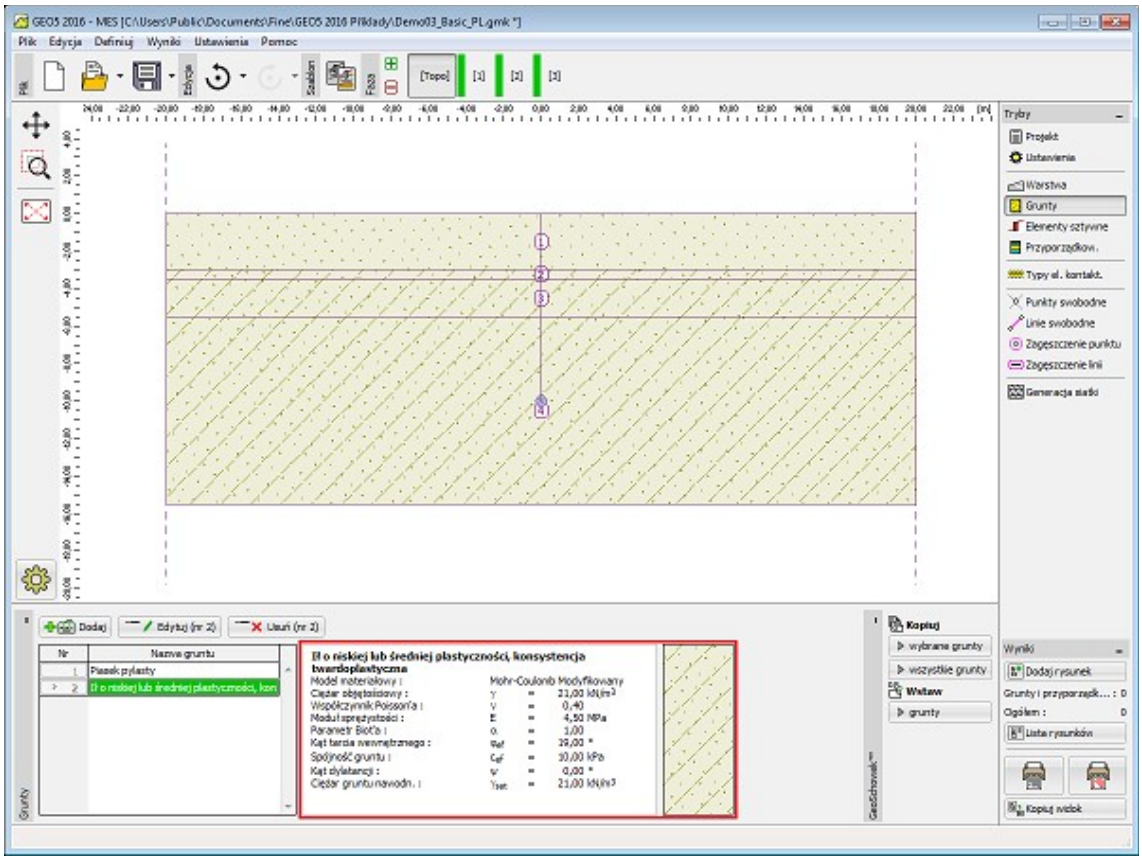
Podstawowe parametry materiałowe to moduł sprężystości Younga E i **współczynnik Poissona** (niezbędne we wszystkich modelach). Większość modeli nieliniowych wymaga zdefiniowania **kąta tarcia wewnętrznego** i **spójności** gruntu. W obydwu przypadkach do obliczeń przyjmowane są **parametry efektywne** kąta tarcia wewnętrznego φ_{ef} i spójności c_{ef}.

Lista parametrów materiałowych, które należy zdefiniować zależy również od wybranego trybu definiowania. Wybranie funkcji zaawansowanych (dostępne w ramce "Ustawienia") umożliwia definiowanie dodatkowych (zaawansowanych) parametrów materiałowych (np. parametr czy moduł Biota itp.). W większości zastosowań praktycznych te parametry materiałowe nie są szczególnie istotne i służą głównie do celów badawczych.

Poszczególne modele materiałowe można w obliczeniach łączyć - dla każdego rodzaju gruntu można przyporządkować jego własny **model materiałowy**.

Dodawanie (edycja) gruntów wykonywana jest w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Dane dotyczące zdefiniowanych gruntów mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami GEO5.



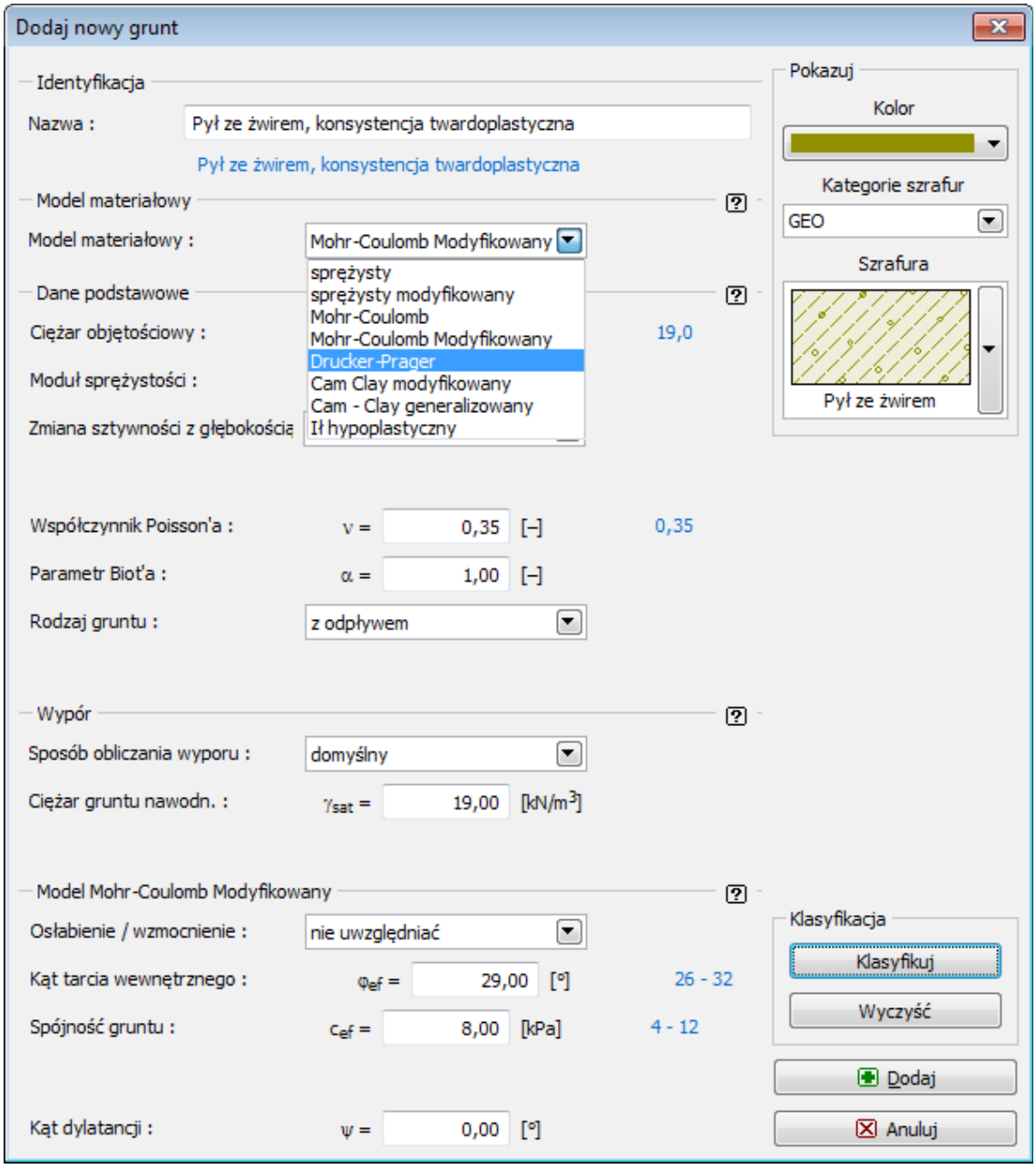
Ramka "Grunty"

Modele materiałowe

Wybór najwłaściwszego modelu materiałowego wraz z wprowadzeniem wymaganych parametrów materiałowych jest jednym z najważniejszych, a jednocześnie jednym z najtrudniejszych zadań przy modelowaniu konstrukcji z użyciem metody elementów skończonych.

Celem tworzenia modelu materiałowego jest opis zachowania się gruntu (lub skały) jak najbliższy rzeczywistości. Modele można podzielić na dwie grupy: liniowe i nieliniowe. Wybór odpowiedniego modelu materiałowego ma **podstawowe znaczenie** dla prognozowania reakcji gruntu.

Większość zadań wymaga stosowania modeli nieliniowych (np. modelowanie ścian wykopów z użyciem modeli liniowych prowadzi do uzyskania całkowicie błędnych wyników). W niektórych przypadkach, jednakże, modele liniowe mogą okazać się użyteczne i adekwatne, i mogą znacznie uprościć proces obliczeń.



Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt" - wybór modelu materiałowego

Modele liniowe

Modele liniowe pozwalają na uzyskanie dość szybko, ale niezbyt dokładnego przybliżenia prawdziwej reakcji materiału. Modele te można stosować wtedy, gdy interesuje nas tylko stan naprężeń lub odkształceń ośrodka gruntowego. Nie uzyskujemy informacji o umiejscowieniu i możliwych mechanizmach zniszczenia.

Można je stosować do modelowania zachowania gruntu w obszarach, gdzie występuje jedynie miejscowe zniszczenie, które nie ma wpływu na rozwój zniszczenia globalnego, ale które może skutkować zbyt wczesną utratą zbieżności rozwiązania. Przy założeniu, że najważniejszy jest wiarygodny opis zachowania się gruntu, należy korzystać z modeli nieliniowych.

Modele liniowe obejmują:

- Model sprężysty
- Model sprężysty modyfikowany

Model sprężysty

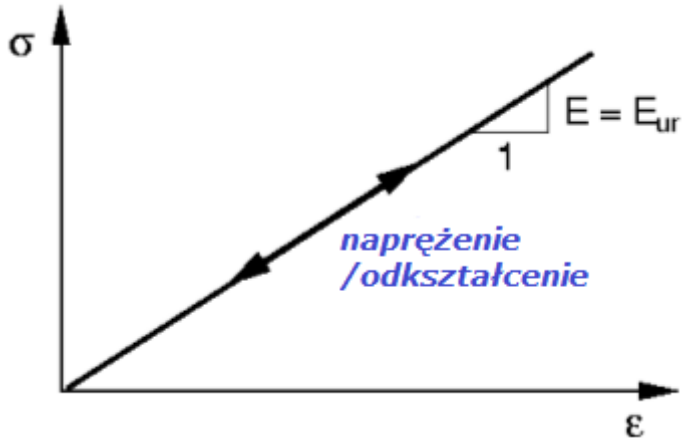
Model liniowy jest podstawowym modelem materiałowym, który zakłada liniowy związek między naprężeniem i odkształceniem zgodnie z prawem Hooke'a. Niezbędne są następujące dane:

γ - ciężar jednostkowy gruntu

ν - współczynnik Poissona

E - moduł sprężystości

W przypadku zadania jednowymiarowego, prawo Hooke'a opisuje liniową zależność naprężenia σ i odkształcenia ε za pomocą modułu Younga E (moduł sprężystości), zob. Rysunek poniżej. W takiej sytuacji, model liniowy pozwala uzyskać liniową zmienność przemieszczeń w funkcji przyłożonych obciążeń.



Związek naprężenie-odkształcenie dla modelu liniowego

Model sprężysty modyfikowany

Oczywiste jest, iż w przypadku gruntów zachowanie typu liniowego można dopuścić tylko dla stosunkowo małych wartości przyłożonych obciążeń. Jest to wyraźnie widoczne dla odciążenia, które zazwyczaj wykazuje raczej niewielką wartość odkształceń sprężystych w porównaniu do odkształcenia całkowitego. W modelu liniowym zmodyfikowanym podjęto próbę przynajmniej częściowego uwzględnienia tego zjawiska poprzez przyjęcie różnych modułów sprężystości dla obciążania i odciążania, jak przedstawiono na Rysunku.

Spadek sztywności materiału wzdłuż danej ścieżki obciążenia, przypisywany uplastycznieniu wyrażony jest za pomocą modułu odkształcenia E_{def}, który można wyobrazić sobie jako moduł sieczny związany z pewnym poziomem naprężenia.

Przyjmuje się, że przy odciążeniu występuje reakcja sprężysta. Dla uzyskania większej przejrzystości sformułowania modelu, moduł odkształcenia dla odciążenia jest zastępowany modułem odkształcenia dla odciążenia - ponownego obciążenia E_{ur}, który decyduje o reakcji gruntu na odciążenie i następujące po nim ponowne obciążenie do osiągnięcia wartości naprężenia w materiale przed odciążeniem.

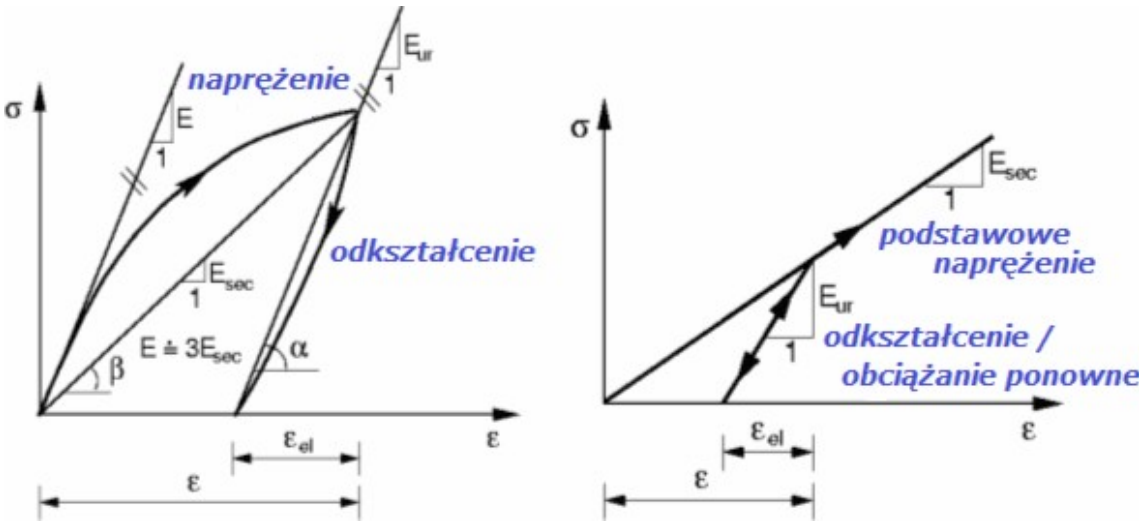
Zgodnie z poniższym Rysunkiem, moduły te wyrażone są za pomocą wzorów:

$$E_{def} = \tan\beta = \Delta\sigma/\Delta\epsilon$$

$$E_{ur} = \tan\alpha = \Delta\sigma/\Delta\epsilon^{el}$$

gdzie: E_{def} -Moduł odkształcenia $[MPa]$

E_{ur} -Moduł odkształcenia przy odciążeniu / ponownym obciążeniu $[MPa]$



(a) Rzeczywisty wykres obciążenie-odkształcenie gruntu, (b) Uproszczony wykres obciążenie-odkształcenie dla modelu liniowego modyfikowanego

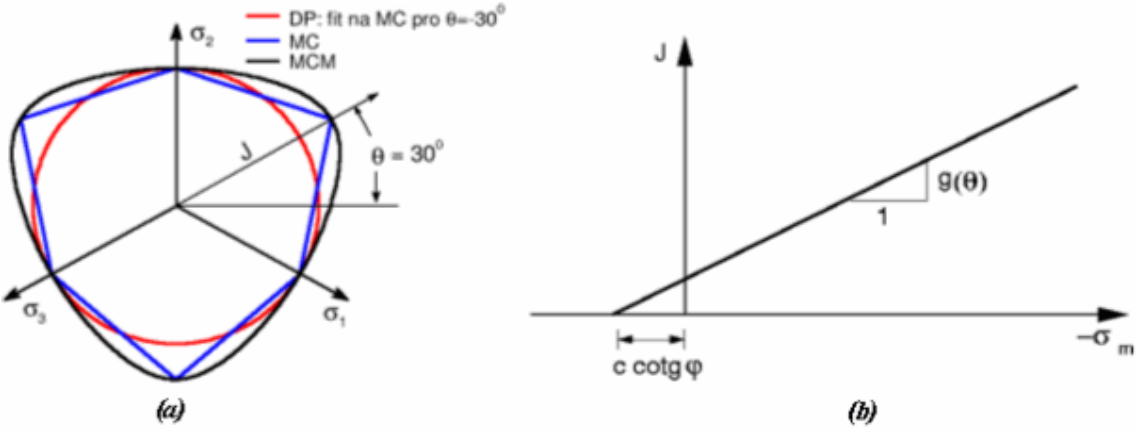
W trakcie początkowego obciążania, o reakcji gruntu decyduje więc sieczny moduł odkształcenia, podczas gdy przy odciążaniu, reakcja ta przebiega według ścieżki zależnej od modułu odkształcenia przy odciążaniu / obciążaniu ponownym (moduł odkształcenia E_{ur}). W przybliżeniu, wartość tego modułu równa się **trzykrotności modułu siecznego** E_{def}. W każdym przypadku należy zawsze uzyskać wartości obydwu tych parametrów z wiarygodnych doświadczeń.

Modele nieliniowe

Podstawowe modele nieliniowe można również podzielić na dwie grupy.

Pierwsza klasa modeli wykorzystuje klasyczne kryterium Mohra-Coulomba. Do tej kategorii należą w szczególności modele Drucker-Pragera, Mohr-Coulomba i Modyfikowany model Mohra-Coulomba. Za ich pomocą można również modelować wzmocnienie lub osłabienie. Cechą wspólną tych modeli jest powstawanie nieograniczonych odkształceń sprężystych przy obciążeniu działającym w kierunku osi geostatycznej. Widać to wyraźnie na zamieszczonym niżej rysunku, prezentującym projekcje powierzchni plastyczności, odpowiednio na płaszczyznę dewiatorową i południkową (meridian plane). Przedstawiono przykład efektu zastosowania wybranego modelu.

Drugą grupę podstawowych modeli materiałowych reprezentuje Modyfikowany model Cam-Clay, Uogólniony model Cam-Clay oraz Model Hipoplastyczny, w których zastosowano koncepcję stanu krytycznego gruntów.



Projekcja powierzchni plastyczności na płaszczyznę (a) dewiatorową, (b) południkową (meridian)

Zastosowanie modeli nieliniowych pozwala na uchwycenie typowych, nieliniowych reakcji gruntów.

Modele te opisują rozwój trwałego (plastycznego) odkształcenia materiału gruntowego. Początek odkształcenia plastycznego zależy od tzw. powierzchni plastyczności. Powierzchnia plastyczności może być albo stała (materiał sprężysto-idealnie plastyczny), albo może zależeć od bieżącego stanu naprężeń (materiał wykazujący wzmocnienie/osłabienie).



Wykres naprężenie-odkształcenie dla modeli nieliniowych

W przeciwieństwie do modyfikowanego modelu liniowego, modele nieliniowe wymagają zdefiniowania jedynie modułu odkształcenia. Spadek sztywności materiału wynika z rozwoju naprężeń plastycznych i związanej z tym zmiany rozkładu naprężeń. W rezultacie otrzymujemy chwilową styczną sztywność materiału jako funkcję bieżącego stanu naprężenia reprezentowaną na poniższym Rysunku przez chwilowy moduł styczny E_T.

Poza podstawowymi parametrami materiałowymi, które opisano w rozdziale "Model spężysty", modele nieliniowe wymagają wprowadzenia pewnych parametrów wytrzymałościowych gruntu, niezbędnych do zdefiniowania danej powierzchni plastyczności. W odniesieniu do pierwszej grupy materiałów należy podać wartości następujących parametrów.

φ - kąt tarcia wewnętrznego [°]

c - spójność gruntu [kPa]

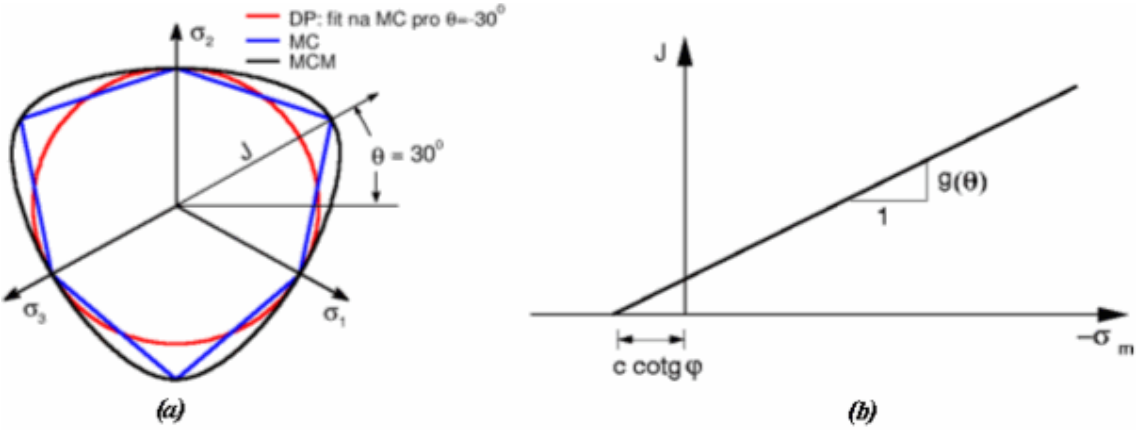
ψ - kąt dylatancji [°]

Kąt tarcia wewnętrznego i spójność determinują **początek odkształcenia plastycznego**. Kąt dylatancji ma wpływ na rozwój plastycznego odkształcenia objętościowego (dylatancja).

Mohr-Coulomb (MC)

Model ten wymaga zdefiniowania następujących parametrów: moduł odkształcenia E, **współczynnik Poissona**, **kąt tarcia wewnętrznego** i **spójność**. Dwa ostatnie parametry służą do określenia warunku plastyczności. Do zapisu równań konstytutywnych wykorzystuje się **efektywne parametry** kąta tarcia wewnętrznego φ_{ef} i spójności c_{ef}. Należy również zdefiniować kąt dylatancji.

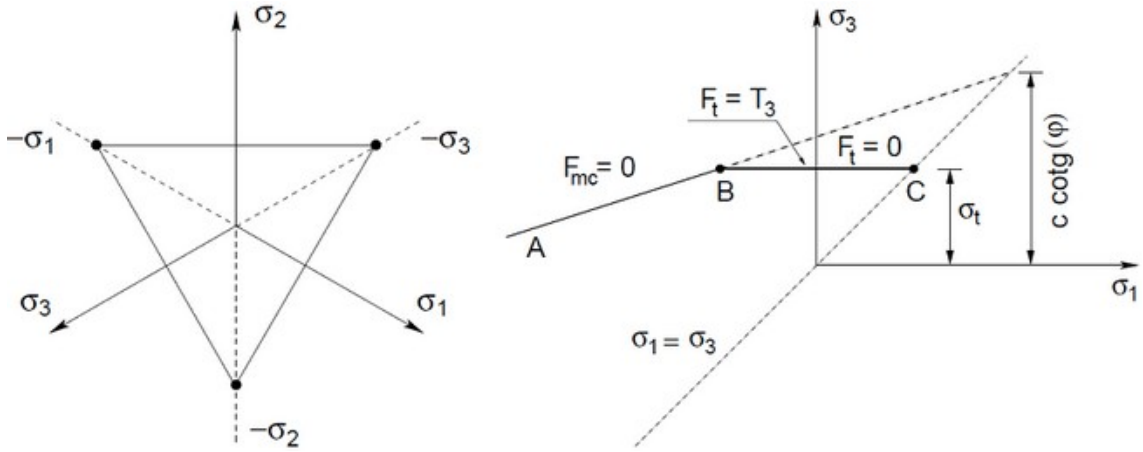
Powierzchnia plastyczności Mohra-Coulomba może być również definiowana za pomocą trzech funkcji granicznych, które nakreślają w przestrzeni naprężeń głównych nieregularny ostrosłup o podstawie równobocznego lecz różnokątnego sześcioboku. Projekcje tej powierzchni plastyczności na płaszczyznę dewiatorową i południkową (meridian) przedstawiono na Rysunku. Na Rysunku widać wyraźnie (część **a**), że funkcja plastyczności MC posiada wierzchołki, co może powodować pewne komplikacje w zastosowaniu tego modelu w metodzie elementów skończonych. Z drugiej strony, zaletą jest to, iż na tym modelu opiera się tradycyjna mechanika gruntów i częściowo mechanika skał.



Projekcja powierzchni plastyczności na: (a) płaszczyznę dewiatorową, (b) płaszczyznę południkową

Model Mohra-Coulomba z wykluczeniem rozciągania

Oryginalna formuła modelu materiałowego Mohra-Coulomba została rozszerzona poprzez wprowadzenie warunku plastyczności Rankina, zob. Rysunek (a), umożliwiając redukcję wytrzymałości gruntu na rozciąganie, która w przypadku modelu Mohra-Coulomba jest wyrażona przez $c*cotg\varphi$, gdzie c oznacza spójność, a φ kąt tarcia wewnętrznego. Wartość ta może być redukowana przez zdefiniowanie wartości wytrzymałości na rozciąganie σ_t co widać na Rysunku (b). Jeżeli $\sigma_t > c*cotg\varphi$, to program automatycznie ustawia wartość $\sigma_t = c*cotg\varphi$. Model można stosować po wyborze funkcji zaawansowanych programu.

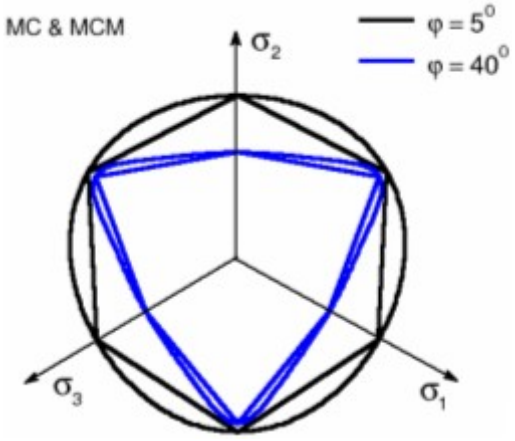


a) Projekcja warunku plastyczności Rankine'a na płaszczyznę dewiatorową, b) Projekcja rozszerzonego warunku plastyczności Mohra-Coulomba na płaszczyznę σ_1 ,σ_3

Mohr-Coulomb Modyfikowany (MCM)

Model ten wymaga zdefiniowania następujących parametrów: moduł odkształcenia E, **współczynnik Poissona**, **kąt tarcia wewnętrznego** i **spójność**. Dwa ostatnie parametry służą do określenia warunku plastyczności. Do zapisu równań konstytutywnych wykorzystuje się efektywne parametry kąta tarcia wewnętrznego φ_{ef} i spójności $c_{ef.}$ Należy również zdefiniować kąt dylatancji.

Podobnie jak w przypadku modelu DP, w Modyfikowanym Modelu Mohra-Coulomba wygładzeniu ulegają wierzchołki powierzchni plastyczności Mohra-Coulomba. Jak widać na Rysunku, projekcja powierzchni plastyczności MCM na płaszczyznę dewiatorową przechodzi przez wszystkie wierzchołki sześcioboku Mohra-Coulomba i podobnie jak funkcja plastyczności MC, również funkcja plastyczności MCM zależy od średniego naprężenia efektywnego σ_m i kąta Lode'go θ. W odniesieniu do jej definicji, można oczekiwać nieco sztywniejszej reakcji materiału w modelu plastyczności MCM w porównaniu z modelami MC i DP.



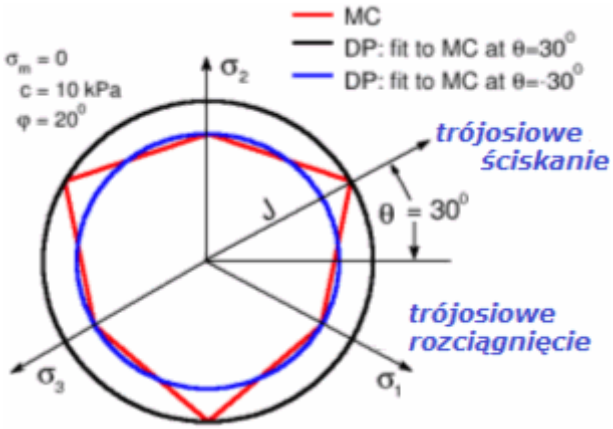
Powierzchnie plastyczności MCM i MC na płaszczyźnie dewiatorowej

Model Druckera-Pragera

Model ten wymaga zdefiniowania następujących parametrów: moduł odkształcenia E, **współczynnik Poissona**, **kąt tarcia wewnętrznego** i **spójność**. Dwa ostatnie parametry

służą do określenia warunku plastyczności. Do zapisu równań konstytutywnych wykorzystuje się **efektywne parametry** kąta tarcia wewnętrznego φ_{ef} i spójności c_{ef}. Należy również zdefiniować kąt dylatancji.

Model Druckera-Pragera (niekiedy określany jako rozszerzony model von Misesa) modyfikuje funkcję plastyczności Mohra-Coulomba w celu eliminacji osobliwości związanych z wierzchołkami. Przeciwnie do modelu Mohra-Coulomba, powierzchnia plastyczności Druckera-Pragera jest gładka i tworzy stożek w przestrzeni naprężeń głównych. Podobnie jak w modelu MC, powierzchnia plastyczności DP zależy od średniego efektywnego naprężenia σ_m. Bieżąca wersja modelu DP zastosowana w programie GEO5 MES jest oparta na założeniu trójosiowego rozciągnięcia. Innymi słowy, projekcja powierzchni plastyczności na płaszczyznę dewiatorową styka się z wewnętrznymi wierzchołkami sześcioboku Mohra-Coulomba ($\theta = -30^0$), gdzie θ jest to kąt Lode'go.



Powierzchnie plastyczności DP i MC na płaszczyźnie dewiatorowej

Osłabienie i wzmocnienie

Standardowe sformułowanie modelu Druckera-Pragera i modyfikowanego modelu Mohra-Coulomba zakłada sprężyste sztywno-plastyczne zachowanie gruntu, podczas gdy parametry wytrzymałościowe gruntu c i φ pozostają stałe w trakcie obliczeń. Rozszerzona wersja obydwu modeli (włączone funkcje zaawansowanye programu) umożliwia rozwinięcie tych parametrów w postaci funkcji odpowiadającego im plastycznego odkształcenia dewiatorowego:

$$c = c\left(E_d^{pl}\right)$$

$$\varphi = \varphi\left(E_d^{pl}\right)$$

gdzie: E_d^{pl} - ekwiwalentne plastyczne odkształcenie dewiatorowe wyraża następujący wzór:

$$E_d^{pl} = \sqrt{2 e_{ij}^{pl} e_{ij}^{pl}}$$

$$e_{ij}^{pl} = \varepsilon_{ij}^{pl} - \frac{1}{3}\varepsilon_v^{pl}\delta_{ij}$$

$$e_v^{pl} = \varepsilon_x^{pl} + \varepsilon_y^{pl} + \varepsilon_z^{pl}$$

where: E_d^{pl} - ekwiwalentne plastyczne odkształcenie dewiatorowe

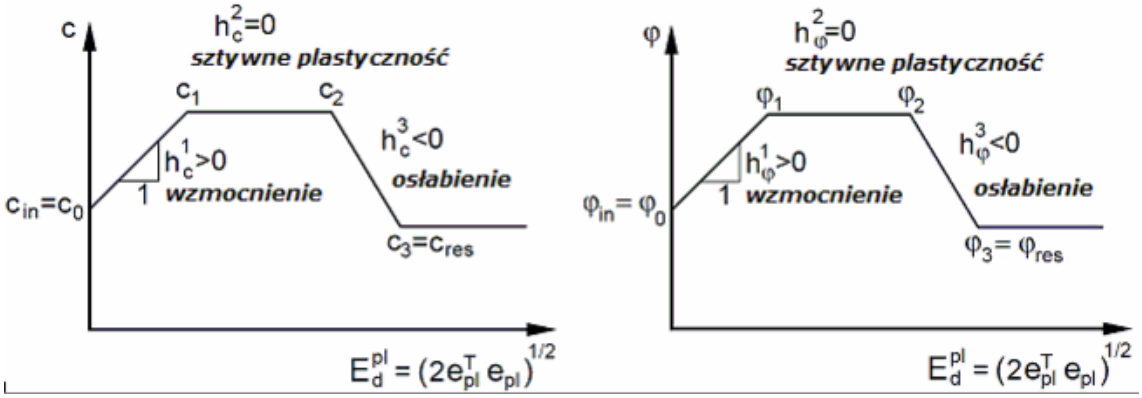
e_{ij}^{pl} - tensor plastycznego odkształcenia dewiatorowego

ε_{ij}^{pl} - tensor odkształcenia plastycznego

ε_{v}^{pl} - plastyczne odkształcenie objętościowe

δ_{ij} - delta Kroneckera

Zakładana, odcinkami liniowa, zmienność parametrów wytrzymałościowych pokazana jest na Rysunku.



Wielo-liniowe prawo wzmocnienia-osłabienia: zależność a) spójności oraz b) kąta tarcia wewnętrznego od ekwiwalentnego dewiatorowego odkształcenia plastycznego E_d^{pl}

Kąt dylatancji ψ może być przyjęty jako stały, lub liczony w funkcji kąta tarcia wewnętrznego φ zgodnie z teorią dylatancji Rowesa:

$$\sin\psi = \frac{\sin\varphi - \sin\varphi_{cv}}{1 - \sin\varphi \sin\varphi_{cv}}$$

gdzie φ_{cv} oznacza kąt tarcia wewnętrznego przy stałej objętości zgodnej z krytycznym stanem gruntu (stan, w którym grunt ulega deformacji przy zerowych plastycznych odkształceniach objętościowych). Aby zapobiec nieskończonemu wzrostowi wartości kąta dylatancji (wzrost plastycznych odkształceń objętościowych wynikających z rozciągania) musi on zostać ograniczony, np. zależnie od wartości maksymalnego wskaźnika porowatości e_{max}, która jest akceptowalna do przyjęcia dla danego materiału. Teoria dylatancji Rowesa wymaga zdefiniowania następujących parametrów:

φ_{cv} - kąt tarcia wewnętrznego przy stałej objętości [-]

e_0 - początkowy wskaźnik porowatości

e_{max} - maksymalny wskaźnik porowatości [-]

Bieżący wskaźnik porowatości e można wyrazić za pomocą bieżącego odkształcenia objętościowego ε_v i wartości początkowego wskaźnika porowatości e_0 jako:

$$\lim_{\Delta V \to 0} \frac{\Delta V}{V} = \varepsilon_v = \frac{e - e_0}{1 + e_0}$$

$$\varepsilon_v = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$$

gdzie: e - bieżący wskaźnik porowatości

e_0 - początkowy wskaźnik porowatości

ε_v - całkowite odkształcenie objętościowe

Gdy bieżący wskaźnik porowatości e przekracza wartość maksymalnego wskaźnika porowatości e_{max}, to wartość kąta ψ ustawiana jest na 0.

Kąt dylatancji

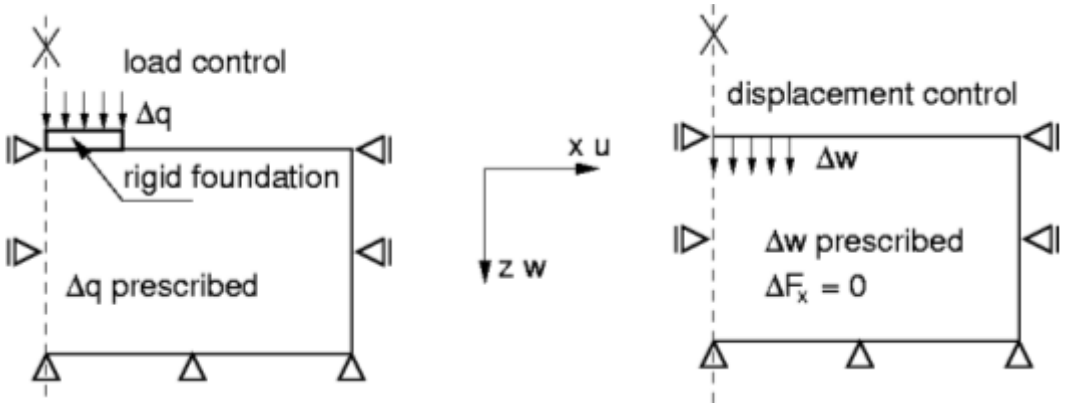
Kąt dylatancji ma wpływ na wielkość plastycznego odkształcenia objętościowego powstającego w trakcie ścinania plastycznego i uważany jest za stały podczas odkształcenia plastycznego. Wartość $\psi = 0$ odpowiada odkształceniu przy ścinaniu z zachowaniem objętości.

Iły (niezależnie od warstw prekonsolidowanych) wykazują bardzo małą wielkość dylatancji ($\psi \approx 0$). W przypadku piasków, kąt dylatancji zależy od kąta tarcia wewnętrznego. Dla gruntów niespoistych (piaski, żwiry) o wartości kąta tarcia wewnętrznego $\varphi > 30°$ wartość kąta dylatancji można oszacować na $\psi = \varphi - 30°$. Ujemna wartość kąta dylatancji jest dopuszczalna tylko dla dość luźnych piasków. W większości przypadków, można jednakże przyjąć wartość $\psi = 0$.

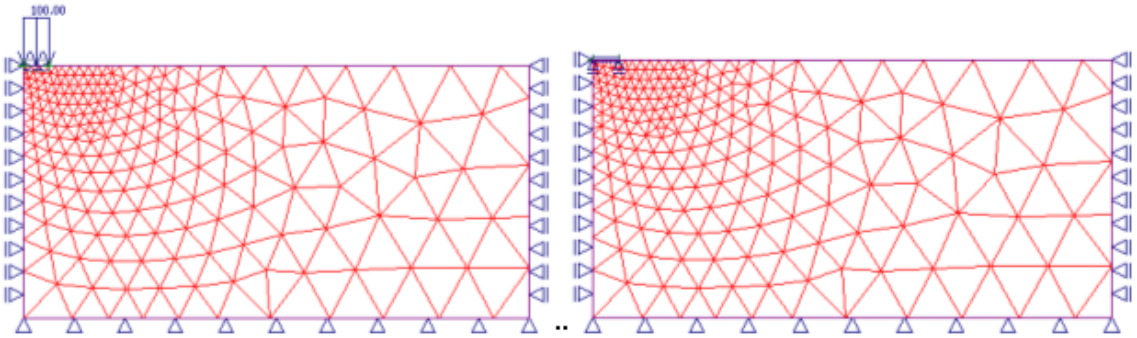
Wpływ modelu materiałowego

W celu zilustrowania wpływu poszczególnych modeli stosowanych do przewidywania reakcji konstrukcji przedstawimy teraz przykład płytkiego fundamentu obciążonego równomiernym obciążeniem q. Pewnym uproszczeniem tego zadania jest założenie nieskończenie sztywnego fundamentu obciążonego przez określone przemieszczenia.

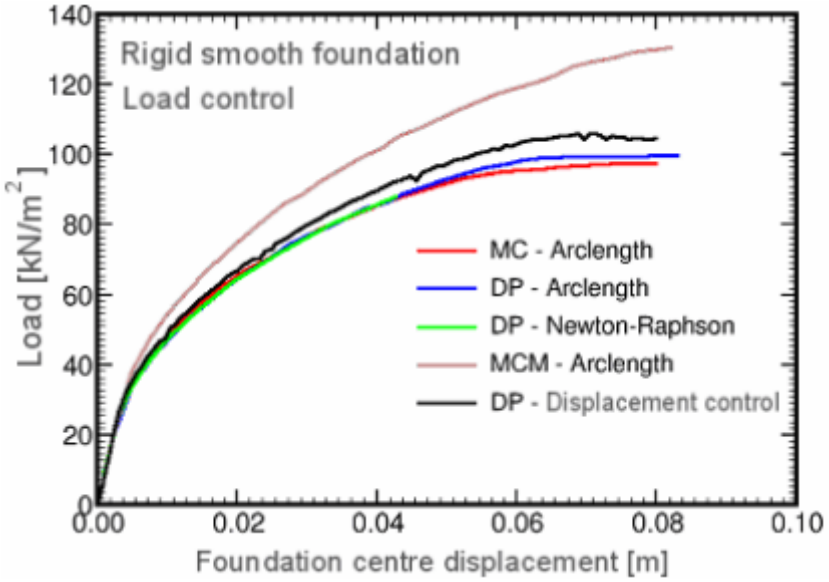
Na Rysunku przedstawiono model geometryczny i siatkę elementów skończonych dla poszczególnych zadań. Pominięto wpływ ciężaru gruntu i ciężaru własnego fundamentu na reakcję. Ze względu na symetrię modelu, analizowano tylko jedną połowę konstrukcji.



Zadanie: ława fundamentowa



Model geometryczny i siatka elementów skończonych



Wyniki analizy

Uzyskana w wyniku obliczeń reakcja gruntu na działanie obciążenia zewnętrznego była znacznie sztywniejsza w przypadku modelu MCM niż w modelach DP i MC, które w tym zadaniu wykazały zachowanie podobne.

Modyfikowany model Cam-Clay (MCC)

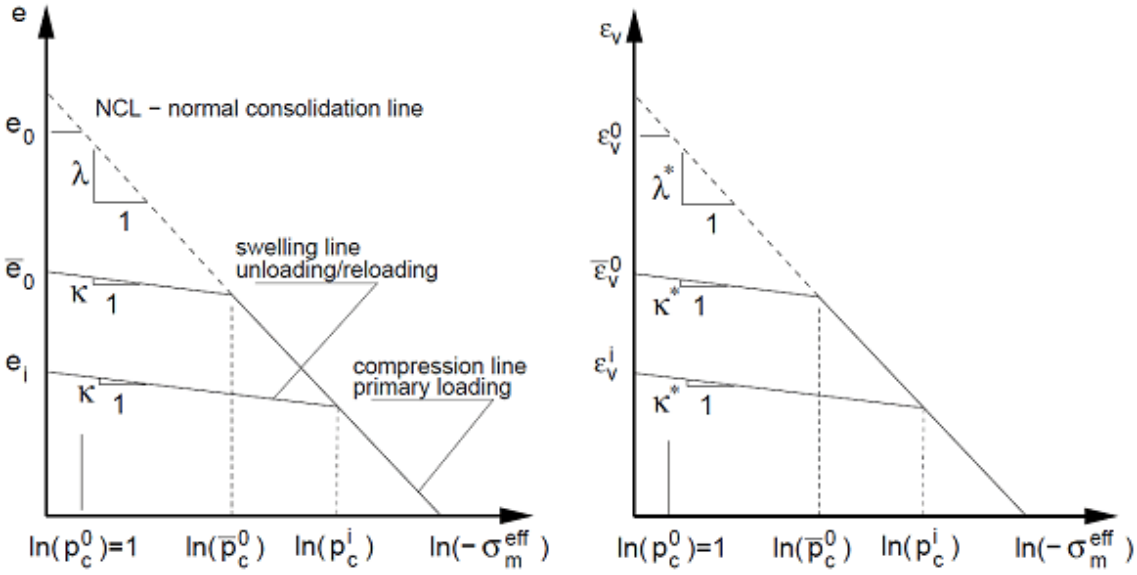
Model MCC opracowano początkowo dla warunków obciążenia trójosiowego. Pomiary doświadczalne wykonywane w plastycznych iłach posłużyły za podstawę opracowania konstytutywnego modelu wyrażającego zmienność wskaźnika porowatości e (odkształcenie objętościowe ε_v) w funkcji logarytmu średniego naprężenia efektywnego σ_m^{eff}, co ilustruje kolejny Rysunek. Między dwoma wykresami istnieje następująca zależność:

$$\lambda^* = \frac{\lambda}{1+e}, \quad \kappa^* = \frac{\kappa}{1+e}$$

κ - nachylenie linii pęcznienia [-]

λ - nachylenie NCL (normalnej linii konsolidacji) [-]

e - bieżący wskaźnik porowatości [-]



Reakcja materiałowa podczas konsolidacji izotropowej (model konstytutywny)

Wykres składa się z normalnej linii konsolidacji (NCL) i szeregu linii pęcznienia. Przy pierwszym obciążeniu, zachowanie się gruntu rodzimego określa linia NCL. Następnie, przyjmujemy, że grunt był poddany konsolidacji do pewnego poziomu naprężenia, określanego mianem naprężenia prekonsolidacyjnego p_c, a następnie został odciążony zgodnie z bieżącą linią pęcznienia. Potem, przy odciążeniu, zachowanie się gruntu przebiega początkowo wzdłuż linii pęcznienia, aż do osiągnięcia stanu naprężeń określonego przez parametr p_c, istniejącego przed odciążeniem. W tym momencie grunt zaczyna zachowywać się w sposób określony przez normalną linię konsolidacji (piersze obciążenie - krzywa ściskania).

Do oszacowania wartości parametrów κ i λ służą następujące wzory:

$$\lambda = \frac{C_c}{2,3}$$

$$\kappa = 1,3.\frac{1-\nu}{1+\nu}.C_s$$

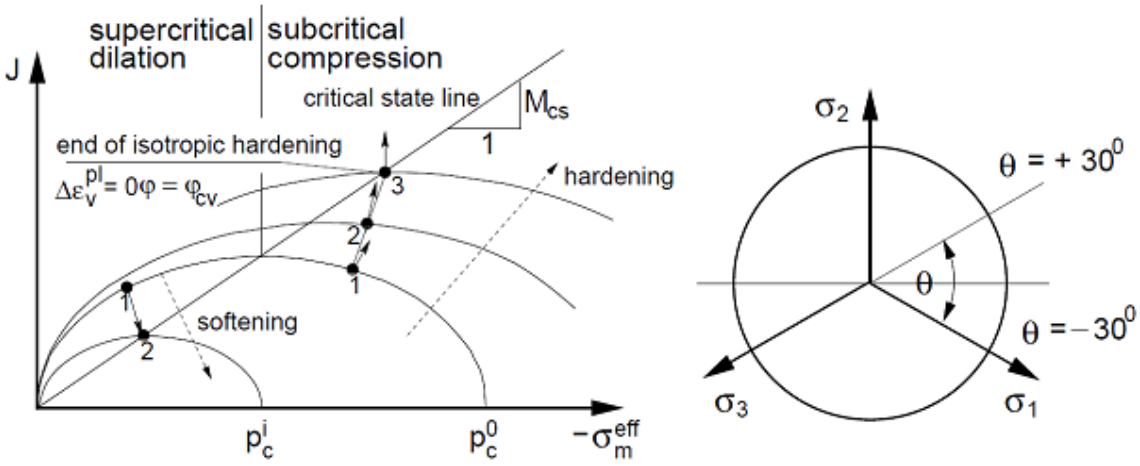
gdzie: C_c wskaźnik ścśliwości jednowymiarowej

C_s wskaźnik pęcznienia jednowymiarowego

Wartości parametrów określane są w prostym badaniu edometrycznym.

Powierzchnia zniszczenia jest gładka bez możliwości rozwoju naprężeń rozciągających. Model MCC umożliwia, w przeciwieństwie do pierwszej grupy modeli, bezpośrednie modelowanie wzmocnienia lub osłabienia z odkształcenia dla gruntów skonsolidowanych lub prekonsolidowanych, nieliniowej zależności odkształcenia objętościowego od średniego naprężenia efektywnego i warunków granicznych idealnej plastyczności. Przy zastosowaniu modelu MCC, grunty pod obciążeniem ścinającym mogą być odkształcane bez zniszczenia (punkty 1, 2 dla wzmocnienia, punkt 2 dla osłabienia) aż do osiągnięcia stanu krytycznego (punkty 3 i 2, odpowiednio dla wzmocnienia i osłabienia). Grunt podlega dalszemu

odkształceniu w ścinaniu przy założeniu idealnej plastyczności, bez zmiany e i σ_m^{eff}. Przy odciążeniu zakłada się liniową odpowiedź masywu gruntowego.



Projekcja funkcji plastyczności na płaszczyznę południkową i dewiatorową

Ewolucja powierzchni uszkodzenia (wzmocnienie/osłabienie) przebiega pod wpływem bieżącego parcia prekonsolidacji p_C

$$p_c^{i+1} = p_c^i \exp\left[\frac{-\Delta\varepsilon_v^{pl}}{\lambda^* - \kappa^*}\right]$$

gdzie: p_c^{i+1} - bieżące parcie prekonsolidacji

$\Delta\varepsilon_v^{pl}$ - przyrost plastycznego odkształcenia objętościowego

Oprócz parametrów κ i λ, wartości ciężaru własnego i współczynnika Poissona, model MCC wymaga zdefiniowania następujących trzech parametrów:

M_{cs} - nachylenie linii stanu krytycznego [-]

OCR - wskaźnik prekonsolidacji [-]

e_0 - początkowy wskaźnik porowatości [-]

Sposób wiarygodnej inicjalizacji modeli opisano w rozdziale "Numeryczna implementacja modeli MCC i GCC".

Nachylenie linii krytycznej M_{cs} może być wyznaczone z następującego wzoru:

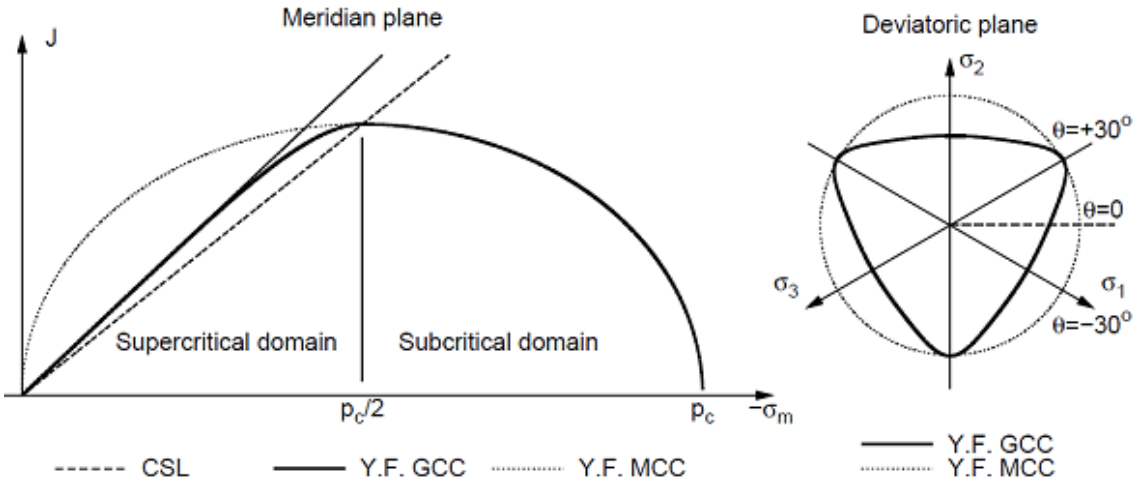
$$M_{cs}^{+30^\circ}(\varphi_{cv}) = \frac{2.\sqrt{3}.\sin\varphi_{cv}}{3 - \sin\varphi_{cv}}$$, w przypadku trójosiowego ściskania

$$M_{cs}^{-30^\circ}(\varphi_{cv}) = \frac{2.\sqrt{3}.\sin\varphi_{cv}}{3 + \sin\varphi_{cv}}$$, w przypadku trójosiowego rozciągania

gdzie φ_{cv} jest kątem tarcia wewnętrznego przy stałej objętości odpowiadającej stanowi krytycznemu.

Uogólniony model Cam-Clay (GCC)

Model ten stanowi znaczne udoskonalenie Modyfikowanego modelu Cam Clay (MCC), zwłaszcza przy modelowaniu gruntów w obszarze nadkrytycznym (zob. Rysunek), gdzie powierzchnia plastyczności jest zgodna z klasycznymi modelami Mohra-Coulomba, Drucker-Pragera i Modyfikowanym Modelem Mohra-Coulomba. W odróżnieniu od Modyfikowanego Modelu Cam Clay (linia przerywana), model GCC reprezentuje - tak jak model MMC - trójkąt o zaokrąglonych narożach na powierzchni dewiatorowej. Wykres modelu MCC, tak samo jak modelu Druckera-Pragera, ma postać koła. W obszarze podkrytycznym obydwa modele zachowują się w taki sam sposób. Przy odciążeniu zakłada się liniową odpowiedź masywu gruntowego. Model GCC jest dostępny tylko po wybraniu funkcji zaawansowanych w programie. Sposób wiarygodnej inicjalizacji modeli opisano w rozdziale "Numeryczna implementacja modeli MCC and GCC".



Projekcja powierzchni plastyczności w modelach MCC i GCC na płaszczyznę południkową i dewiatorową

Parametry materiałowe niezbędne dla Uogólnionego Modelu Cam clay (GCC) są takie same, jak dane materiałowe do modeli MCC i MMC:

κ - kąt nachylenia linii pęcznienia

λ - kąt nachylenia normalnej linii konsolidacji (ang. NCL)

e_0 - początkowy wskaźnik porowatości

OCR - wskaźnik prekonsolidacji

c - spójność

φ - kąt tarcia wewnętrznego

φ_{cv} - kąt tarcia wewnętrznego przy stałej objętości [-]

ν - współczynnik Poissona

Do oszacowania wartości parametrów κ i λ służą następujące wzory:

$$\lambda = \frac{C_c}{2,3}$$

$$\kappa = 1,3.\frac{1-\nu}{1+\nu}.C_s$$

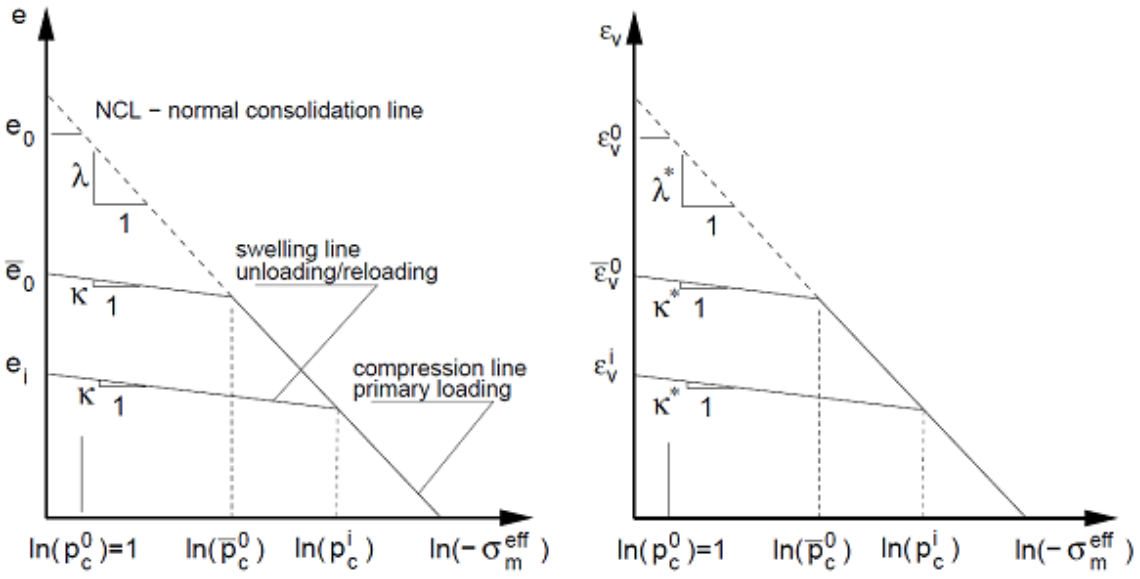
gdzie: C_c - wskaźnik ściśliwości jednowymiarowej

C_s - wskaźnik pęcznienia jednowymiarowego

Wartości parametrów określane są w prostym badaniu edometrycznym.

Podobnie jak w przypadku modelu MCC, formuła modelu GCC oparta jest o związek między wskaźnikiem porowatości (odkształcenie objętościowe) i średnim naprężeniem efektywnym, jak pokazano na kolejnym rysunku. Między dwoma wykresami istnieje następująca zależność:

$$\lambda^* = \frac{\lambda}{1+e}, \quad \kappa^* = \frac{\kappa}{1+e}$$



Reakcja materiałowa podczas konsolidacji izotropowej (prawo konstytutywne)

Ewolucja powierzchni plastyczności (wzmocnienie/osłabienie) przebiega pod wpływem bieżącego parcia prekonsolidacji p_c:

$$p_c^{i+1} = p_c^i \exp\left[\frac{-\Delta\varepsilon_v^{pl}}{\lambda^* - \kappa^*}\right]$$

gdzie: p_c^{i+1} - bieżące parcie prekonsolidacji

$\Delta \varepsilon_v^{pl}$ - przyrost plastycznego odkształcenia objętościowego

Numeryczna implementacja modeli MCC i GCC

Ważnym krokiem, zapewniającym niezawodne stosowanie modeli MCC i GCC jest określenie początkowego naprężenia prekonsolidacji p_c^{in} i odpowiadającego mu modułu odkształcenia objętościowego K^{in}. Parametry te nie są jednak bezpośrednio definiowane przez użytkownika. Są one określane przez program na podstawie zakładanego rozkładu początkowego naprężenia geostatycznego. Oto trzy podstawowe możliwości określenia początkowego naprężenia geostatycznego:

1. Z zastosowaniem procedury K_o

Zastosowanie procedury K_O prowadzi do uzyskania następującej wartości początkowego naprężenia geostatycznego:

$$\sigma_m = \frac{1}{3}\gamma\, h(1+2K_0)$$

gdzie: K_O - współczynnik parcia gruntu w spoczynku

γ - ciężar jednostkowy gruntu

h - aktualna głębokość pod powierzchnią terenu

Przy założeniu normalnej konsolidacji wartość p_c^{in} określana jest w taki sposób, że naprężenie uzyskane z pomocą procedury K_O spełnia warunek graniczny:

$$p_c^{in} = -\frac{J^2}{M_{cs}^2 \sigma_m} - \sigma_m$$

gdzie: M_{CS} - nachylenie linii stanu krytycznego

J - równoważne naprężenie dewiatorowe

σ_m - naprężenie średnie

Wartości J i σ_m definiowane są za pomocą następujących równań:

$$S_{ij} = \sigma_{ij} - \sigma_m \delta_{ij} \qquad \sigma_{ij} = D_{ijkl}\, \varepsilon_{ij} \qquad \sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$$

$$e_{ij} = \varepsilon_{ij} - \frac{1}{3}\varepsilon_v \delta_{ij} \qquad S_{ij} = 2Ge_{ij} \qquad J = \sqrt{\frac{1}{2} S_{ij} S_{ij}}$$

$$J = GE_d \qquad \sigma_m = K\varepsilon_v \qquad e_v = \varepsilon_x + e_y + e_z$$

$$E_d = \sqrt{e_{ij} e_{ij}}$$

$$K = \frac{E}{3(1-2v)} = \frac{GE}{3(3G-E)} = \frac{2(1+v)}{3(1-2v)} G$$

gdzie:

E_d	-	równoważne naprężenie dewiatorowe
e_{ij}	-	tensor odkształcenia dewiatorowego
ε_{ij}	-	tensor naprężeń ogólnych
ε_v	-	odkształcenie objętościowe
σ_{ij}	-	tensor naprężenia
s_{ij}	-	tensor naprężenia dewiatorowego
δ_{ij}	-	delta Kroneckera
D_{ijkl}	-	tensor podatności
G	-	moduł sprężystości przy ścinaniu
K	-	moduł sprężystości objętościowej
E	-	moduł Younga
v	-	współczynnik Poissona

W przypadku ściskania lub rozciągania trójosiowego można określić kąt nachylenia linii stanu krytycznego M_{cs} korzystając z następujących równań:

$$M_{cs}^{+30^\circ}(\varphi_{cv}) = \frac{2\sqrt{3}\sin\varphi_{cv}}{3-\sin\varphi_{cv}}$$

$$M_{cs}^{-30^\circ}(\varphi_{cv}) = \frac{2\sqrt{3}.\sin\varphi_{cv}}{3+\sin\varphi_{cv}}$$

Dla gruntów prekonsolidowanych, początkowa wartość p_c^{in} modyfikowana jest w następujący sposób:

$$p_c^{in} = p_c^{in} OCR$$

Początkowa wartość modułu objętościowego wynika ze wzoru:

$$K^{in} = -\frac{1+e}{\kappa}\sigma_m$$

gdzie bieżący wskaźnik porowatości e zapisywany jest tak:

$$e = e_0 - \lambda \ln\left(p_c^{in}\right) + \kappa \ln\left(-\frac{p_c^{in}}{\sigma_m}\right)$$

Dla małych naprężeń $\left|\sigma_m^{in}\right| < 1$ otrzymujemy:

$$p_c^{in} = 1$$

$$K_{in} = -\frac{1+e^0}{\kappa}$$

2. Standardowa analiza (sprężysta)

Program umożliwia zmianę modelu między fazami budowy. Jeżeli nie można zastosować procedury K_o, to możliwe jest wykonanie obliczeń przy założeniu sprężystej reakcji gruntu ilastego. Uzyskane w ich wyniku wartości naprężeń służą do określenia początkowych

wartości p_c^{in} i K^{in} przy wykorzystaniu wcześniej zdefiniowanych wzorów. W kolejnych fazach budowy, wstępny sprężysty model materiałowy jest zastępowany przez wymagany model MCC lub GCC.

3. Standardowa analiza (plastyczna)

Opcja ta umożliwia konsolidację gruntu przy założeniu nieliniowego zachowania się podczas powstawania naprężenia geostatycznego. Efektem jest rozwój odkształceń plastycznych już w pierwszej fazie budowy. Tak, jak w procedurze K_o rozważamy tu grunt skonsolidowany normalnie, który podczas odkształcenia wykazuje zachowanie się zgodne z normalną linią konsolidacji, przy początkowych wartościach p_c^{in} i K^{in} równych:

$$p_c^{in} = 1$$

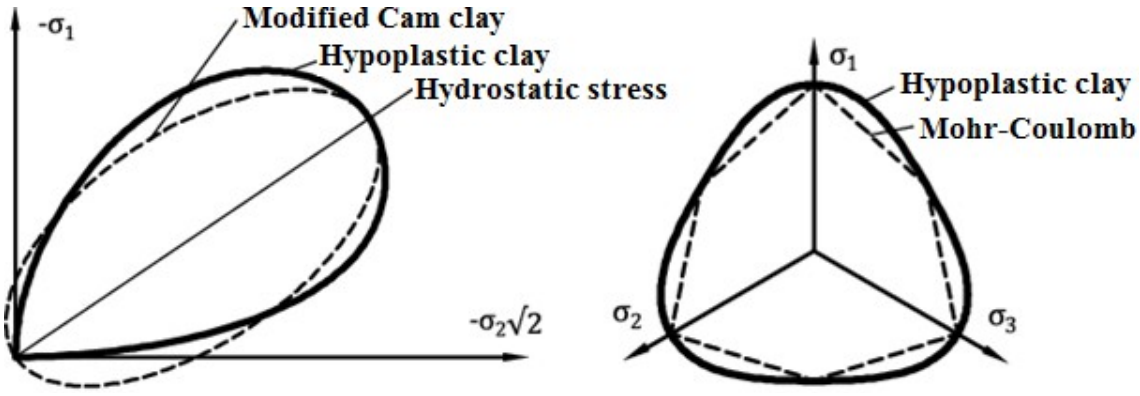
$$K_{in} = -\frac{1+e^0}{\kappa}$$

Przed kolejnym krokiem obliczeniowym, wynikające odkształcenia plastyczne ustawiane są na wartość zero. W pewnych przypadkach, taki sposób obliczeń może nie prowadzić do zbieżnych wyników.

Model hipoplastyczny dla iłów

Model hipoplastyczny glin (iłów) ma zastosowanie w modelowaniu drobnoziarnistych gruntów miękkich. Podobnie jak wszystkie inne modele należy on do rodziny standardowych modeli fenomenologicznych. Jako model określający reakcje gruntu zalicza się go do modeli stanów krytycznych. (Cam Clay, Uogólniony Cam Clay). Model ten jednakże uwzględnia nieliniową reakcję gruntu zarówno przy obciążaniu, jak i odciążaniu. W porównaniu do innych modeli opartych na teorii plastyczności, pozwala on na wyliczenie tylko całkowitych odkształceń. Tak więc nie ma w nim rozróżnienia między odkształceniami sprężystymi i plastycznymi. Wskazania rodzaju i umiejscowienia potencjalnych uszkodzeń (deformacji) gruntu, podawane w innych modelach w postaci ekwiwalentnych dewiatorycznych odkształceń plastycznych, w modelu hipoplastycznym mogą być przedstawiane poprzez rozkład aktywnego kąta tarcia wewnętrznego.

Przy określaniu reakcji gruntu, model ten pozwala na odzwierciedlenie różnych sztywności w obciążaniu i odciążaniu, osłabianiu, lub wzmacnianiu, w zależności od zagęszczenia gruntu i zmianie objętości przy ścinaniu (rozszerzanie, kompresja). Rzeczywista sztywność zależy nie tylko od kierunku obciążania, ale również od stanu gruntu wyrażanego jego porowatością. Inaczej niż w modelach Cam Clay, model ten całkowicie wyklucza naprężenia rozciągające w gruncie - zobacz rysunek 1a.



Rysunek 1: Stan brzegowy modelu hipoplastycznego - (a) w porównaniu do powierzchni plastyczności w modelu Cam Clay, w płaszczyźnie południkowej; (b) w porównaniu do powierzchni plastyczności w modelu Mohr-Coulomb'a, w płaszczyźnie dewiatorowej

W przypadku modelu hipoplastycznego standardowa powierzchnia plastyczności zamieniona jest przez tzw. powierzchnię stanu brzegowego. Jej rzut na płaszczyznę dewiatorową jest podobny jak dla modelu z rysunku 1.b. Niestowarzyszone prawo płynięcia powoduje tworzenie niesymetrycznej macierzy sztywności (proszę porównać np. z modelem Mohr-Coulomb gdy mamy różne wartości dla kąta tarcia wewnętrznego φ i kąta dylatancji ψ). Szczegóły odnośnie opracowania modelu można znaleźć w [1].

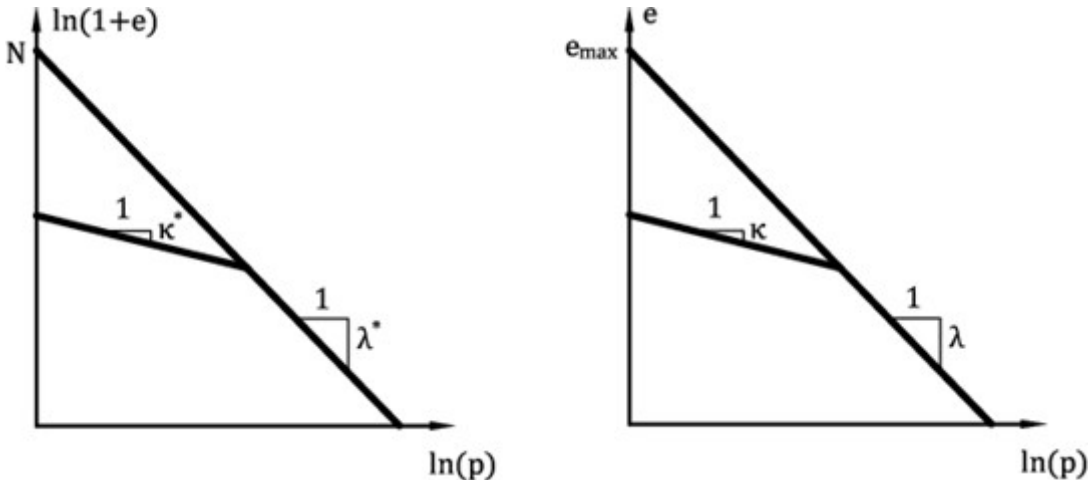
Parametry modelu

Podstawowa wersja modelu wymaga określenia 5. parametrów materiałowych:

- Kąt tarcia wewnętrznego dla stałej objętości (kąt krytyczny tarcia wewnętrznego) φ_{cv}
- Nachylenie linii pęcznienia κ^*
- Nachylenie normalnej linii konsolidacji (NCL - normalna linia konsolidacji) λ^*
- Początek normalnej linii konsolidacji N
- Stosunek modułów odkształcenia objętościowego i ścinania r

Parametry κ^*, λ^* oraz N wyznaczają bilinearny (dwuliniowy) wykres konsolidacji izotropowej w skali logarytmicznej - rysunek 2a. Jeśli dostępne są parametry bilinearnego modelu Cam Clay (skala półlogarytmiczna, rysunek 2b), możliwe jest wprowadzenie tych wartości, na podstawie których zostaną wyznaczone na podstawie analizy wstecz parametry modelu hipoplastycznego. Parametrami bilinearnego modelu Cam Clay są:

- Nachylenie linii pęcznienia κ (w skali półlogarytmicznej)
- Nachylenie normalnej linii konsolidacji λ (w skali półlogarytmicznej)
- Wskaźnik porowatości e_{max} dla normalnej konsolidacji izotropowej przy ciśnieniu $1kPa$



Rysunek 2: Wykres bilinearny konsolidacji izotropowej - (a) Model Hipoplastyczny, (b) Model Cam clay

Kąt krytyczny tarcia wewnętrznego φ_{cv}

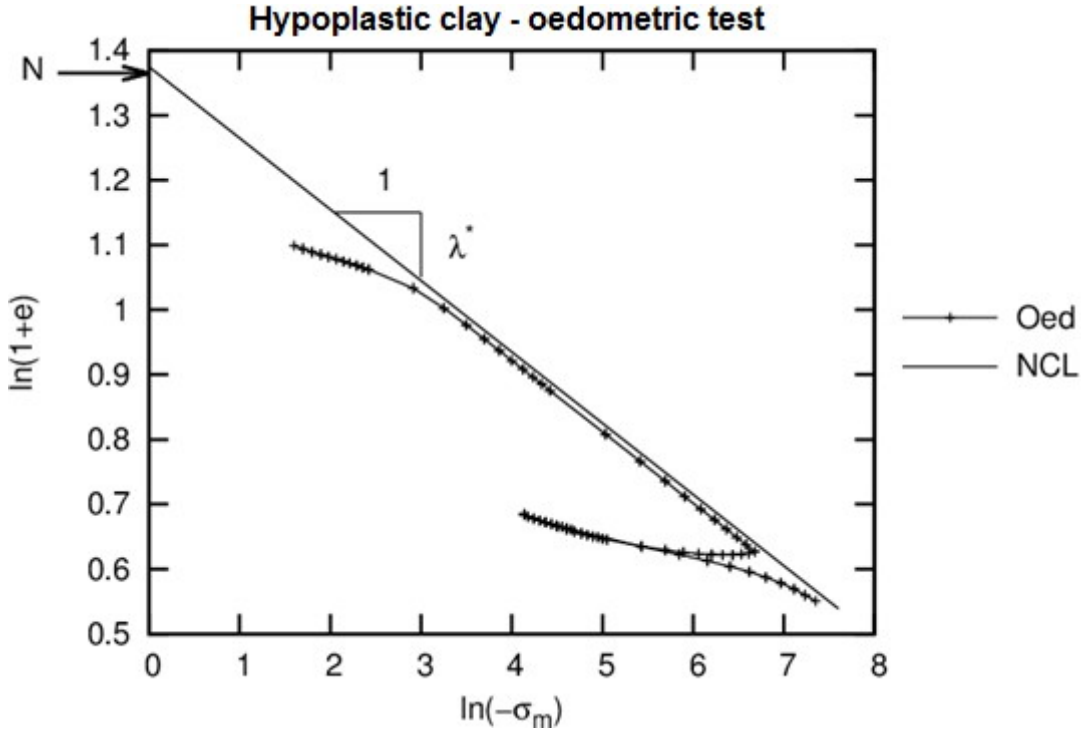
- Identyczny zarówno dla próbki oryginalnej (NNS), jak i próbki odtworzonej, a następnie prekonsolidowanej
- Można wyznaczyć na podstawie standardowego badania trójosiowego, stosując różne

ciśnienia komorowe na odtworzoną próbkę

- Można wykonać badanie dla warunków z drenażem i bez drenażu (szybszy)
- Zwykle wartości tego parametru mieszczą się w zakresie $18°$ - 35°

Nachylenie normalnej linii konsolidacji λ^*

- Wyznaczane graficznie z krzywej obciążenia w badaniu edometrycznym lub w badaniu konsolidacji izotropowej - zobacz rysunek 3
- Dla glin (iłów) zwięzłych preferowane jest wykonanie badania na próbce odtworzonej
- Zwykle wartości tego parametru mieszczą się w zakresie 0.04 - 0.15



Rysunek 3: Przebieg symulacji badania edometrycznego z modelem hipoplastycznym

Nachylenie linii pęcznienia κ^*

- Może być wyznaczone podobnie jak dla parametru λ^* - graficznie, lub poprzez wykonanie badania parametrycznego - poprzez porównanie pomiarów i symulacji po krzywej odciążania w badaniu konsolidacji edometrycznej, lub izotropowej - zobacz rysunek 3
- Zwykle wartości parametru κ mieszczą się w zakresie 0.01 - 0.02
- Wskaźnik (stosunek) λ/κ powinien być większy niż 4.0

Początek normalnej linii konsolidacji N

- Wyznaczany jest graficznie z krzywej obciążania w badaniu konsolidacji edometrycznej, lub izotropowej
- Test należy przeprowadzać na próbce nienaruszonej - gdy szukane jest przecięcie linii "lambda" z osią pionową, możliwe jest wyznaczenie nachylenia "lambda" uzyskanego z próbki odtworzonej - zobacz rysunek 3.
- Zwykle wartości tego parametru mieszczą się w zakresie 0.8 - 1.6

Wskaźnik (stosunek) modułów odkształcenia objętościowego i ścinania r

- Fizyczne znaczenie tego parametru wyrażone jest wzorem $r = K_i/G_i$
- K_i odpowiada stycznemu modułowi odkształcenia objętościowego przy kompresji izotropowej, zgodnie z normalną linią konsolidacji.
- G_i odpowiada stycznemu modułowi ścinania z badania na ścinanie bez drenażu, przy założeniu takiego samego stanu naprężeń.
- Parametr r może być wyznaczony poprzez badania parametryczne w badaniu trójosiowego ścinania
- Zwykle wartości tego parametru mieszczą się w zakresie 0.05 - 0.7

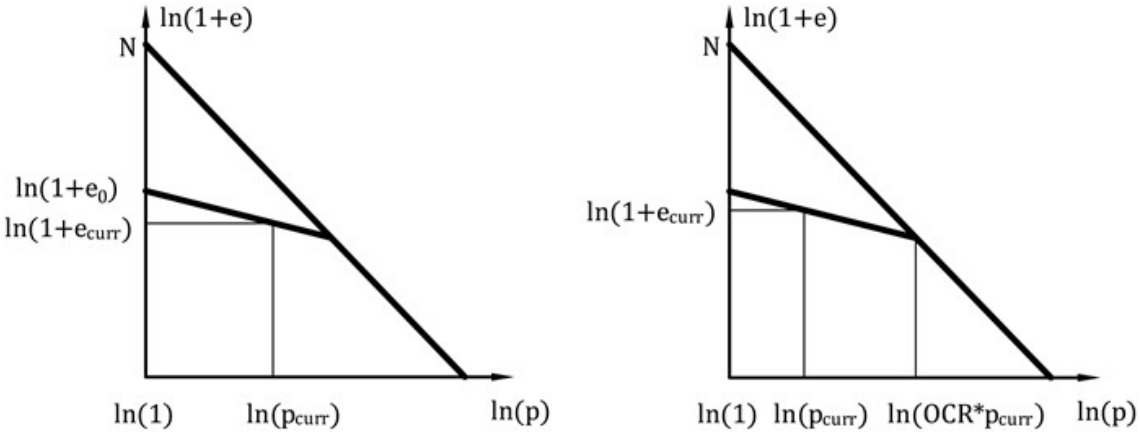
Określanie początkowego stanu gruntu

W modelu hipoplastycznym rzeczywisty stan gruntu jest powiązany z rzeczywistą zagęszczeniem wyrażanym wskaźnikiem porowatości. Implementacja modelu pozwala na bezpośrednie zdefiniowanie wskaźnika porowatości, lub może to być on wyliczony na podstawie wprowadzonego wskaźnika prekonsolidacji OCR.W pierwszym przypadku wprowadzona wartość e_0 odpowiada wskaźnikowi porowatości mierzonemu na nieobciążonej próbce wydobytej z określonej głębokości - zobacz rysunek 4a. W drugim przypadku, definiowana jest wartość OCR. Parametr ten przedstawia stosunek między naprężeniem średnim na linii NCL i początkowym naprężeniem średnim - zobacz rysunek 4b.

Przy inicjalizacji zadania za pomocą proceduy K_0, stan naprężeń początkowych odpowiada stanowi z końca tego etapu obliczeń. Jeśli wyliczenia rozpoczniemy od zerowego naprężenia początkowego (model hipoplastyczny jest już wprowadzony w pierwszym etapie obliczeń), przyjmuje się, że wartość naprężenia początkowego $p_{in} = 1\ kPa$ i utrzymuje się $e_{curr} = e_0$. Pod warunkiem, że inny materiał (uwzględniony na przykład w pierwszym etapie obliczeń) zostanie zamieniony przez model hipoplastyczny (np. w drugim etapie), przyjmowany jest początkowy stan naprężeń z poprzedniego etapu obliczeń.

Należy przypomnieć, że przy zastosowaniu modelu sprężystego, w pierwszej fazie obliczeń, wynikowy stan naprężeń odpowiada wynikom osiągniętym z zastosowaniem procedury K_O dla K_O (gdzie v jest wsp. Poissona).

$$K_o = -\frac{v}{1-v}$$

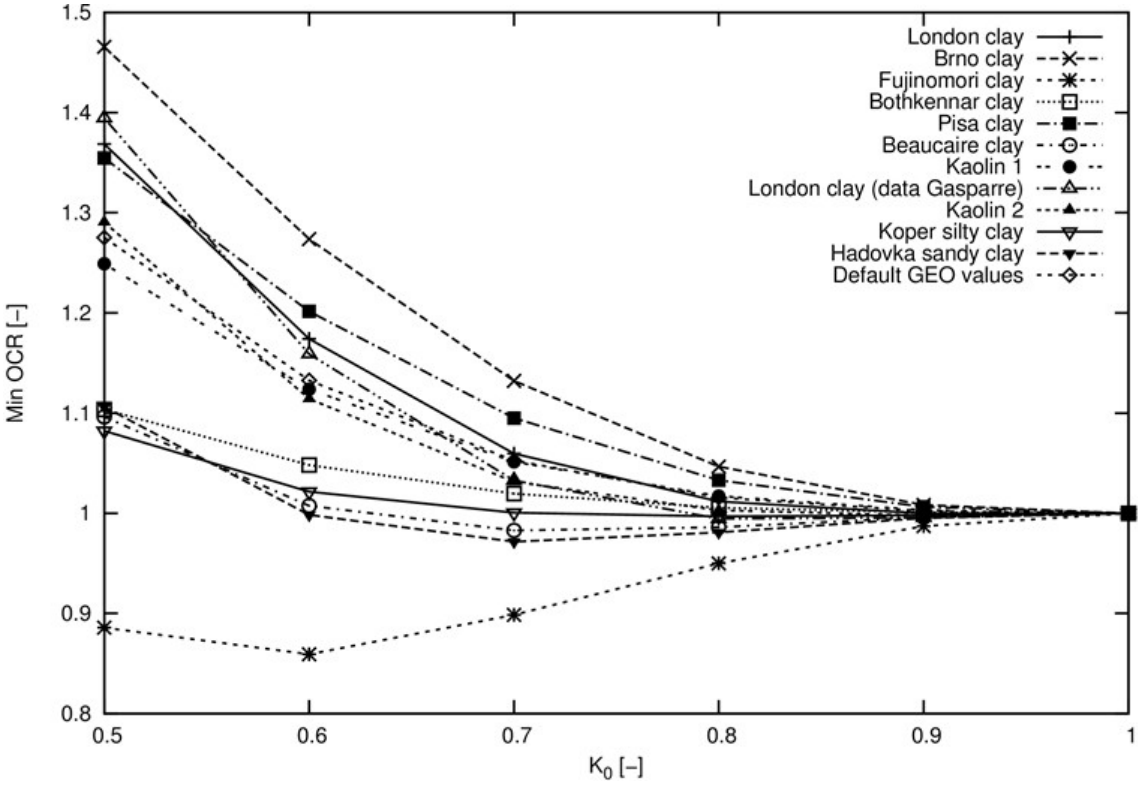


Rysunek 4: Inicjalizacja wskaźnika porowatości - (a) bezpośrednie wprowadzenie początkowego wskaźnika porowatości, (b) inicjalizacja poprzez OCR

Z rysunku 5 widać, że dla normalnie skonsolidowanych gruntów, stan, dla którego $OCR = 1.0$ odpowiada tylko konsolidacji izotropowej, dlatego również $K_O = 1.0$. Jeśli grunt znajduje się w

niezerowym stanie naprężenia dewiatorowego odpowiadający OCR dla normalnie skonsolidowanych gruntów jest większy od 1.0. Dokładna wartość zależy zarówno od parametów gruntu jak i ścieżki naprężenia (wartość K_O). Rysunek 5 pokazuje zależność minimów dla róznych wartości K_O i różnych rodzajów gruntów spoistych. Konkretne wartości podano również w Tablicy 1. Podstawowe parametry materiałowe tego zestawu gruntów podano w Tablicy 2.

Wybór OCR = 1.0 dla gruntów normalnie skonsolidowanych oraz K_O różnego od 1.0 powoduje nieakceptowalny stan naprężeń, który może prowadzić do braku konwergencji obliczeń.



Rysunek 5: Zależność OCR od współczynnika parcia spoczynkowego Ko

Soil/K_o	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
	OCR					
London clay	1.369	1.174	1.059	1.011	1.000	1.0
London clay (data Gasparre)	1.394	1.159	1.033	0.994	0.995	1.0
Fujinomori clay	0.886	0.859	0.898	0.950	0.987	1.0
Bothkennar clay	1.104	1.048	1.019	1.001	1.001	1.0
Pisa clay	1.354	1.202	1.095	1.033	1.006	1.0
Beaucaire clay	1.096	1.008	0.983	0.986	0.996	1.0
Kaolin 1	1.249	1.123	1.051	1.017	1.003	1.0
Kaolin 2	1.291	1.114	1.031	1.001	0.998	1.0
Koper silty clay	1.081	1.021	1.001	0.997	0.998	1.0
Brno clay	1.466	1.274	1.132	1.047	1.008	1.0
Evropská (Hadovka) sandy clay	1.106	0.998	0.972	0.981	0.995	1.0
GEO FEM default values	1.275	1.132	1.052	1.016	1.002	1.0

Tabliza 1: Wskaźnik prekonsolidacji OCR dla wybranych gruntów w funkcji wartości Ko

Soil	φ_{cv}	λ	κ	N	r
London clay	22.6	0.11	0.016	1.375	0.4
London clay (data Gasparre)	21.9	0.1	0.02	1.26	0.5
Fujinomori clay	34.0	0.045	0.011	0.887	1.3
Bothkennar clay	35.0	0.12	0.01	1.34	0.07
Pisa clay	21.9	0.14	0.01	1.56	0.3
Beaucaire clay	33.0	0.06	0.01	0.85	0.4
Kaolin 1	27.5	0.11	0.01	1.32	0.45
Kaolin 2	27.5	0.07	0.01	0.92	0.67
Koper silty clay	33.0	0.103	0.015	1.31	0.3
Trmice clay	18.7	0.09	0.01	1.09	0.18
Brno clay	19.9	0.13	0.01	1.51	0.45
Evropská (Hadovka) sandy clay	32.4	0.0411	0.0078	0.593	0.2
GEO FEM default values	27.0	0.1	0.01	1.2	0.4

Tablica 2: Parametry materiałowe wybranych gruntów

Odkształcenia międzyziarnowe

Podstawowa wersja modelu jest odpowiednia dla analiz z przeważającym kierunkiem ścieżki naprężeń. W przypadku obciążeń cyklicznych (obciążanie - odciążanie - ponowne obciążanie) bardziej odpowiednie jest stosowanie zaawansowanych formuł z zastosowaniem koncepcji odkształceń międzyziarnowych. Pozwala to na ograniczenie nieakceptowanego wzrostu deformacji stałych powstających podczas małych powtarzających się zmianach obciążenia (typu "zapadkowego"). Wprowadzenie odkształceń międzyziarnowych pozwala na modelowanie dużych sztywności, charakterystycznych dla gliny (iłu) w zakresie małych odkształceń. Opcja ta nie wchodzi do żadnych innych modeli zastosowanych w programie GEO5 MES. Koncepcja odkształceń międzyziarnowychh zakłada, że całkowita deformacja gruntu składa się z małych deformacji warstw międzyziarnowych (odkształceń międzyziarnowych), oraz deformacji powodowanych przez wzajemne przesuwanie się ziaren. Zmiana ścieżki obciążenia powoduje najpierw zmianę odkształcenia międzyziarnowego. Po osiągnięciu wartości granicznej odkształcenia międzyziarnowego, ustalona zostaje deformacja powiązana z ruchem ziaren.

Stosowanie koncepcji odkształceń międzyziarnowych wymaga zdefiniowania dodatkowych pięciu parametrów:

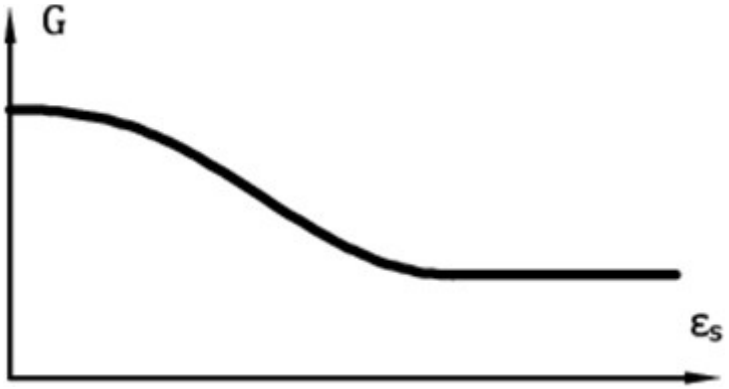
- Zakresu elastycznego odkształcenia międzyziarnowego R
- Parametrów m_R oraz m_T kontrolujących sztywność małych odkształceń
- Parametrów β_r oraz χ kontrolujących stopień degradacji sztywności przy wzroście odkształceń ścinających.

Parametry te są kalibrowane na podstawie znanych już danych materiałowych podstawowego modelu hipoplastycznego.

Margines sprężystej deformacji międzyziarnowej R

- Wyznacza zakres maksymalnego odkształcenia międzyziarnowego
- Może być wyznaczony na podstawie badań parametrycznych krzywej degradacji $G = G(\varepsilon_s)$, Rysunek 5

- Zamiennie może być uwzględniony jako stała niezależna od materiału $R = 10^{-4}$
- Zwykle wartości tego parametru mieszczą się w zakresie $2*10^{-5}$ - $1*10^{-4}$



Rysunek 6: Krzywa pokazująca utratę sztywności modułu ścinania

Parametr m_R

- Wyznacza wielkość modułu ścinania przy zmianie ścieżki obciążenia w płaszczyźnie południkowej (σ_m - J) o $180°$
- Zależność liniowa między parametrem m_R i początkowym modułem ścinania G_0 uzyskiwana jest z wyrażenia $G_0 = p*(m_r/(r*\lambda*)$
- Początkowy moduł ścinania może być wyznaczony z pomiaru propagacji fal ścinania [2]
- Zwykle wartości tego parametru mieszczą się w zakresie 4.0 - 20.0

Parametr m_T

- Wyznacza wielkość modułu ścinania przy zmianie ścieżki obciążenia w płaszczyźnie południkowej (σ_m - J) o $90°$
- $m_R/m_T = G_0/G_{90}$
- Wskaźnik (stosunek) modułów początkowych można oszacować na podstawie wskaźnika tych modułów dla dużych odkształceń.Wartość stosunku m_R/m_T zwykle mieści się w zakresie 1.0 - 2.0
- Zwykle wartości parametru m_T mieszczą się w zakresie 2.0 - 20.0

Parametry β_r **oraz** χ

- Wyznaczają szybkość degradacji sztywności przy wzrastającym odkształceniu ścinającym
- Mogą być wyznaczone poprzez badania parametryczne krzywej degradacji $G = G(\varepsilon_S)$
- Zwykle wartości parametru β_r mieszczą się w zakresie 0.05 - 0.5
- Zwykle wartości parametru χ mieszczą się w zakresie 0.5 - 6

Literatura:

[1] D. Mašín, A hypoplastic constitutive model for clays, International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics., 29:311-336, 2005.

Zmienna sztywność

Istnieje możliwość zdefiniowania zmienności sztywności gruntu z głębokością. Taką własność

gruntu określa się w oknie dialogowym "**Edycja parametrów gruntu**" poprzez wybór opcji "**Zmiana sztywności z głębokością**". Zdefiniowanie parametru k_d zapewnia przypisanie poszczególnym elementom skończonym różnych wartości modułu Younga w zależności od ich zagłębienia (odległości w pionie od powierzchni terenu w pierwszej fazie budowy) według następującego równania:

$$E(h) = E_0 + k_d h$$

gdzie: E_0 - moduł Younga na powierzchni terenu [MPa]

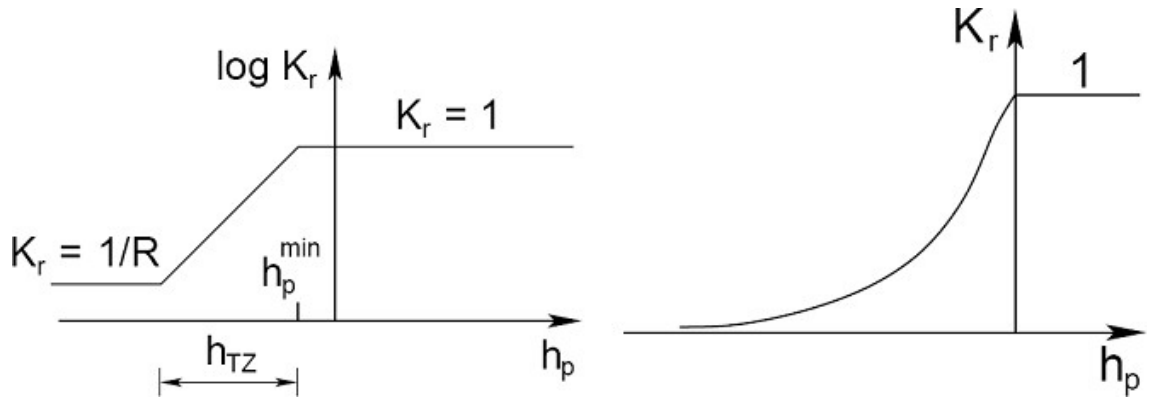
h - głębokość [m]

Modele materiałowe w analizie przepływu

Analiza przepływu dla stanu ustalonego wykorzystuje prawo Darcy'ego, wyznaczające związek między prędkością przepływu i gradientu wysokości hydraulicznej. W obecnej wersji programu przyjęto stałe wartości współczynników filtracji niezależnie od ciśnienia porowego.

Program wymaga ponadto zdefiniowania początkowego wskaźnika porowatości e_0 dla określenia porowatości bieżącej n, a następnie rzeczywistej prędkości wody płynącej tylko przez pory $v_S = v/n$, gdzie v oznacza prędkość przepływu przez całą powierzchnię filtracji. Zasadniczo, wskaźnik porowatości $e_0 = 1$ odpowiada porowatości gruntu $n = 50\ \%$.

Poprzez wprowadzenie względnego współczynnika filtracji K_r, program umożliwia śledzenie strefy przejściowej między strefą całkowitej saturacji ($S = 1$, $K_r = 1$) i aeracji ($K_r => 0$) w obrębie elementu gruntowego. Jako przykład, rozważymy problem przepływu swobodnego. Proces śledzenia strefy przejściowej wykorzystuje jeden z trzech modeli strefy przejściowej określający zmienność względnego współczynnika filtracji K_r jako funkcji wysokości ciśnienia porowego, zob. rysunki.



(a) model Logarytmiczno-liniowy model [1], (b) model Van Genuchtena [2]

Model logarytmiczno-liniowy

Logarytmiczno-liniowy model strefy przejściowej, opisany m.in. w poz. [1], definiują następujące parametry:

h_p^{min} - minimalna wartość ciśnienia porowego w strefie pełnej saturacji [kPa]

h_{TZ} - szerokość strefy przejściowej [m]

R - parametr redukcji, liczba odpowiednio duża R=100 do 1000 [-], domyślnie zakłada

się R = 1000 [-]

Względny współczynnik filtracji K_r opisany jest następująco:

$$K_r(h_p) = 10^{\frac{(h_p - h_p^{min}) \cdot \log R}{h_{TZ}}}$$

Model Gardnera

Jest to model ekwiwalentny, zależny tylko od jednego parametru α [$1/m$]. Względny współczynnik filtracji K_r w tym przypadku opisany jest jako [4]:

$$K_r(h_p) = e^{\alpha \cdot h_p}$$

Model Van Genuchtena

W tym przypadku, wartość względnego współczynnika filtracji K_r wyraża wzór:

$$K_r(h_p) = \frac{\left\{1 - (-\alpha h_p)^{n-1}\left[1 + (-\alpha h_p)^n\right]^{-m}\right\}^2}{\left[1 + (-\alpha h_p)^n\right]^{m/2}}$$

gdzie α [$1/m$], n, m = 1 - $1/n$ są parametrami modelu. Ich wartości można uzyskać za pomocą laboratoryjnych pomiarów krzywych retencji, których przybliżenie ma postać:

$$S = S_r + (S_{sat} - S_r)\Theta$$

$$\Theta = \left[\frac{1}{1 + (\alpha h_p)^n}\right]^m$$

gdzie: S_{sat} - stopień nasycenia gruntu wodą w stanie pełnej saturacji; domyślnie: S_{sat} = 1

S_r - rezydualny stopień saturacji

Θ - znormalizowana zawartość wody

Parameter Θ definiuje się następująco:

$$\Theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

gdzie: θ_r - zawartość wody rezydualnej (resztkowej) [m^3/m^3]

θ_S - zawartość wody w stanie pełnego nasycenia [m^3/m^3]

Bieżący stopień nasycenia S może być określony jako stosunek zawartości wody θ i porowatości n w sposób następujący (należy przy tym rozróżnić n reprezentujące porowatość oraz n, pojawiające się w modelu van Genuchtena; są to dwie różne zmienne):

$$S_w = \frac{\theta}{n}$$

Modele Logarytmiczno-liniowy i Gardnera przyjmują uproszczoną wersję modelu van Genuchtena według [5]:

$$\Theta = K_r^b$$

gdzie $b > 0$ [-] jest parametrem dostosowującym, umożliwiającym dokładniejszą aproksymację danych retencyjnych danego gruntu.

Zalecamy stosowanie parametrów z przedstawionych poniżej tablic. Parametry te zostały wprowadzone do programu i pochodzą z oryginalnych źródeł.

Optymalne wartości parametrów modelu van Genuchtena dla różnych klasyfikacji wykonanych z wykorzystaniem USDA oraz FAO zestawiono w poniższych tablicach.

Tablica współczynników regresji dla wielkości ziarn USDA według Van Genuchtena (1991)

Grunt (rozmiar ziaren)	K_{sat} $[m/den]$	**RETC**				**Rosetta**			
		e [-]	S_r [-]	α $[1/m]$	n [-]	e [-]	S_r [-]	α $[1/m]$	n [-]
Piasek	7,13	0,75	0,11	14,5	2,68	0,60	0,14	3,5	3,18
Piasek ilasty	3,50	0,70	0,14	12,4	2,28	0,64	0,13	3,5	1,747
Ił piaszczysty	1,06	0,70	0,16	7,5	1,89	0,63	0,10	2,7	1,448
Ił	0,25	0,75	0,18	3,6	1,56	0,66	0,15	1,1	1,474
Pył	0,06	0,85	0,07	1,6	1,37	0,96	0,10	0,7	1,677
Ił pylasty	0,11	0,82	0,15	2,0	1,41	0,78	0,15	0,5	1,663
Piaszczysto pylasty ił	0,314	0,64	0,26	5,9	1,48	0,62	0,16	2,1	1,33
Ił pylasty (ił gliniasty)	0,062	0,70	0,23	1,9	1,31	0,79	0,18	1,6	1,415
Ił pylasty (ił pylasto-gliniasty)	0,017	0,75	0,21	1,0	1,23	0,93	0,19	0,8	1,52
Ił piaszczysty (glina piaszczysta)	0,029	0,61	0,26	2,7	1,23	0,63	0,30	3,3	1,207
Ił pylasty (glina pylasta)	0,0048	0,56	0,19	0,5	1,09	0,93	0,23	1,6	1,321
Ił (glina)	0,048	0,61	0,18	0,8	1,09	0,85	0,21	1,5	1,253

Tablica współczynników regresji dla wielkości ziarn FAO według Van Genuchtena (1998)

Grunt (rozmiar ziaren)	K_{sat} $[m/den]$	e [-]	S_r [-]	α $[1/m]$	n [-]
Grunt powierzchniowy (do głębokości 1 m)					

Gruby (C)	0,600	0,68	0,062	3,83	1,3774
Średni (M)	0,121	0,78	0,023	3,14	1,1804
Średni-drobny (MF)	0,023	0,75	0,023	0,83	1,2539
Drobny (F)	0,248	1,08	0,019	3,67	1,0120
Bardzo drobny (VF)	0,150	0,78	0,016	2,65	1,1033
Grunt położony głębiej ($> 1\ m$)					
Gruby (C)	0,700	0,58	0,068	4,30	1,5206
Średni (M)	0,108	065,	0,026	2,49	1,1689
Średni-drobny (MF)	0,040	0,70	0,024	0,82	1,2179
Drobny (F)	0,085	0,93	0,021	1,98	1,0861
Bardzo drobny (VF)	0,082	1,17	0,019	1,68	1,0730

Tablica : system klasyfikacji tekstury gruntów FAO

Grunt	**Definicja**
Gruby (C) Średni (M)	ił $< 18\%$ i piasek $> 65\%$ $18\% <$ ił $< 35\%$ i $15\% <$ piasek lub: ił $< 18\%$ i $15\% <$ piasek $< 65\%$
Średnio drobny (MF)	ił $< 35\%$ i piasek $< 15\%$
Drobny (F)	$35\% <$ ił $< 60\%$
Bardzo drobny (VF)	$60\% <$ ił

Literatura:

Zagadnienie opisane jest szczegółowo w [2].

[1] D.M. Potts, L. Zdravkovič, Finite element analysis in geotechnical engineering - theory, Thomas Telford, London, 1999.

*[2] M. Th. Van Genuchten, A closed formulation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Journal Soil Science Society of America **44**, 239-259, 1988..*

[3] M. Šejnoha, Finite element analysis in geotechnical design, to appear (2015).

*[4] W. R. Gardner, Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation to evaporation from a water table, Soil Science **85(4)**, 228-232, 1958.*

[5] M. Šejnoha, T. Janda, H. Pruška, M. Brouček, Modelování geotechnických úloh metodou konečných prvků: Teoretická základy a aplikace, předpokládaný rok vydání (2015).

[6] USDA 1951. Soil Survey Manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook No. 18. US Government Printing Office. Washington DC.

[7] Wösten, J.H.M., et. al. 1998. Using existing soil data to derive hydraulic parameters for simulation models in environmental studies and in land use planning. Final Report on the European Union Funded project. DLO Winand Staring Centre. Report 156, Wageningen, NL. ***p. 106****. ISSN 0927-04537.*

Współczynnik filtracji

Zdolność ośrodków porowatych (gruntów, skał) do transportu wód o danych własnościach (np. wód podziemnych) określana jest mianem filtracji. Ilość wody przepływającej przez określoną powierzchnię można wyrazić za pomocą **współczynnika filtracji**. Współczynnik filtracji reprezentuje kąt nachylenia zależności liniowej prędkości przepływu wody od gradientu hydraulicznego (gradient wysokości hydraulicznej) według prawa Darcye'go zapisanego w postaci:

$$\mathbf{v} = n\mathbf{v}_s = -K_r\mathbf{K}_{sat}\nabla h$$

where:
- $\mathbf{v}_s$ - prędkość wody przepływającej przez pory
- n - porowatość
- K_r - względny współczynnik filtracji
- $\mathbf{K}_{sat}$ - macierz przepuszczalności zawierająca współczynniki filtracji gruntu w stanie pełnej saturacji k_x , k_y , których wartości mogą być różne w kierunku poszczególnych osi współrzędnych
- ∇h - gradient wysokości hydraulicznej

Całkowita wysokość hydrauliczna w danym punkcie obszaru przepływu stanowi sumę współrzędnej pionowej i wysokości ciśnienia hydraulicznego, i stąd określa wysokość wody w piezometrze w danym punkcie:

$$h = \frac{p}{\gamma_w} + y$$

gdzie:
- γ_w - ciężar wody

Przykładowe wartości współczynników filtracji dla różnych rodzajów gruntów *(Myslivec)*

Rodzaj gruntu	**Współczynnik filtracji** k [$m/dobę$]	**Przemieszczenie się cząstki wody o** 1 cm dla gradientu hydraulicznego i = 1 w określonym czasie
Piasek pylasty	10^{2} - 10	*6 s - 10 min*
Piasek ilasty (gliniasty)	10^{-1} - 10^{-2}	*100 min - 18 godz.*
Ił lessowy	10^{-2} - 10^{-4}	*18 godz. - 70 dni*
Ił	10^{-4} - 10^{-5}	*70 dni - 2 lata*
Grunt ilasty	10^{-5} - 10^{-6}	*2 lata - 20 lat*
Ił (glina)	10^{-6} - 10^{-7}	*20 - 200 lat*

Istnieje wiele metod oznaczania wartości współczynnika filtracji k. Dzielą się one na następujące grupy:

a) Pomiary laboratoryjne

Dostępnych jest kilka metod dla zakresu $k\ 10^{4}$ - 10^{-6} $m/dobę$.

b) Pomiary w terenie

Próbne pompowanie lub sczerpywanie, pomiar prędkości przepływu, dla zakresu $k\ 10^{6}$ - $1m/dobę$.

c) Z użyciem zależności empirycznych

$$k = 100.d_{10}^{2}.e^{2}$$

Stosowane dla gruntów niespoistych, $k\ 10^{6}$ - $10m/dobę$, pozwalają uzyskać tylko wartości przybliżone, np. wg Terzaghi'ego:

gdzie: k - współczynnik filtracji [cm/s]

d_{10} - średnica efektywna cząsteczki ciała stałego [cm]

e - wskaźnik porowatości [-]

d) Za pomocą obliczania wg procesu zagęszczenia zależnego od czasu

Niezbędna jest znajomość współczynnika zagęszczenia c_v i krzywej zagęszczenia (pół-logarytmiczna zależność odkształcenia od czasu). Jest to wyłącznie niebezpośrednie określenie współczynnika za pomocą wzoru:

$$k = \frac{c_v.\rho_w.g.a_v}{1+e_0}$$

gdzie: e_0 - początkowy wskaźnik porowatości

c_v - współczynnik zagęszczenia

ρ_w	-	gęstość objętościowa wody
g	-	przyspieszenie grawitacyjne
a_v	-	współczynnik ściśliwości

Dane podstawowe

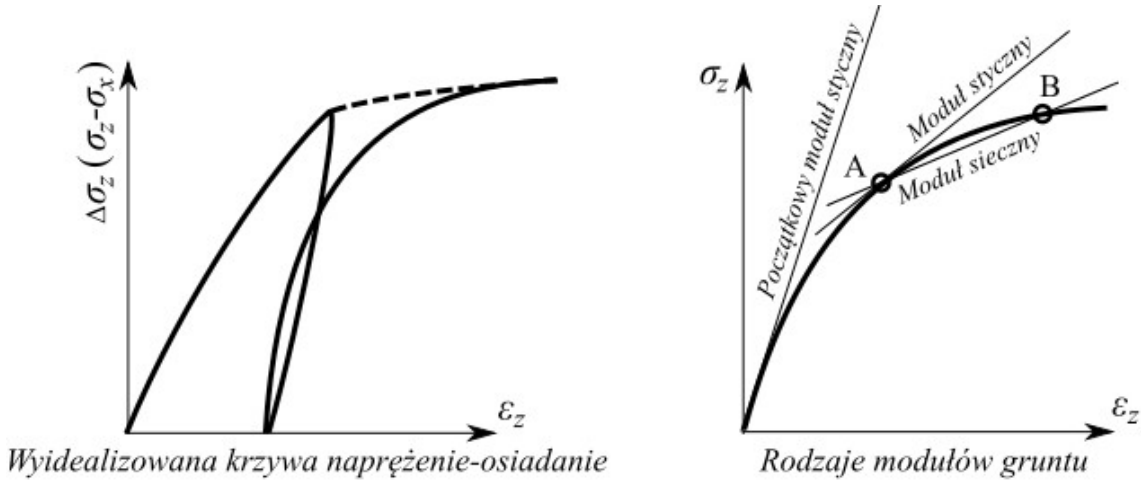
Wszystkie modele wymagają podania następujących parametrów materiałowych.

Ciężar objętościowy γ - przyjmowany jest ciężar objętościowy gruntu w stanie suchym (grunt powyżej zwierciadła wód podziemnych). Ciężar objętościowy gruntu poniżej zwierciadła wód podziemnych jest obliczany z innych parametrów wprowadzanych w części "Wypór".

Moduł odkształcenia E

Moduł odkształcenia opisuje sztywność materiału, której wartość przyjmowana jest jako stała w całym okresie obciążania. W przypadku gruntów założenie to jest jednak ważne tylko dla bardzo wąskiego przedziału odkształceń odwracalnych. Moduł odkształcenia E, po spełnieniu warunku plastyczności, ma niewielki wpływ na zachowanie modeli nieliniowych.

Nie istnieje niestety prosta odpowiedź na pytanie, z jakiej definicji skorzystać i jaką wartość tego parametru materiałowego przyjąć (początkową, styczną, sieczną, ...) dla danego modelu materiałowego. W celu wyboru danego rodzaju modułu odkształcenia, należy znać **zachowanie się gruntu** w analizowanym zadaniu geotechnicznym oraz przypisać odpowiednią wartość uzyskaną w **badaniu trójosiowym** do odpowiednich ścieżek naprężenia. Nie mniej jednak, można przedstawić pewne zalecenia.



Rozkład wyidealizowanej krzywej naprężenie-odkształcenie; określenie różnych typów modułów określanych dla gruntów

Dostępne są następujące interpretacje modułu sprężystości Younga E:

- **chwilowy moduł odkształcenia** E_0 w przypadku niewielkich obciążeń (założenie liniowej zależności między odkształceniem i naprężeniem) lub gdy obliczymy chwilową wartość osiadania,
- **sieczny moduł odkształcenia** E_{50} jest określany dla naprężenia referencyjnego równego 50% wartości naprężenia na początku zniszczenia (stosowany np. przy obliczeniach posadowień bezpośrednich lub osiadań fundamentów palowych),
- **moduł odkształcenia** E_{def} jest określany z krzywej obrazującej zależność naprężenia od odkształcenia uzyskanej doświadczalnie. Moduł ten jest potrzebny, w przypadku zastosowania

zmodyfikowanego modelu sprężystego (model zakładający rożne zachowanie się przy obciążeniu i odciążeniu). Zastosowanie tego modułu przy rozwiązywaniu zagadnienia odciążenia gruntu (np. budowle podziemne, odprężenie dna wykopu fundamentowego) prowadzi do uzyskania większych odkształceń niż przy zastosowaniu modułu odkształcenia E_{ur} określonego wg linii odciążenia r krzywej naprężenie-odkształcenie. Do określania wartości modułu odkształcenia stosowane jest następujące, przybliżone wyrażenie:

$$E_{ur} = 3.E_{def}$$

- **moduł edometryczny** E_{oed} uzależniony od poziomu naprężenia w gruncie powinien być stosowany w zależności od oczekiwanego zakresu naprężeń, które mogą w tym gruncie wystąpić - związek między E_{def} i E_{oed} określa równanie:

$$E_{oed} = \frac{E_{def}}{\beta}$$

$$\beta = 1 - \frac{2.\nu^2}{1-\nu}$$

gdzie: ν - współczynnik Poissona

E_{def} - (sieczny) moduł odkształcenia

- **moduł odkształcenia** E_{ur} określany według linii odciążenia krzywej naprężenie-odkształcenie, jest stosowany przy rozwiązywaniu problemów odciążenia gruntu (wykopy); jest niezbędny, gdy korzystamy ze zmodyfikowanego modelu sprężystego.

Wartość modułów odkształcenia należy określać, jeżeli to możliwe, w badaniach w aparacie trójosiowym. Stosowanie innych metod (sondowania, badania presjometryczne, itp.) wymaga użycia współczynników korelacji podanych w źródłach literaturowych.

Przy modelowaniu proponujemy przeprowadzenie w pierwszej kolejności analizy z uwzględnieniem sprężystego modelu materiałowego i sprawdzenie uzyskanego pola odkształceń - odkształcenia takie wykazują, zgodnie z prawem Hooka, zależność liniową od przyłożonego obciążenia i użytego modułu odkształcenia. Jeżeli uzyskane odkształcenia (przemieszczenia) okażą się od razu zbyt duże, to użytkownik powinien ponownie oszacować wartość zastosowanego początkowo modułu odkształcenia.

Współczynnik Poissona ν - współczynnik odkształcenia poprzecznego jest w przypadku jednorodnego materiału sprężystego poddanego obciążeniu normalnemu w jednym kierunku wyrażony przez:

$$\nu = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x}$$

gdzie: ε_y - odkształcenie pionowe

ε_x - odkształcenie poziome

Współczynnik Poissona określa się w stosunkowo prosty sposób. W celu wybrania jego wartości można skorzystać z bazy danych gruntowych w programie. Jeżeli zakładamy niewielkie

wartości obciążeń i stosujemy chwilowy moduł odkształcenia E_0, to musimy zastosować również wartość współczynnika Poissona v_0 uzyskaną dla obciążenia początkowego.

Naprężenie geostatyczne, wypór

Analiza naprężenia oparta jest na istnieniu warstw gruntu określonych przez użytkownika podczas wprowadzania danych. Program następnie wstawia fikcyjne warstwy w miejscach, gdzie zmieniają się naprężenie i parcie boczne (ZWG, punkty konstrukcyjne, itp.). Normalne naprężenie w i^{tej} warstwie jest obliczane w następujący sposób:

$$\sigma_i = \sum h_i \gamma_i$$

gdzie: h_i - miąższość warstwy i^{tej}

γ_i - objętościowy ciężar gruntu

Jeżeli warstwa znajduje się pod **zwierciadłem wody gruntowej**, wówczas ciężar objętościowy gruntu pod zwierciadłem wody gruntowej oblicza się za pomocą wprowadzonych parametrów gruntu w następujący sposób:

- dla opcji "**Standardowe**" z wyrażenia:

$$\gamma_{su} = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

gdzie: γ_{sat} - ciężar objętościowy gruntu nawodnionego

γ_w - ciężar objętościowy wody

- dla opcji "**Oblicz z porowatości**" z wyrażenia:

$$\gamma_{su} = (1-n)(\gamma_s - \gamma_w)$$

gdzie: n - porowatość

γ_s - ciężar właściwy gruntu

γ_w - ciężar objętościowy wody

$$\gamma_s = \frac{G_d}{V - V_p}$$

gdzie: V - objętość gruntu

V_p - objętość pustek

γ_d - ciężar objętościowy gruntu suchego

Ciężar jednostkowy wody zakładany w programie wynosi $10\ kN/m^3$ lub $0{,}00625\ ksi$.

Zakładając pochyły grunt za konstrukcją ($\beta \neq 0$) oraz warstwowe podłoże, kąt β, podczas obliczania współczynnika parcia gruntu K, jest redukowany w i^{tej} warstwie za pomocą następującego wyrażenia:

$$tg\beta_i = \frac{\gamma}{\gamma_i} tg\beta$$

gdzie: γ - ciężar jednostkowy gruntu w pierwszej warstwie pod ziemią

γ_i - ciężar jednostkowy gruntu w warstwie i^{tej} pod ziemią

β - nachylenie zbocza za konstrukcją

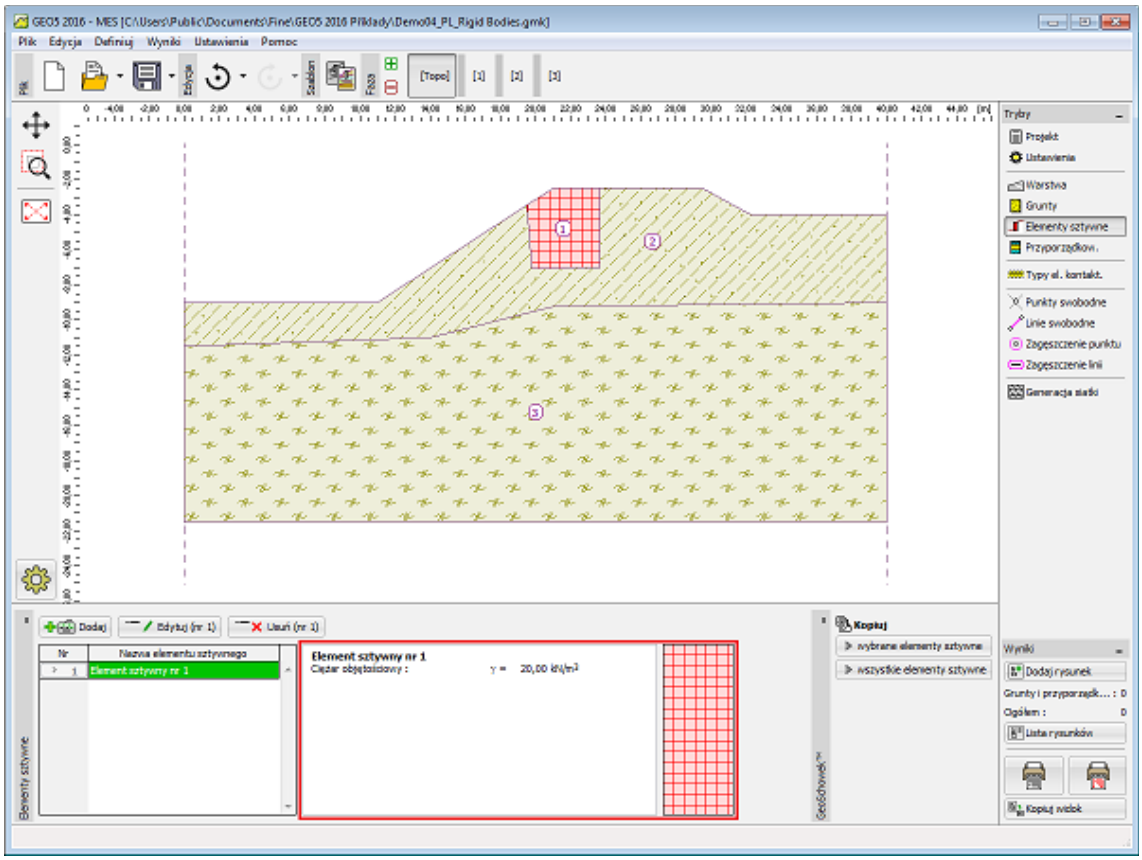
Elementy sztywne

Ramka "**Elementy sztywne**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych elementów sztywnych.

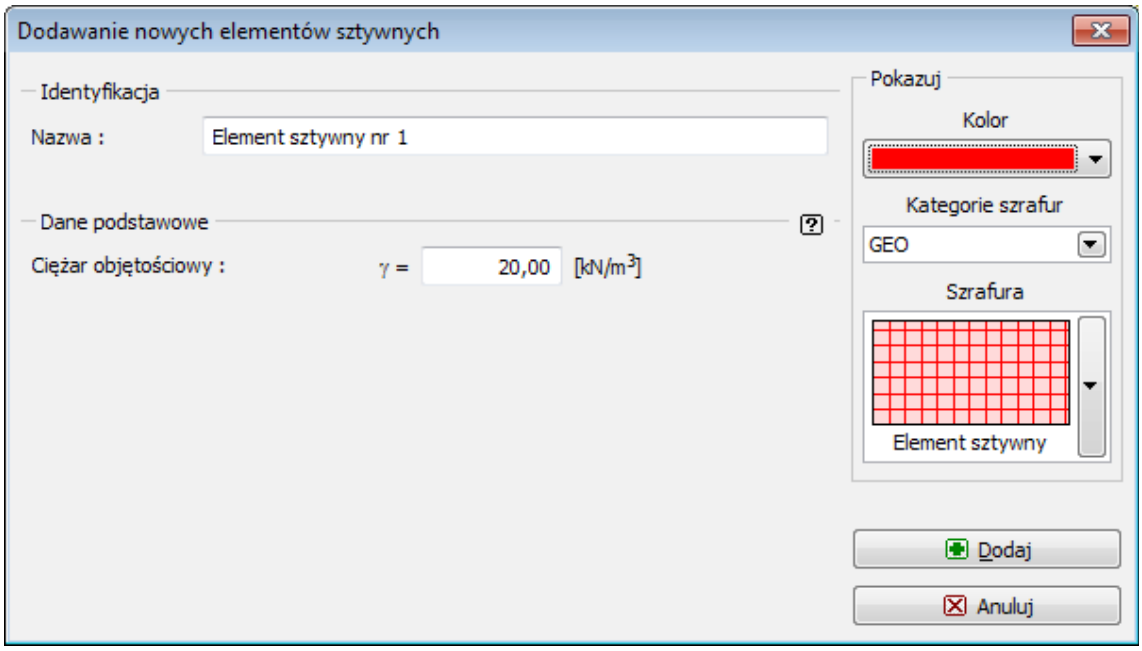
Program pozwala na dodawanie elementów sztywnych. Jedynym parametrem niezbędnym do wprowadzenia takiego elementu jest ciężar objętościowy elementu sztywnego. Materiał elementu sztywnego uważa się za **nieskończenie sztywny**. Elementy te służą głównie do modelowania masywnych konstrukcji betonowych i ścian, zarówno w analizie standardowej, jak i analizie stateczności.

Dodawanie elementów sztywnych wykonywana jest w oknie dialogowym "**Dodaj nowy element sztywny**".

Zdefiniowane elementy sztywne mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.



Ramka "Element sztywny"



Okno dialogowe "Dodaj nowy element sztywny"

Przyporządkowanie

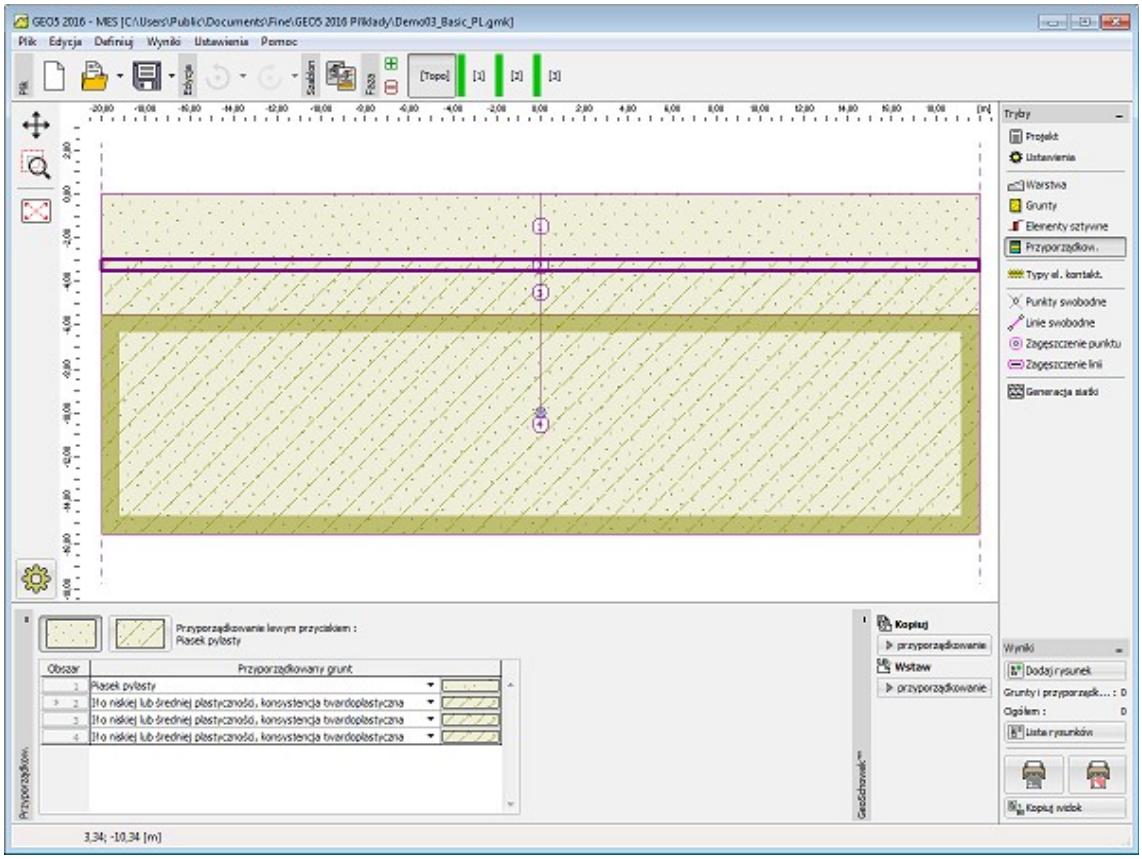
Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i związanych z nimi gruntów. Lista gruntów jest przedstawiona graficznie za pomocą przycisków na pasku nad tabelą, albo jest dostępna z listy kombinacji dla każdej warstwy profilu.

Procedurę przyporządkowywania gruntu do warstwy opisano w dalszej części pomocy.

W odróżnieniu od innych programów grunty, które są uaktywnianie w fazach obliczeniowych przyporządkowuje się raczej do obszarów, a nie do warstw. Obszary są tworzone automatycznie podczas tworzenia geometrii modelu obliczeniowego.

Gdy nowy grunt jest przyporządkowywany w trybie topologii, jest on automatycznie przyporządkowywany do wszystkich obszarów w danej warstwie geologicznej.

Zdefiniowane przyporządkowanie gruntów może być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.

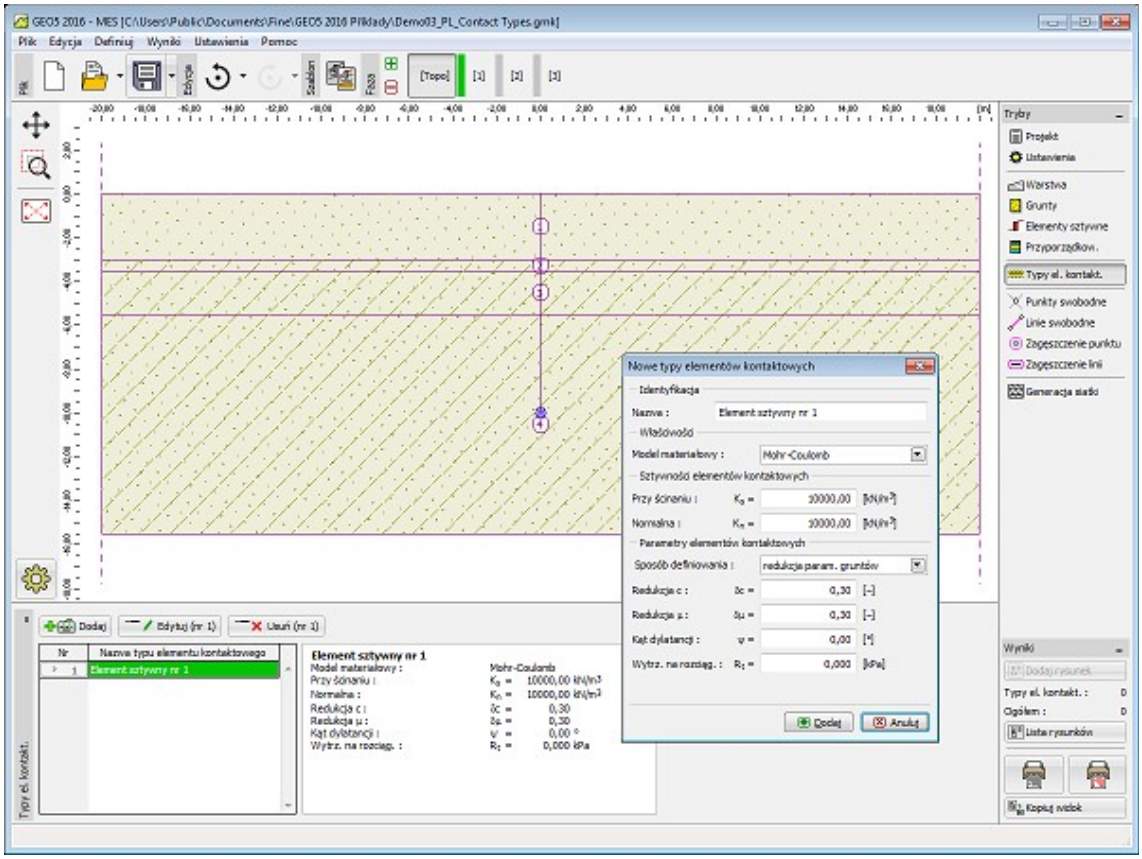


Ramka "Przyporządkowanie"

Typy elementów kontaktowych

Ramka "**Typy elementów kontaktowych**" zawiera tabelę z listą elementów kontaktowych. Dodawanie elementów kontaktowych wykonywana jest w oknie dialogowym "**Nowe typy elementów kontaktowych**".

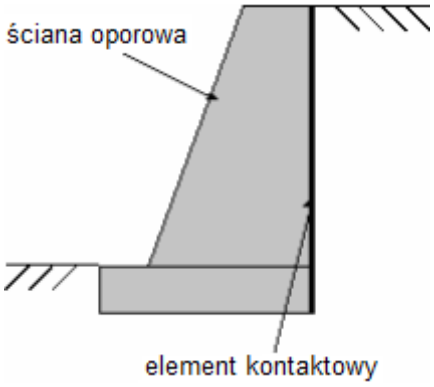
To okno dialogowe służy do definiowania nowych elementów kontaktowych, które można następnie wprowadzać do obliczeń korzystając z ramek "Elementy belkowe" i "Elementy kontaktowe". Model materiałowy elementu kontaktowego może być liniowy albo nieliniowy.



Ramka "Typy elementów kontaktowych"

Elementy kontaktowe znajdują zastosowanie w przypadkach, gdy niezbędne jest przeanalizowanie wzajemnych oddziaływań między konstrukcją i gruntem. Mogą być ponadto stosowane do modelowania złączy konstrukcyjnych lub granic pomiędzy dwoma różnymi materiałami (granica grunt - skała). Typowym przykładem zastosowania elementów kontaktowych jest **modelowanie ścianek szczelnych, ścian oporowych lub obudów tuneli**. W takich zastosowaniach, elementy kontaktowe służą do modelowania stosunkowo cienkich warstw gruntu lub skały obciążonych głównie naprężeniem ścinającym.

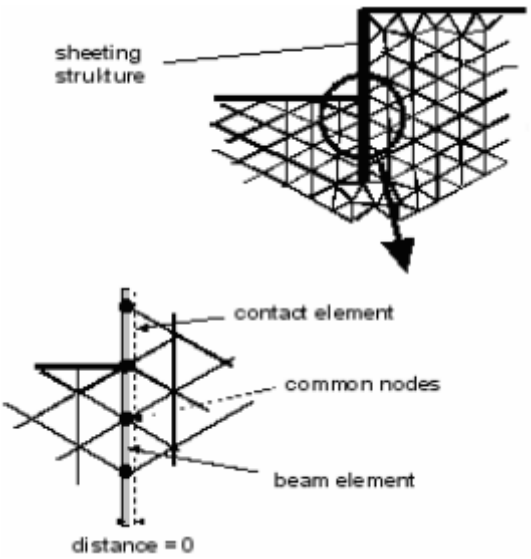
Elementy kontaktowe można również definiować niezależnie wzdłuż **poszczególnych warstw gruntów**.



Umiejscowienie elementów kontaktowych przy modelowaniu ściany oporowej

Element kontaktowy jest elementem o zerowej grubości, co pozwala na obliczanie naprężenia na granicy, jako funkcji względnego przesunięcia, które zachodzi wzdłuż elementu

kontaktowego.



Konstrukcja ścianki szczelnej reprezentowana przez element belkowy i elementy kontaktowe

Elementy kontaktowe

W programie dostępne są dwa modele materiałowe elementów kontaktowych. Można wybrać albo **model sprężysty** umożliwiający wykreślenie naprężeń kontaktowych przy założeniu sprężystego zachowania się wzdłuż elementu kontaktowego, albo **model plastyczny**. Model plastyczny bazuje na klasycznym modelu Mohra-Coulomba rozszerzonym o opcję wykluczenia naprężeń rozciągających.

Dlatego model ten nadaje się znakomicie do modelowania spękania tensyjnego. W pewnych rodzajach zastosowań, takich jak ścianki szczelne, model ten jest niezbędny do uzyskania wiarygodnych prognoz reakcji gruntu i konstrukcji.

Podstawowe parametry modelu to: spójność c, współczynnik tarcia μ i kąt dylatancji ψ. Parametry c i μ można również zdefiniować pośrednio, redukując parametry nośności gruntu c i $tan(\varphi)$ w sąsiedztwie kontaktu. Jeżeli zakładany jest kontakt między dwoma ośrodkami gruntowymi (skalnymi), to do redukcji stosuje się ośrodek o niższych wartościach parametrów c i φ.

Wtedy, parametry kontaktu definiowane są następująco:

$$c = \sigma_z . c_{zem}$$

$$\mu = \sigma_\mu . \tan(\varphi_{zem})$$

W przypadku braku lepszych danych dotyczących redukcji parametrów, można użyć następujących wartości. Dla konstrukcji stalowych w gruntach piaszczystych można zastosować parametr redukcji równy $2/3$, natomiast dla iłów można zastosować wartość $1/3$. W przypadku konstrukcji betonowych parametry te przyjmują zazwyczaj wyższe wartości. Zasadniczo, wartość parametrów redukcji powinna być niższa niż 1. Kąt dylatancji odgrywa tu taką samą rolę, jak w przypadku standardowych modeli gruntowych. Proszę pamiętać, że ustawiając wartość $\psi = 0$, zakładamy *a priori* sprężyste zachowanie się w warunkach rozciągania/ściskania. Tak więc, odkształcenie plastyczne ograniczone jest tylko do ścinania.

Dodatkowymi parametrami modelu materiałowego strefy kontaktowej są wartości sztywności sprężystej, w kierunku **normalnym** i **stycznym** - odpowiednio k_n i k_s. Można je przedstawić jako sztywności sprężyste wzdłuż danej warstwy granicznej. Prawidłowy dobór wartości tych parametrów nie jest zadaniem łatwym i zależy zwykle od rodzaju zadania. Problem można naświetlić odnosząc te sztywności do parametrów materiałowych gruntu w sąsiedztwie elementu kontaktowego. W takiej sytuacji, zastosowanie znajdują następujące związki:

$$K_n = \frac{E}{t}$$

$$K_s = \frac{G}{t}$$

gdzie: t -zakładana (fikcyjna) grubość elementu kontaktowego (granicy)

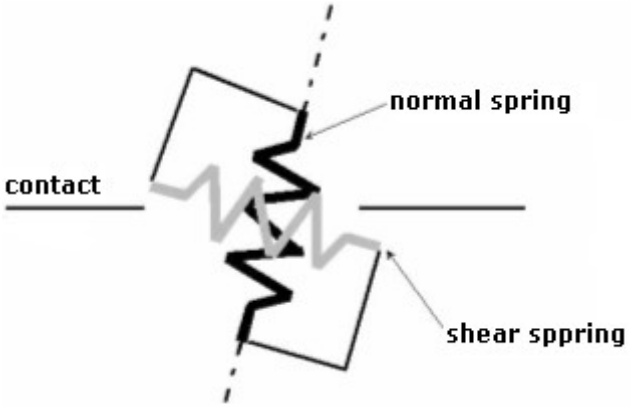
G -moduł sprężystości poprzecznej

E -moduł sprężystości Younga

W przypadku odrębnych materiałów (E_1, E_2, G_1, G_2) przyjmujemy niższą wartość k_s i k_n.

Chociaż w przypadku zachowania całkowicie plastycznego wybór parametrów k_s i k_n nie jest kwestią podstawową, to wartości przypisane tym parametrom mają decydujące znaczenie dla rozwiązania zadania nieliniowego. Jeżeli wartości te będą zbyt wysokie (powyżej $100000\ kN/m^3$) proces iteracji może oscylować. Z drugiej strony, ustawienie zbyt niskich wartości k_s i k_n (poniżej $10000\ kN/m^3$) prowadzi do otrzymania nierealistycznych odkształceń konstrukcji.

Domyślnie ustawiona jest w programie wartość $10000\ kN/m^3$.



Wizualizacja sztywności sprężystej

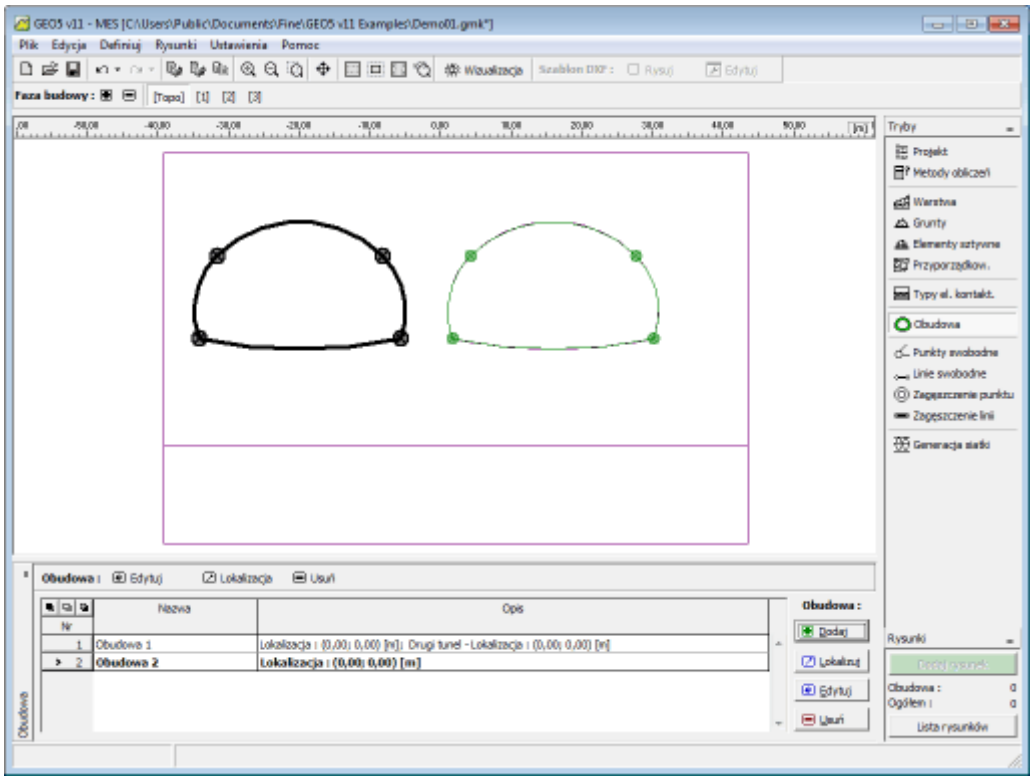
Obudowa

Ramka "**Obudowa**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych obudów. Ramka jest dostępna w programie po wybraniu trybu "**Tunel**" w oknie "Ustawienia". Moduł "Obudowa MES" upraszcza modelowanie i lokalizację poszczególnych obudów tunelu.

Moduł "Obudowa MES" jest niezależnym programem służącym do projektowania obudów.

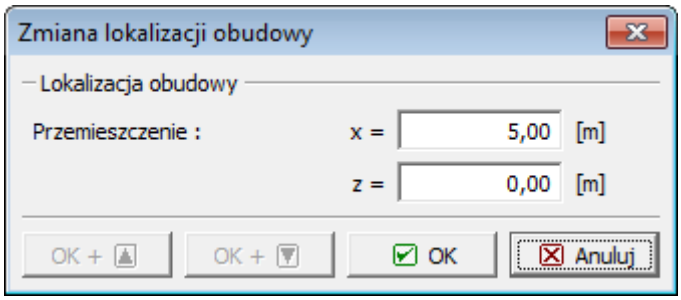
Punkty swobodne, linie swobodne, zagęszczenie linii, kotwy, belki i obciążenia belek stworzone w tym module są przekazywane do programu MES. Chociaż zachowują się w sposób standardowy, nie można ich w programie MES edytować. Edycja możliwa jest tylko w module "Obudowa MES".

Dodawanie obudów wykonywane jest w module "Obudowa MES". Dokładniejsze informacje przedstawiono w rozdziale "Obiekty aktywne".



Ramka "Obudowa"

Wciśnięcie przycisku "**Lokalizacja**" powoduje otwarcie okna dialogowego "**Zmiana lokalizacji obudowy**", które umożliwia modyfikację współrzędnych lokalizacji obudowy. Dostosowanie obudowy w programie MES możliwe jest także bez uruchamiania modułu "Obudowa MES".



Okno dialogowe "Zmiana lokalizacji obudowy"

Moduł obudowa MES

Moduł "**Obudowa MES**" upraszcza modelowanie i lokalizację poszczególnych obudów tuneli. Moduł udostępnia elementy głównego programu MES, w tym tryb "**Topo**" i fazy budowy. W trybie "Topo" moduł udostępnia ramki "Punkty swobodne", "Linie swobodne", "Zagęszczanie

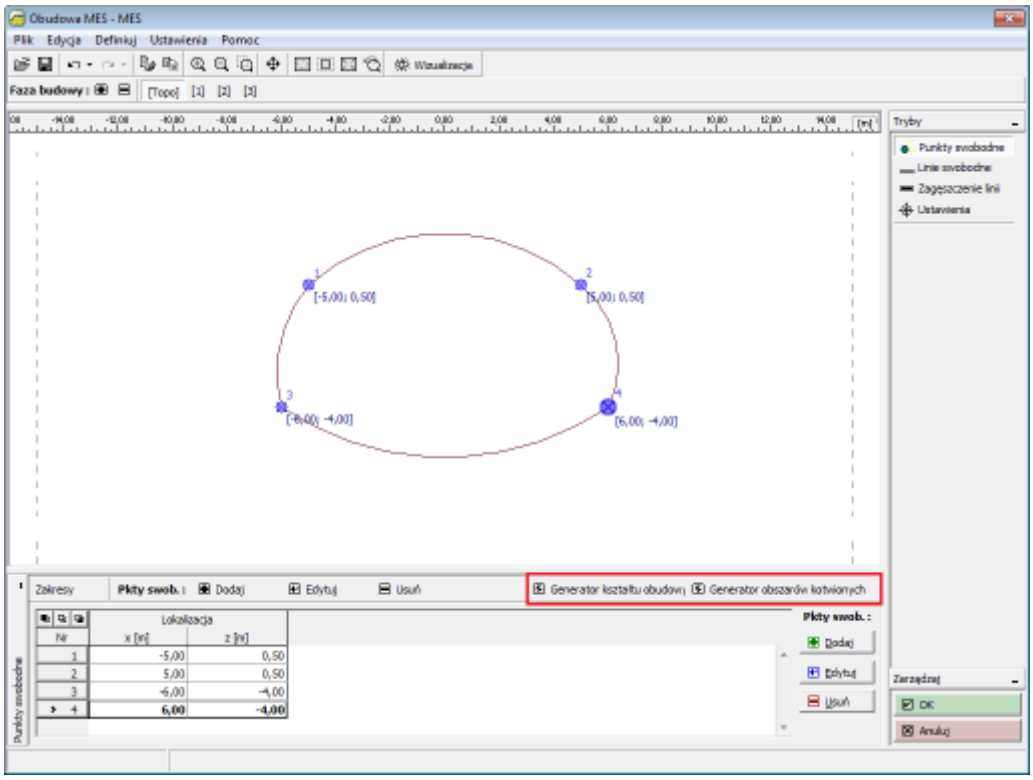
linii" i "Ustawienia". Opis ramek dostępnych z faz budowy przedstawiono w punkcie dotyczącym trybu faz budowy programu MES.

Za pomocą przycisku "**OK**" można zakończyć pracę w module i przesłać dane do programu MES, podczas gdy przycisk "**Anuluj**" kończy pracę bez przesłania danych.

Program umożliwia import danych w formacie *.DXF.

Dane modułu obudowy można w tym oknie niezależnie zapisywać lub ładować za pomocą standardowych funkcji "**Otwórz**" i "**Zapisz**". Umożliwia to przenoszenie obudowy między kilkoma analizowanymi zadaniami lub w ramach jednego zadania.

Załadowanie obudowy z mniejszą liczbą faz niż etap bieżący spowoduje dodanie pozostałych faz. Jeżeli obudowa posiada więcej faz, to odpowiednie fazy zostaną najpierw dodane w oknie dialogowym a następnie w oknie głównym. Danych z trybu obudowy nie można bezpośrednio załadować do okna głównego.

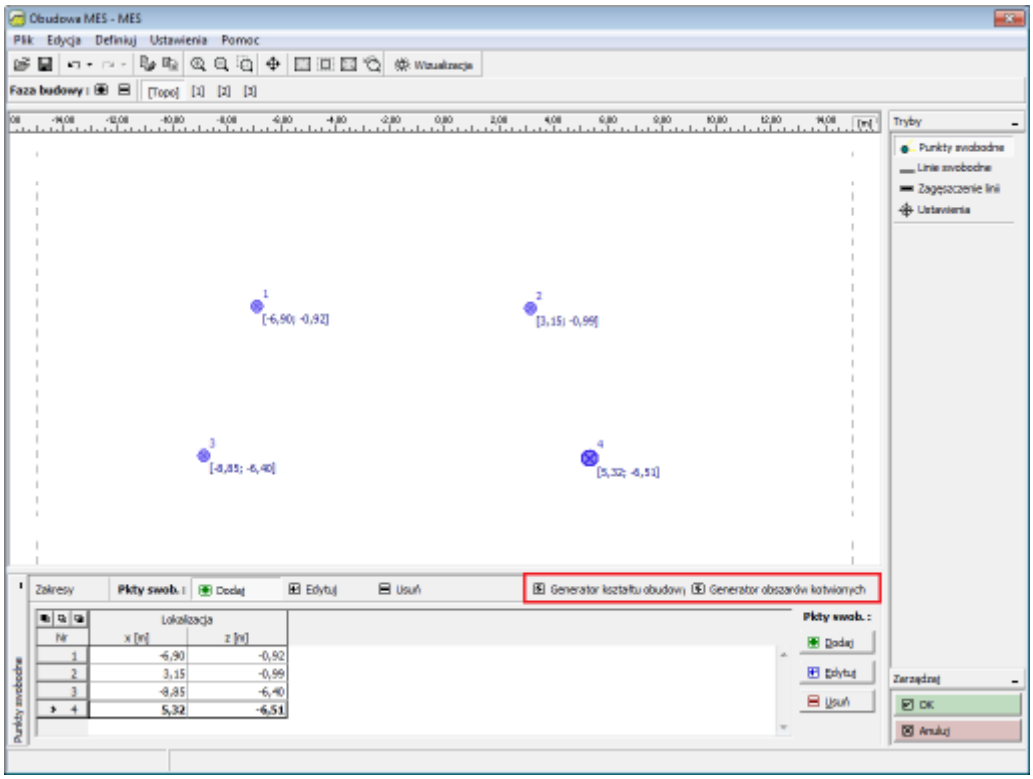


Moduł "Obudowa - MES"

Punkty swobodne

Ramka "**Punkty swobodne**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych punktów swobodnych. Praca z punktami swobodnymi przebiega według takich samych zasad, jak w programie MES - ramka "Punkty swobodne".

Ramka różni się funkcjami na poziomym pasku narzędzi, który zawiera przyciski "Generator kształtu obudowy" i "Generator obszarów kotwionych". Funkcja przycisku "**Zakresy**" jest taka sama, jak w programie MES - ramka "Warstwy".

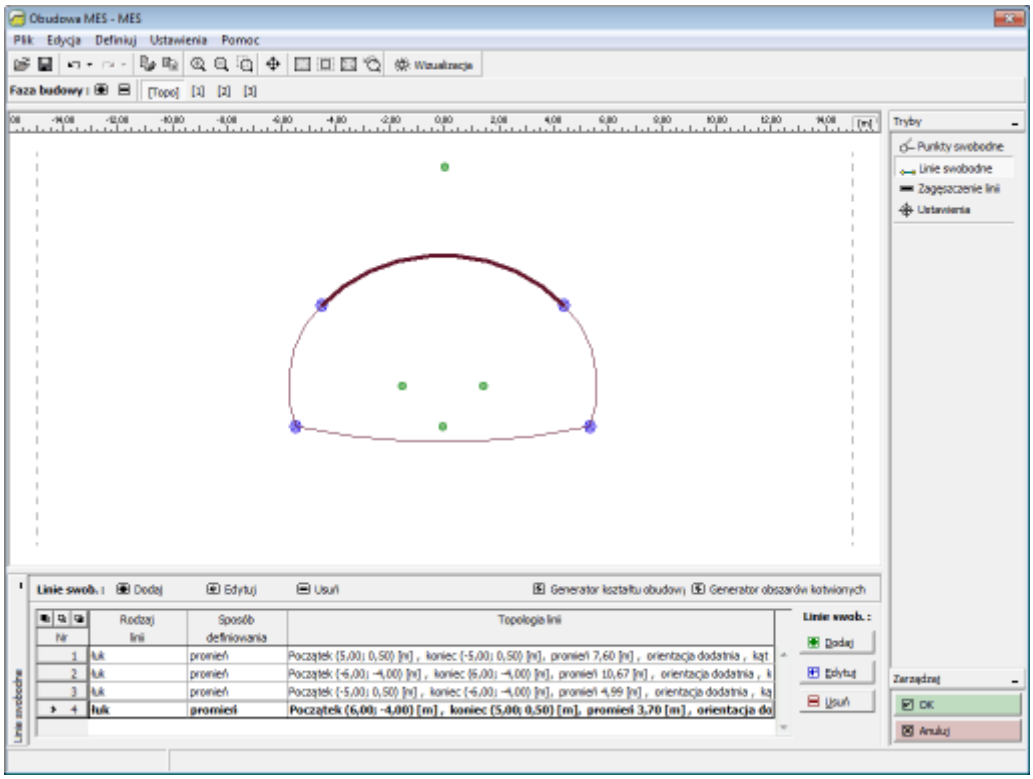


Ramka "Punkty swobodne"

Linie swobodne

Ramka "**Linie swobodne**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych linii swobodnych. Praca z liniami swobodnymi przebiega według takich samych zasad, jak w programie MES, w ramce "Linie swobodne".

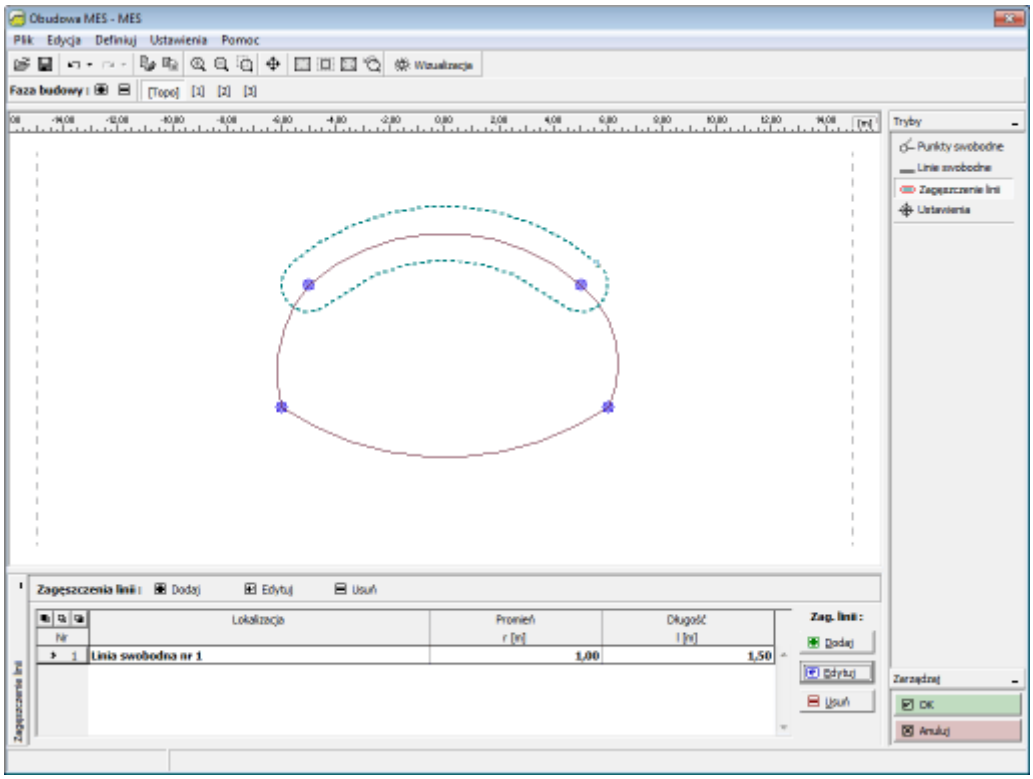
Ramka różni się funkcjami na poziomym pasku narzędzi, który zawiera przyciski "Generator kształtu obudowy" i "Generator obszarów kotwionych".



Ramka "Linie swobodne"

Zagęszczenie linii

Ramka "**Zagęszczenie linii**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych punktów zagęszczenia. Praca z liniami zagęszczanymi przebiega według takich samych zasad, jak w programie MES - ramka "Zagęszczanie linii".

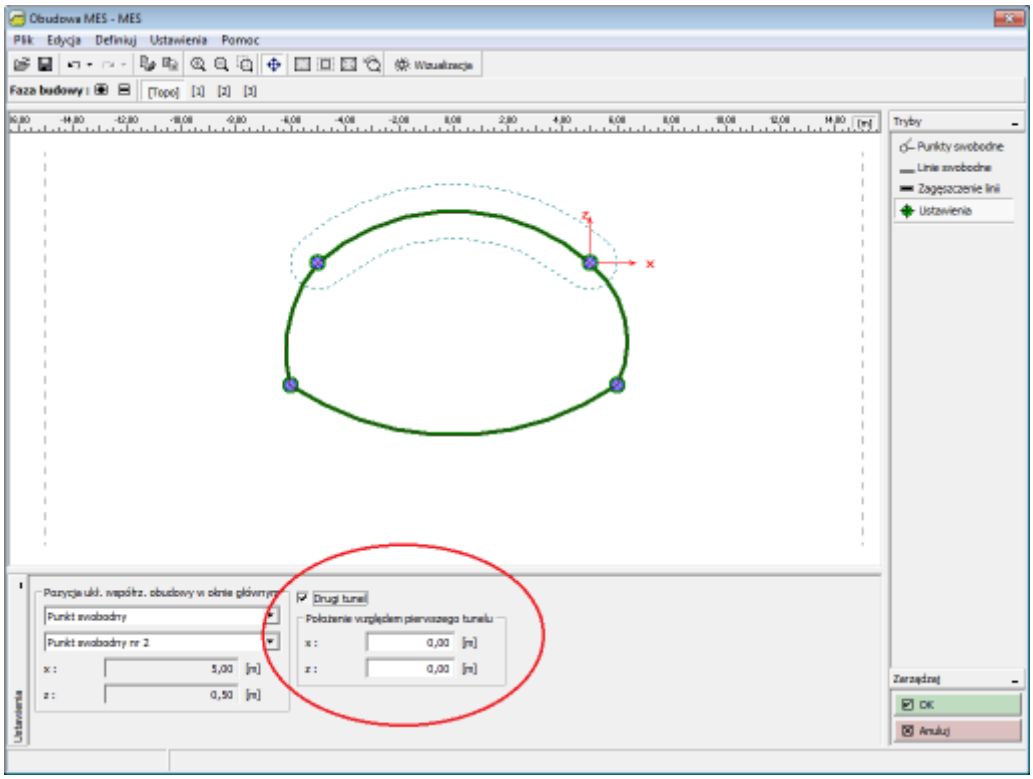


Ramka "Zagęszczenie linii"

Ustawienia

Ramka "**Ustawienia**" umożliwia zmianę definicji lokalizacji punktu, który następnie jest lokalizowany w głównym oknie programu MES. Lokalizacja punktu może być związana z wybranym punktem swobodnym lub określona za pomocą początku układu współrzędnych lub przez wybraną współrzędną. Pozwala to na precyzyjną lokalizację danego punktu konstrukcji obudowy w głównym oknie programu MES.

Zastosowanie drugiego tunelu można aktywować po prawej stronie ramki. Drugi tunel pojawi się w ramce "**Ustawienia**" jako podgląd, a następnie po przeniesieniu go do programu MES. Drugi tunel jest "klonem" pierwszego. Różni się tylko lokalizacją względem pierwotnie zdefiniowanej konstrukcji.

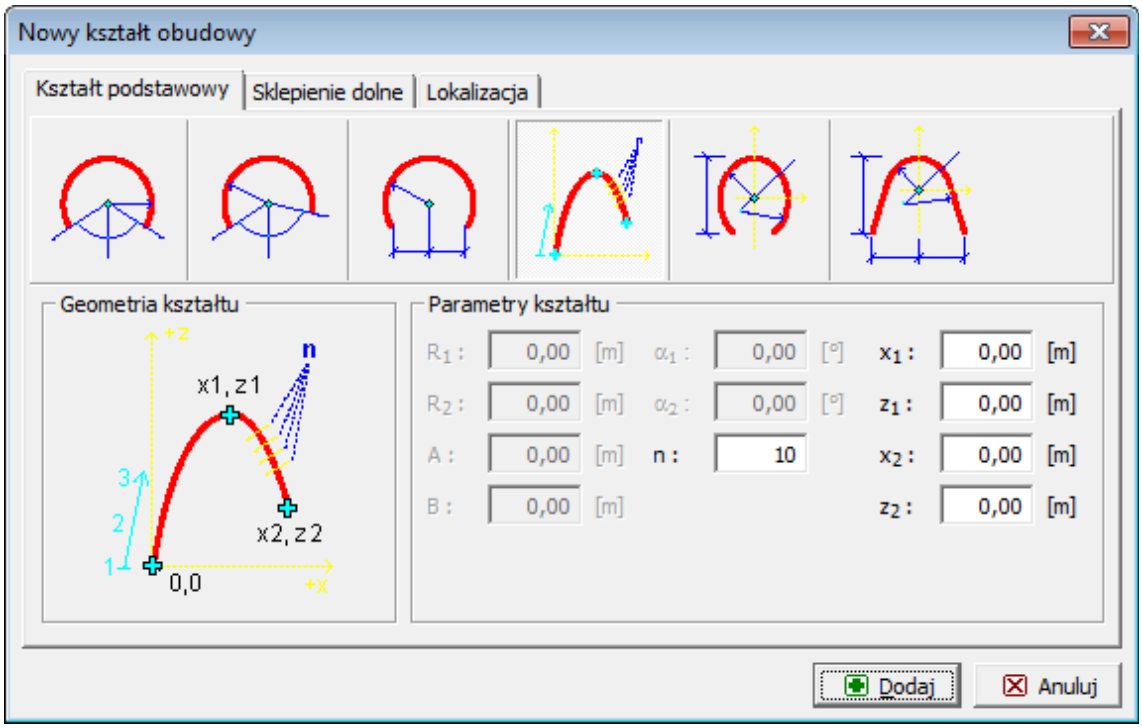


Ramka "Ustawienia"

Generator kształtu obudowy

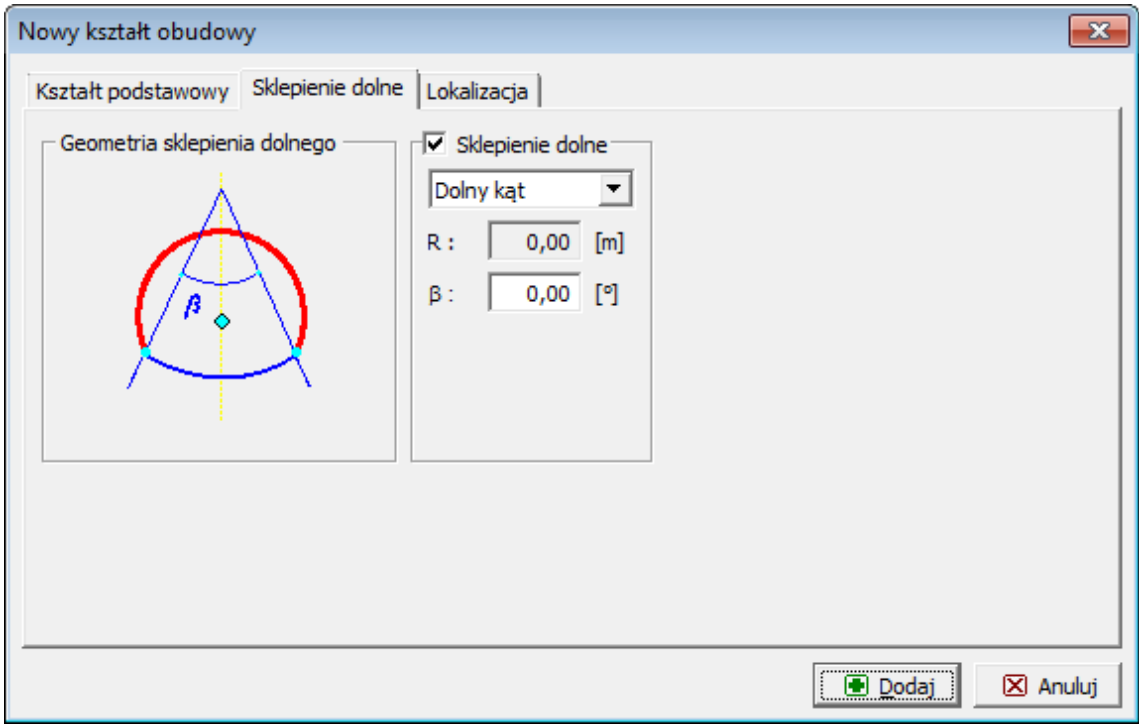
W zależności od poszczególnych parametrów, generator tworzy odpowiednie elementy, które są następnie poddawane obróbce bez możliwości modyfikacji parametrycznych. Jeżeli parametry tworzenia są możliwe do zaakceptowania, to w trakcie ich modyfikowania program wyświetla aktualną postać graficzną utworzonych elementów.

W oknie "**Nowy kształt obudowy**" dostępnych jest sześć podstawowych kształtów obudowy dla generowania punktów swobodnych i linii swobodnych. Każdy kształt jest definiowany przez kilka parametrów (promienie, kąty, wysokość, rozstaw, liczba części, punkty kontrolne).



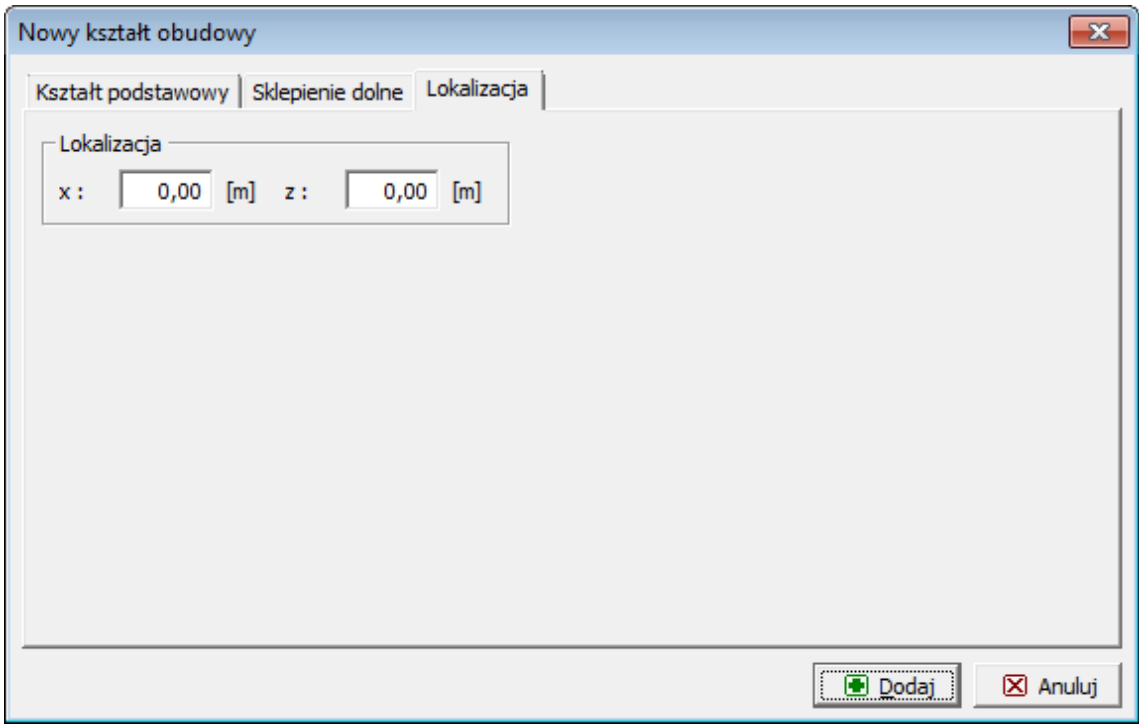
Okno dialogowe "Nowy kształt obudowy" - zakładka "Kształt podstawowy"

Zakładka "**Sklepienie dolne**" umożliwia dokonanie wyboru, czy sklepienie dolne ma być płaskie czy łukowe, definiowane parametrycznie za pomocą promienia, czy kąta.



Okno dialogowe "Nowy kształt obudowy" - zakładka "Sklepienie dolne"

W zakładce "**Lokalizacja**" można - za pomocą współrzędnych - zmienić lokalizację obudowy.

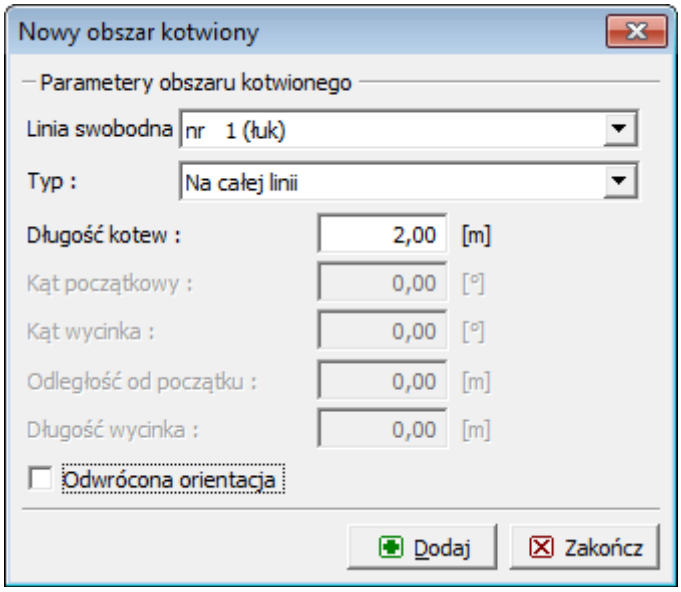


Okno dialogowe "Nowy kształt obudowy" - zakładka "Lokalizacja"

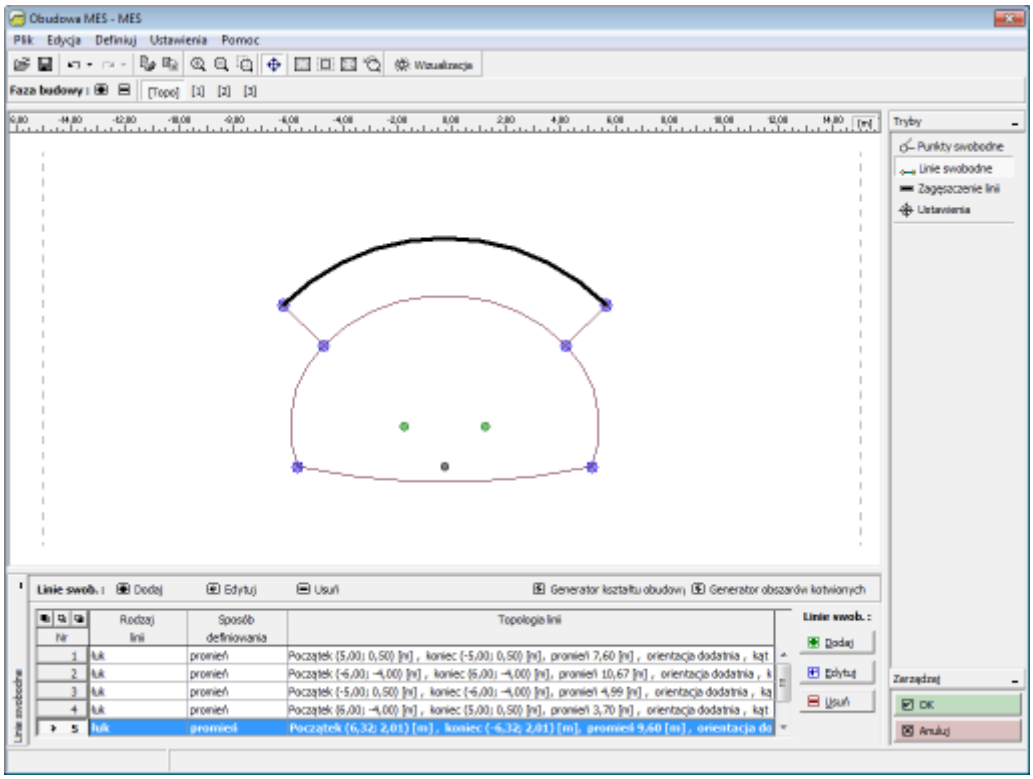
Generator obszarów kotwionych

W zależności od poszczególnych parametrów, generator tworzy odpowiednie elementy, które są następnie poddawane obróbce bez możliwości modyfikacji parametrycznych. Jeżeli parametry tworzenia są możliwe do zaakceptowania, to w trakcie ich modyfikowania program wyświetla aktualną postać graficzną utworzonych elementów.

Okno dialogowe "**Nowy obszar kotwiony**" służy do tworzenia punktów swobodnych i linii swobodnych, w oparciu jednakże o wcześniej zdefiniowane linie. Generowany jest obszar zamknięty, któremu następnie w programie MES przypisywany jest specjalny rodzaj gruntu, charakteryzujący gęsto kotwiony obszar. Okno dialogowe wymaga podania numeru linii oraz parametrów w oparciu o rodzaj systemu kotwienia (wzdłuż całej linii; sektor kątowy, początek i długość).



Okno dialogowe "Nowy obszar kotwiony"



Definiowanie obszaru kotwionego

Fazy budowy

Fazy budowy w module "**Obudowa - MES**" i w programie MES odpowiadają sobie wzajemnie. Kilka cech może się jednak różnić.

Różne zachowanie się faz w module "**Obudowa - MES**":

- Możliwość przełączenia do faz budowy z trybu "**Topo**" bez generowania siatki MES.

- Fazy budowy dodane w module "**Obudowa - MES**" są, po zatwierdzeniu, przesyłane do programu MES.
- Fazy budowy, pochodzące sprzed momentu uruchomienia modułu "**Obudowa - MES**", nie mogą być użyte.
- Fazy budowy zdefiniowane przed uruchomieniem modułu "**Obudowa - MES**" nie mogą być usunięte.

Punkty swobodne

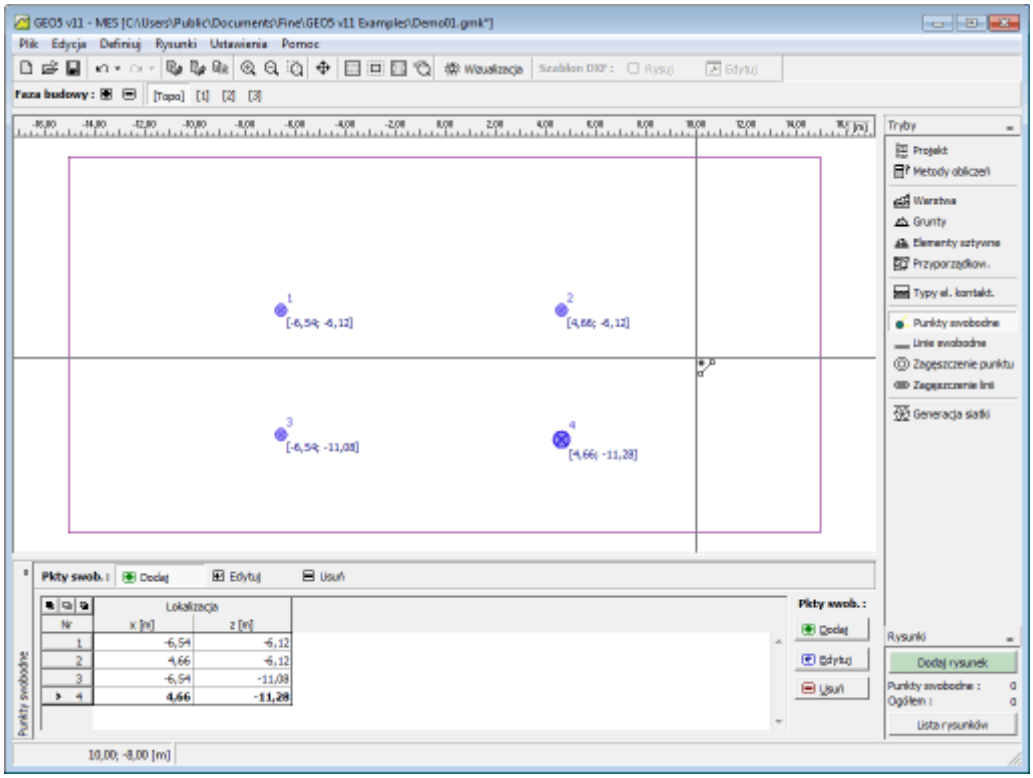
Ramka "**Punkty swobodne**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych punktów swobodnych. Dodawanie (edycja) punktów swobodnych wykonywana jest w oknie dialogowym "**Nowy punkt swobodny**".

Punkty swobodne można również edytować na ekranie za pomocą obiektów aktywnych.

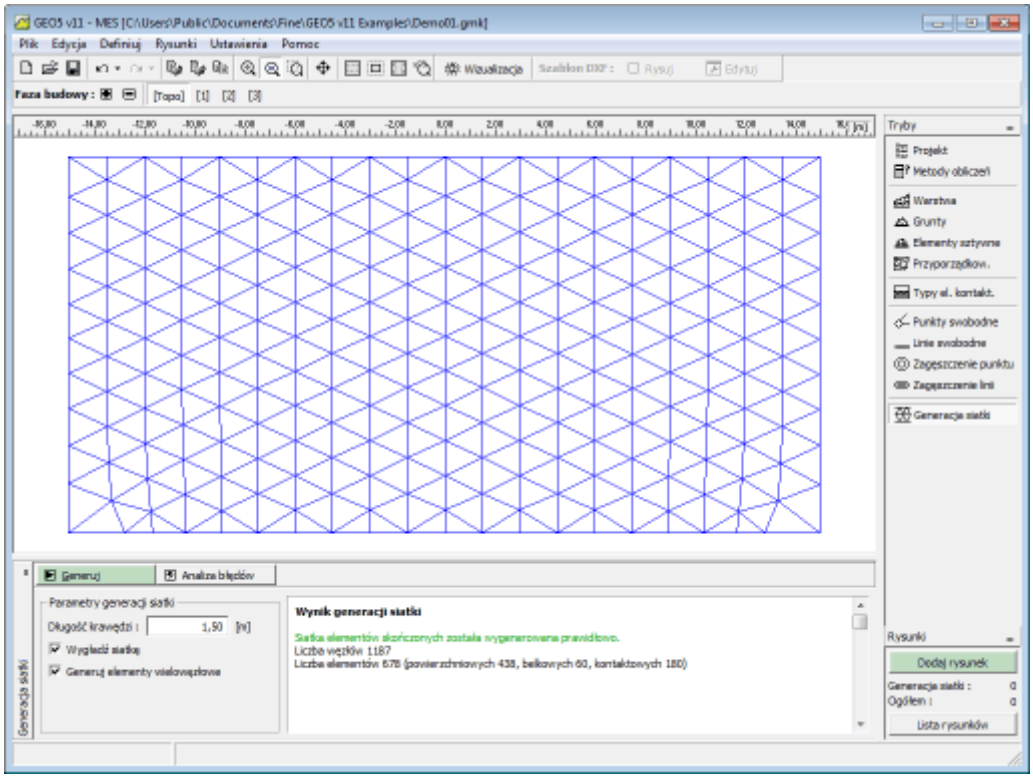
Program umożliwia wprowadzanie wybranej liczby węzłów swobodnych w dowolnym punkcie wewnątrz lub na zewnątrz konstrukcji. Węzły (punkty) swobodne mają kilka głównych funkcji:

- **węzły definiujące konstrukcję** (otwór tunelu, obudowa, ścianki szczelne, belki)
- **punkty dodatkowe** dla zagęszczenia siatki
- punkty dla **definiowania warunków brzegowych**, definiowania sił, itp.

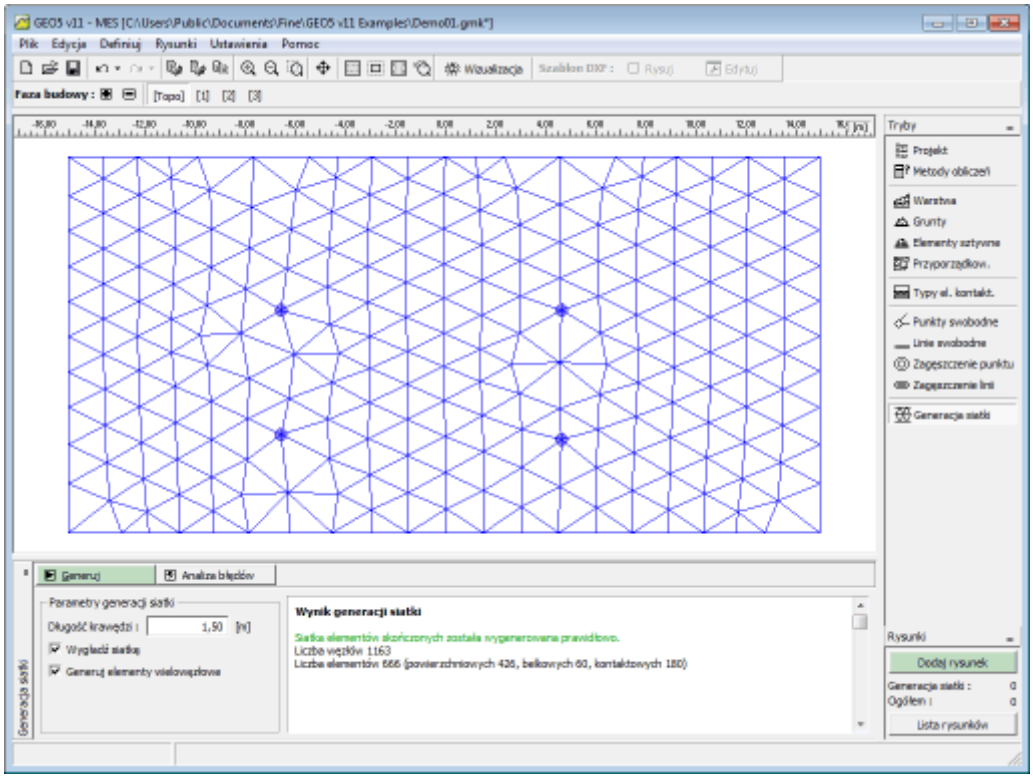
Jeżeli węzeł swobodny znajduje się wewnątrz lub na granicy konstrukcji, to staje się **automatycznie częścią siatki elementów skończonych**. Opcja ta pozwala na dostosowanie siatki elementów skończonych lub na stworzenie własnej siatki.



Ramka "Punkty swobodne"



Siatka wygenerowana bez punktów swobodnych



Siatka wygenerowana z punktami swobodnymi

Linie swobodne

Ramka "**Linie swobodne**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych linii swobodnych. Dodawanie linii swobodnych wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowa linia swobodna**".

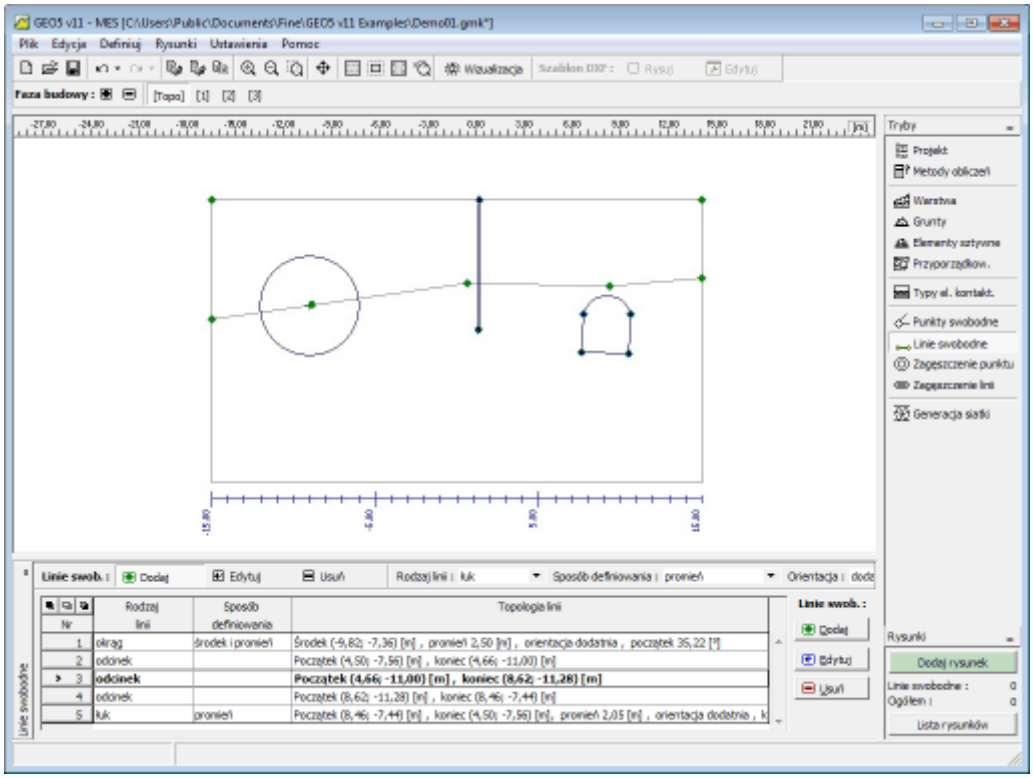
Linie są definiowane **między poszczególnymi punktami** (odcinki, łuki, okręgi) lub wokół poszczególnych punktów (okręgi). Linie można wprowadzać zarówno między punktami swobodnymi i między punktami znajdującymi się na elementach kontaktowych, w tym na powierzchni terenu.

Linie mogą się **wzajemnie przecinać i mogą mieć dowolną liczbę punktów kontaktowych** - punkty przecięcia poszczególnych linii są określane przez program przy dostosowywaniu modelu geometrycznego. Linii swobodnych można używać do **wprowadzania elementów belkowych** do modelu.

Linie swobodne można również wprowadzać za pomocą myszki. Tryb wprowadzania jest włączany przez kliknięcie na odpowiednim przycisku na poziomym pasku narzędzi "Linie swobodne". Dostępne są następujące polecenia:

- **Rodzaj linii** Lista rozwijana służy do wybrania żądanej linii (odcinek, łuk, okrąg).
  - **odcinek** Kliknięcie pojedynczych punktów na ekranie lewym przyciskiem myszki powoduje utworzenie linii od punktu do punktu.
  - **łuk** Lista rozwijana służy do wybrania trybu definiowania odcinka łukowego (trzeci punkt, środek, promień, wysokość). Następnie, klikając na ekranie lewym przyciskiem myszki, dokonujemy wyboru punktów do zdefiniowania łuku. Przy wyborze jednej z dostępnych opcji - środek, promień lub wysokość, pojawi się żądanie wyboru kierunku z listy kombinacji (dodatni, ujemny).
  - **okrąg** Lista rozwijana służy do wybrania trybu definiowania okręgu (środek i promień, trzy punkty). Klikając lewym przyciskiem myszki na ekranie wybieramy punkty, w których zdefiniujemy koło. Lista rozwijana służy również do wybrania kierunku (dodatni, ujemny).

Linie swobodne można również edytować na ekranie za pomocą obiektów aktywnych.



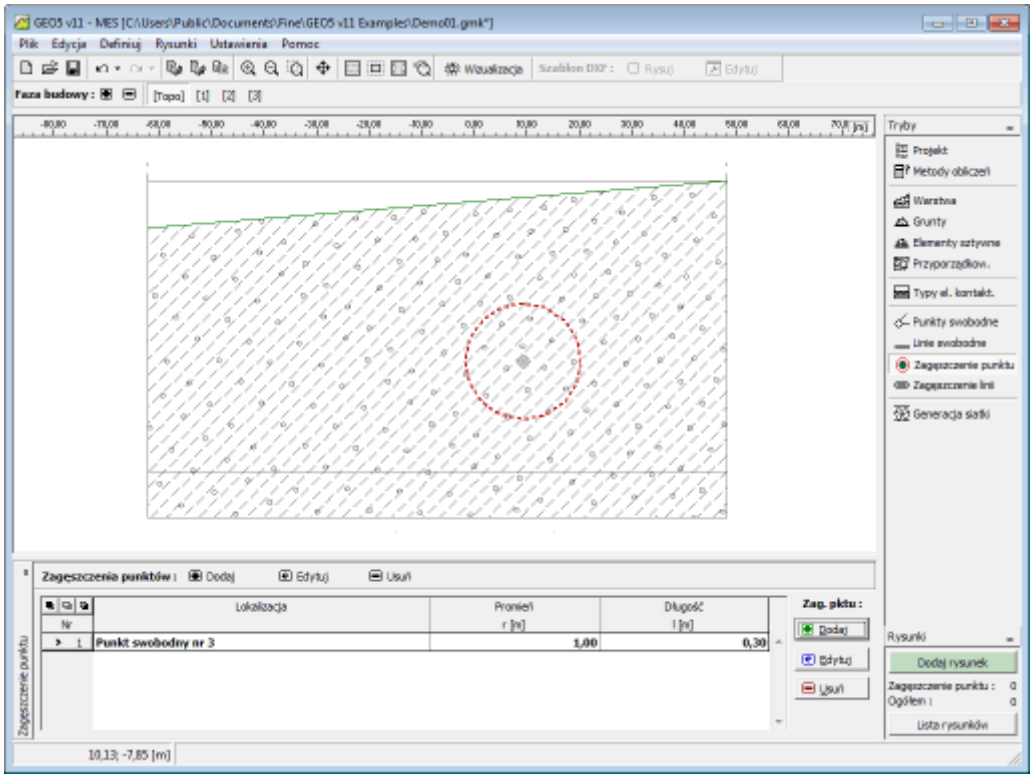
Ramka "linie swobodne" - różne rodzaje linii swobodnych

Zagęszczenie punktów

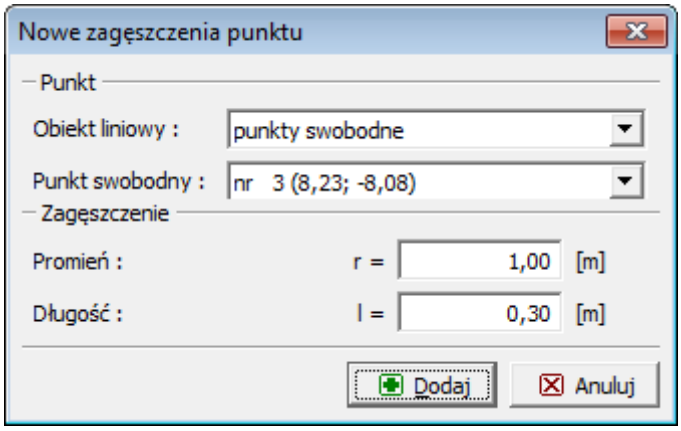
Ramka "**Zagęszczenie punktów**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych zagęszczeń punktów. Dodawanie zagęszczeń punktów wykonywana jest w oknie dialogowym "**Nowe zgęszczenia punktu**".

Zagęszczenie siatki elementów skończonych wokół punktów jest istotną opcją, która pozwala na tworzenie właściwej siatki elementów skończonych. Zarówno punkty swobodne, jak i punkty odnoszące się do poszczególnych elementów kontaktowych - w tym do powierzchni terenu - mogą być stosowane do zagęszczenia początkowej siatki elementów skończonych.

Zagęszczenie punktu można również edytować na ekranie za pomocą obiektów aktywnych.



Ramka "Zagęszczenie punktu"



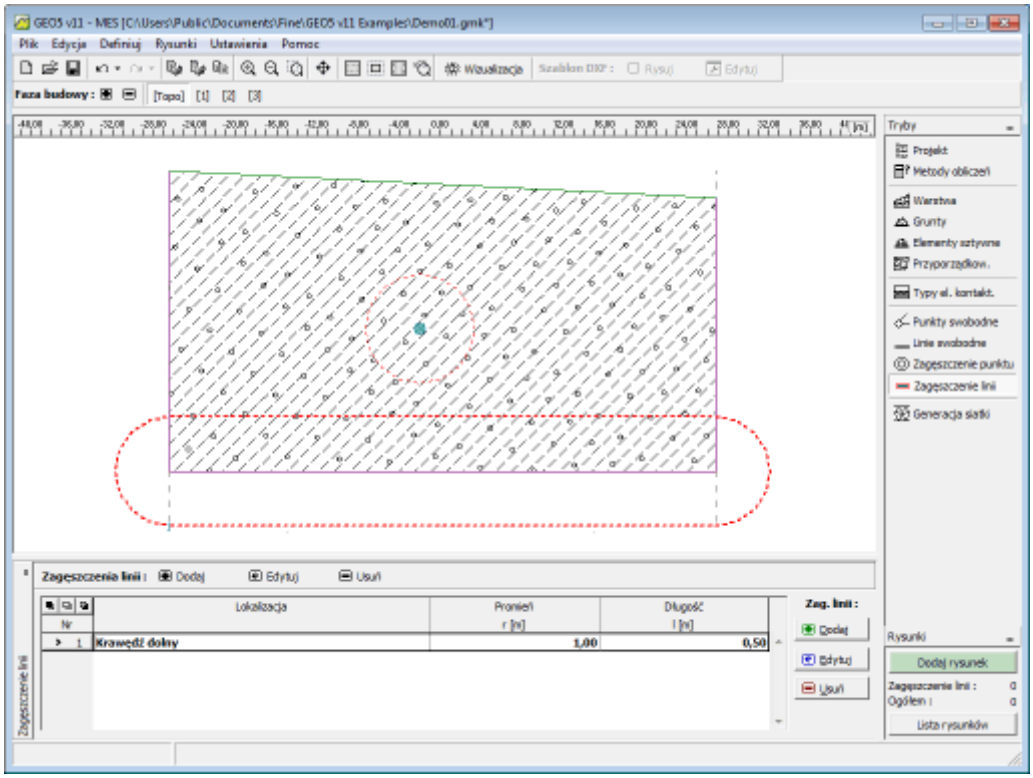
Okno dialogowe "Nowe zagęszczenia punktu"

Zagęszczenie linii

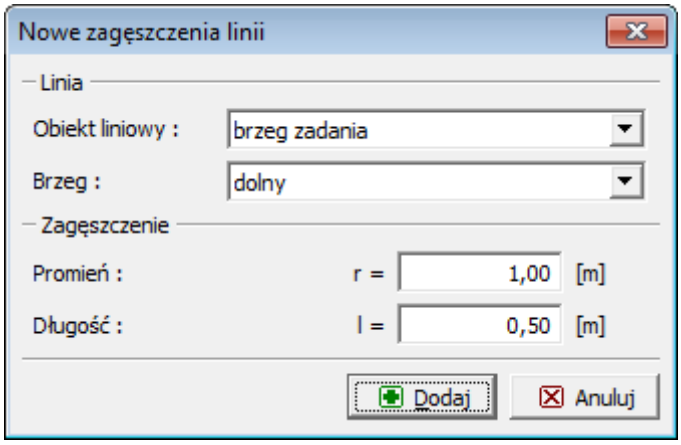
Ramka "**Zagęszczenie linii**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych zagęszczeń linii. Dodawanie zagęszczenia linii wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe zagęszczenia linii**".

Zagęszczenie siatki elementów skończonych wokół linii jest istotną możliwością, która pozwala na tworzenie właściwej siatki elementów skończonych. Do zagęszczenia początkowej siatki elementów skończonych można stosować zarówno linie swobodne i linie odnoszące się do poszczególnych elementów kontaktowych, w tym do powierzchni terenu.

Zagęszczenia linii można również edytować na ekranie za pomocą obiektów aktywnych.



Ramka "Zagęszczenie linii"



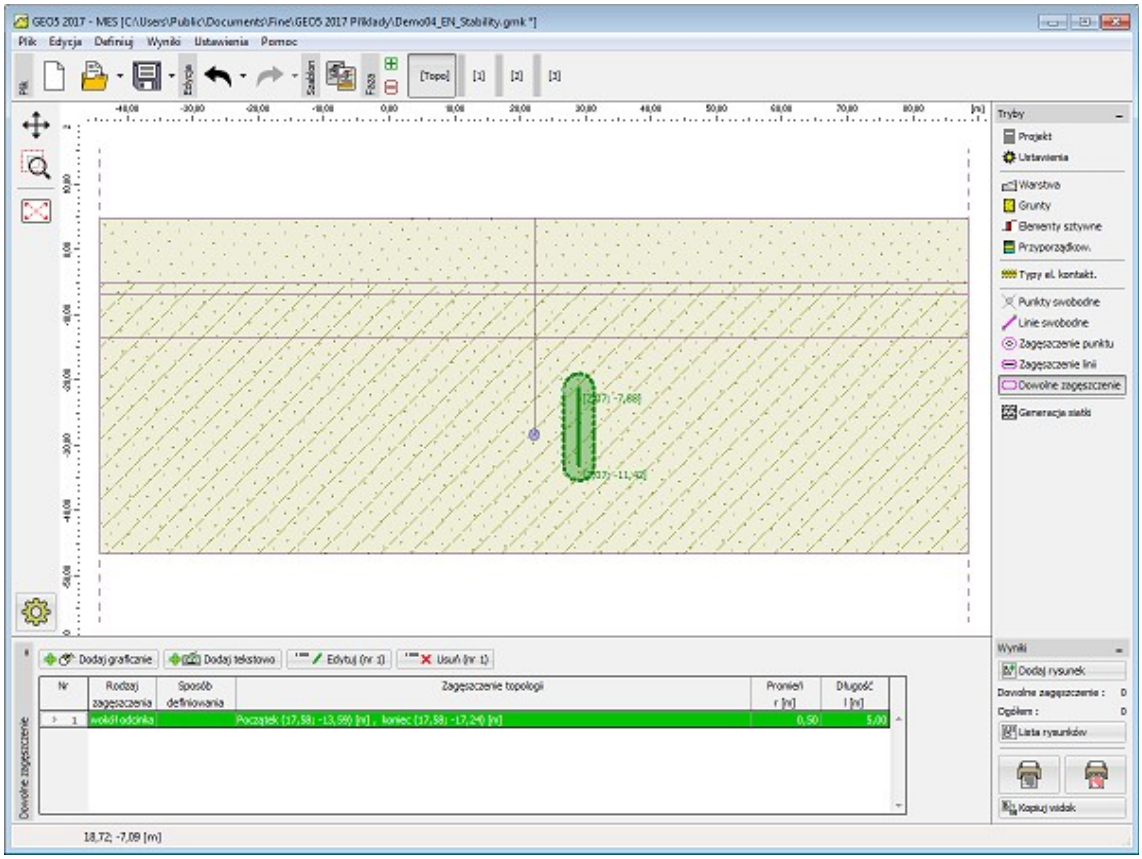
Okno dialogowe "Nowe zagęszczenia linii"

Dowolne zagęszczenie

Ramka "**Dowolne zagęszczenie**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych dowolnych zagęszczeń siatki. Dodawanie dowolnych zagęszczeń wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe dowolne zagęszczenia**".

Zagęszczenie siatki elementów skończonych wokół linii jest istotną funkcją, pozwalającą na zbudowanie właściwej siatki elementów skończonych.

Dowolne zagęszczenia można również edytować na ekranie za pomocą obiektów aktywnych.



Ramka "Dowolne zagęszczenie"

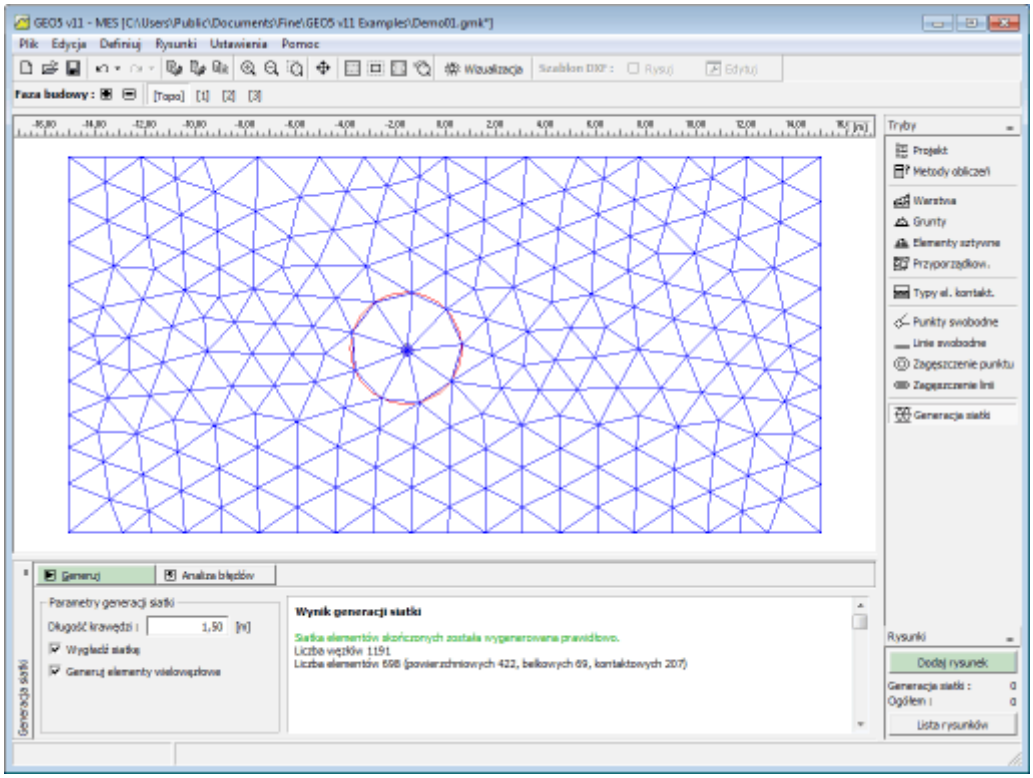
Generacja siatki

Ramka "**Generacja siatki**" służy do definiowania podstawowego układu generacji siatki (lewa część) oraz przeglądania informacji o wygenerowanej siatce (prawa część).

Pomyślnie wygenerowana siatka zamyka etap definiowania topologii - analiza jest następnie kontynuowana na etapie obliczeń. Przy generacji siatki, program automatycznie wprowadza standardowe warunki brzegowe. Informacje na temat utworzonej siatki, w tym ostrzeżenia o możliwych punktach słabych siatki wyświetlana jest w prawym dolnym okienku.

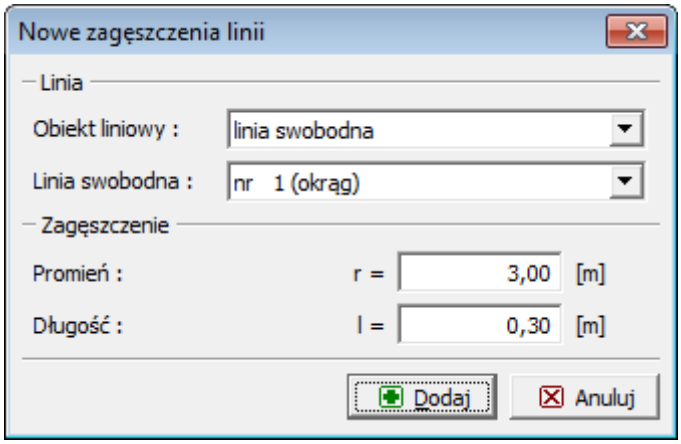
Prawidłowo wygenerowana siatka elementów skończonych stanowi ważny krok do uzyskania dokładnych i wiarygodnych wyników. Program GEO MES posiada automatyczny generator siatki, który może znacząco uprościć to zadanie. Nie mniej jednak, podczas tworzenia siatki elementów skończonych **należy przestrzegać pewnych zasad**:

- Podstawową gęstość siatki można zdefiniować w oknie dialogowym "**Generacja siatki**". Przyjmuje się ogólną zasadę, że im gęstsza siatka, tym lepsze wyniki - jednakże, obliczenia oraz następująca obróbka mogą zostać znacznie spowolnione. Celem jest więc znalezienie optymalnej gęstości siatki - ma na to wpływ doświadczenie użytkownika. Pewne wskazówki stanowią siatki wygenerowane w zadaniach przykładowych.

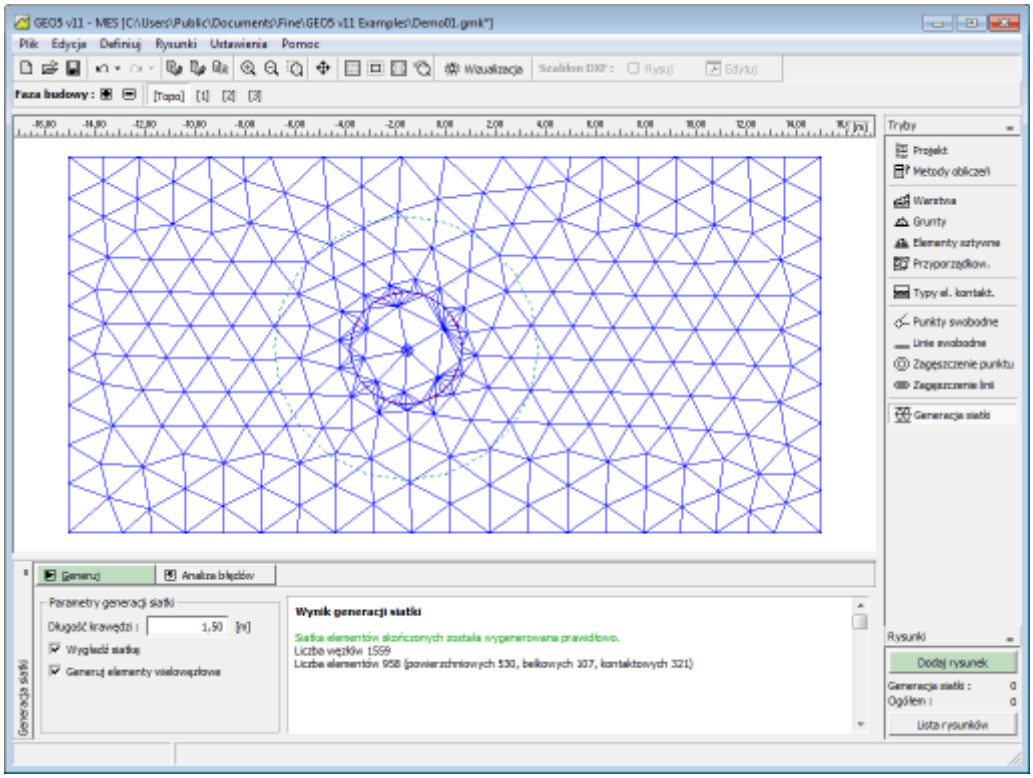


Ramka "Generacja siatki" - siatka bez lokalnego zagęszczenia

- Siatka elementów skończonych powinna być wystarczająco gęsta w miejscach występowania oczekiwanych dużych gradientów naprężenia (podpory punktowe, naroża, otwory, itp.). W celu zapewnienia odpowiedniej gęstości można zdefiniować zagęszczenie siatki w sąsiedztwie tych miejsc. Zagęszczenie siatki mnożna zdefiniować wokół poszczególnych punktów lub linii. Rozpiętość zagęszczenia powinna być co najmniej 3-5 razy większa niż żądane zagęszczenie w centrum zagęszczenia. Wielkość obu wartości (gęstość i rozpiętość zagęszczenia) powinna również być uzasadniona z punktu widzenia zadanej gęstości siatki stosowanej dla obszaru otaczającego. Zapewni to płynne przejście między obszarami o różnych gęstościach siatki. Z pojedynczymi liniami należy postępować w ten sam sposób. W przypadku bardziej złożonych zadań przydatne jest wykonanie analizy najpierw z siatką rzadszą, a następnie po zbadaniu wyników, przeprowadzenie niezbędnego zagęszczenia siatki.



Definiowanie zagęszczenia siatki wokół okręgu



Nowa siatka po zagęszczeniu początkowej siatki wokół okręgu

Program domyślnie przyjmuje **6-węzłowe elementy trójkątne** z wygładzaniem siatki. Dokładność wyników odpowiada mniej więcej dwa razy gęstszej siatce złożonej z 3-węzłowych elementów trójkątnych. Elementy 3-węzłowe są dostępne tylko jeśli wybrane są "zaawansowane funkcje programu" (pole wyboru - "**elementy wielowęzłowe**") i służą głównie do celów naukowych i badawczych. Obliczenia stateczności, można jednakże wykonywać tylko przy zastosowaniu trójkątnych elementów 6-węzłowych. W przypadku analizy nieliniowej należy używać wyłącznie tych elementów.

Wybór "zaawansowanych funkcji programu" pozwala również na generację siatki mieszanej złożonej z elementów trójkątnych i czworobocznych.

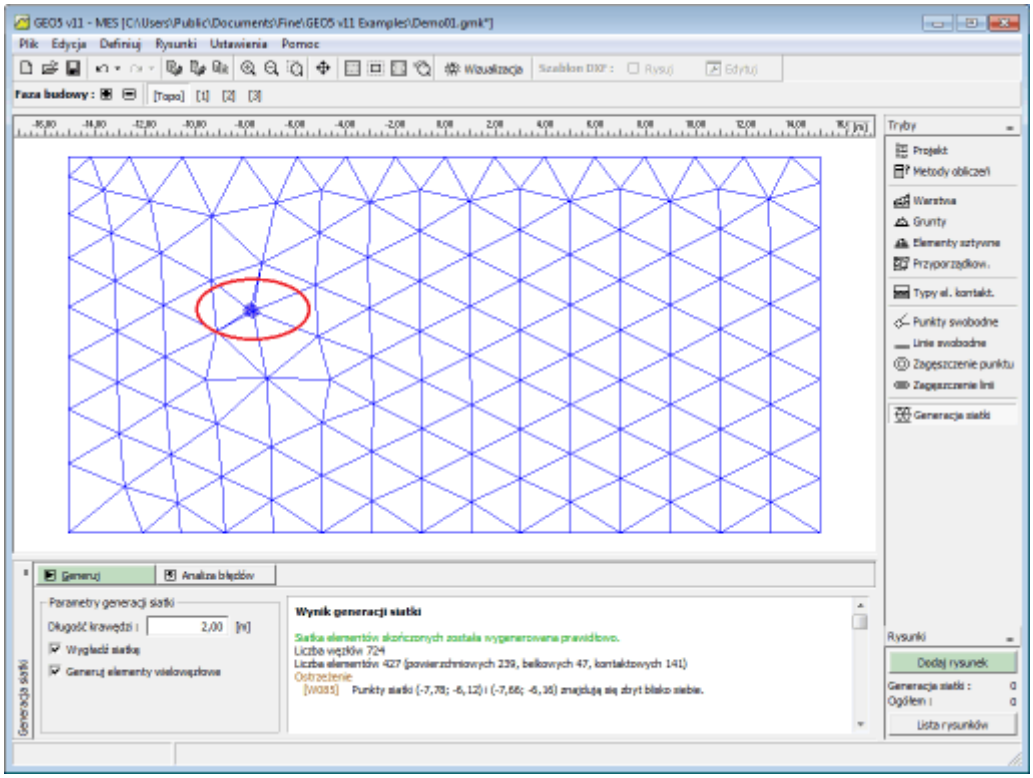
Ostrzeżenia generatora siatki

W oknie dialogowym "**Analiza błędów - lista problemów w konstrukcji**" użytkownik jest informowany o wszystkich możliwych miejscach zdefiniowanej konstrukcji, które mogą powodować problemy podczas automatycznej generacji siatki. Ustawienie kursora na poszczególnych ostrzeżeniach powoduje podświetlenie odpowiedniego obszaru krytycznego konstrukcji na czerwono. Sprawdzane są następujące zagadnienia:

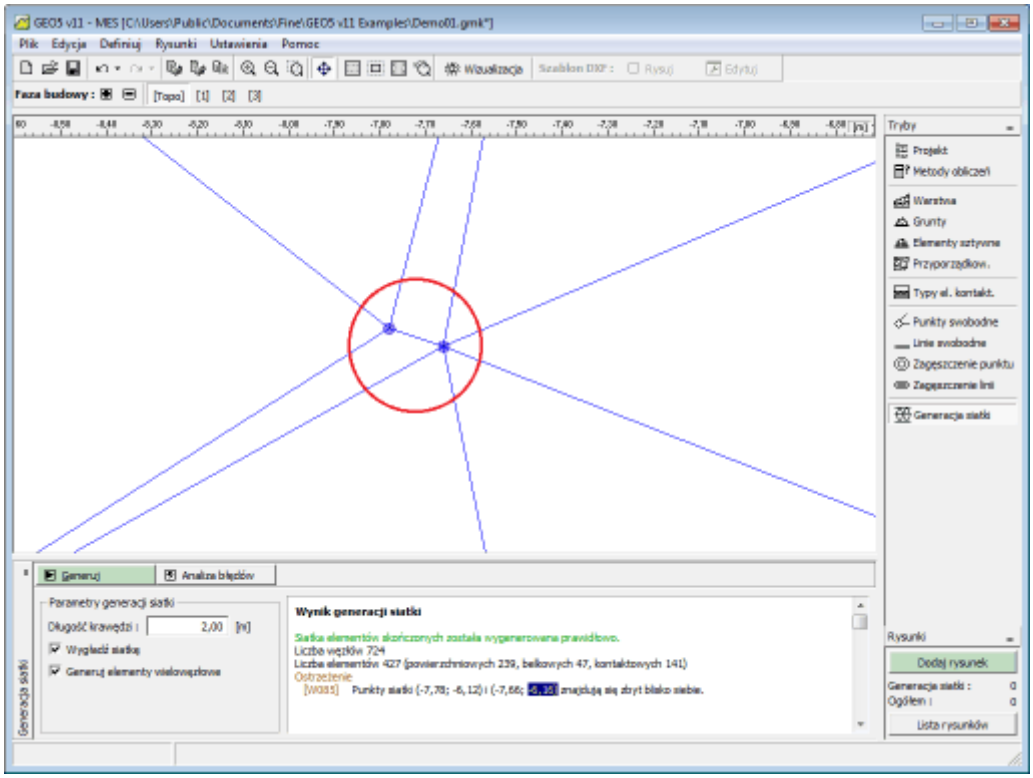
- czy odległość między punktami jest większa niż jedna dziesiąta wymaganej długości krawędzi elementu
- czy odległość między punktem a linią jest większa niż jedna dziesiąta długości krawędzi elementu
- czy pole powierzchni obszaru jest większe niż dwukrotność długości krawędzi elementu
- czy punkty i/lub linie znajdują się wewnątrz konstrukcji (w gruncie).

Ostrzeżenia wskazują miejsca, w których generator siatki napotyka problemy. Mogą wystąpić takie przypadki:

- siatka nie została wygenerowana => w tym przypadku należy na nowo zdefiniować dane geometryczne
- siatka została wygenerowana => w tym przypadku użytkownik podejmuje decyzję, czy siatka jest odpowiednia - w każdym wypadku można zignorować ostrzeżenie i przeprowadzić analizę



Ostrzeżenie po wykryciu odcinków krytycznych w siatce ES



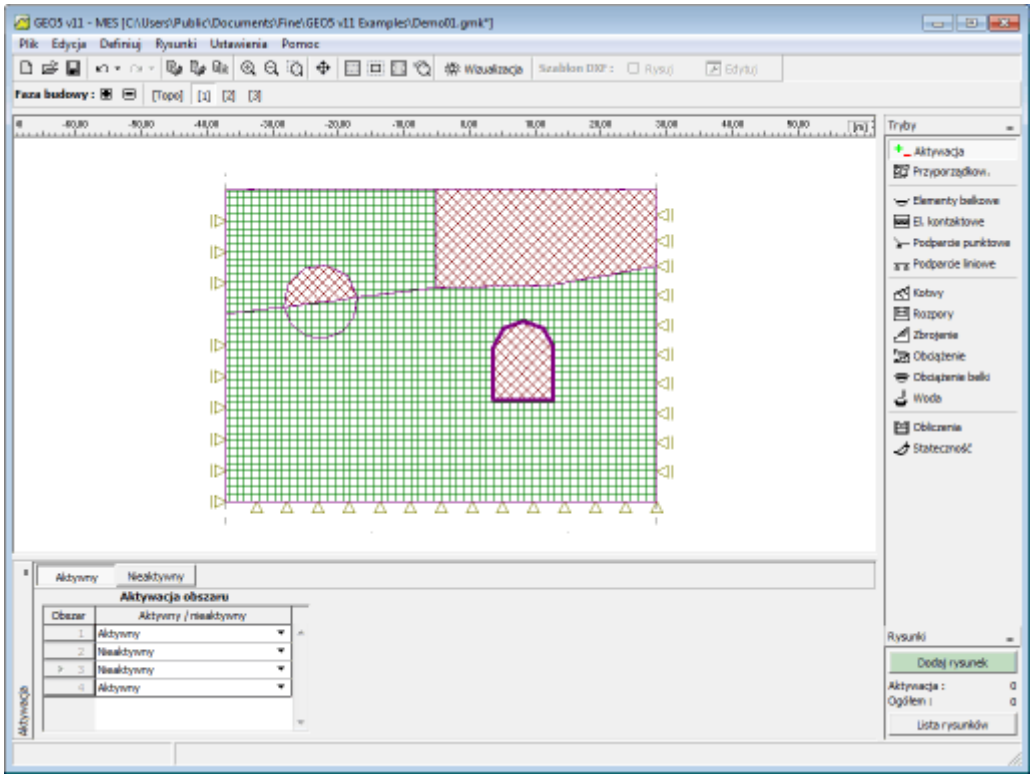
Odcinek krytyczny po powiększeniu - dwa punkty leżą zbyt blisko siebie

Edycja początkowej geometrii

Program posiada wbudowany tryb **automatycznej korekcji zdefiniowanej geometrii**. Oznacza to, że przed wygenerowaniem siatki program automatycznie lokalizuje wszystkie punkty przecięcia linii, lokalizuje obszary zamknięte i tworzy odpowiedni model geometryczny (obliczeniowy).

Takie nowe obszary mogą następnie pozostać nieaktywne lub można im przypisać nowy grunt. Zalety tego systemu uwidaczniają się najlepiej przy tworzeniu geometrycznych modelu tuneli (drążenie etapowe) lub ścianek szczelnych. Tworzenie nawet skomplikowanego modelu jest więc zadaniem dość prostym i może być wykonane bardzo sprawnie.

Korekcja początkowego modelu geometrycznego może spowodować, że niektóre punkty modelu znajdą się zbyt blisko siebie, albo też powstaną zbyt małe obszary. W takich przypadkach, w prawym dolnym oknie pojawia się ostrzeżenie wskazujące te słabe punkty modelu.



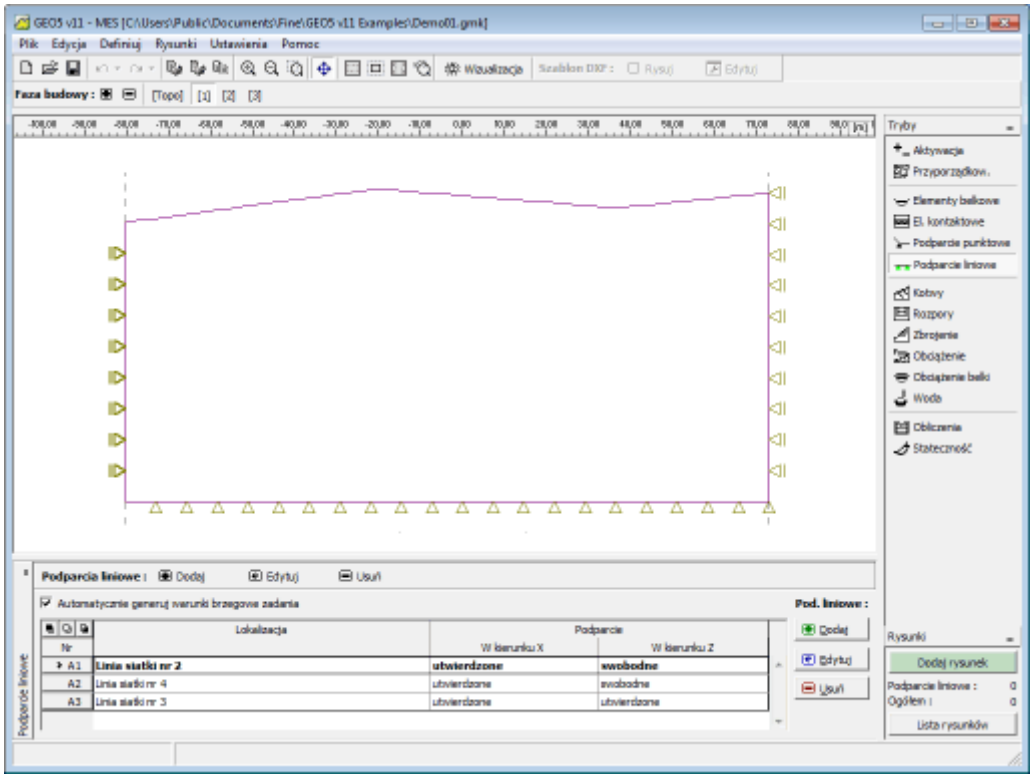
Obszary po wykonaniu automatycznej korekcji modelu geometrycznego

Standardowe warunki brzegowe

Program automatycznie generuje standardowe warunki brzegowe. Dlatego, **w przypadku typowych zadań, użytkownik nie musi przeprowadzać definiowania podpór.**

Standardowe warunki brzegowe:

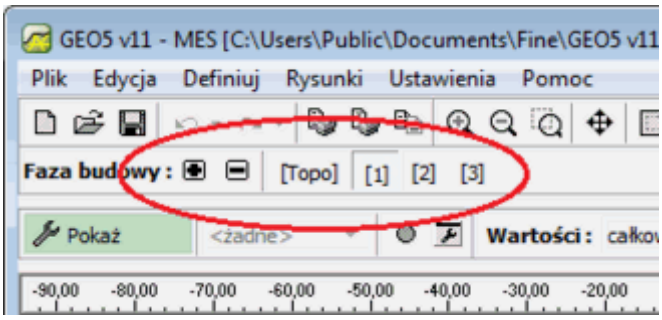
- podparcie swobodne wzdłuż dolnego brzegu modelu geometrycznego
- podparcie przesuwne wzdłuż pionowych krawędzi modelu geometrycznego



Standardowe warunki brzegowe

Fazy budowy

Właściwa analiza konstrukcji wykonywana jest dla poszczególnych faz budowy (fazy obliczeniowe) po opracowaniu modelu geometrycznego i wygenerowaniu siatki elementów skończonych (faza topologii). Przejścia pomiędzy fazami obliczeniowymi a trybem "**Topologia**" dokonujemy za pomocą przycisków znajdujących się na poziomym pasku narzędzi.

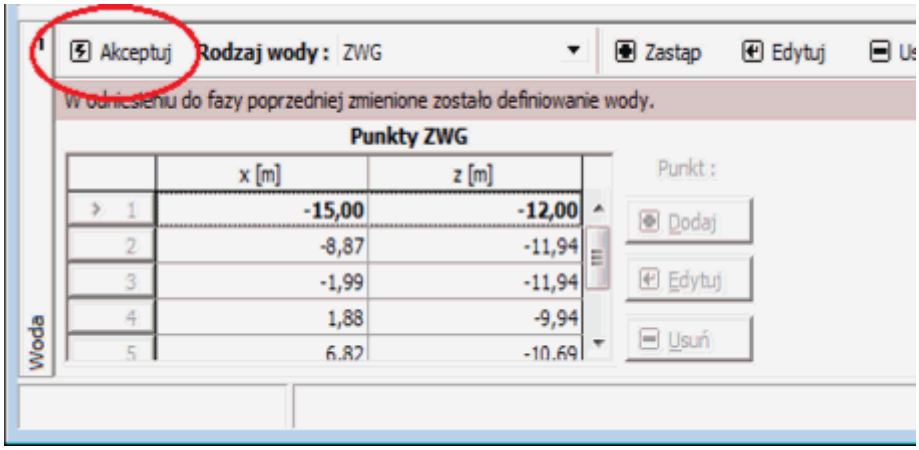


Pasek "Fazy budowy" - przełączanie między trybem "Topo" i fazami budowy

Fazy obliczeniowe służą do modelowania konstrukcji budowanych stopniowo. Bardzo ważne jest ich prawidłowe zdefiniowanie i właściwa kolejność. Analiza dla każdej fazy (za wyjątkiem analizy stateczności) wykorzystuje **wyniki otrzymane w fazie poprzedniej.** Dane dotyczące poszczególnych obiektów i ich właściwości są przekazywane z jednej fazy do następnej - przy edycji bieżącej fazy lub tworzeniu fazy nowej program stosuje "zasadę dziedziczności".

Niektóre ramki ("**Woda**", "**Aktywacja**", "**Przyporządkowanie**") zawierają przycisk "**Akceptuj**" po lewej stronie paska. Przycisk staje się aktywny, gdy dane określone w ramce

różnią się od zdefiniowanych w poprzedniej fazie. Wciśnięcie tego przycisku powoduje przejęcie odpowiednich danych ("**Woda**", "**Aktywacja**") z poprzedniej fazy.



Zmiana wprowadzanych danych - akceptacja danych z poprzedniej fazy budowy

Pierwsza faza budowy (**obliczenia naprężenia geostatycznego**) reprezentuje początkowy stan ośrodka gruntowego (skalnego) przed rozpoczęciem budowy - przemieszczenia związane z tym etapem są więc definiowane jako równe zero.

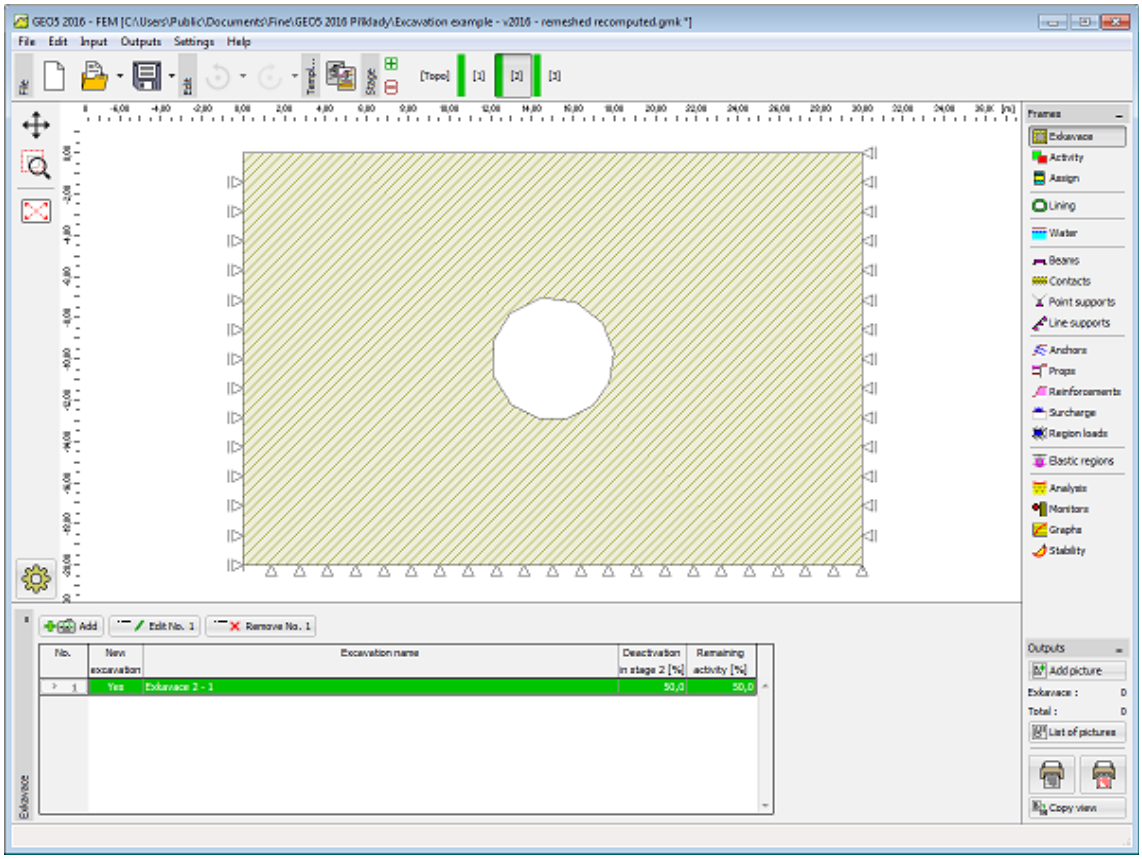
Dla pewnego etapu budowy może wystąpić utrata konwergencji. W takim przypadku (wyniki nie są dostępne dla konstrukcji niekonwergującej) nie można analizować kolejnych faz. W celu uniknięcia błędów w modelowaniu, zalecamy postępowanie według proponowanego sposobu modelowania i analizowania konstrukcji.

Wykop

Ramka "**Wykop**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych wykopów. Dodawanie wykopów przeprowadzane jest w oknie dialogowym "**Nowy wykop**".

Wykop może być zdefiniowany wyłącznie w drugiej i dalszych fazach budowy.

Stopień deaktywacji [%] podaje się w oknie dialogowym "**Nowy wykop**".

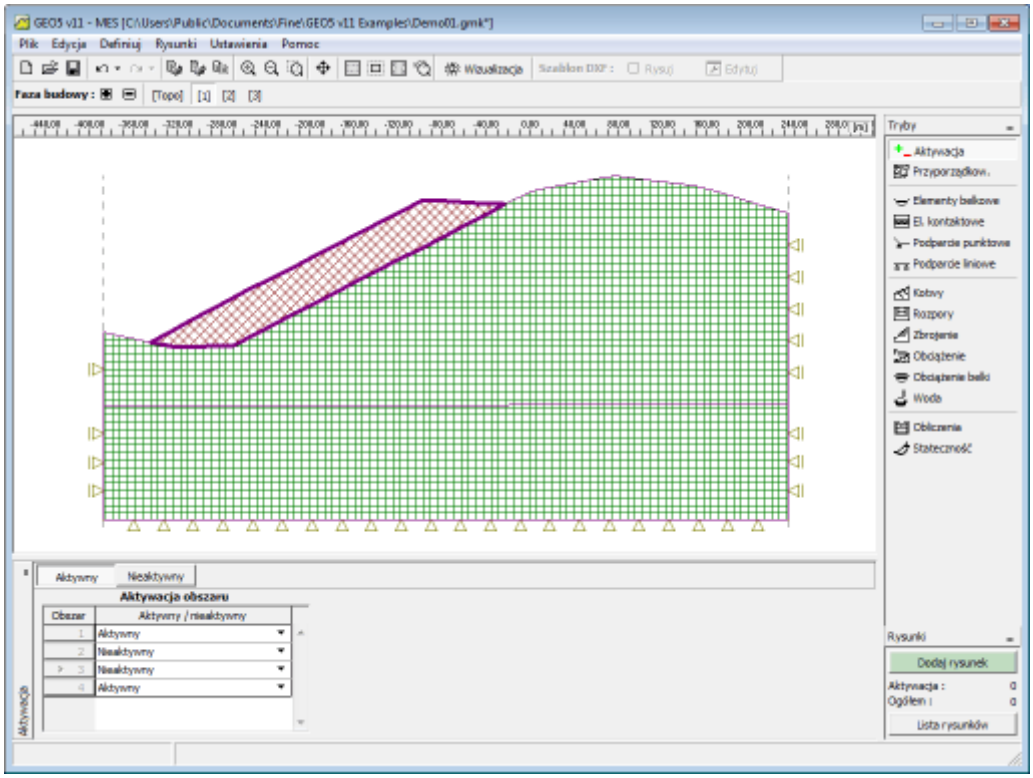


Ramka "Wykop"

Funkcja wykop umożliwia częściową dezaktywację sił, pochodzących od gruntu wewnątrz wykopu stanowiących podparcie otaczającego masywu gruntowego. Metoda ta pozwala na modelowanie stopniowego wykopu z zastosowaniem analizy 2D (płaski stan odkształcenia). Standardowe zastosowanie polega na częściowej dezaktywacji gruntu w wykopie w jednej fazie obliczeniowej, instalacji obudowy tymczasowej (element belkowy) i następnie w fazie kolejnej dezaktywacja pozostałego naprężenia stanowiącego rozparcie w wykopie. W literaturze metoda ta znana jest jako Convergence Confinement Method.

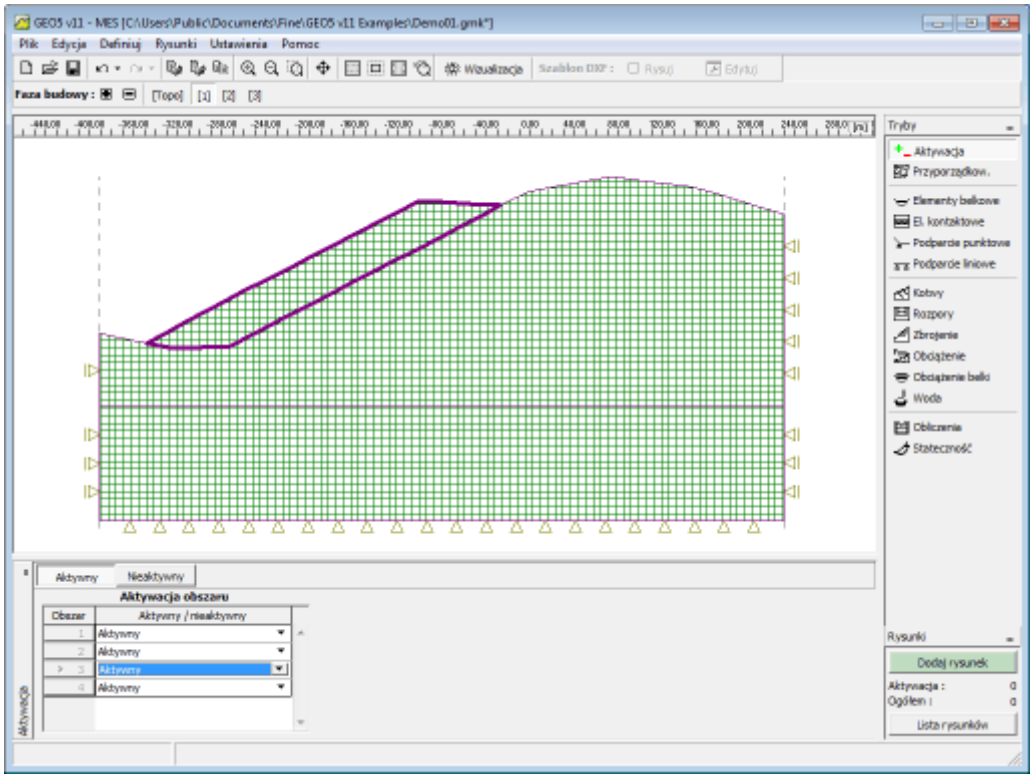
Aktywacja

Program pozwala na **usuwanie (dezaktywację) gruntów** z poszczególnych obszarów. Jako przykład rozważymy analizę nasypu. W takim przypadku, należy go uwzględnić już w trybie "topo" przy tworzeniu ogólnego modelu geometrycznego. W pierwszej fazie obliczeniowej, należy dokonać jego dezaktywacji. Podobne podejście stosuje się dla wyrobisk podziemnych i wykopów otwartych (tunele, ścianki szczelne). Przy dezaktywacji obszaru poniżej zwierciadła wód gruntowych należy prawidłowo zamodelować warunki brzegowe obszaru.



Modelowanie nasypu - 1. faza obliczeń

Nasyp można następnie ponownie aktywować w kolejnej fazie obliczeń.



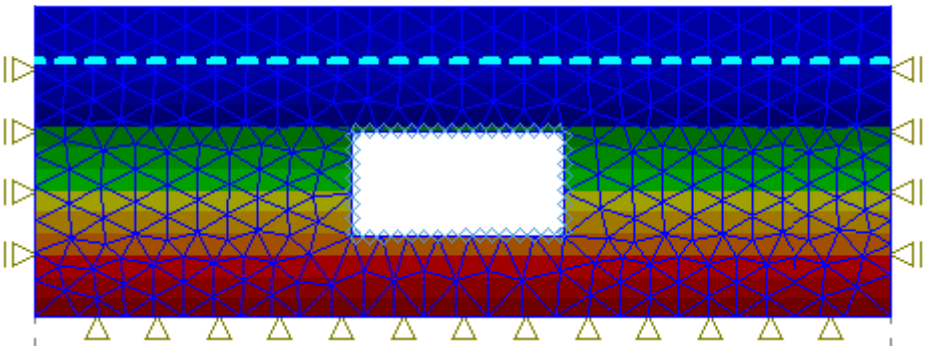
Modelowanie nasypu - aktywacja obszaru nasypu

Istnieje również możliwość kopiowania bieżącego profilu jako warstw sortowanych oraz wstawiania profilu do innego programu za pomocą GeoSchowka. Kopiowane warstwy są korygowane w taki sposób, aby zapewnić zgodność ze specyfikacją profili 2D definiowanych od góry do dołu.

Aktywacja obszarów poniżej ZWG

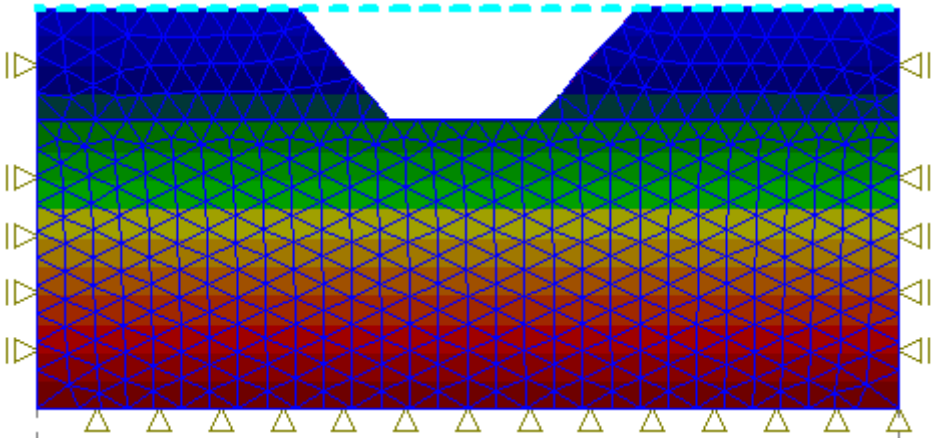
Przy dezaktywacji obszarów położonych poniżej zwierciadła wód gruntowych (ZWG) rozpatrujemy dwa przypadki.

1) Grunt poddawany wydobyciu **jest całkowicie ograniczony przez aktywne elementy belkowe**. Belka jest w takim przypadku uważana za całkowicie nieprzepuszczalną dla wody i zarówno grunt, jak i woda podlegają usunięciu (usunięcie naprężeń całkowitych - **obszar nieaktywny jest wolny od wody**). Ze względu na nieprzepuszczalność elementów belkowych, rozkład ciśnienia porowego pozostaje niezmieniony (zob. rysunek).



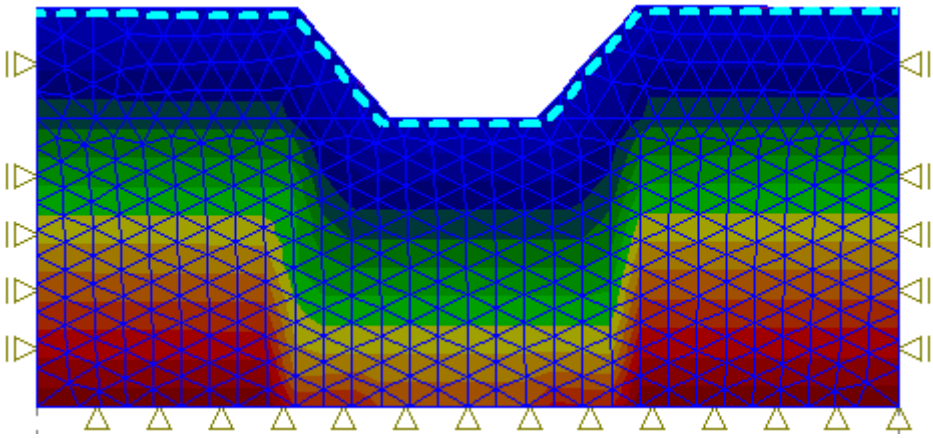
Rozkład ciśnień porowych po usunięciu gruntu z obszaru ograniczonego aktywnymi elementami belkowymi

2) Usunięty grunt **nie jest ograniczony elementami belkowymi.** W takim wypadku zakładamy, że woda w obszarze wyrobiska **jest nadal aktywna.** Stan taki uwidacznia się doskonale w rozkładzie ciśnienia porowego przedstawionym na rysunku.



Rozkład ciśnienia porowego po usunięciu gruntu

Jego wpływ można zlikwidować poprzez **zmianę poziomu zwierciadła wód gruntowych.**



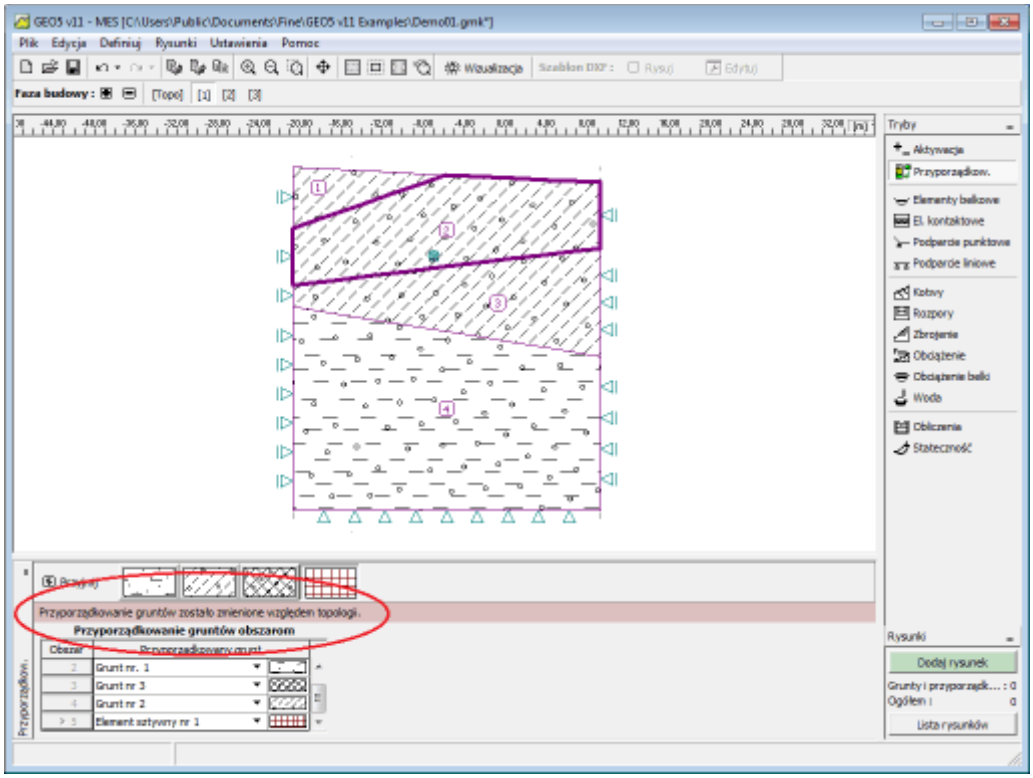
Rozkład ciśnienia porowego po zmianie poziomu zwierciadła wód gruntowych

Przyporządkowanie

Ramka "**Przyporządkowanie**" zawiera listę warstw profilu i związanych z nimi gruntów. Jej funkcje są podobne jak w przypadku przyporządkowywania gruntów w trybie topologii.

W fazach obliczeniowych, aktywne grunty są przyporządkowywane raczej do obszarów niż do warstw. Obszary są tworzone automatycznie podczas budowania modelu obliczeniowego.

Zdefiniowane przyporządkowanie gruntów może być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.

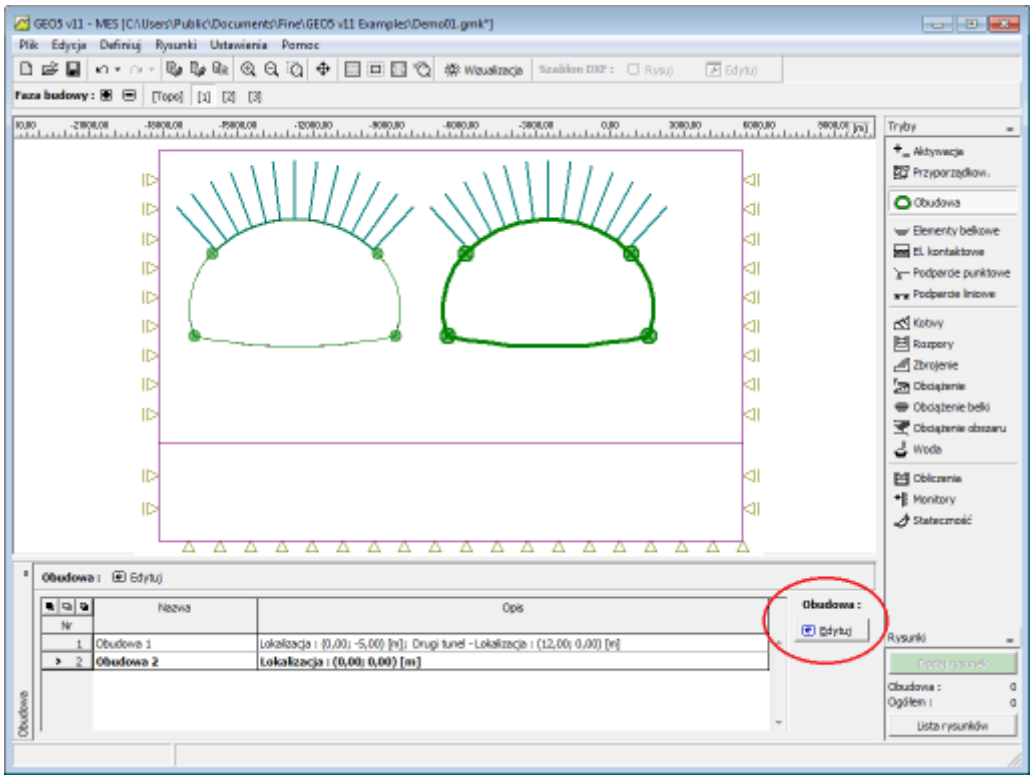


Ramka "Przyporządkowanie"

Obudowa

Ramka "**Obudowa**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych obudów. Ramka jest dostępna w programie po wybraniu trybu "**Tunel**" w oknie "Ustawienia". W kolejnych fazach budowy dozwolona jest tylko edycja Obudowy.

W celu przeprowadzenie edycji obudowy, program uruchamia moduł "Obudowa MES". Dokładny opis funkcji przedstawiono w punkcie dotyczącym trybu "**Topologia**" (ramka "Obudowa"). Dla faz budowy, moduł "Obudowa MES" udostępnia ramki "Elementy belkowe", "Kotwy" i "Obciążenie belki".

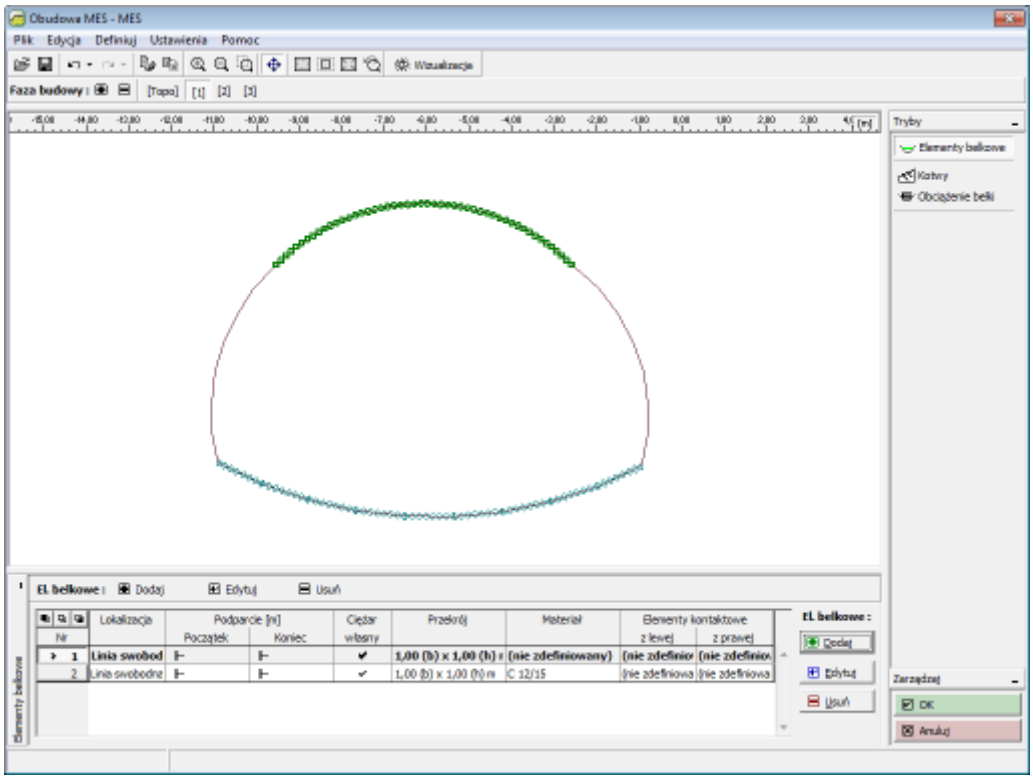


Ramka "Obudowa"

Elementy belkowe

Ramka "**Elementy belkowe**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych elementów belkowych. Działania, które można wykonać na elementach belkowych są takie same, jak stosowane w fazach budowy w programie MES - ramka "Elementy belkowe".

Rodzaje elementów kontaktowych służące do wprowadzania elementów kontaktowych na belkach przejęto z programu MES.

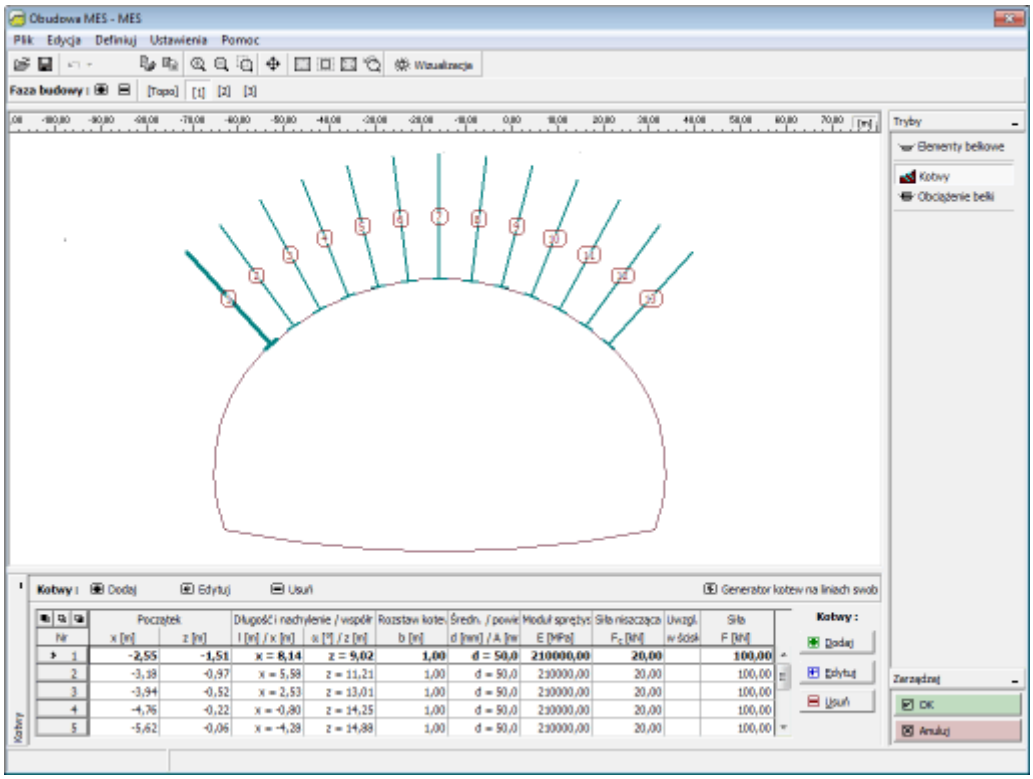


Ramka "Elementy belkowe"

Kotwy

Ramka "**Kotwy**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych kotew. Działania, które można wykonać na kotwach są takie same, jak stosowane w fazach budowy w programie MES - ramka "Kotwy".

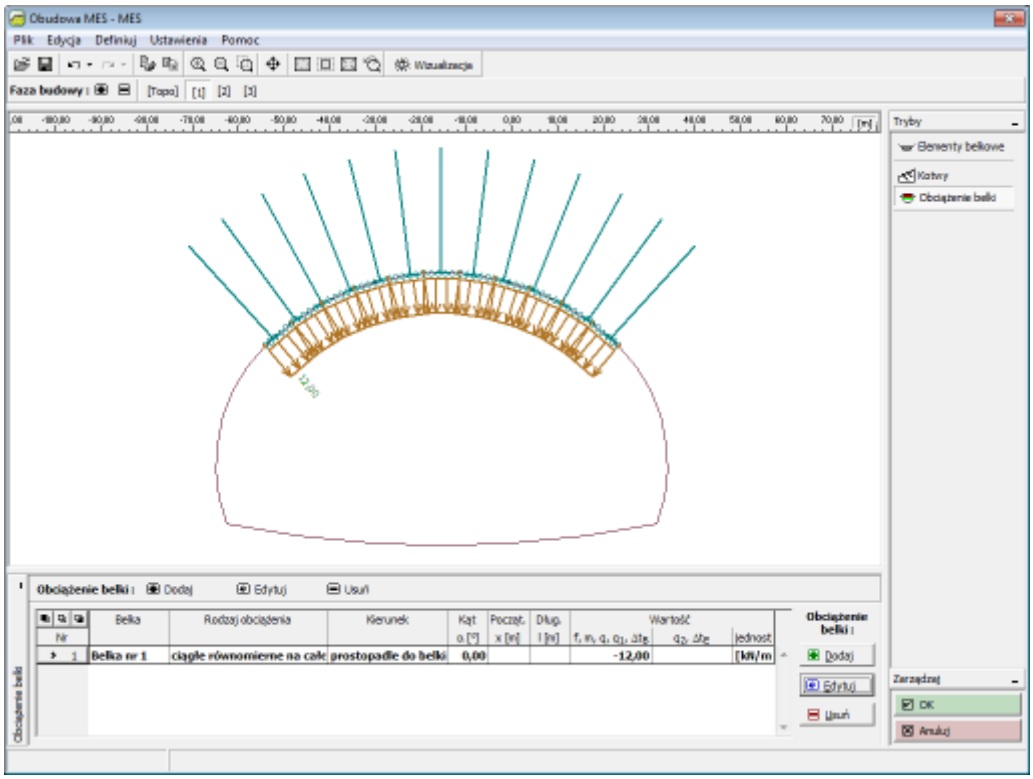
Różnicą jest to, że ramka posiada przycisk "Generator kotew na linii swobodnej" umieszczony na poziomym pasku narzędzi.



Ramka "Kotwy"

Obciążenie belki

Ramka "**Obciążenie belki**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych obciążeń. Działania, które można wykonać na obciążeniach belek są takie same, jak stosowane w fazach budowy w programie MES - ramka "Obciążenia belek".



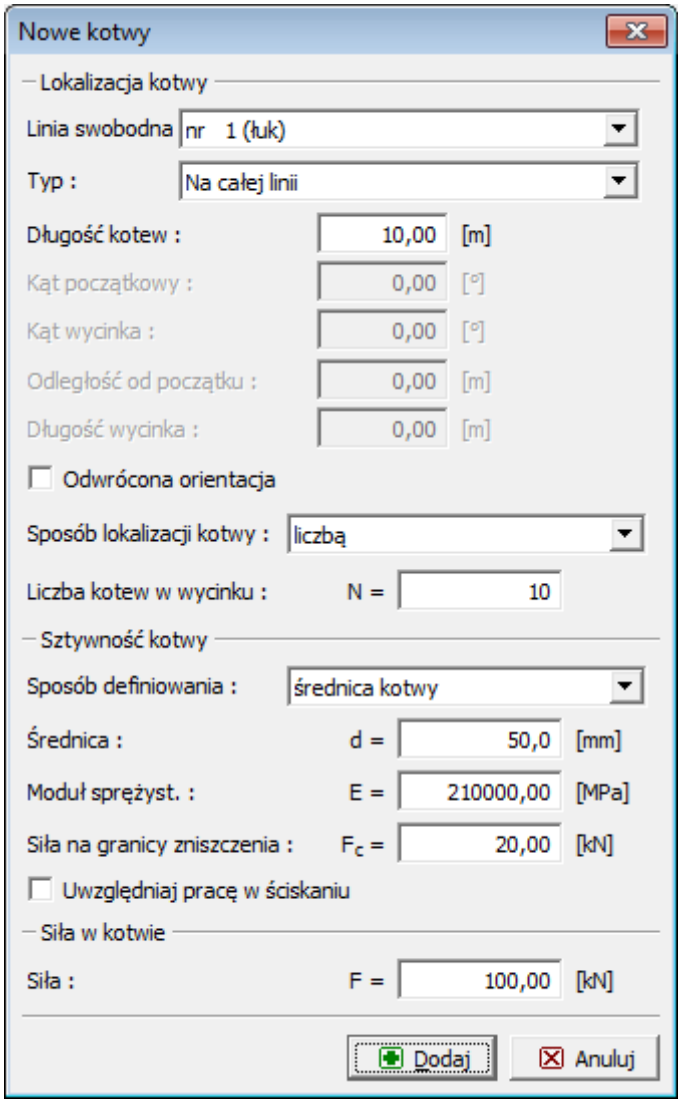
Ramka "Obciążenia belek"

Generator kotew na liniach swobodnych

W zależności od poszczególnych parametrów, generator tworzy odpowiednie elementy, które są następnie poddawane obróbce bez możliwości modyfikacji parametrycznych. Jeżeli parametry tworzenia są akceptowalne, to w trakcie ich modyfikowania program wyświetla aktualną postać graficzną utworzonych elementów.

Okno dialogowe "**Nowe kotwy**" stanowi rozszerzenie standardowego okna dialogowego umożliwiające jednakowe rozmieszczenie kilku identycznych kotew wzdłuż linii. Rozmieszczenie kotew jest generowane w sposób stosowany do generowanie obszarów kotwionych (wzdłuż całej linii, na wycinku określonym za pomocą kąta lub długości). Istnieją trzy możliwości generowania większej liczby kotew: za pomocą liczby kotew na danej długości, za pomocą kąta lub odległości między poszczególnymi kotwami.

Wygenerowane kotwy powiązane są w programie MES ze zdefiniowanymi w nim liniami swobodnymi.



Okno dialogowe "Nowe kotwy"

Elementy belkowe

Ramka "**Elementy belkowe**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych elementów belkowych. Dodawanie elementów belkowych wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe elementy belkowe**" ("**Edycja właściwości elementu belkowego**").

Lokalizację elementu belkowego można wybrać z listy rozwijanej (linia siatki lub odcinek terenu).

Zdefiniowane elementy belkowe można również edytować na ekranie za pomocą obiektów aktywnych. The program employs the following coordinate systems.

Elementy belkowe służą do modelowania **belek, obudów tuneli**, **ścianek szczelnych**, itp.. **Rozkłady sił wewnętrznych,** takich jak momenty, siły normalne i ścinające rozwinięte wzdłuż osi elementu belkowego można otrzymać z sił działających na końcach belki.

Elementy belkowe są przyporządkowane zdefiniowanym liniom (**linie swobodne, odcinki terenu**) - odpowiednia linia reprezentuje wtedy **oś elementu belkowego.** Program udostępnia kilka podstawowych rodzajów przekrojów charakterystycznych dla elementów

belkowych (ścianki szczelne, palisady, ścianki berlińskie czy ściany szczelinowe). Nie mniej jednak, użytkownik może samodzielnie zdefiniować dowolny wymagany przekrój.

Istotnym krokiem przy modelowaniu elementów belkowych jest zdefiniowanie **elementów kontaktowych**, które charakteryzują zachowanie się kontaktu element belkowy - masyw gruntowy. Elementy kontaktowe można przyporządkować do obu stron elementu belkowego. Prawidłowe zdefiniowanie elementów kontaktowych jest niezwykle ważne, zwłaszcza podczas modelowania ścianek szczelnych.

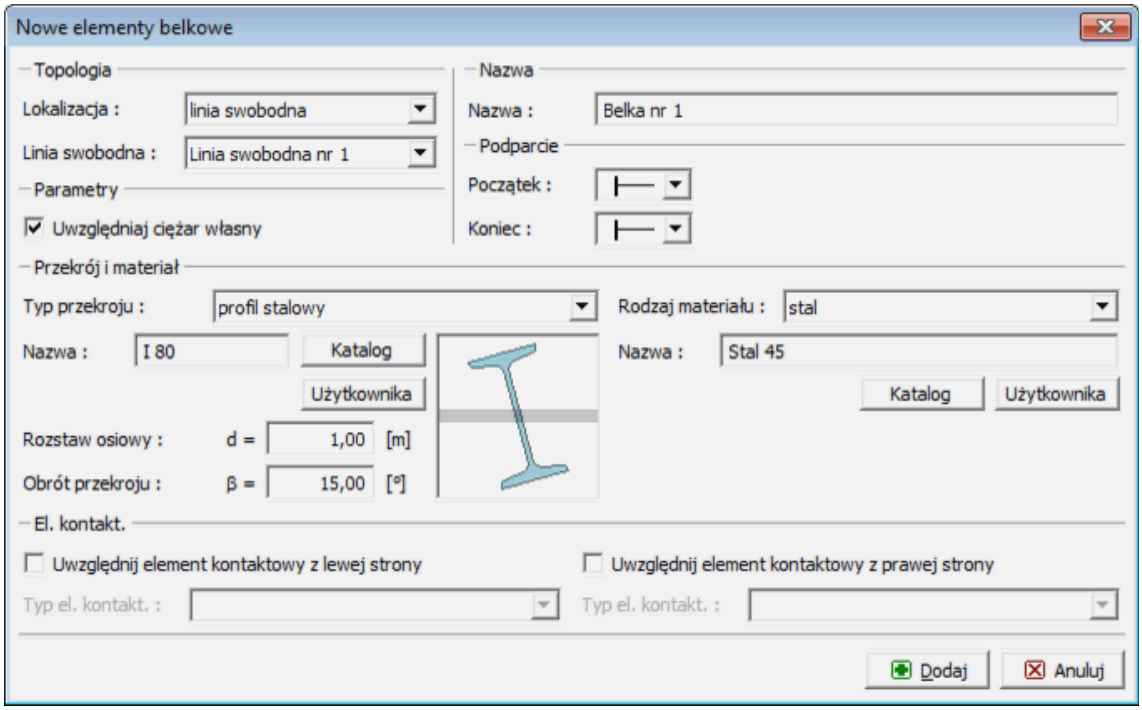
Dla każdego elementu belkowego można zdefiniować rodzaje połączeń punktów krańcowych.

W kolejnych fazach, belka może zostać wzmocniona, albo oslabiona.

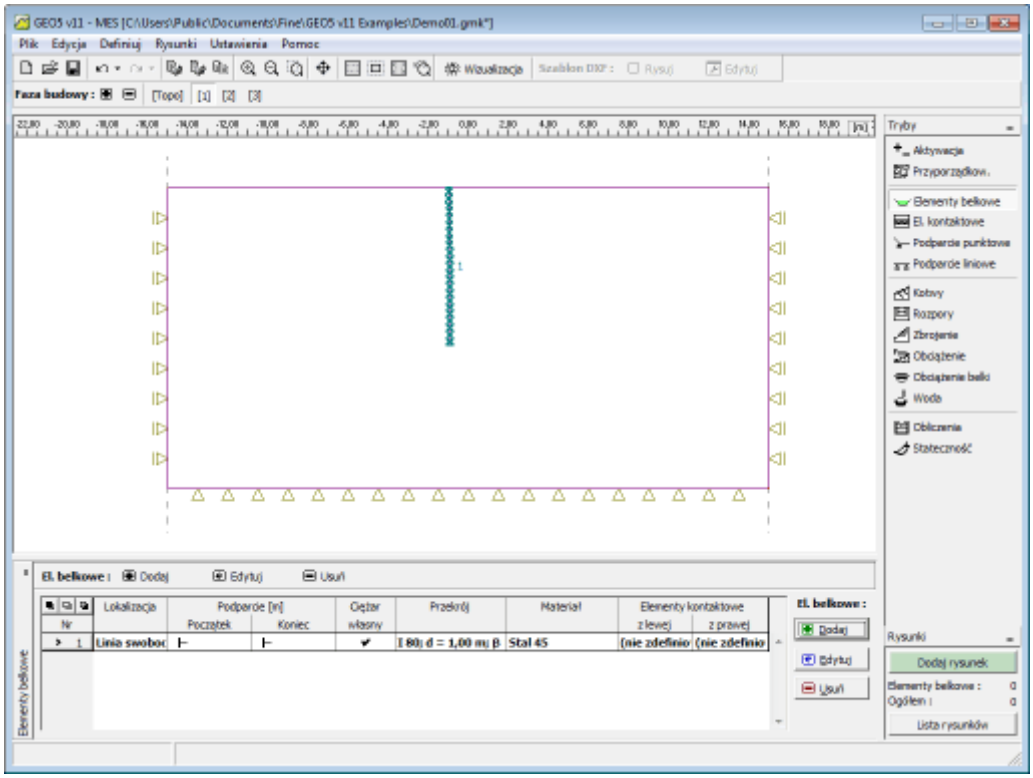
Program automatycznie uwzględnia w obliczeniach **ciężar własny elementu belkowego**. Można jednak tę opcję wyłączyć podczas definiowania elementu belkowego.

Belki są definiowane za pomocą **elementów belkowych** o trzech stopniach swobody w każdym węźle.

Elementy belkowe są tworzone w oparciu o teorię Mindlina. Teoria zakłada, że płaszczyzna przekroju normalna do osi belki przed odkształceniem pozostaje płaszczyzną po odkształceniu, ale niekoniecznie normalną do odkształconej osi belki. Obecnie, siły wewnętrzne są obliczane w węzłach elementu oraz na podstawie sił działających na końcach belki.



Okno dialogowe "Nowe elementy belkowe"



Ramka "Elementy belkowe"

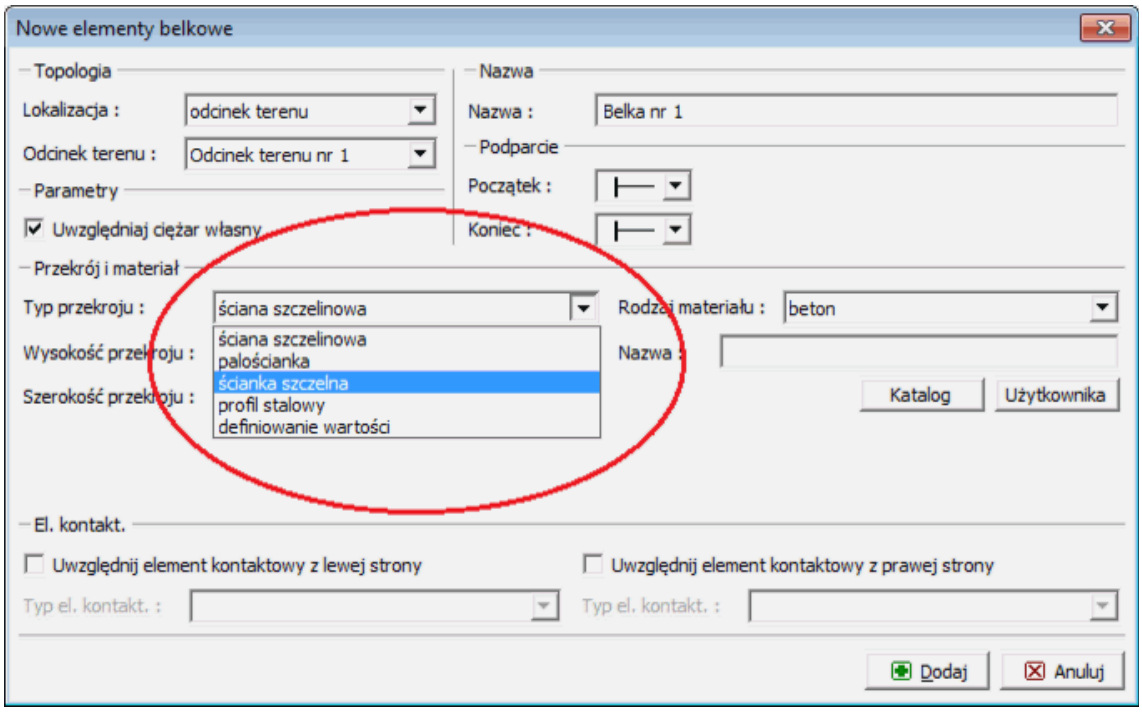
Typy przekrojów

Program umożliwia wprowadzanie **parametrów przekrojów w formie cyfrowej** lub wybór spośród predefiniowanych typów przekrojów. Materiał przekroju jest wybierany z katalogu materiałów lub wprowadzany w formie cyfrowej za pomocą edytora materiałow. Dostępne są następujące typy przekrojów elementów belkowych:

- **ściana prostokątna** wymaga zdefiniowania grubości belki
- **palisada** - wymaga zdefiniowania średnicy pali i odległości między nimi
- **ściana z grodzic stalowych** - przekroje grodzic wybiera się z bazy danych umieszczonej w programie
- **profil stalowy (ścianka berlińska)** - typ przekroju wybierany jest z bazy danych programu, należy zdefiniować odległość miedzy elementami (typ przekroju wybieramy w oknie "Katalog przekrojów" lub definiujemy w oknie "Edycja przekrojów"; rodzaj materiału wybieramy w "Katalogu materiałów" lub wprowadzamy w postaci cyfrowej w oknie "Edytor materiału")

Wszystkie wprowadzone przekroje **są automatycznie przeliczane na** $1\ mb$ **(stopę)**. **Wyniki dotyczące wewnętrznych sił powstających wzdłuż belek są również przedstawiane w przeliczeniu na** $1\ m$ **(stopę) bieżący konstrukcji.** Dlatego, w razie potrzeby pale lub belki o przekroju I należy dostosować zależnie od odległości między nimi.

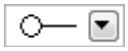
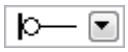
Jeżeli posiadają Państwo własną bazę danych **grodzic stalowych**, która nie jest jeszcze wbudowana do programu, to z przyjemnością zainstalujemy ją w programie. Nasz adres kontaktowy: **hotline@fine.cz**.



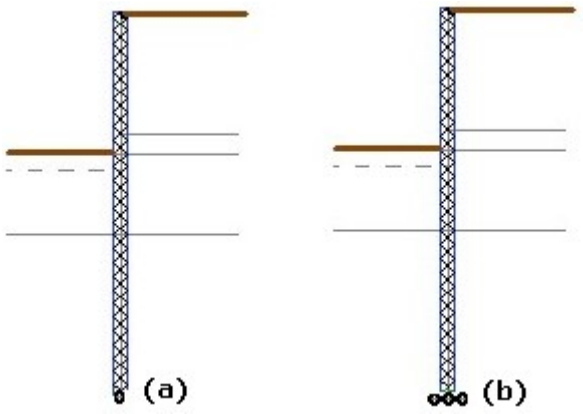
Okno dialogowe "Nowe elementy belkowe" - wybór typu przekroju

Rodzaje podparć elementów belkowych

Program udostępnia trzy rodzaje podparć (połączeń) krańców elementów belkowych:

	**stałe**	typ standardowy (domyślny)
	**przegubowe**	(stosowany do wprowadzenia wewnętrznego przegubu pomiędzy belkami - lokalizacje z zerowym momentem zginającym)
	**stopa**	przykładowo - podstawa ściany szczelinowej

Stopa jest szczególnym rodzajem punktu podparcia belki w gruncie. Stosowana jest dla **punktów podparcia krańców belki znajdujących się w ośrodku gruntowym**. Jeżeli przyjmiemy stałe podparcie, to element belkowy i element gruntowy są połączone w jednym punkcie (podparcie pojedyncze), co często skutkuje powstawaniem odkształceń plastycznych w otaczającym gruncie i utratą konwergencji. **Stopa pozwala na uzyskanie bardziej realistycznego rozkładu naprężeń kontaktowych** i zapobiega „wbijaniu się" belki w grunt i w efekcie pozwala na stabilizację procesu konwergencji. **Domyślnie, szerokość stopy (podstawy)** przyjęto jako równą szerokości elementu belkowego - można ją dowolnie dostosowywać (np. w celu powiększenia dolnej końcówki pala).



Podparcie (a) bez stopy (b) ze stopą

Osłabienie i wzmocnienie elementów belkowych

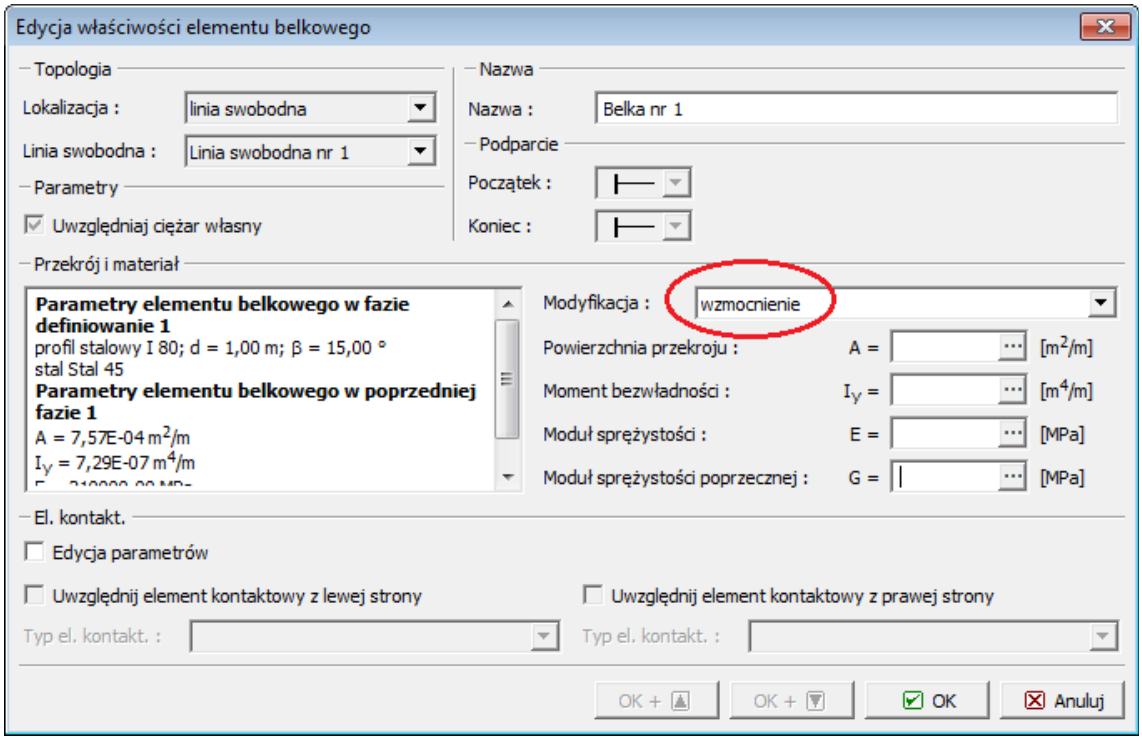
W kolejnych fazach, zdefiniowane elementy belkowe nie mogą być edytowane w sposób standardowy. W celu dokonania ich modyfikacji, należy wybrać jedną z opcji:

- usunięcie wybranego elementu belkowego z analizy
- osłabienie wybranego elementu belkowego (dostępne tylko w trybie "Tunel")
- wzmocnienie przekroju wybranego elementu belkowego
- modyfikacja właściwości elementów kontaktowych wzdłuż elementu belkowego

Rodzaj zmian wybieramy w oknie dialogowym "**Edycja właściwości elementu belkowego**".

Stopień **osłabienia elementu belkowego** wyrażany jest w procentach, a sto procent odpowiada usunięciu elementu belkowego.

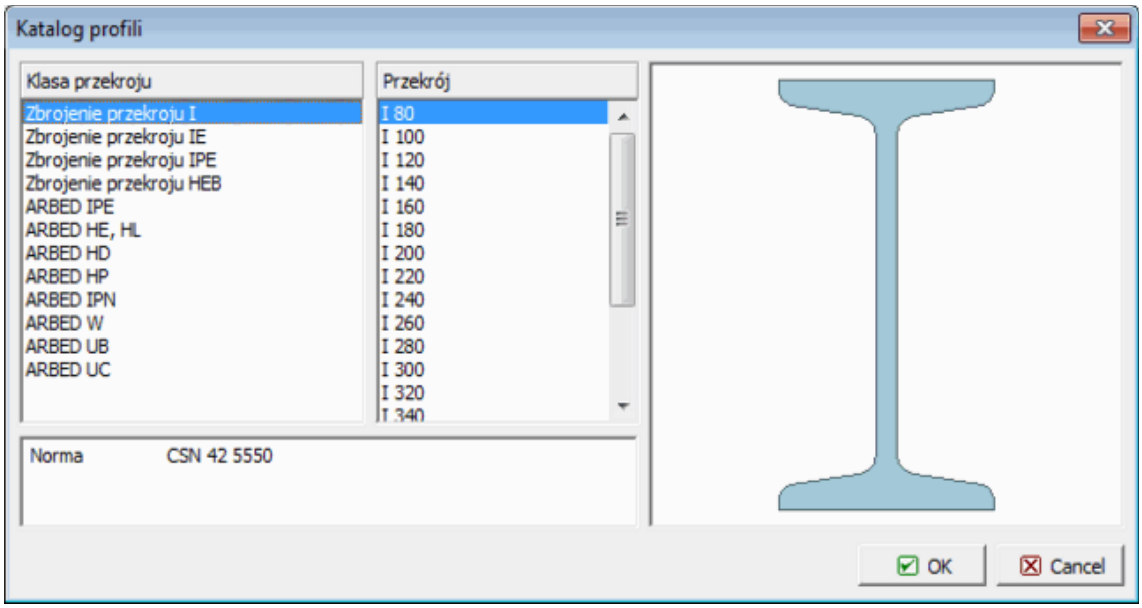
Wzmocnienie elementu belkowego o przekroju prostokątnym można osiągnąć poprzez powiększenie jego grubości (np. zwiększając grubość warstwy torkretu). Pozostałe przekroje można modyfikować bezpośrednio wpisując nowe (wyższe) wartości parametrów przekroju.



Okno dialogowe "Edycja właściwości elementu belkowego" - wzmocnienie elementu belkowego

Katalog profili

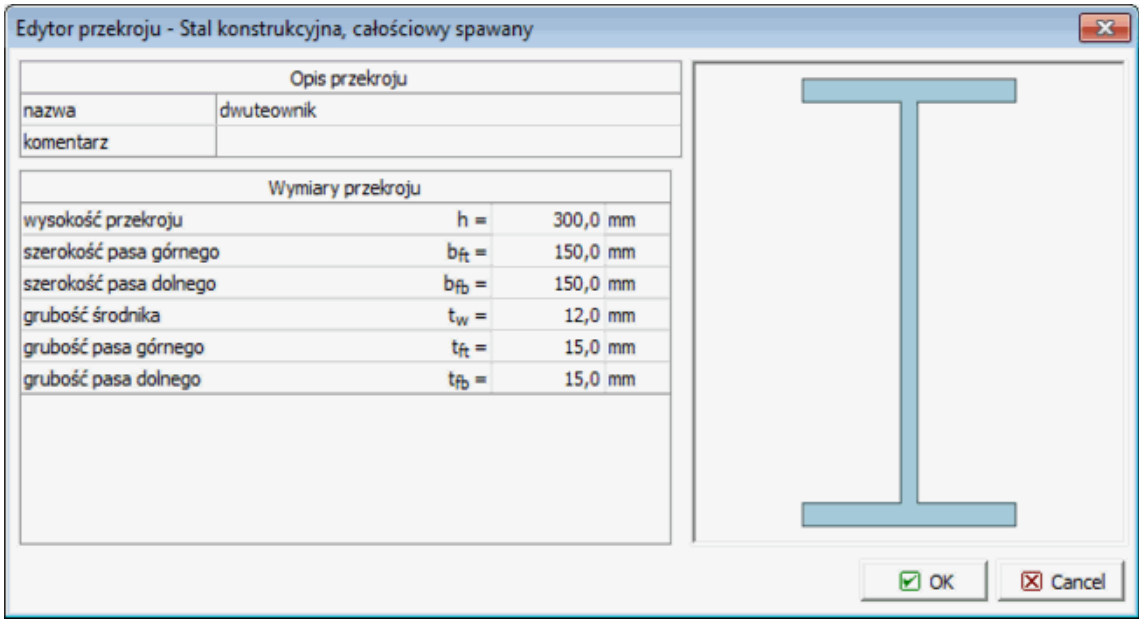
W przypadku przekrojów stalowych program umożliwia wybór poszczególnych przekrojów z katalogu. W oknie dialogowym należy jedynie wybrać rodzaj przekroju. Rodzaj materiału profilu wybierany jest podobnie jak w przypadku pozostałych profili (ściana o przekroju prostokątnym, palościanka, ścianka szczelna...) w "Katalogu materiałów" lub definiowana w oknie "Edytor materiału". Wyboru rodzaju profilu (elementu belkowego) dokonujemy w oknie dialogowym "Nowy element belkowy".



Okno dialogowe "Katalog profili"

Edytor przekroju

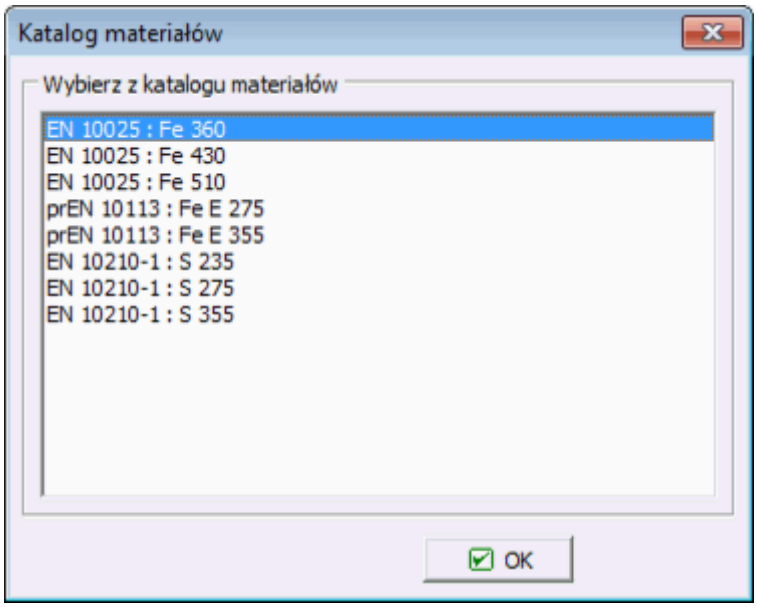
W przypadku profili stalowych, program umożliwia wprowadzanie przekrojów definiowanych przez użytkownika. W oknie dialogowym należy jedynie zdefiniować kształt przekroju. Rodzaj materiału profilu wybierany jest podobnie jak w przypadku pozostałych profili (ściana o przekroju prostokątnym, palościanka, ścianka szczelna...) w "Katalogu materiałów" lub definiowana w oknie "Edytor materiału". Wyboru rodzaju profilu (elementu belkowego) dokonujemy w oknie dialogowym "Nowy element belkowy".



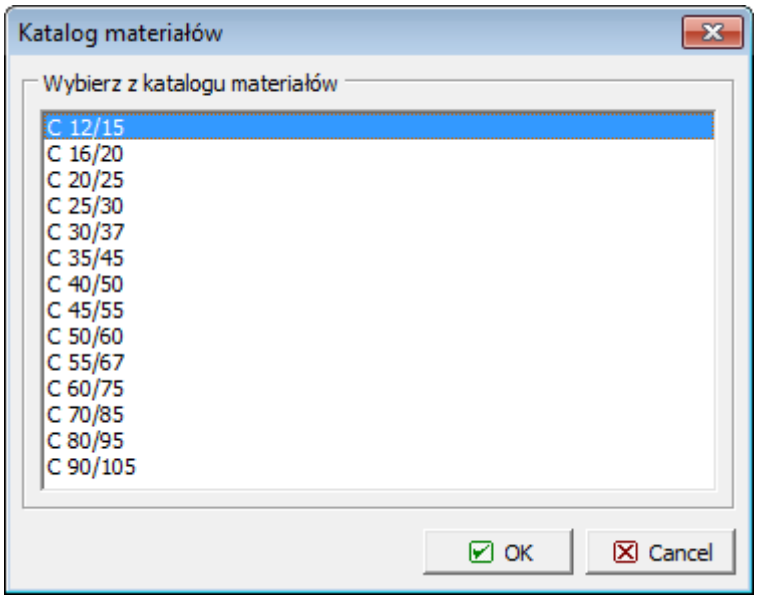
Okno dialogowe "Edytor przekroju - stal konstrukcyjna, całościowy spawany"

Katalog materiałów

Program zawiera wbudowany katalog materiałów betonowych i stalowych. W oknie dialogowym należy jedynie wybrać rodzaj materiału. Kształt profilu wybierany jest w "Katalog profili" lub definiowany w "Edytorze przekroju". W przypadku innych rodzajów profili (ściana o przekroju prostokątnym, palisada, ściana z grodzic stalowych...), wyboru rodzaju profilu dokonujemy w oknie dialogowym "Nowy element belkowy".



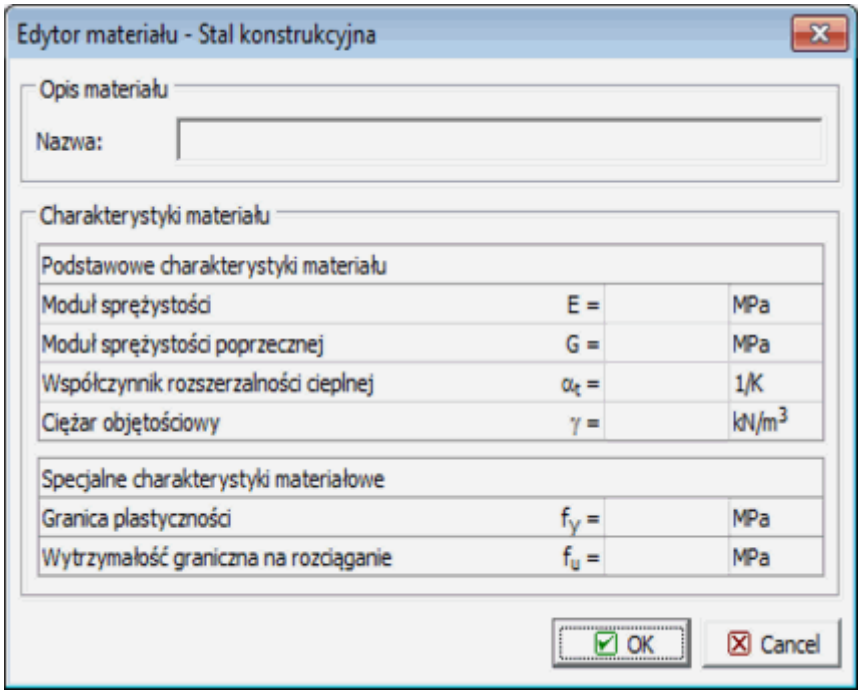
Okno dialogowe "Katalog materiałów" - stal



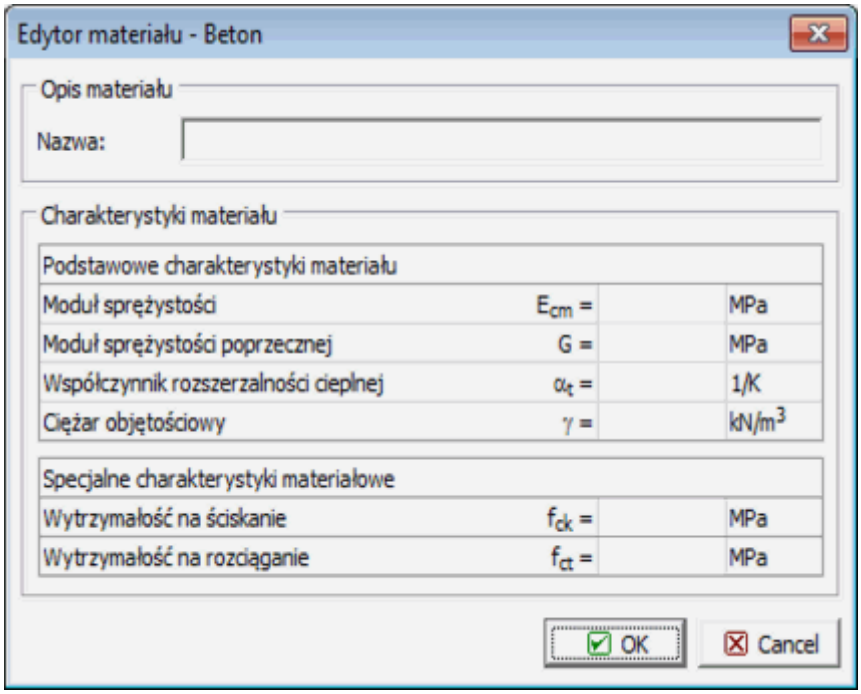
Okno dialogowe "Katalog materiałów" - beton

Edytor materiału

Poza korzystaniem z "Katalogu materiałów", program umożliwia użytkownikowi wprowadzanie parametrów materiałowych dla stali i betonu w postaci cyfrowej. W oknie dialogowym należy jedynie wybrać rodzaj materiału (parametry materiałowe). Kształt profilu wybierany jest w "Katalog profili" lub definiowany w "Edytorze przekroju". W przypadku innych rodzajów profili (ściana o przekroju prostokątnym, palisada, ściana z grodzic stalowych...), wyboru rodzaju profilu dokonujemy w oknie dialogowym "Nowy element belkowy".



Okno dialogowe "Edytor materiału - Stal konstrukcyjna"



Okno dialogowe "Edytor materiału - Beton"

Elementy kontaktowe

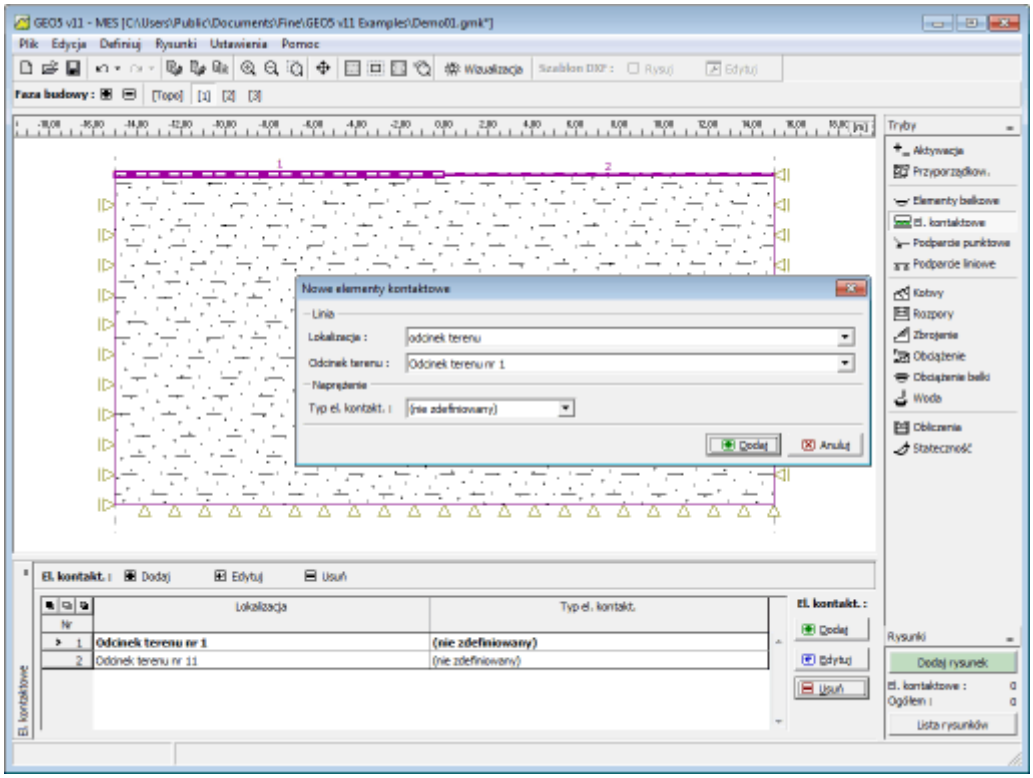
Ramka "**Elementy kontaktowe**" zawiera tabelę z listą elementów kontaktowych. Dodawanie (edycja) elementów kontaktowych wykonywana jest w oknie dialogowym "**Nowe elementy kontaktowe**".

Elementy kontaktowe znajdują zastosowanie w przypadkach, gdy niezbędne jest prawidłowe

przedstawienie wzajemnych oddziaływań między konstrukcją i gruntem. Mogą być ponadto stosowane do modelowania złączy konstrukcyjnych lub granic pomiędzy dwoma różnymi materiałami (granica grunt - skała). Elementy kontaktowe są przyporządkowane do wcześniej zdefiniowanych linii - linii swobodnych lub linii siatki (np. warstw). Element kontaktowy definiuje się wybierając odpowiedni typ elementu.

Lokalizację elementu kontaktowego można wybrać z listy rozwijanej (linia siatki lub odcinek terenu).

Zdefiniowane elementy kontaktowe można również edytować na ekranie za pomocą obiektów aktywnych.



Ramka "Elementy kontaktowe"

Elementy kontaktowe i belkowe (Przepływ wody)

Ramka "**Elementy kontaktowe**" ("**Elementy belkowe**") zawiera (w trybie "Przepływ wody") tabelę z listą elementów kontaktowych (belkowych). Dodawanie (edycja) elementów kontaktowych wykonywana jest w oknie dialogowym "**Nowe elementy kontaktowe**".

Lokalizację elementu kontaktowego można wybrać z listy rozwijanej (linia siatki lub odcinek terenu).

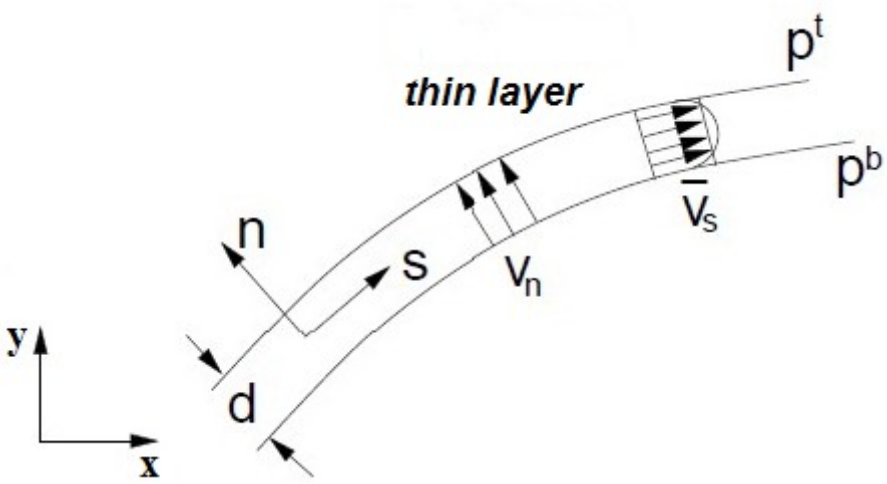
Elementy kontaktowe znajdują zastosowanie w przypadkach, gdy niezbędne jest prawidłowe przedstawienie wzajemnych oddziaływań między konstrukcją i gruntem. Mogą być ponadto stosowane do modelowania złączy konstrukcyjnych lub granic pomiędzy dwoma różnymi materiałami (granica grunt - skała). Elementy kontaktowe są przyporządkowane do wcześniej zdefiniowanych linii - linii swobodnych lub linii siatki (np. warstw). Element kontaktowy opisuje się wybierając odpowiedni typ elementu.

Zdefiniowane elementy kontaktowe można również edytować na ekranie za pomocą obiektów aktywnych.

Element belkowy lub kontaktowy można zdefiniować jako:

- **przepuszczalny**
- **nieprzepuszczalny**
- **częściowo przepuszczalny**

Elementy kontaktowe pozwalają na modelowanie pewnych barier dla przepływu wody w masywie gruntowym. Rozważmy przykład ścianki szczelnej reprezentowany dla potrzeb analizy naprężeń przez elementy belkowe. Ścianka szczelna zakotwiona wewnątrz obszaru może być traktowana jako całkowicie przepuszczalna, całkowicie nieprzepuszczalna lub częściowo przepuszczalna. Chociaż dwa pierwsze przypadki mogą być również rozwiązywane z użyciem elementów kontaktowych umieszczonych wzdłuż odpowiedniej linii, to program traktuje je w sposób automatyczny, bez konieczności wprowadzania tych elementów. Trzeci przypadek reprezentuje problem przepływu wody w cienkiej strefie o danej miąższości d, zob. rysunek:



Częściowo przepuszczalny element kontaktowy

Odpowiednie wartości strumienia w kierunku stycznym (kierunek s) q_s i kierunku normalnym (kierunek n) q_n obliczane są ze wzorów:

$$q_s = -k_s \frac{1}{2} \frac{\partial \left(h^t + h^b \right)}{\partial_s}$$

$$q_n = -k_n \frac{h^t + h^b}{d}$$

Definiowanie elementów kontaktowych wymaga więc podania następujących parametrów:

k_s - przepuszczalność w kierunku stycznym (przepuszczalność podłużna), [$m/dobę$]

k_n - przepuszczalność w kierunku normalnym (przepuszczalność poprzeczna) [$m/dobę$]

Podparcie punktowe

Ramka "**Podparcie punktowe**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych rodzajów podparć punktowych. Dodawanie podparć punktowych wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe podparcia punktowe**".

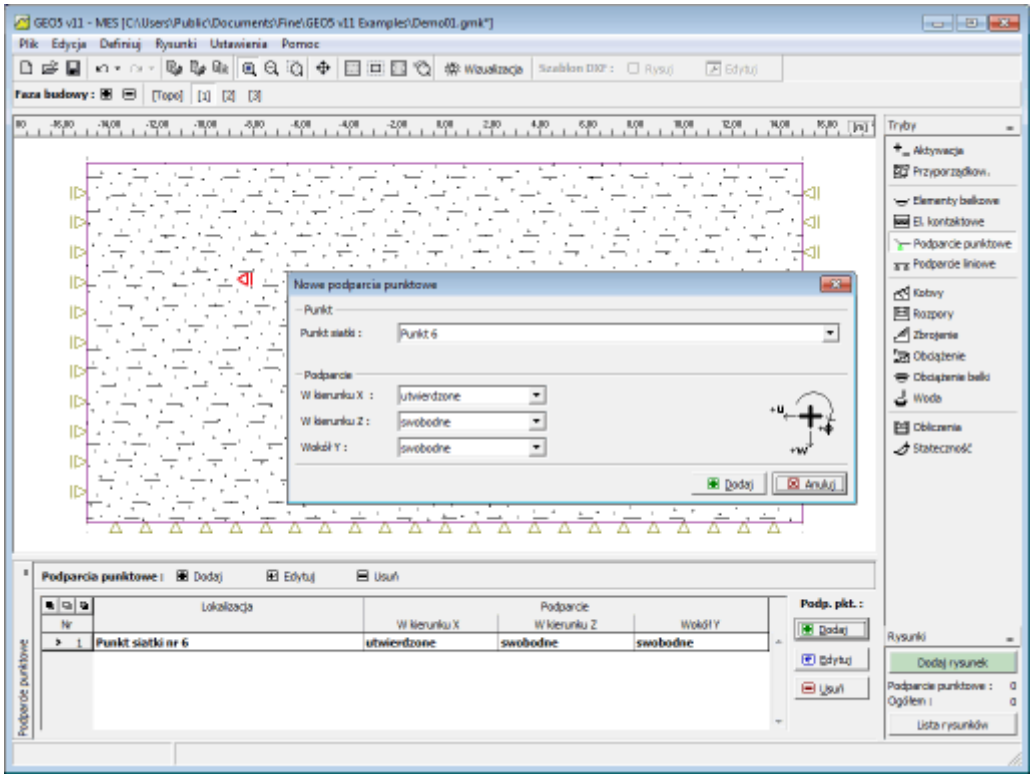
Zdefiniowane podparcia punktowe można również edytować na ekranie za pomocą obiektów aktywnych. W programie zastosowano następujące układy współrzędnych.

Program posiada moduł automatycznej generacji standardowych warunków brzegowych. Dlatego też, w przypadku większości zadań **nie istnieje konieczność definiowania warunków brzegowych (podparcia)**.

Uwzględniane są **następujące rodzaje podparć punktowych**:

- **swobodne**
- **utwierdzone**
- **sprężyste**
- **przemieszczeniowe**

Podparcia są definiowane w **globalnym układzie współrzędnych**.



Ramka "Podparcie punktowe"

Punkty - przepływ

Ramka "**Punkty - przepływ**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych rodzajów przepływu punktowego wody. Dodawanie przepływu punktowego wykonywana jest w oknie dialogowym "**Nowy przepływ punktowy wody**".

Zdefiniowane przepływy punktowe można również edytować na ekranie za pomocą obiektów aktywnych.

Można zdefiniować następujące warunki brzegowe:

a) Ciśnienie porowe w punkcie

- Numerycznie - definiowana jest wartość ciśnienia porowego w danym punkcie [kPa, ksf].

- Poprzez podanie lokalizacji zwierciadła wód gruntowych (wysokość hydrauliczna) - definiowana jest współrzędna zwierciadła wód gruntowych (ZWG).

b) Napływ/wypływ w punkcie

- Definiowane jest natężenie pompowania/iniekcji [$m^3/dobę/m$, $ft^3/dobę/ft$].

Podparcie liniowe

Ramka "**Podparcie liniowe**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych podparć liniowych. Dodawanie podparć liniowych wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe podparcia liniowe**".

Lokalizację podparcia liniowego można wybrać z listy rozwijanej (linia siatki lub odcinek terenu).

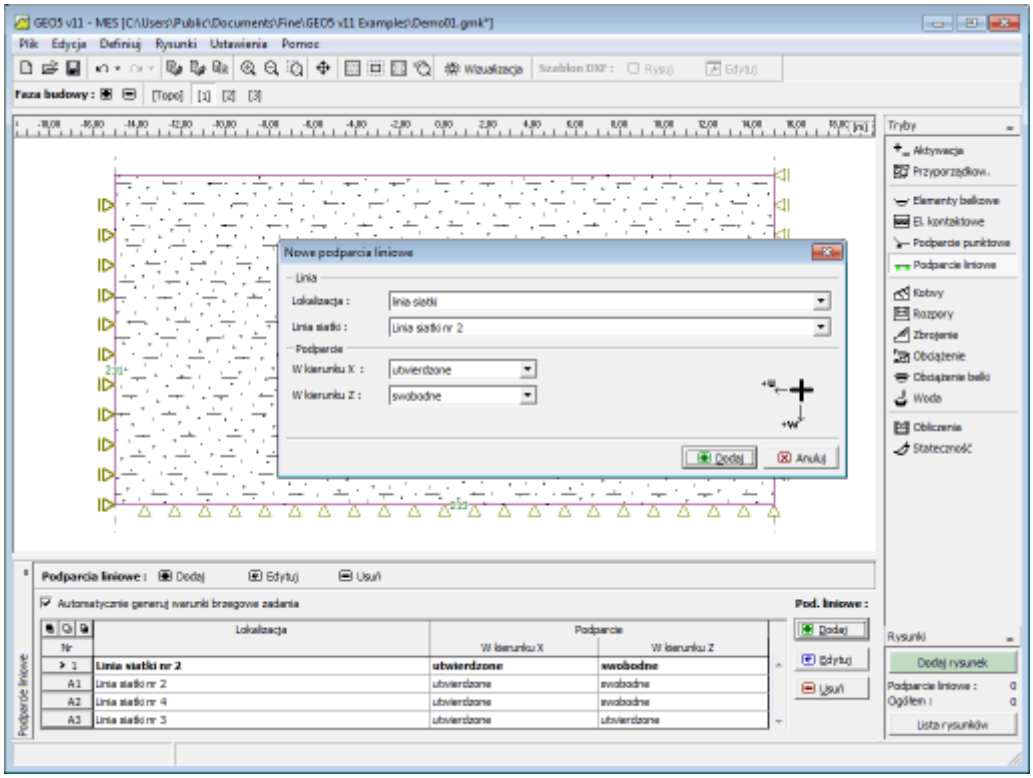
Wprowadzone podparcia liniowe można również edytować na ekranie za pomocą obiektów aktywnych. W programie zastosowano następujące układy współrzędnych.

Program zawiera moduł automatycznej generacji standardowych warunków brzegowych. Dlatego, dla większości zadań **definiowanie warunków brzegowych nie jest wymagane.**

Przyporządkowywanie podparć do linii wymaga najpierw wybrania rodzaju linii (**linia swobodna, element brzegowy, linia siatki**).

Uwzględniane są **następujące rodzaje podparć liniowych:**

- swobodne
- utwierdzone
- przemieszczeniowe



Ramka "Podparcia liniowe"

Linie - przepływ

Ramka "**Linie - przepływ**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych przepływów liniowych. Edycja przepływu liniowego jest wykonywana w oknie dialogowym "**Nowy przepływ liniowy wody**".

Zdefiniowane przepływy liniowe wody można również edytować na ekranie za pomocą obiektów aktywnych.

Warunki **brzegowe dotyczące przepływu** wody **muszą być zdefiniowane dla wszystkich linii brzegowych** zadania. Można zdefiniować następujące warunki brzegowe:

a) Nieprzepuszczalne

b) Przepuszczalne Ciśnienie porowe na danej linii jest równe zero.

c) Ciśnienie porowe

- rozkład ciśnienia porowego p można zdefiniować numerycznie
- rozkład ciśnienia porowego można zdefiniować wprowadzając lokalizację zwierciadła wód gruntowych (przypisując wysokość hydrauliczną h)

d) Napływ/wypływ wody na linii q - jest definiowany w jednostkach prędkości, np. $[m/dobę, ft/dobę]$ - definiowana jest prędkość przepływu wody do/z obszaru. Ustawienie domyślne odpowiada granicy nieprzepuszczalnej, dla której $q = 0$.

e) Powierzchnia filtracji - ten warunek graniczny jest wprowadzany, jeżeli nie można jednoznacznie podzielić granicy na część, dla której określona jest wartość ciśnienia porowego, oraz na część, dla której określona jest wartość napływu/wypływu (punkt wyjścia nie jest znany). W takim przypadku obliczenia wykonuje się w dwóch krokach. W pierwszy kroku program lokalizuje punkty wyjścia. W drugim kroku przeprowadzane są właściwe obliczenia przepływu dla znanych warunków brzegowych. Istnieją przypadki, dla których oba kroki wymagają kilkukrotnego powtórzenia. Jeżeli stosowane jest definiowanie rozszerzone, program wymaga podania fikcyjnej wartości filtracji k_V wyrażonej w jednostce $[m/dobę]$. Jest to zasadniczo czynnik krytyczny będący zwykle liczbą odpowiednio dużą, która zapewnia, iż na granicy nieprzepuszczalnej wartość wysokości hydraulicznej h będzie równa współrzędnej y danego punktu ($q = 0$); dla części brzegu bez warunku przepływu wartość $k_V = 0$. Między zmiennymi q i h istnieje wtedy następujący związek:

$\bar{q}_n = k_v (h - y)$ jeżeli $h > 0$ $(S = 1)$ wewnątrz ośrodka gruntowego

$\bar{q}_n = 0$ jeżeli $h < 0$ $(S < 1)$ wewnątrz ośrodka gruntowego

Uwaga: W przypadku przepływu nieustalonego, w pierwszej fazie budowy definiuje się bezpośrednio lokalizację zwierciadła wody gruntowej jako warunek początkowy. Natomiast w kolejnych fazach budowy, wzdłuż brzegów położonych poniżej ZWG w obszarze gruntów w pełni nasyconych, należy zdefiniować brzeg z określoną, odpowiednią wartością ciśnienia porowego a nie powierzchnię filtracji (przepływu). W przypadku błędnego zdefiniowania w tej strefie powierzchni filtracji program uwzględni ten brzeg jako brzeg o zerowej wartości ciśnienia porowego zamiast brzegu z odpowiednim rozkładem ciśnienia porowego, wynikającym ze zdefiniowanej lokalizacji zwierciadła wody gruntowej. W tej sytuacji nie zostanie uzyskana zbieżność analizy, ponieważ woda - zamiast wypływać z modelu przy $p = 0$, będzie miała tendencję do wpływania, co nie jest prawidłowe.

Kotwy

Ramka "**Kotwy**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych kotew. Dodawanie (edycja) kotew wykonywana jest w oknie dialogowym "**Nowe kotwy**" ("**Edytuj właściwości kotew**").

Wprowadzone kotwy można również edytować na ekranie za pomocą obiektów aktywnych. W programie zastosowano następujące układy współrzędnych.

Głowica kotwy (punkt początkowy) można **automatycznie dowiązać** do terenu, wybranej warstwy lub otworu (obudowa tunelu). Głowica kotwy jest w takim przypadku automatycznie umieszczana na przecięciu linii kotwy określonej przez zdefiniowane punkty oraz wybranej linii. Kotwę można także definiować w sposób bezpośredni, podając współrzędne obu punktów krańcowych.

Kotwy, jako elementy stabilizujące lub wzmacniające, są reprezentowane przez **sprężysty element prętowy poddawany obciążeniom rozciągającym i ściskającym**, charakteryzujący się stałą sztywnością normalną. Graniczna wytrzymałość na rozciąganie kotwy zależy od maksymalnej dopuszczalnej siły rozciągającej, która na nią oddziałuje. Element prętowy jest zakotwiony w gruncie tylko w punkcie początkowym i końcowym. Nie jest uwzględniane oddziaływanie między gruntem i kotwą wzdłuż długości kotwy.

Kotwy są definiowane za pomocą punktu początkowego i końcowego oraz sztywności. Program automatycznie łączy stopnie swobody kotwy z rzeczywistymi stopniami swobody predefiniowanej siatki elementów skończonych. Dlatego, kotwę można wprowadzać **w dowolnym miejscu konstrukcji**.

Sztywność kotwy definiowana jest za pomocą modułu sprężystości i pola powierzchni. Program umożliwia również wprowadzanie średnicy kotwy - w tym przypadku pole powierzchni określane jest automatycznie. W obliczeniach stateczności, sztywność kotwy nie jest uwzględniana. Jej działanie jest realizowane tylko poprzez siłę sprężenia wprowadzaną automatycznie w postaci zewnętrznej siły ściskającej, która oddziałuje na głowicę kotwy.

Inne ważne parametry obejmują **siłę sprężenia** i **wytrzymałość na rozciąganie** (kotwa ulega zniszczeniu po przekroczeniu granicznej wytrzymałości na rozciąganie). Dla elementów niesprężonych, wartość siły sprężającej jest ustawiana na zero. W celu uniknięcia zniszczenia kotwy, można zdefiniować odpowiednio dużą wartość wytrzymałości kotwy na rozciąganie.

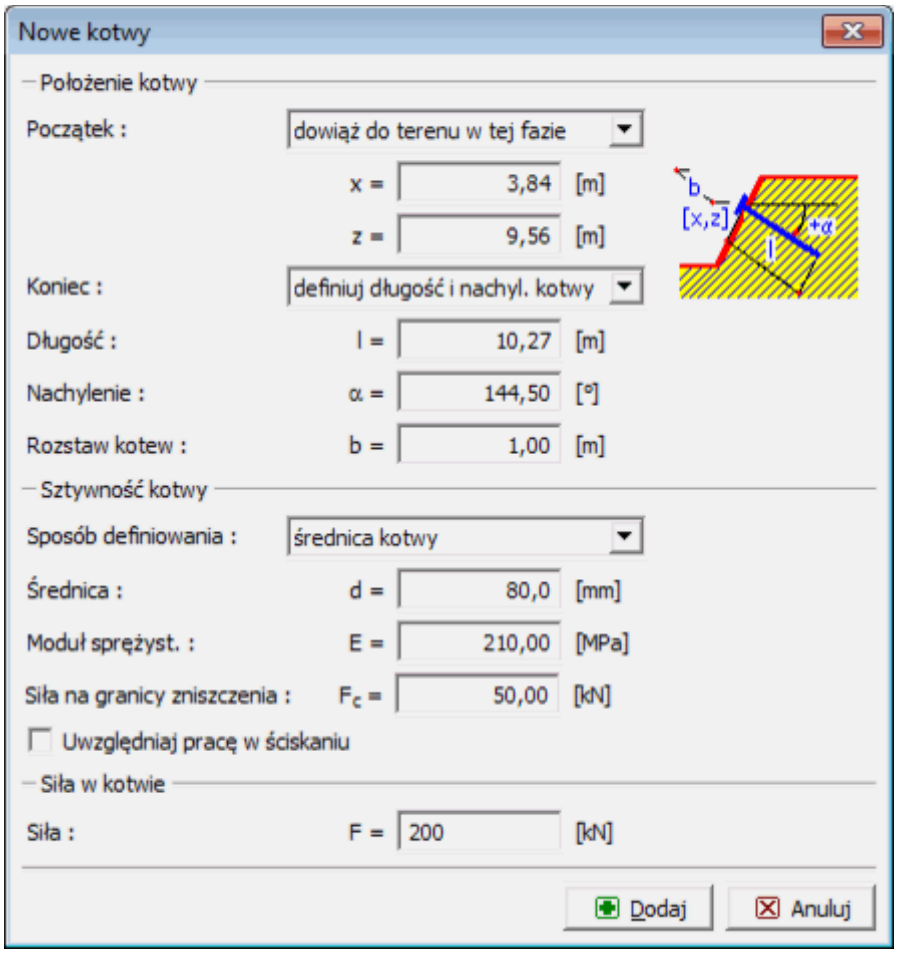
Przyjęto domyślnie, że kotew **nie przenosi sił ściskających** - elementy kotew, które znajdą się na pewnym etapie obliczeń pod obciążeniem ściskającym zostają czasowo deaktywowane. Gdy w dalszej analizie pojawi się rozciąganie (w wyniku zmiany obciążenia, geometrii lub parametrów materiałowych gruntu), program automatycznie wprowadzi te elementy z powrotem do analizy. Program umożliwia również wprowadzenie reakcji kotwy na naprężenie ściskające. Jednakże, w przypadku elementów przenoszących głównie obciążenia ściskające, zalecamy zdefiniowanie ich jako rozpory.

W trakcie obliczeń ujawniają się odkształcenia kotew. Odkształcenia te, wraz z odkształceniami otaczającego gruntu mogą powodować **zmniejszenie zdefiniowanej siły sprężającej** w kotwie. Zakładając, że chcemy osiągnąć konkretną wartość siły sprężającej w kotwie, musimy albo dodatkowo sprężyć kotwę do uzyskania danej wartości w następnym etapie obliczeń, albo zastosować odpowiednio dużą wartość wstępnej siły sprężającej na samym początku w celu skompensowania ewentualnego spadku jej wartości (uzyskana siła kotwienia po zakończeniu etapu obliczeniowego jest wyświetlana przy głowicy kotwy poniżej określonej siły sprężającej.

W kolejnych etapach program umożliwia tylko dodatkowe sprężanie kotwy - zmianę początkowej siły sprężania lub usunięcie kotwy z obliczeń.

Wprowadzenie kotew wstępnie sprężonych do gruntu może być przyczyną powstania odkształceń plastycznych gruntu w sąsiedztwie głowicy i buławy kotwy. W takim przypadku

niezbędne są pewne modyfikacje w celu uniknięcia związanej z tym faktem utraty konwergencji obliczeń.



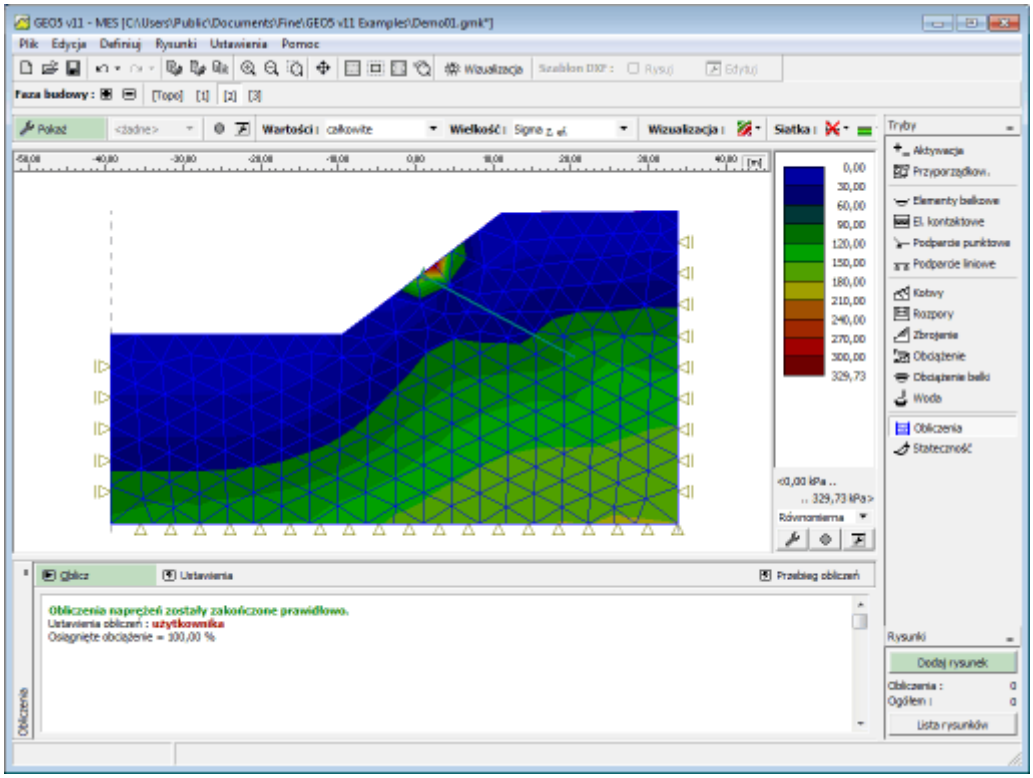
Definiowanie kotew

Punkty końcowe kotew

Wprowadzenie kotew wstępnie sprężonych do gruntu może być przyczyną powstania **odkształceń plastycznych** gruntu w sąsiedztwie głowicy i buławy kotwy - w tym przypadku obliczenia często nie konwergują.

Zalecamy wtedy wprowadzenie następujących modyfikacji warunków zdefiniowanych na początku:

- umieszczenie **elementu belkowego** pod głowicą kotwy (efektem jest lepsze przenoszenie obciążenia do gruntu)
- umieszczenie buławy kotwy w **gruncie o odpowiedniej sztywności** (należy zastosować sprężysty lub sprężysty modyfikowany model materiałowy dla warstwy gruntu a sąsiedztwie kotwy).

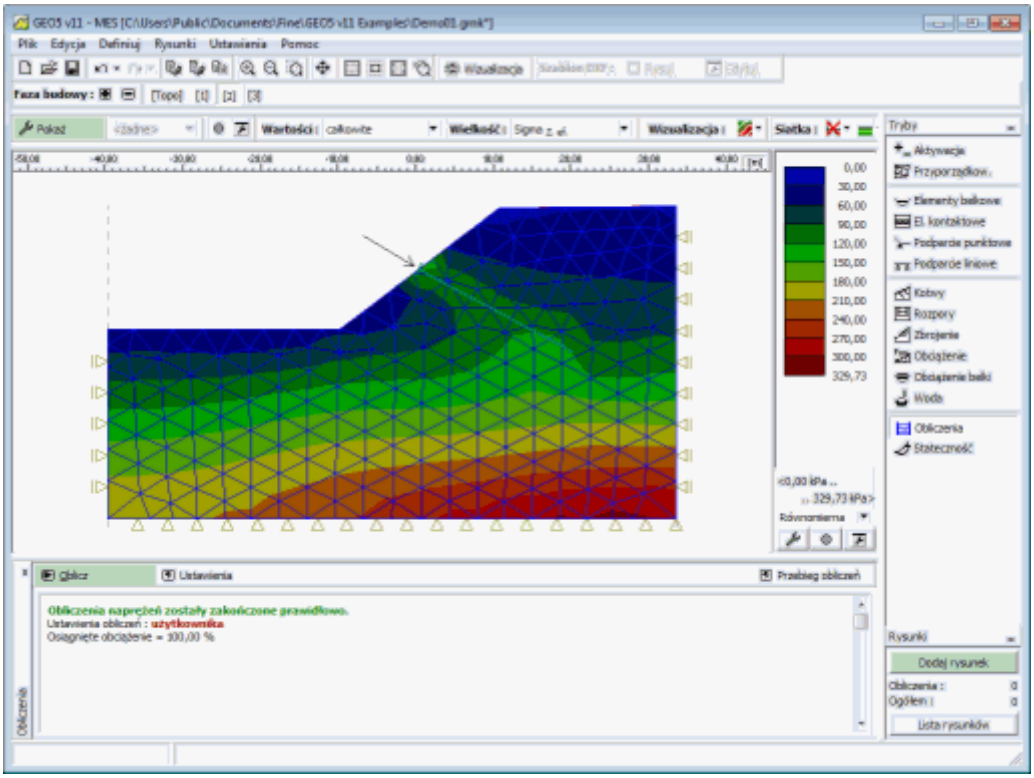


Obszary plastyczne w sąsiedztwie głowicy lub buławy kotwy

Kotwy w analizie stateczności

W **analizie stateczności** rzeczywista, wstępnie sprężona kotew jest automatycznie zastępowana przez odpowiadającą jej **punktową siłę ściskającą**, która działa w miejscu lokalizacji głowicy kotwy.

Grunt w punkcie przyłożenia siły może jednak ulec odkształceniu plastycznemu. Z tego względu należy dokładnie ocenić uzyskany rozkład odkształceń plastycznych. Proszę pamiętać, że miejsce ekwiwalentnego odkształcenia plastycznego określa lokalizację potencjalnej płaszczyzny poślizgu. Dlatego też, jeśli odkształcenia plastyczne przy głowicy okażą się znaczące, to niezbędne jest wprowadzenie pewnych modyfikacji początkowych danych.



Modelowanie kotwy w obliczeniach stateczności skarpy

Rozpory

Ramka "**Rozpory**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych rozpór. Dodawanie rozpór wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe rozpory**" ("**Edytuj parametry rozpór**"). Przy definiowaniu rozpór istnieje możliwość skorzystania z funkcji siatki.

Wprowadzone rozpory można również edytować na ekranie za pomocą obiektów aktywnych. W programie zastosowano następujące układy współrzędnych.

Końce rozpory można **automatycznie dowiązać** do terenu, wybranej warstwy lub otworu (obudowa tunelu). Punkty te są następnie automatycznie lokalizowane na przecięciach linii rozpory wyznaczonych przez zdefiniowane punkty i wybrane linie. Rozporę można definiować w sposób bezpośredni, podając współrzędne obu punktów końcowych.

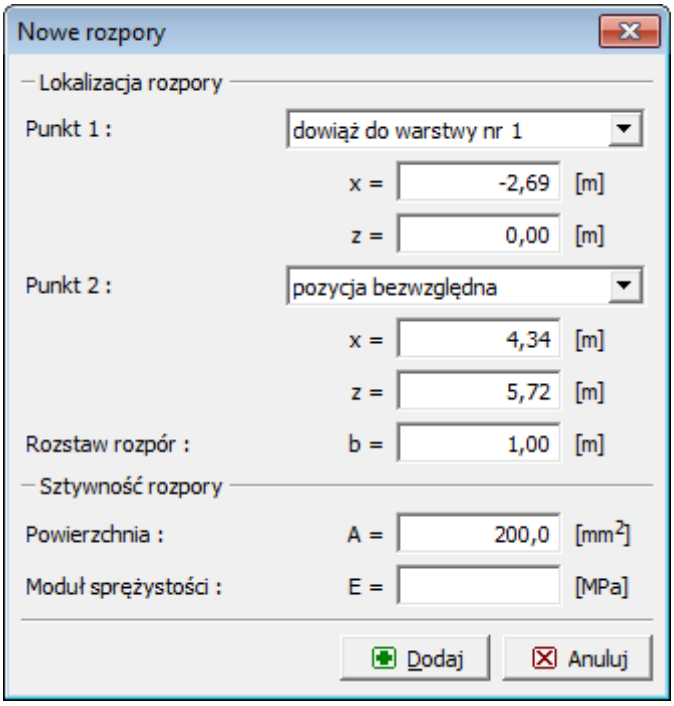
Rozpory są reprezentowane przez **sprężysty element prętowy poddawany obciążeniom ściskającym**, charakteryzujący się sztywnością normalną. Rozpory przenoszą tylko obciążenie ściskające. Jeżeli znajdą się w warunkach rozciągania, są usuwane z analizy.

Rozpora jest dowiązana do siatki elementów skończonych w swoich dwóch punktach końcowych. Jeżeli rozpora umieszczona jest w gruncie, to nie uwzględnia się żadnego oddziaływania między gruntem i rozporą wzdłuż jej długości.

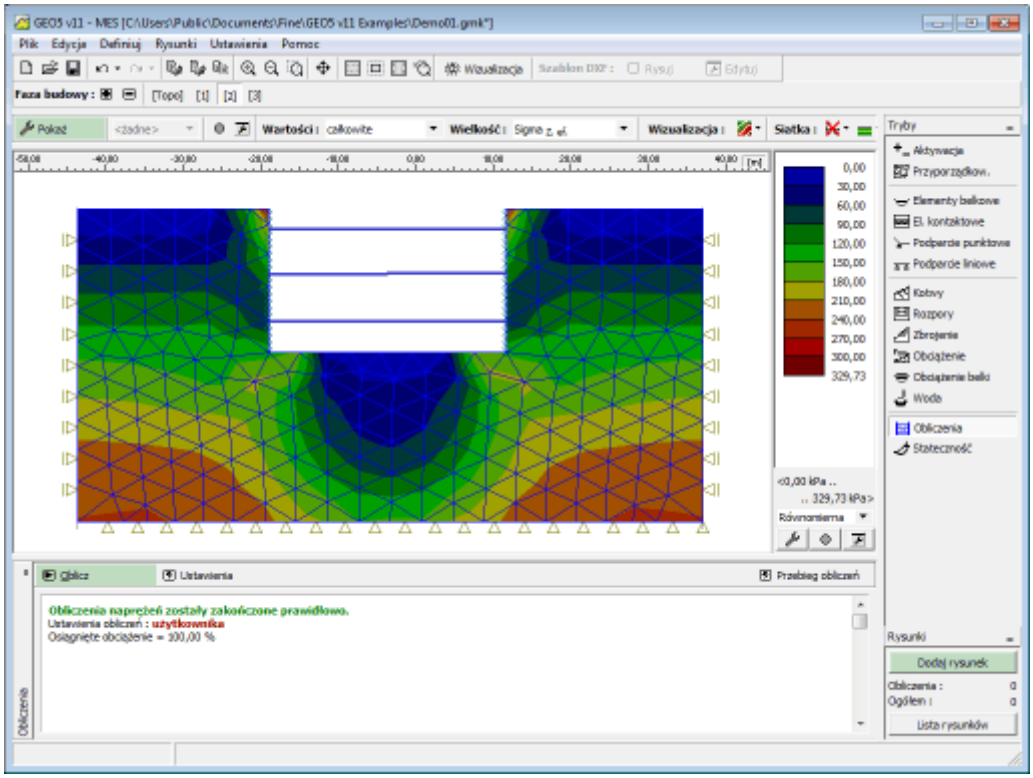
Rozpory są definiowane za pomocą punktu początkowego i końcowego oraz sztywności. Program **automatycznie** łączy **stopnie swobody rozpory** z rzeczywistymi stopniami swobody predefiniowanej siatki elementów skończonych. Dlatego, rozporę można wprowadzać w dowolnym miejscu konstrukcji.

Sztywność rozpory definiowana jest za pomocą modułu sprężystości i pola powierzchni. Program umożliwia również wprowadzanie średnicy rozpory - w tym przypadku pole powierzchni określane jest automatycznie.

W kolejnych fazach obliczeń rozpór nie można edytować - można je albo usunąć, albo od nowa zdefiniować.



Definiowanie rozpory



Ramka "Rozpory"

Zbrojenie

Ramka "**Zbrojenie**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych elementów zbrojenia. Dodawanie zbrojenia wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe zbrojenie**". Przy definiowaniu rozpór istnieje możliwość skorzystania z funkcji siatki.

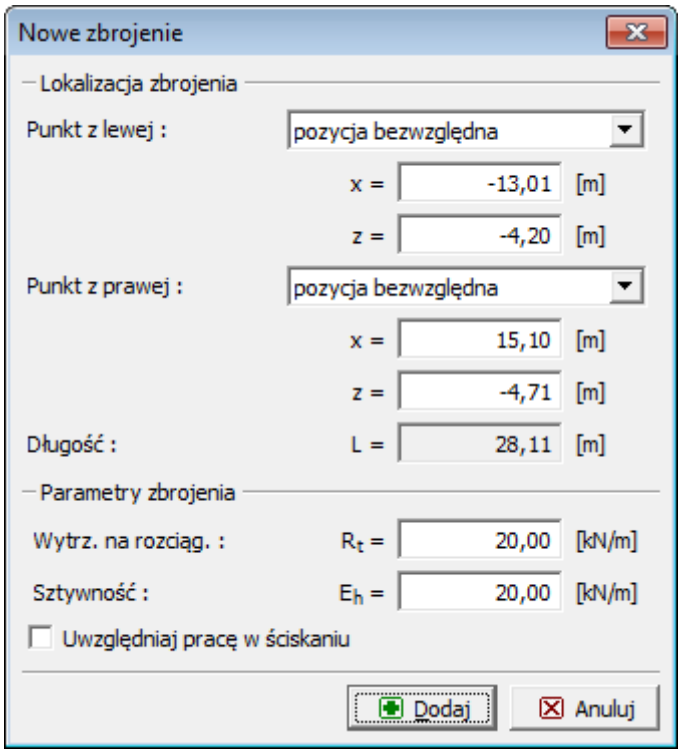
Wprowadzone zbrojenie można również edytować na ekranie za pomocą obiektów aktywnych. W programie zastosowano następujące układy współrzędnych.

Punkty końcowe zbrojenia można automatycznie **dowiązać do terenu**, wybranej warstwy lub otworu (obudowa tunelu). Punkty te są następnie automatycznie umiejscawiane na przecięciach linii zbrojenia wyznaczonej przez zdefiniowane punkty i wybrane linie. Zbrojenie można również definiować w sposób bezpośredni, podając współrzędne obu punktów końcowych.

Zbrojenia są to **rozciągane elementy wzmacniające** (geotkaniny, geosiatki) i są definiowane za pomocą punktu początkowego i końcowego oraz sztywności.

W przeciwieństwie do kotew lub rozpór, zbrojenie **jest związane** z podstawową siatką elementów skończonych **wzdłuż jej całej długości**. Jednakże, podobnie jak w przypadku kotew, program automatycznie wprowadza punkty końcowe zbrojenia do siatki elementów skończonych, tak że zbrojenie można definiować w każdym miejscu siatki. Podobnie jak w przypadku kotew, zbrojenie jest modelowanie za pomocą elementu prętowego poddawanego obciążeniom rozciągającym/ściskającym, który może **przenosić tylko siłę normalną**. Ze względu na charakterystykę geometryczną, zbrojenie wymaga zdefiniowania **sztywności przekroju na** 1 mb **(stopę) jego szerokości**. Takie dane użytkownik powinien otrzymać od producenta wyrobu.

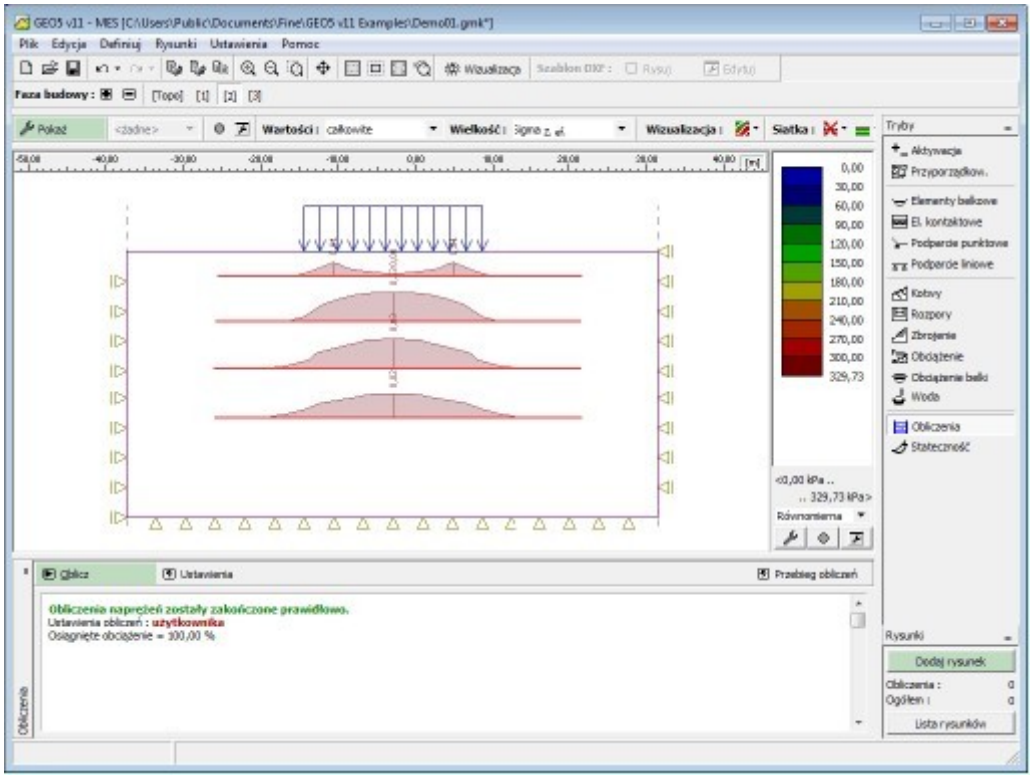
W kolejnych fazach nie ma możliwości edycji zbrojenia - można je tylko usuwać.



Definiowanie zbrojenia

Program umożliwia również rozpatrywanie zbrojenia w ściskaniu - jednak domyślnie, **część zbrojenia, która jest ściskana zostaje w analizie deaktywowana**. Stan taki jest

symulowany na rysunku przedstawiającym rozkład normalnych sił rozciągających w aktywnych częściach poszczególnych elementów zbrojenia. Część zbrojenia znajdująca się w strefie ściskanej **została czasowo wyłączona** z analizy. Podobnie jak w przypadku kotew, może zostać ponownie aktywowana w momencie, gdy będzie poddana rozciąganiu.

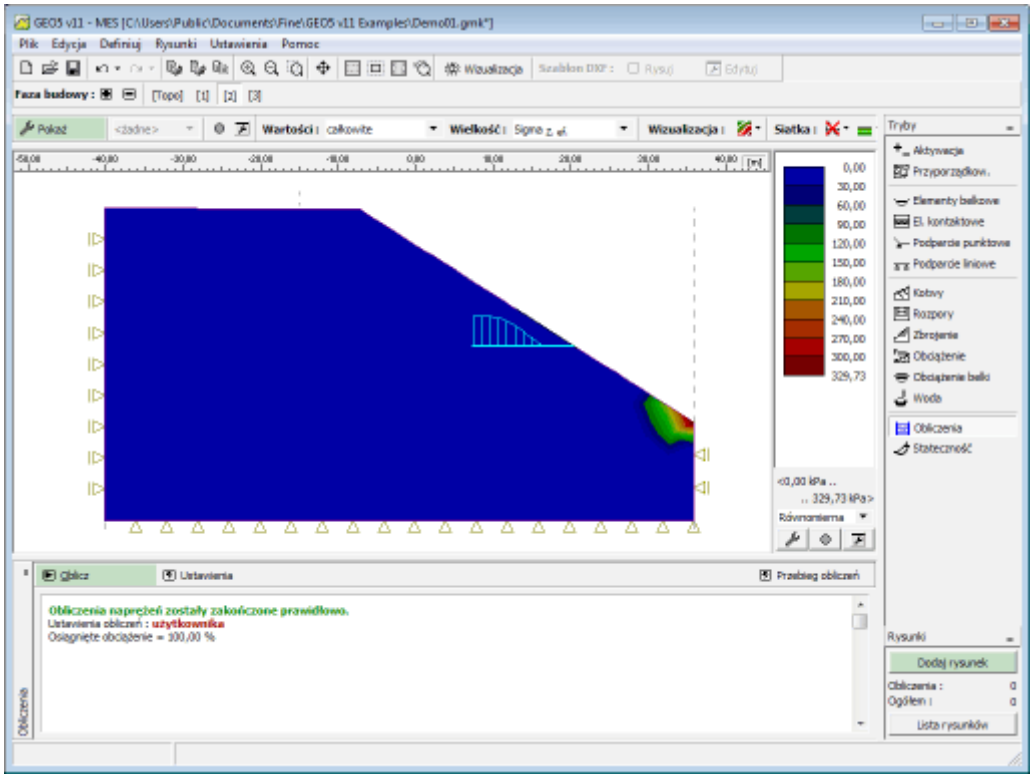


Naprężenie rozciągające w zbrojeniu

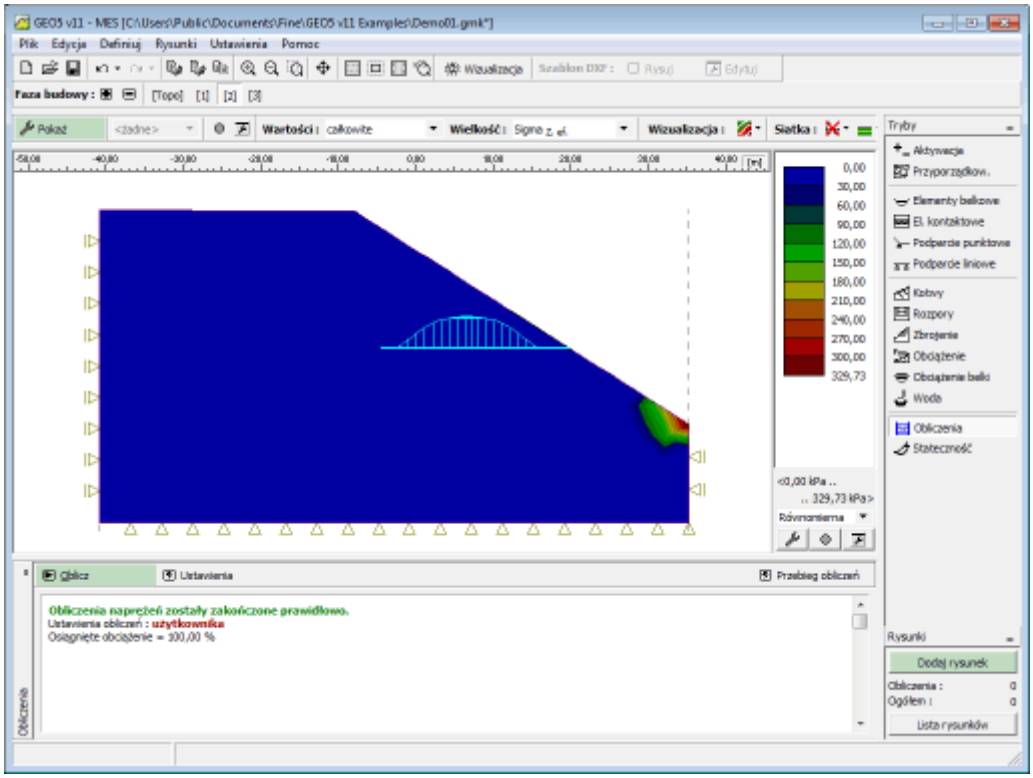
Kotwienie zbrojenia

Podczas wprowadzania zbrojenia do ośrodka gruntowego należy pamiętać o **prawidłowym zakotwieniu zbrojenia**, ponieważ program **nie sprawdza zbrojenia pod względem zniszczenia spowodowanego ścinaniem**. Nagły wzrost wartości siły normalnej, jak pokazano na rysunku, wskazuje na osobliwość w naprężeniach kontaktowych i prawdopodobieństwo zniszczenia zbrojenia spowodowanego ścinaniem. Z tego punktu widzenia, wyświetlone wyniki wprowadzają w błąd i są zasadniczo nierealistyczne.

W takim przypadku, zbrojenie należy albo usunąć z analizy, albo zapewnić mu **odpowiednie zakotwienie**, jak pokazano na rysunku.



Zbrojenie zakotwione w sposób niewystarczający



Zbrojenie zakotwione prawidłowo

Sztywność osiowa geosyntetyków

Geosyntetyki stanowią rozciągane zbrojenie gruntu (geotekstylia, geosiatki) definiowane poprzez ich geometrię (punkt początkowy i końcowy) oraz przez sztywność normalną (osiową) J_z $[kN/m]$.

W przypadku **geowłóknin** sztywność podłużna nie jest zwykle uwzględniana ponieważ elementy te wykorzystywane są zazwyczaj jako warstwy oddzielające. **Geotkaniny** w zakresie małych odkształceń mają bardzo małą sztywność początkową - w zakresie małych odkształceń (do 5%) pojawia się więc znaczący wzrost odkształceń przy stałym obciążeniu.

Przy projektowaniu geotekstyliów właściwość powyższa musi być uwzględniona. Wyróżnia się zatem zarówno **długoterminową wytrzymałość na rozciąganie** zależną od częściowych współczynników redukcji (odzwierciedlających zniszczenie elementów przy montażu, pełzanie geosyntetyków, efekty biologiczne i chemiczne) jak i **początkową sztywność normalną** w zakresie małych odkształceń (od 0,5% do 2%).

W celu wyznaczenia minimalnej sztywności osiowej geozbrojenia można zastosować poniższe wyrażenie, gdzie dla naprężeń odpowiadających wybranym odkształceniom dopuszcza się maksymalnie 10% odchylenia od cześci liniowej testu rozciągania.

$$T_{z-x} \geq \frac{0{,}9 \cdot \varepsilon \cdot T_{max}}{\varepsilon_{max}}$$

gdzie:
- T_z - wytrzymałość na rozciąganie przy odkształceniu $x\%$ $[kN/m]$
- ε - odkształcenie $x\%$ (wydłużenie względne) według EN ISO 10 319 $[\%]$
- T_{max} - maksymalna wytrzymałość na rozciąganie według EN ISO 10 319 $[kN/m]$
- ε_{max} - maksymalne odkształcenie (wydłużenie względne) według EN ISO 10 319 $[\%]$

Dostawcy i producenci geotekstyliów podają zwykle wartość wytrzymałości na rozciąganie przy odkształceniu 2%. Wyrażenie wówczas przybiera postać:

$$T_{z-2\%} \geq \frac{1{,}8 \cdot T_{max}}{\varepsilon_{max}}$$

Minimalna (początkowa) **sztywność osiowa** geotekstyliów z badań krótkoterminowych (sposób obciążenia według EN ISO 10 319) dla naprężeń $x\%$jest określona jako:

$$J_{\varepsilon=x} \approx E \cdot A = \frac{T_{\varepsilon=x}}{\varepsilon}$$

gdzie:
- ε - odkształcenie $x\%$ - (wydłużenie względne) według EN ISO 10 319 [-]

Maksymalna (teoretycznie osiągalna) **sztywność osiowa** geotekstyliów dla krótko-terminowej sztywności osiowej wyznaczana jest w sposób następujący:

$$J_{\varepsilon\,max} \approx E \cdot A = \frac{T_{max}}{\varepsilon_{max}}$$

gdzie:
- ε_{max} - maksymalne odkształcenie (wydłużenie względne) według EN ISO 10 319 [-]

Zakresy zalecanych wartości sztywności osiowej (normalnej) geosyntetyków J_z $[kN/m]$ podano w tabeli poniżej:

Opis zmiennej	**Początkowa sztywność osiowa geosyntetyków dla** $\varepsilon = 2\%$	**Teoretyczna (*maksymalna*) sztywność osiowa geosyntetyków**
Notacja (jednostka)	$J_{\varepsilon=x}$ $[kN/m]$	$J_{\varepsilon max}$ $[kN/m]$
Kategoria geozbrojenia	---	---
Geowłókniny	-	-
Geotkaniny	250 ÷ 500	1000
Jednoosiowe geosiatki	500 ÷ 1000	1500
Dwuosiowe geosiatki	100 ÷ 500 dla $\varepsilon = 0.5\%$	2500
Trójosiowe geosiatki	250 ÷ 500 dla $\varepsilon = 0.5\%$	5000
Geomaty	100 ÷ 500	1000
Geokompozyty drenażowe	-	-
Kompozyty	100 ÷ 500	1500
Geomeshes	-	-
Geocells	-	-

Literatura:

GEOMAT ltd. (www.geomat.cz): Types of geotextiles and their function in civil engineering structures. Author: Martin Kašpar (kaspar@geomat.cz). In Czech.

HOLÝ, O., MIČA, L.: Determination of axial stiffness of geosynthetics for numerical modeling - part 1. TU Brno (paper in conference proceedings „Civil engineering structures in view of geomechanics"). In Czech.

EN ISO 10 319 (80 6125): Geotextiles - Tensile test on a wide strip. Czech standard institute, 2009. In Czech.

Obciążenie

Ramka "**Obciążenie**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych obciążeń. Dodawanie obciążeń wykonywana jest w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie**". Wprowadzone obciążenia można również edytować na ekranie za pomocą obiektów aktywnych. W programie zastosowano następujące układy współrzędnych.

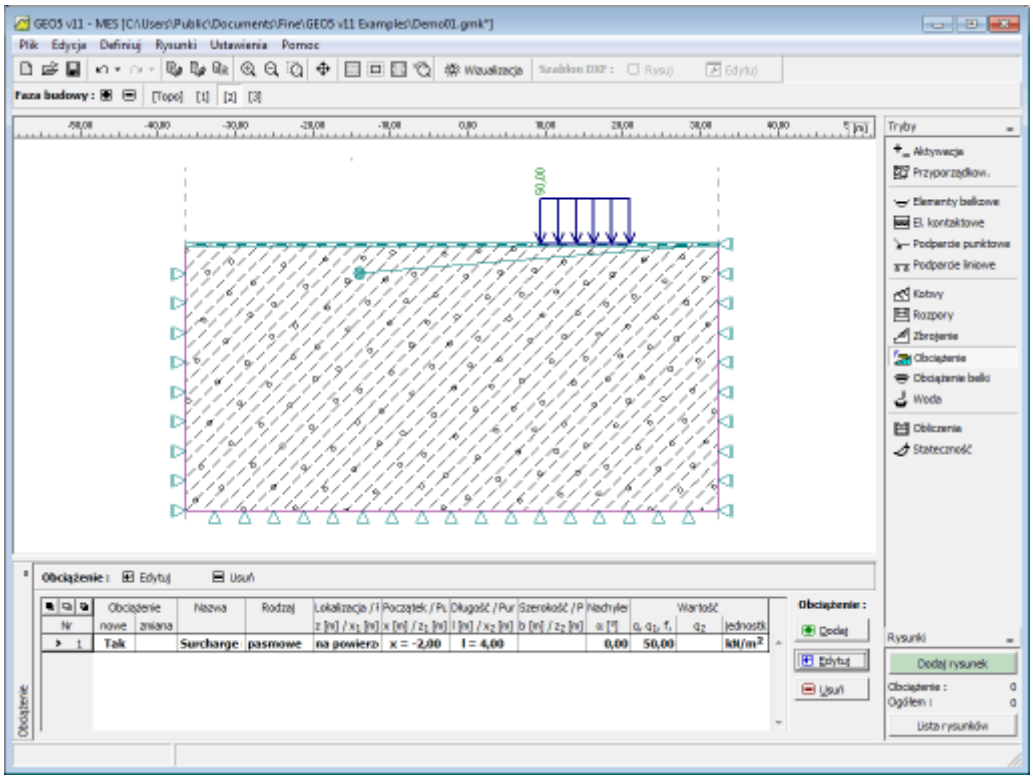
Wszystkie zdefiniowane parametry obciążenia mogą być edytowane w tej fazie budowy, w której wprowadzono obciążenie. W następnych fazach można tylko zmieniać jego wartość (opcja "**Zmiana wartości**").

Ramka ta służy do wprowadzania **obciążeń przykładanych tylko do masywu gruntowego**. Obciążenie przyłożone do elementu belkowego jest wprowadzane w ramce - obciążenie belki.

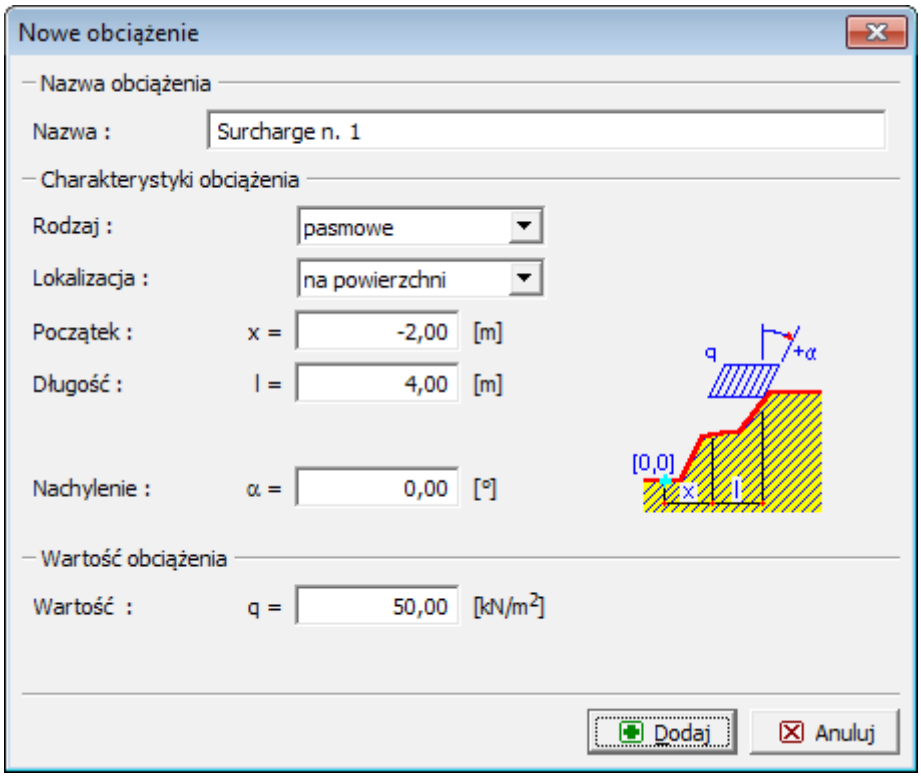
Dowolną liczbę obciążeń można zdefiniować w poszczególnych fazach. Obciążenie może oddziaływać albo na **istniejący element kontaktowy** (w tym na powierzchnię terenu), albo może być przyłożone **w dowolnym miejscu masywu gruntowego**.

W kolejnych fazach można albo usuwać zdefiniowane obciążenie, albo **zmieniać jego wartość**.

Proszę pamiętać, że przyłożenie obciążenia bezpośrednio na powierzchni gruntu może prowadzić do **nadmiernych odkształceń plastycznych** w sąsiedztwie obciążenia i obliczenia mogą nie konwergować. W takim przypadku można albo umieścić **element belkowy** pod przyłożonym obciążeniem, albo wybrać **sprężysty** lub sprężysty modyfikowany model materiałowy dla gruntu poniżej obciążenia.



Ramka "Obciążenie"



Okno dialogowe "Nowe obciążenie"

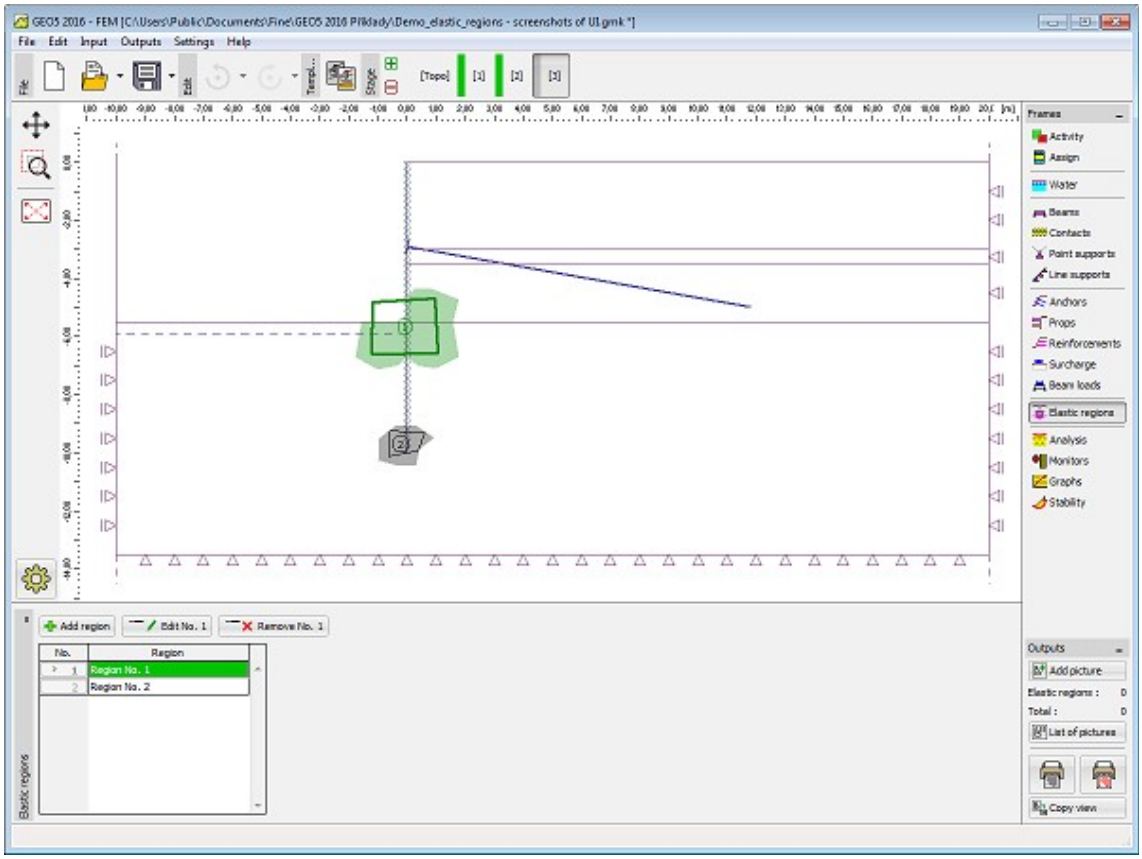
Obszary sprężyste

Ramka "**Obszary sprężyste**" zawiera tabelę zdefiniowanych obszarów sprężystych.

Definiowanie obszarów sprężystych wykonuje się tak samo jak definiowanie warstw.

W przypadku obciążenia naprężeniem osiągającym granicę plastyczności grunt doświadcza deformacji, która utrzymuje się także po odciążeniu. Tego typu odkształcenie trwałe nazywane jest odkształceniem plastycznym i może być modelowane za pomocą standardowych modeli takich jak Mohr-Coulomb i Drucker-Prager lub modeli zaawansowanych, np. Cam-Clay.

W celu stłumienia rozwoju odkształceń plastycznych w wybranym obszarze i w wybranej fazie można zastosować funkcję "**Obszary sprężyste**". Obszary sprężyste definiuje się w danej fazie budowy w postaci wielokąta. Każdy element, który - przynajmniej częściowo - znajduje się w tym obszarze pozwala wyłącznie na rozwój odkształceń sprężystych.



Ramka "Obszary sprężyste"

Obszary sprężyste wpływają jedynie na zachowanie masywu gruntowego opisanego modelami:

- Mohra-Coulomba
- Mohra-Coulomba Modyfikowany
- Druckera-Pragera

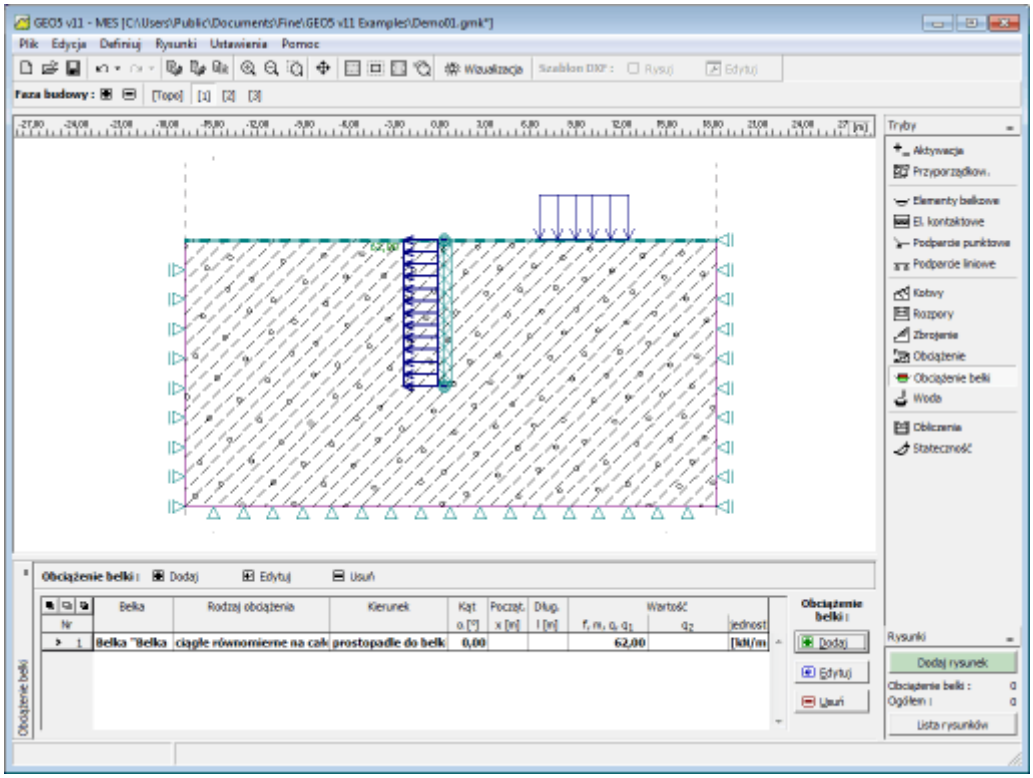
Zachowanie innych modeli pozostaje niezmienione.

Obciążenie belki

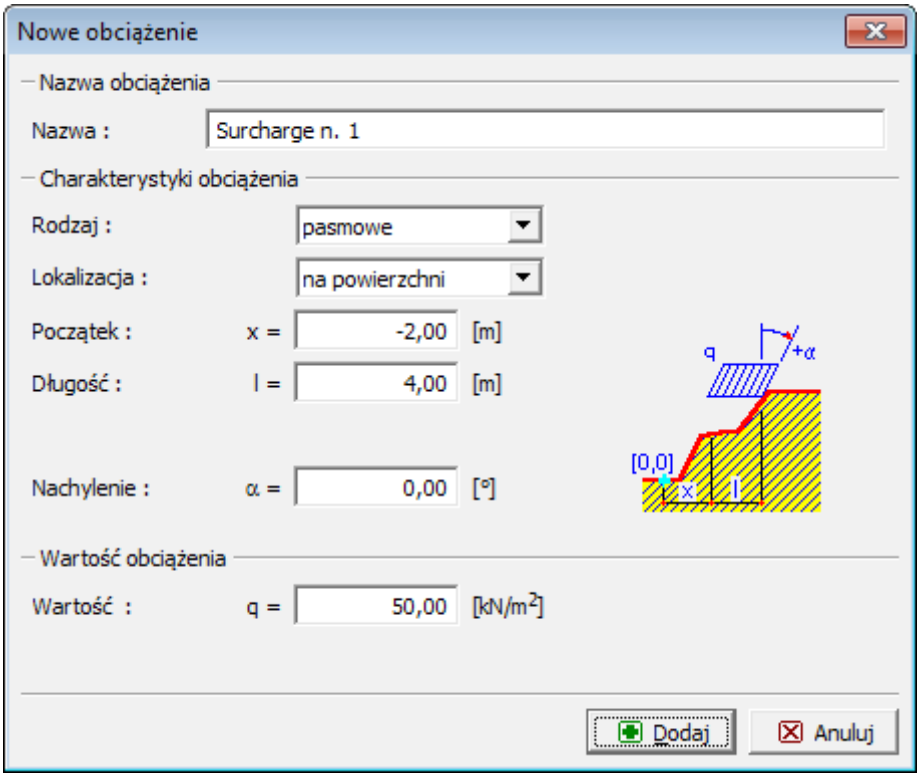
Ramka "**Obciążenie belki**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych obciążeń. Dodawanie obciążeń belek wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe obciążenie belki**".

Wprowadzone obciążenia można również edytować na ekranie za pomocą obiektów aktywnych. W programie zastosowano następujące układy współrzędnych.

Wszystkie zdefiniowane parametry obciążenia mogą być edytowane w tej fazie budowy, w której wprowadzono obciążenie. W następnych fazach można tylko zmieniać jego wartość (opcja "**Zmiana wartości**").



Ramka "Obciążenia belek"



Okno dialogowe "Nowe obciążenia"

Woda

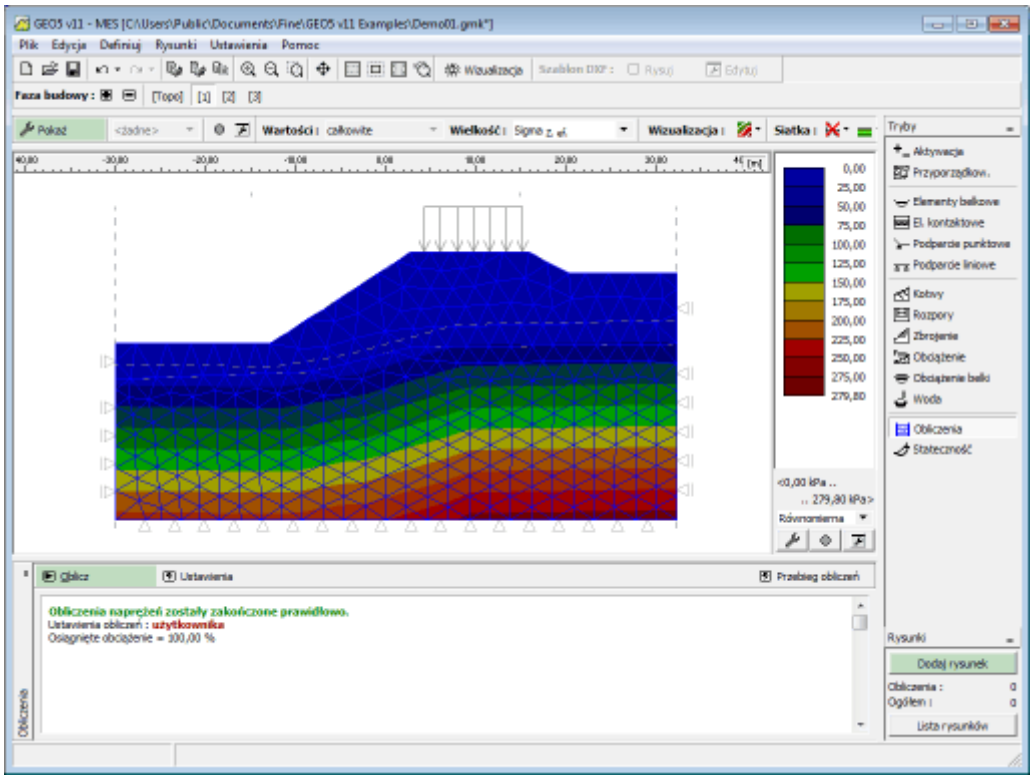
Wody gruntowe można w programie wprowadzać z użyciem trzech opcji:

- **Zwierciadło wód gruntowych** można zdefiniować jako ciągłą warstwę poniżej i poniżej i powyżej poziomu terenu. W takim przypadku, program automatycznie dostosuje ciężar gruntu poniżej zwierciadła wody gruntowej
- **Wartości ciśnienia** porowego definiowane w postaci izolinii. Definiowanie izolinii jest identyczne jak definiowanie warstw. Wartości ciśnienia porowego wstawiane są do tabeli "Lista warstw ciśnienia porowego" po lewej stronie w dolnej części ekranu. Wartości pomiędzy izoliniami określane są przez interpolację liniową.
- **Współczynnik ciśnienia porowego** r_u reprezentuje stosunek ciśnienia porowego i naprężenia geostatycznego w gruncie. Wartości współczynnika r_u są definiowane dla poszczególnych izolinii. Pierwsza izolinia zawsze pokrywa się z powierzchnią terenu. Pozostałe izolinie wprowadzane są w taki sam sposób jak elementy kontaktowe między poszczególnymi warstwami gruntu. Wartości wstawiane są do tabeli "Lista warstw ciśnienia porowego" po lewej stronie w dolnej części ekranu. Wartości pomiędzy izoliniami określane są przez interpolację liniową.

Przy wprowadzaniu wartości ciśnienia porowego lub wartości współczynnika r_u przyjmuje się założenie, że **ciężar objętościowy gruntu w całym ośrodku** jest równy ciężarowi objętościowemu γ niezależnie od wartości ciśnienia porowego lub współczynnika r_u.

Najprostszym sposobem zdefiniowania wody jest wrysowanie rozkładu **ciśnienia porowego** w oknie wyniku.

Zdefiniowane warstwy wody gruntowej mogą być kopiowane poprzez "GeoSchowek" pomiędzy wszystkimi programami 2D pakietu GEO5.



Wizualizacja ciśnienia porowego

Obliczenia

Obliczenia są wykonywane dla poszczególnych faz obliczeniowych w ramce "**Obliczenia**" po wciśnięciu przycisku "**Oblicz**".

Podczas wykonywania obliczeń program dąży do rozwiązania, które będzie odpowiadało danej wartości obciążenia i warunkom granicznym **równowagi globalnej**. W większości przypadków ten krok prowadzi do procesu iteracyjnego. Proces iteracji i konwergencji rozwiązania jest wyświetlany na ekranie.

Obliczenia można zatrzymać w każdym momencie wciskając przycisk "**Przerwij**". Wyniki są wtedy dostępne dla ostatniego konwergującego przyrostu obciążenia.

Prawidłowe wyniki uzyskiwane są, gdy osiągnięto 100% **przyłożonego obciążenia**. Ze względu na brak konwergencji, program może przerwać działanie **przed osiągnięciem oczekiwanego poziomu obciążenia** - osiągnięty został tylko ułamek całkowitego obciążenia. W takim przypadku można dostosować parametery obliczeń w ustawieniach obliczeń.

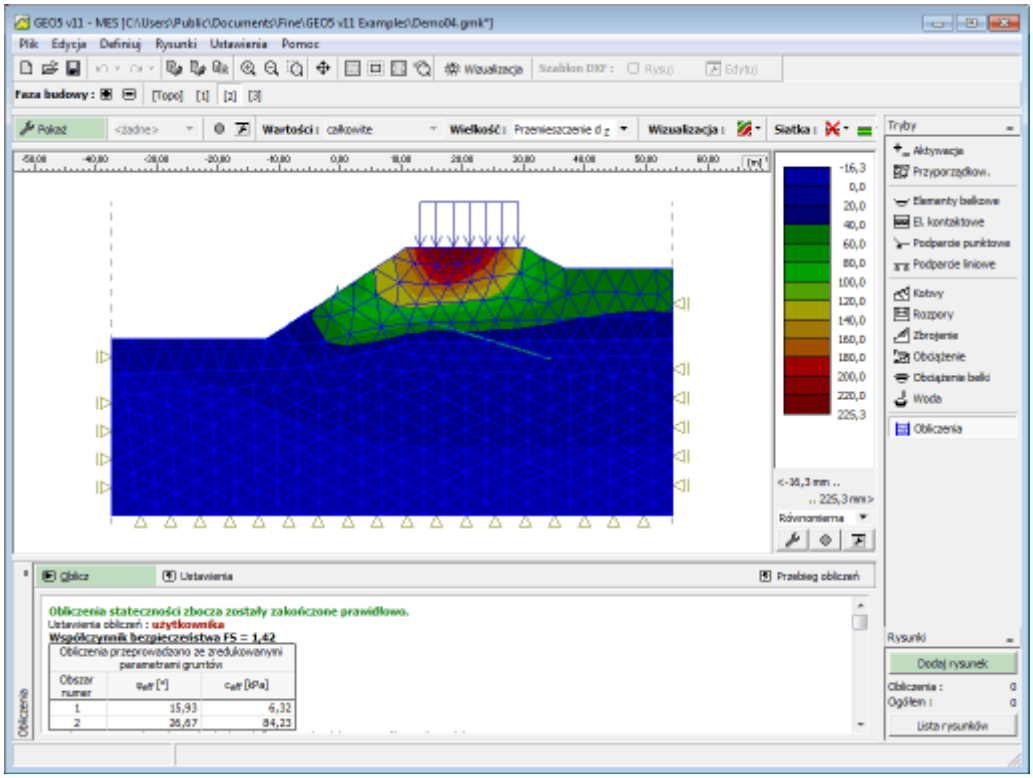
Podczas modelowania bardziej złożonych zadań inżynierskich zalecamy, aby użytkownik postępował według sugerowanej procedury modelowania.

Obliczenia przepływu nieustalonego można wybrać w ramce "Ustawienia".

Wyniki obliczeń, wraz z informacją o przebiegu procesu obliczeniowego, są widoczne na ekranie natychmiast po zakończeniu analizy.

Szczegółowe informacje na temat stosowanego podejścia obliczeniowego przedstawiono w rozdziale"Przebieg obliczeń". Sposób prezentacji wyników na ekranie można ustawić w ramce "Konfiguracja rysunku".

W przypadku uwzględnienia wody w obliczeniach, w większości przypadków istnieje możliwość skopiowania wyznaczonego (analizowanego) ZWG GeoSchowka i wstawienia go do innego programu.



Ekran po zakończeniu obliczeń

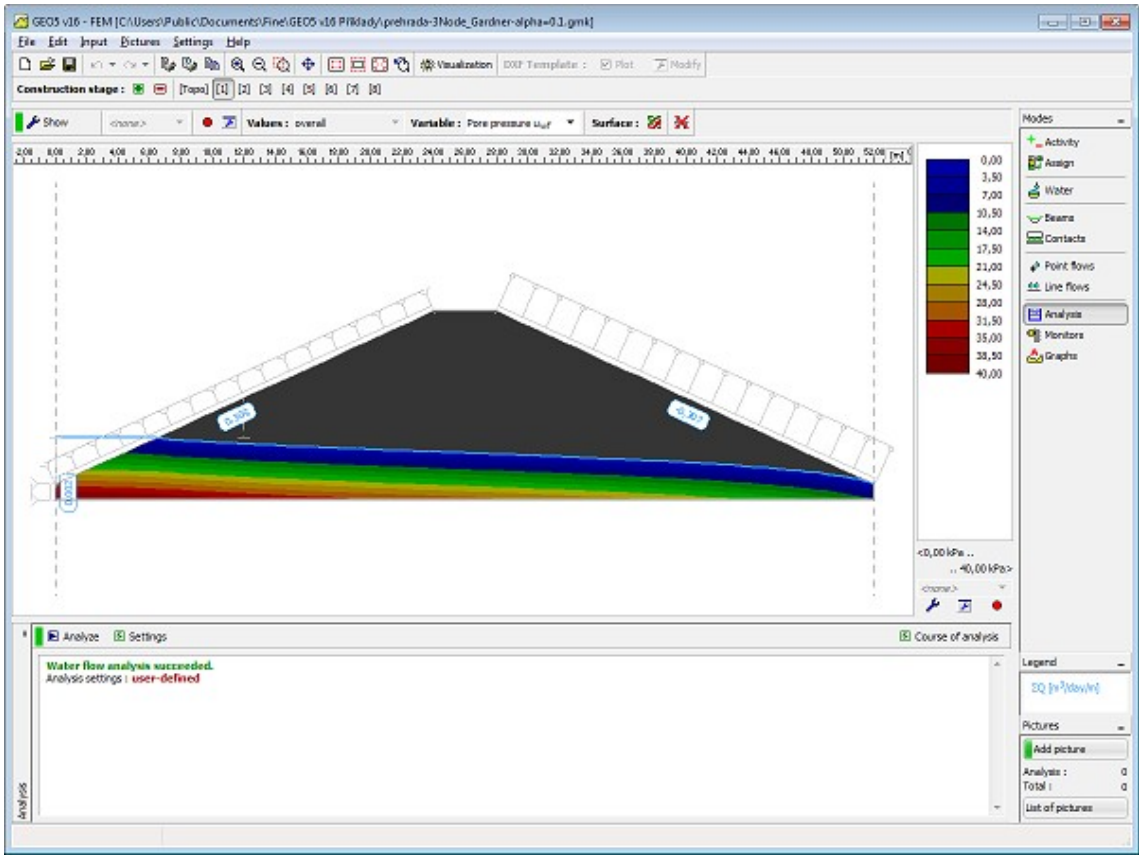
Obliczenia przepływu nieustalonego

Obliczenia przepływu nieustalonego prowadzone są w minimum dwóch fazach ("Przepływ wody"), z których pierwsza faza zawsze służy do określenia warunków początkowych, tj. rozkładu pierwotnych ciśnień porowych, początkowego zwierciadła wody, stopnia nasycenia czy przepuszczalności względnej w momencie rozpoczęcia obliczeń przepływu nieustalonego. Dostępnych jest kilka opcji definiowania stanu początkowego ciśnienia porowego:

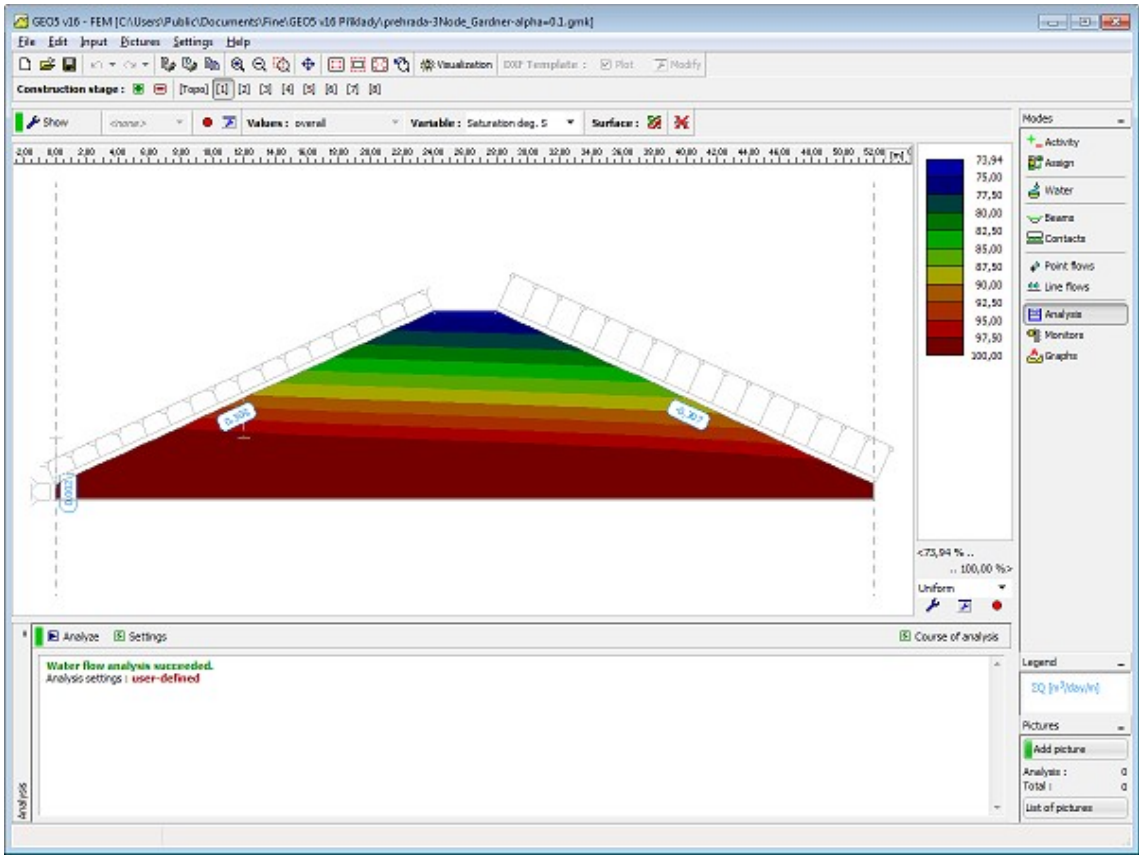
- Za pomocą Zwierciadła Wody Gruntowej
- Bezpośrednio z wykorzystaniem izolinii ciśnienia porowego
- Wykonując obliczenia przepływu w stanie ustalonym

Pierwsza opcja zakłada hydrostatyczną (linową) dystrybucję ćiśnienia porowego na wysokości. Powyżej ZWG program generuje dodatnie ciśnienia porowe, a powyżej ZWG ujemne ciśnienia porowe (ssanie). Druga opcja umożliwia uwzględnienie suchego masywu gruntowego poprzez zdefiniowanie, np. ujemnych ciśnień porowych na całym infiltrowanym obszarze. Trzecia opcja wymaga przeprowadzenia analizy przepływu w stanie ustalonym. Na podstawie przypisanego modelu materiałowego program określa początkowy stopień nasycenia oraz przepuszczalność względną w funkcji początkowego ciśnienia porowego wyznaczonego na podstawie obliczeń przepływu ustalonego.

Rysunek 1 pokazuje dystrybucję początkowego ciśnienia porowego wyznaczonego na podstawie obliczeń przepływu ustalonego dla założonych warunków hydraulicznych. Oczywistym jest, że jedynie ciśnienia poniżej ZWG są pokazane. Stan początkowy w masywie nienasyconym lub częściowo nasyconym może być częściowo oszacowany poprzez narysowanie przykładowo rozkładu początkowego stopnia nasycenia, jak pokazano na Rysunku 2. Gdy wybrana zostanie opcja "**Brak wody**" wartości początkowych ciśnień porowych są przyjmowane jako zerowe.

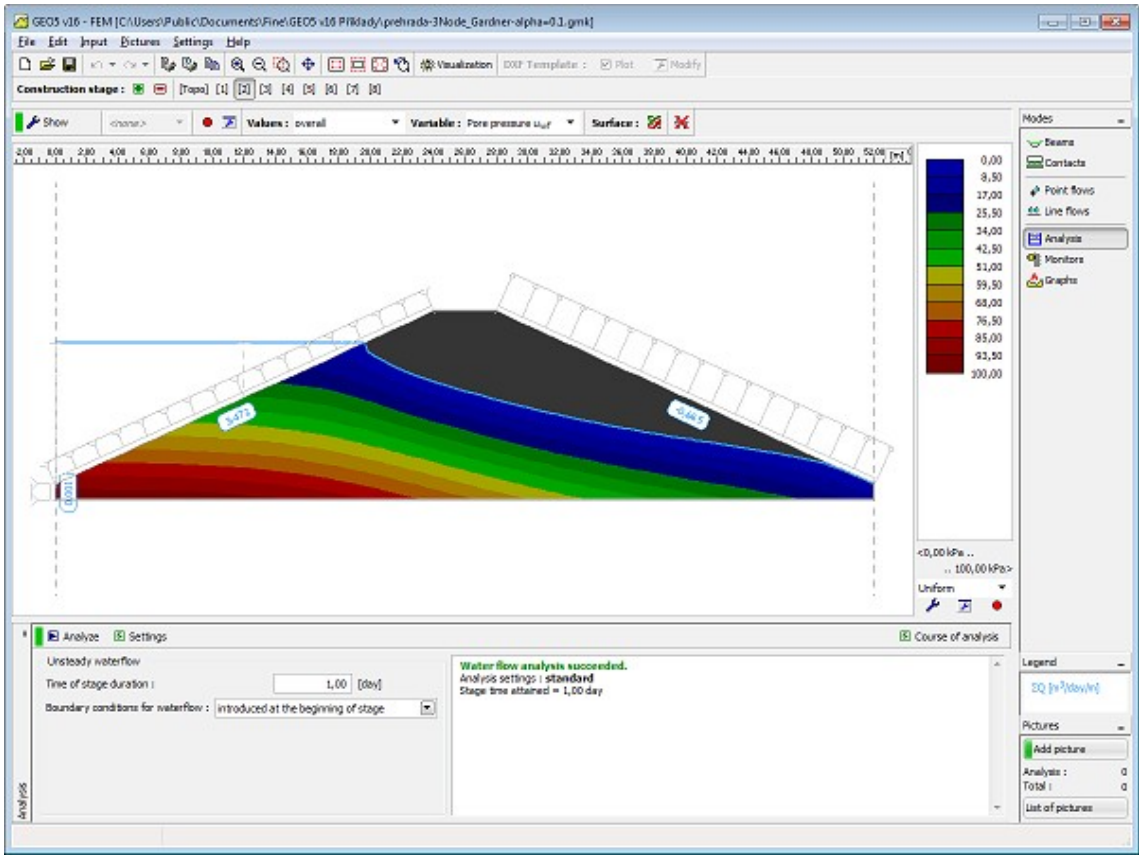


Rysunek 1 - Pierwsza faza obliczeniowa: Rozkład początkowych ciśnień porowych

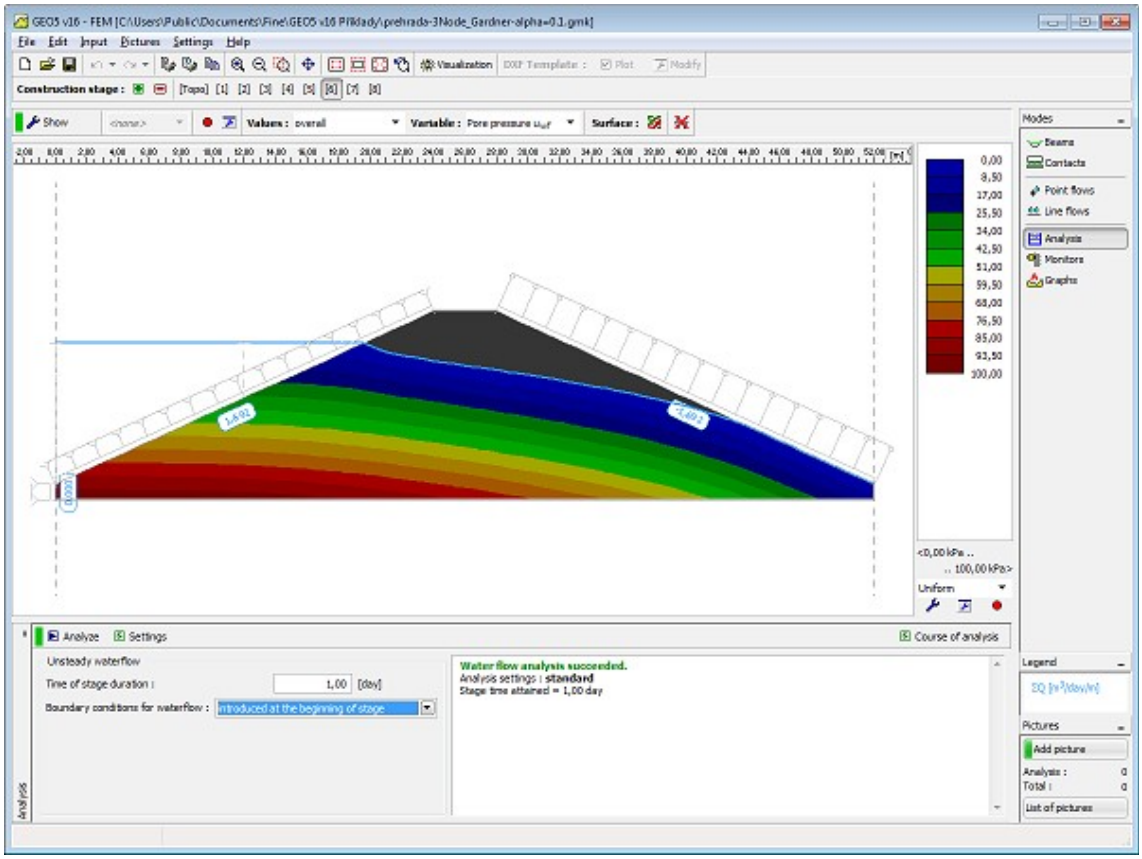


Rysunek 2 - Pierwsza faza obliczeniowa: Rozkład początkowego stopnia nasycenia

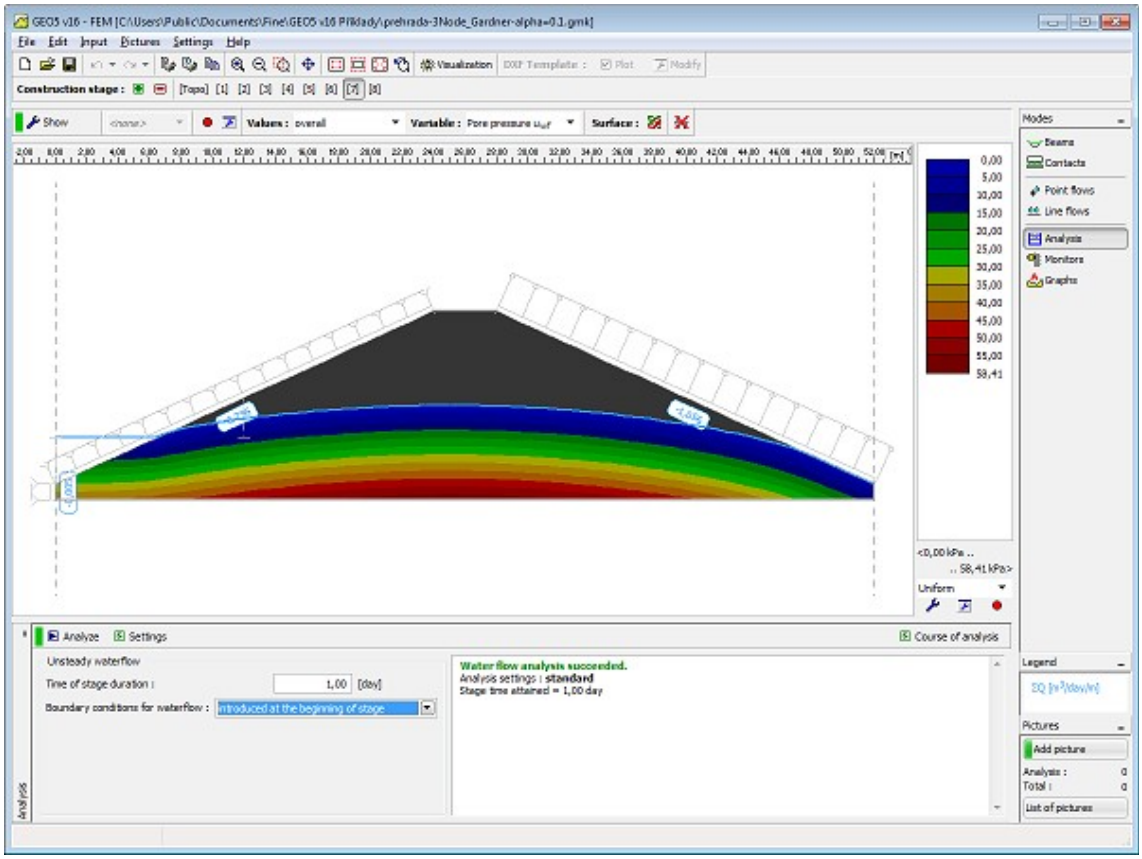
Analiza przepływu ustalonego wykonywana jest począwszy od drugiej fazy obliczeń, od której każda kolejna faza jest następstwem poprzedniej. Każda faza obliczeń wymaga zdefiniowania czasu analizy, zmienności hydraulicznych warunków brzegowych w czasie, a także długości kroku czasowego. Obecna wersja programu umożliwia wprowadzenie całego obciążenia w jednym momencie na początku fazy obliczeniowej lub też przyjęcie, iż obciążenie wzrasta liniowo w czasie w obliczeń fazy ("Przepływ wody"). W pierwszym przypadku, początkowy krok czasowy przyjmowany jest jako $1/10$ określonego kroku czasowego. Następnie obliczenia kontynuowane są z uwzględnieniem zdefiniowanego kroku czasowego. Zaleca się dostosowywanie kroku czasowego w kolejnych etapach obliczeń. Krótszy krok czasowy zalecany jest na początku obliczeń. Przy dłuższych krokach czasowych, gdy rozwiązanie osiąga warunki stanu ustalonego, krok czasowy może być znacznie wydłużony (np. z $1/10$ doby do kilku dni). Rysunki 3 i 4 pokazują wyniki odpowiednio stanu pośredniego oraz stanu ustalonego odpowiadające nagłemu podniesieniu ZWG w drugiej fazie obliczeniowej. Rysunki 5 i 6 pokazują analogiczne stany związane z następującym później gwałtownym obniżeniem ZWG, zamodelowanym poprzez przywrócenie oryginalnego poziomu ZWG w siódmej fazie obliczeniowej.



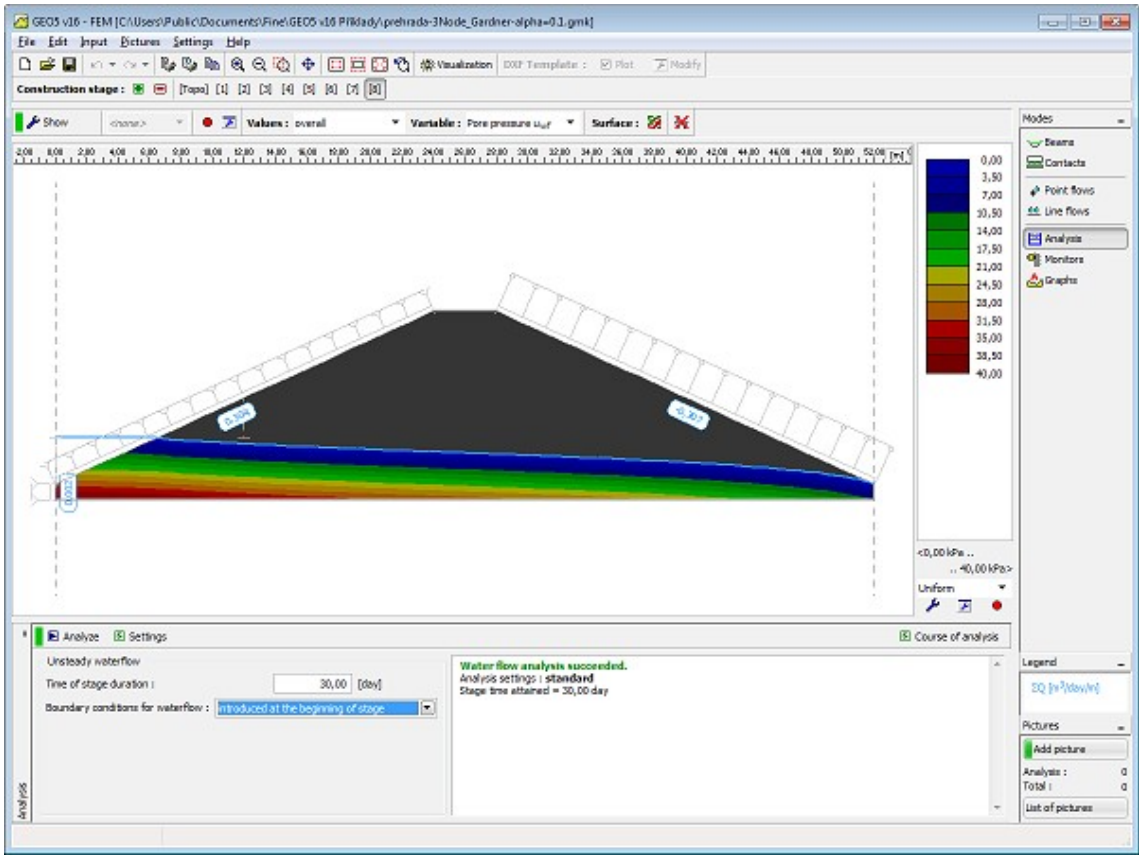
Rysunek 3 - Druga faza obliczeniowa: Rozkład ciśnień porowych w wybranym momencie obliczeń (stan pośredni)



Rysunek 4 - Szósta faza obliczeniowa: Rozkład ciśnień porowych w stanie ustalonym



Rysunek 5 - Siódma faza obliczeniowa: Rozkład ciśnień porowych w wybranym momencie obliczeń (stan pośredni)



Rysunek 6 - Osma faza obliczeniowa: Rozkład ciśnień porowych w stanie ustalonym

Zalecana procedura modelowania

Rozwiązywanie zadań geotechnicznych za pomocą metody elementów skończonych jest zagadnieniem dość złożonym. Nie mniej jednak, większość użytkowników podejmuje próbę obliczania całej, złożonej konstrukcji już od samego początku - w takim przypadku znalezienie przyczyny ewentualnej utraty konwergencji może być później dosyć trudne. Sugerujemy zastosowanie następującego podejścia:

1) **Zdefiniowanie całej topologii konstrukcji**

2) Przyjęcie założenia reakcji sprężystej gruntu i elementów kontaktowych (użycie modeli liniowych)

3) Wygenerowanie siatki ogólnej

4) Zdefiniowanie wszystkich faz obliczeniowych

5) Wykonanie analizy wszystkich faz obliczeniowych (wystarczające jest uruchomienie analizy ostatniej fazy budowy - obliczenia wszystkich poprzedzających faz zostaną wykonane automatycznie).

6) **Ocena przebiegu obliczeń**

Jeżeli obliczenia nie zakończą się powodzeniem to znaczy, że model obliczeniowy nie został prawidłowo zdefiniowany - np. belki mają zbyt dużo wewnętrznych przegubów, co prowadzi do uzyskania konstrukcji o nieokreślonej kinematyce; rozpory nie są prawidłowo dowiązane do konstrukcji, itd. Program zawiera pewną liczbę wbudowanych procedur sprawdzających - ma to

na celu ostrzeganie użytkownika przed ewentualnymi wadami w definicji modelu. Część błędów nie jest niestety możliwa do wykrycia przed uruchomieniem programu.

Jeżeli wszystkie fazy zostały z powodzeniem obliczone sugerujemy, aby użytkownik sprawdził otrzymane wyniki przemieszczeń, a tym samym także obiektywność użytych parametrów gruntu i sztywności konstrukcji. Proszę zauważyć, że stosowanie modeli nieliniowych zawsze prowadzi do uzyskania większych przemieszczeń w porównaniu do reakcji czysto sprężystej - jeśli przemieszczenia sprężyste są już nadmiernie duże, to musimy dostosować model obliczeniowy zanim przyjmiemy któryś z dostępnych modeli plastycznych.

Jeżeli obliczenia zakończyły się powodzeniem i przemieszczenia mają realne wartości, możemy zastosować następujący schemat postępowania:

7) **Zastąpić modele liniowe** odpowiednimi modelami plastycznymi (Mohra-Coulomba, Druckera-Pragera)

8) Wykonać obliczenia i ocenić wyniki wg kroku 6

9) Dodać **nieliniowe elementy kontaktowe**

10) Wykonać obliczenia i ocenić wyniki wg kroku 6

11) Wygładzić i **dostosować siatkę elementów skończonych** oraz wykonać **ostatnie obliczenia**.

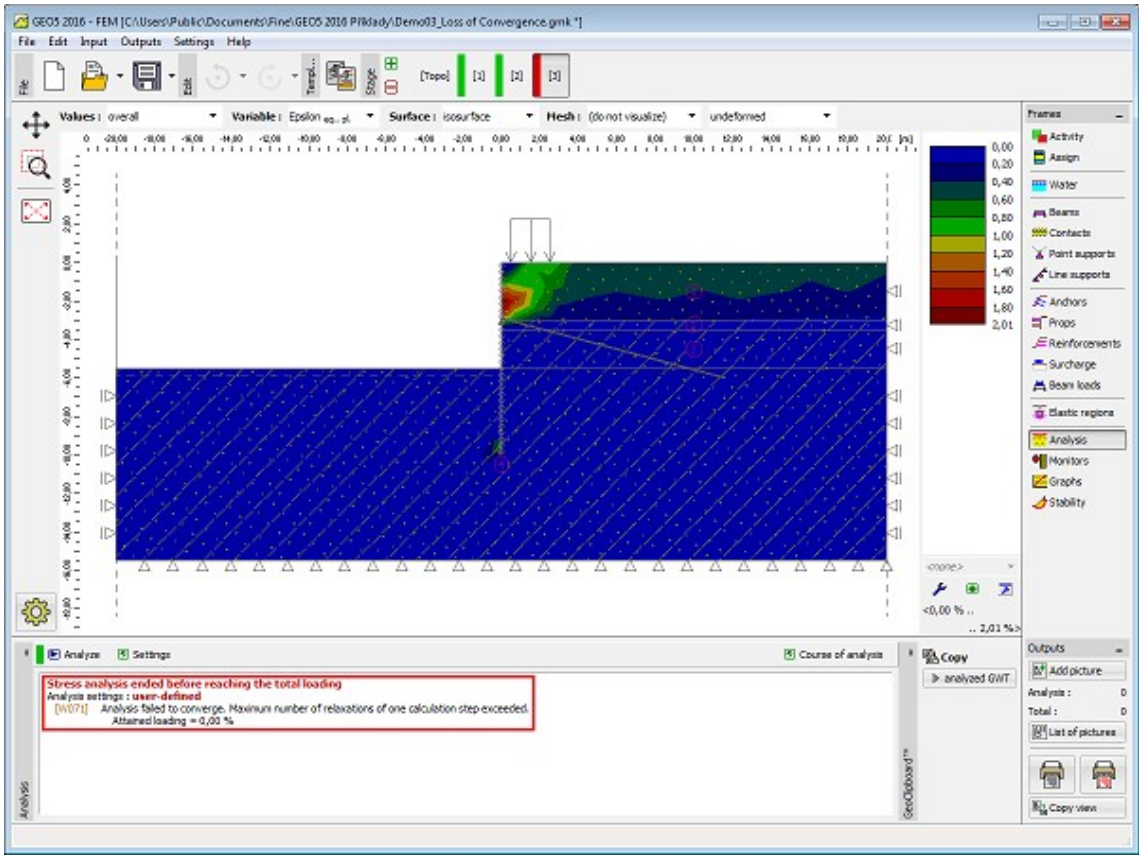
Chociaż podejście takie może się wydawać trudne i skomplikowane, to jednocześnie może zaoszczędzić bardzo wiele czasu potrzebnego na ewentualne poszukiwanie przyczyny niepowodzenia (utrata konwergencji) analizy skomplikowanych zadań.

Utrata konwergencji analizy nieliniowej

Utrata konwergencji rozwiązania obliczeń nieliniowych wymaga wprowadzenia **pewnych modyfikacji zastosowanego modelu obliczeniowego** - można wykorzystać następujące kroki:

- Zwiększyć sztywność konstrukcji
- Zmniejszyć przyłożone obciążenia
- Podzielić wykonanie wykopu w gruncie na większą liczbę kroków
- Podwyższyć parametry materiałowe istniejących gruntów
- Zmienić model materiałowy gruntów w miejscach uplastycznienia
- Dodać elementy zbrojenia (belki, kotwy)
- Dodać podparcia
- Zmienić ustawienia parametrów wpływające na proces iteracji (zwiększyć liczbę iteracji)

Rozkład odkształceń plastycznych może do pewnego stopnia wyjaśnić przyczyny braku konwergencji obliczeń. Proszę pamiętać, iż rozkład równoważnego odkształcenia plastycznego wskazuje obszary prawdopodobnego powstawania powierzchni zniszczenia.



Analiza nie konwerguje - wykres równoważnego odkształcenia plastycznego

Ustawienia i Opis Analizy

Domyślne ustawienia parametrów decydujących o rozwiązaniu obliczeń zostały zoptymalizowane w celu zapewnienia odpowiedniej dokładności i wydajności analizy. Nie mniej jednak, doświadczony użytkownik może potrzebować zmiany ustawień domyślnych lub sprawdzenia wpływu parametrów na dokładność i przebieg obliczeń. Ustawienia parametrów można zmieniać w oknie dialogowym "**Ustawienia obliczeń**".

Przy zmianie standardowych ustawień należy jednak **zachować ostrożność**. Przed zdefiniowaniem jakichkolwiek zmian użytkownik musi być świadomy ewentualnych konsekwencji. W szczególności, nieprawidłowe ustawienia mogą w znaczny sposób spowolnić proces obliczeniowy, mogą spowodować rozbieżności i prowadzić do **nieprawidłowych wyników**. W zakładce „Ustawienia obliczeń" istnieje możliwość modyfikacji następujących parametrów:

- Metoda rozwiązania
- Zmiana macierzy sztywności
- Początkowy krok obliczeniowy
- Maksymalna liczba iteracji
- Kryterium konwergencji
- Ustawienia metody Newtona-Raphsona
- Ustawienia metody Arc-length

- Metoda Line search
- Plastyczność

Ustawienia domyślne można w każdej chwili przywrócić za pomocą przycisku "**Ustawienia domyślne**".

Metoda rozwiązania

Program MES służy do analizy zadań geotechnicznych, które charakteryzują się nieliniową reakcją masywu gruntowego lub skalnego. Zakończone powodzeniem obliczanie większości tego rodzaju zadań wymaga zastosowania rozwiązania iteracyjnego dla danych warunków brzegowych. Zastosowanie metody elementów skończonych (MES) prowadzi w takich przypadkach do przyrostowej postaci warunków równowagi, zapisanych następująco:

$$K_T . \Delta u = \Delta f$$

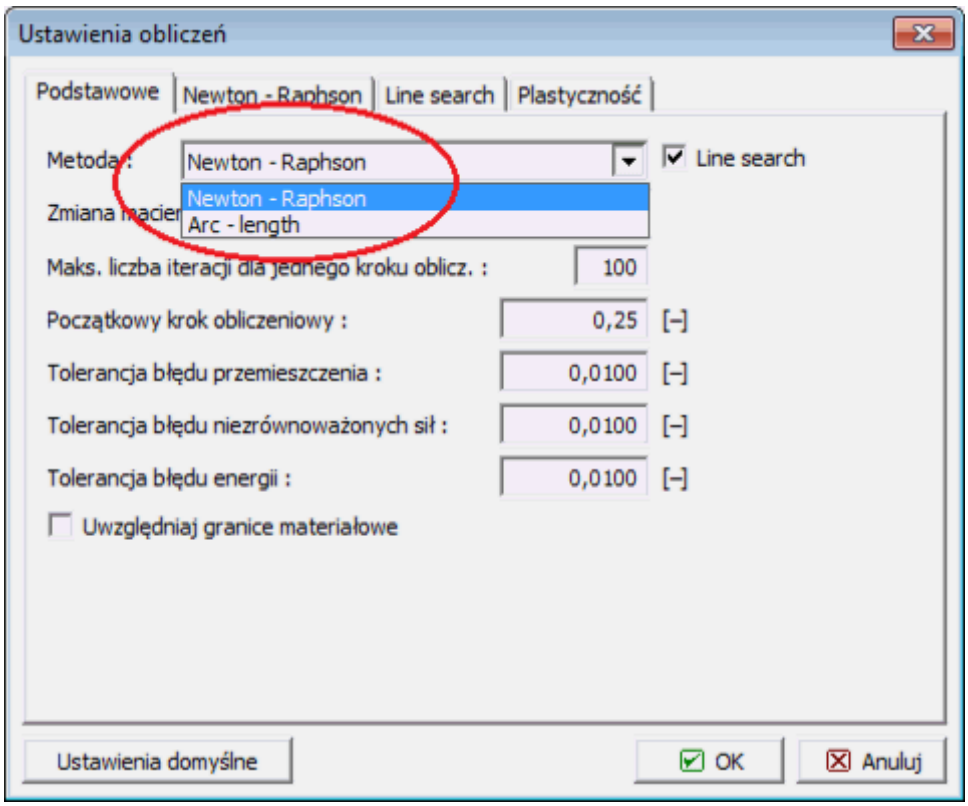
gdzie: K_T - macierz sztywności chwilowej

Δu - wektor przyrostów przemieszczeń w węzłach

Δf - wektor przyrostów sił niezrównoważonych

Równanie to może być rozwiązane tylko w sposób przybliżony, z zastosowaniem odpowiedniej metody numerycznej. Celem metody jest osiągnięcie, w procesie iteracji, takiego stanu naprężenia i odkształcenia, który spełnia warunek $\Delta f = 0$. **Program udostępnia** dwie podstawowe metody analizy:

1. Metoda Newtona-Raphsona - NRM
2. Metoda Arc-length - ALM.



Ustawienia obliczeniowe - wybór metody rozwiązywania

Zmiana macierzy sztywności

Pełna **metoda Newtona-Raphsona** zakłada, że macierz chwilowej stycznej sztywności tworzona jest na początku każdej iteracji.

Tworzenie nowej macierzy sztywności stycznej tylko na początku nowego przyrostu obciążenia prowadzi do tzw. zmodyfikowanej metody Newtona-Raphsona.

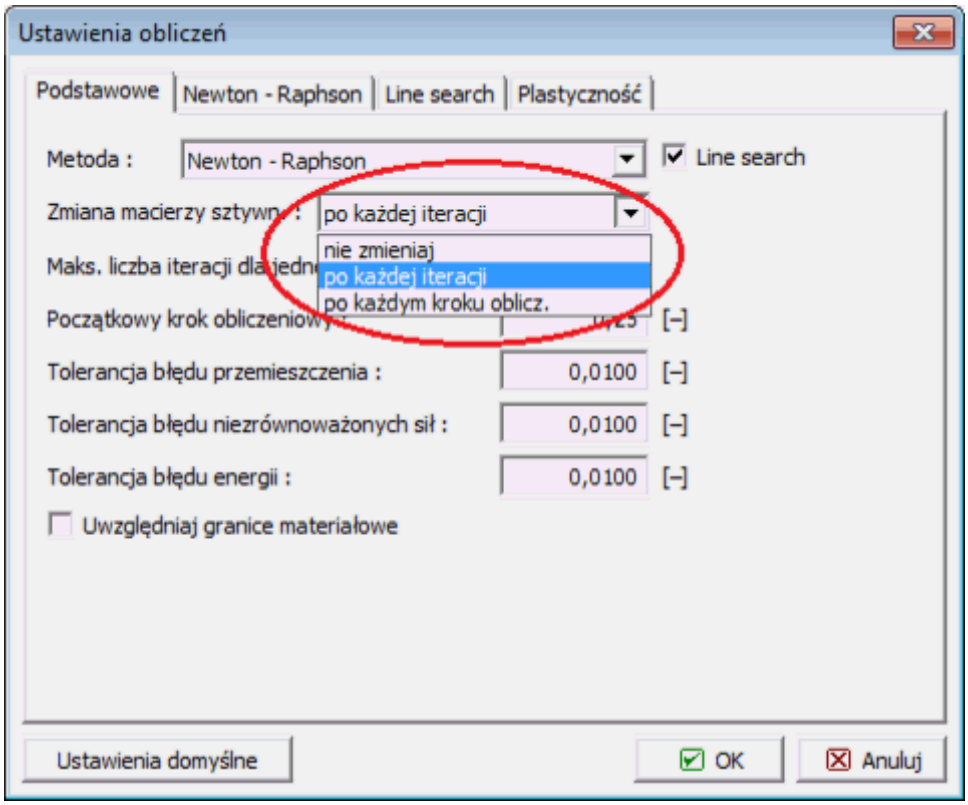
Jeżeli macierz sztywności tworzona jest tylko raz na początku analizy, to uzyskujemy tzw. metodę naprężenia początkowego.

Poszczególne metody można wybrać w oknie dialogowym "**Ustawienia obliczeń**" z listy rozwijanej "Zmiana macierzy sztywności". Dostępne są następujące ustawienia:

1. **Nie zmieniaj** - metoda naprężenia początkowego
2. **Po każdej iteracji** - pełna metoda Newtona-Raphsona
3. **Po każdym kroku obciążenia** - zmodyfikowana metoda Newtona-Raphsona

Ustawienie domyślne zakłada algorytm pełnej metody Newtona-Raphsona (*aktualizacja sztywności po każdej iteracji*). Proszę zauważyć, że utworzenie macierzy sztywności jest zgodne z algorytmem aktualizacji naprężenia. Takie sformułowanie zapewnia kwadratową konwergencję pełnej metody Newtona-Raphsona (NRM) w przeciwieństwie do zmodyfikowanej NRM lub metody naprężenia początkowego, które - w porównaniu z metodą pełną NRM - wymagają znacznie większej liczby iteracji do osiągnięcia równowagi.

Z drugiej strony należy nadmienić, iż koszt obliczeniowy na jedną iterację zależy głównie od obliczenia i faktoryzacji macierzy sztywności stycznych. Przy założeniu reakcji sprężystej konstrukcji tworzenie macierzy sztywności konstrukcyjnej więcej niż jeden raz (aktualizacja sztywności - sprężystość przez cały czas) jest rzeczą całkowicie bezcelową. W przeciwieństwie do tego, podniesienie stopnia nieliniowości sugeruje częstsze przeformułowywanie sztywności (aktualizacja sztywności - każda iteracja).



Metoda Newtona-Raphsona - opcje aktualizacji macierzy sztywności

Początkowy krok obliczeniowy

Właściwy proces obliczeniowy jest prowadzony w sposób przyrostowy w kilku krokach obciążenia aż do osiągnięcia całkowitego zakładanego obciążenia.

Program wymaga jedynie ustawienia **początkowego kroku obciążenia**.

Parametr ten reprezentuje **stosunek obciążenia przyłożonego w danym kroku obciążenia do zakładanego obciążenia całkowitego**. Parametr ten podlega modyfikacjom dostosowującym w zależności od przebiegu iteracji.

Domyślnie ustawiona jest wartość 25% całkowitego zakładanego obciążenia. Podobnie jak w opisanych wyżej przypadkach prawdą jest, iż wzrost złożoności rozwiązania w związku z przyjęciem podejścia nieliniowego wymaga zredukowania tego parametru. Jednakże, w przypadku **odpowiedzi sprężystej**, wartość tego parametru można przyjąć 1, co odpowiada rozwiązaniu danego zadania w jednym kroku obciążenia.

Maksymalna liczba iteracji

Parametr ten oznacza **maksymalną liczbę iteracji dopuszczalnych** dla pojedynczego kroku obciążenia do osiągnięcia stanu równowagi.

Przekroczenie tej liczby sprawia, że program automatycznie **redukuje bieżącą wartość zakładanego kroku obciążenia** i ponownie rozpoczyna obliczenia od ostatniego poziomu obciążenia, który jest zgodny ze stanem równowagi. Podobne działanie wykonywane jest w przypadku, gdy oscylacja lub dywergencja obliczeń są nieuchronne.

Kryterium konwergencji

Aby zapewnić skuteczność strategii rozwiązania przyrostowego opartego o jedną z metod iteracyjnych należy wybrać odpowiednie kryteria (wstępne ustawienie wartości tolerancji dla osiągnięcia równowagi) dla **zakończenia procesu iteracji**.

Proszę zauważyć, że luźne kryteria konwergencji mogą prowadzić do niedokładnych wyników, podczas gdy zbyt niskie tolerancje konwergencji mogą skutkować nieuzasadnionym wzrostem kosztów obliczeniowych potrzebnych do uzyskania wyników o nadmiernym stopniu dokładności.

W programie, konwergencja jest sprawdzana pod kątem zmiany przyrostów przemieszczenia węzłowego, zmiany sił niezrównoważonych, jak też zmian energii wewnętrznej. To ostatnie kryterium daje pewne pojęcie o tym, w jaki sposób przemieszczenia i siły osiągają swoje wartości równowagi. Dostępne są następujące ustawienia:

1. **Tolerancja błędu przemieszczenia** - tolerancja dla zmiany normy przyrostu przemieszczenia
2. **Tolerancja błędu niezrównoważonych sił** - tolerancja dla zmiany normy sił niezrównoważonych
3. **Tolerancja błędu energii** - tolerancja dla zmiany energii wewnętrznej.

Wartość domyślna **wszystkich tolerancji konwergencji** wynosi 0,01.

Ustawienia w metodzie Newtona-Raphsona

W metodzie Newtona-Raphsona (NRM) przebieg iteracji można regulować za pomocą ustawienia następujących parametrów:

1) Współczynnik relaksacji - reprezentuje wartość redukcji bieżącego kroku obciążenia dla ponownego rozpoczęcia obliczeń w przypadku braku konwergencji rozwiązania. Nową wartość zakładanego kroku obciążenia uzyskujemy z równania:

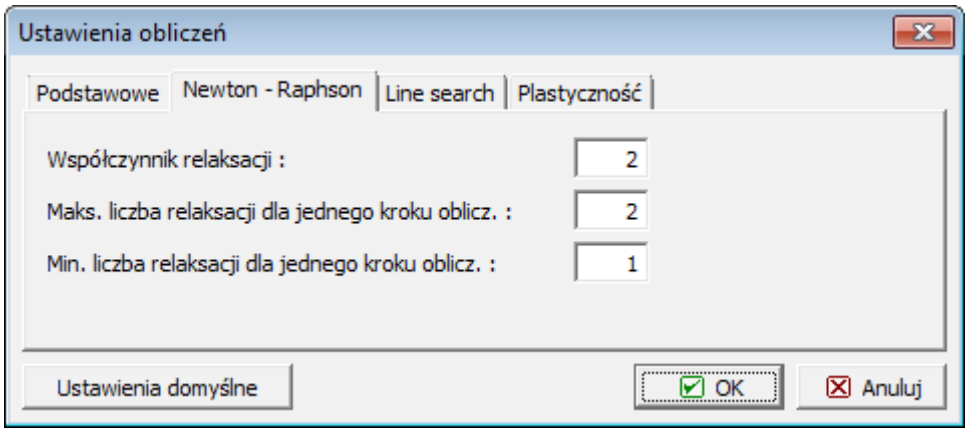
nowy krok obciążenia = poprzedni krok obciążenia / współczynnik relaksacji

2) Maks. liczba relaksacji *dla pojedynczego kroku obciążenia* - parametr określający ile razy można wykonać w/w czynność w trakcie całej analizy. Przekroczenie tej wartości powoduje zatrzymanie obliczeń przez program. Wyniki są wtedy dostępne dla ostatniego konwergującego poziomu obciążenia.

3) Min. liczba iteracji *dla jednego kroku obciążenia* - parametr pozwalający na ewentualne przyspieszenie obliczeń. W szczególności, jeżeli liczba iteracji, które mają konwergować w ostatnim kroku obciążenia, będzie mniejsza niż ustawiona liczba minimalna, to krok obciążenia dla nowego przyrostu obciążenia zostanie powiększony w następujący sposób:

nowy krok obciążenia = poprzedni krok obciążenia * współczynnik relaksacji

Domyślne ustawienie w/w parametrów odpowiada wartościom wyświetlanym w ramce:



Parametry kierujące procesem iteracji

Ustawienia w metodzie Arc-length

Metoda Arc-length (ALM) jest stosunkowo mocną metodą, która jest szczególnie przydatna do rozwiązywania zadań wymagających poszukiwania obciążenia niszczącego dla danej konstrukcji. Analiza stateczności konstrukcji geotechnicznych (skarpy, nasypy) jest jednym z takich zadań. W przeciwieństwie do metody NRM, w której dla rozwiązania decydujące jest wyłącznie przypisanie przyrostów obciążenia, metoda ALM wprowadza dodatkowy parametr reprezentujący pewne ograniczenie wartości przyrostu obciążenia dla danego kroku obciążeniowego. Wartość kroku obciążenia zależy więc od przebiegu iteracji i jest bezpośrednio powiązana z wybraną długością łuku.

Podstawowym założeniem tej metody jest, że zakładane obciążenie zmienia się proporcjonalnie w trakcie obliczeń. Oznacza to, że dany poziom przyłożonego obciążenia można wyrazić następująco:

$$\overline{\mathrm{F}} = \lambda.\mathrm{F}$$

gdzie: F - bieżąca część całkowitego przyłożonego obciążenia

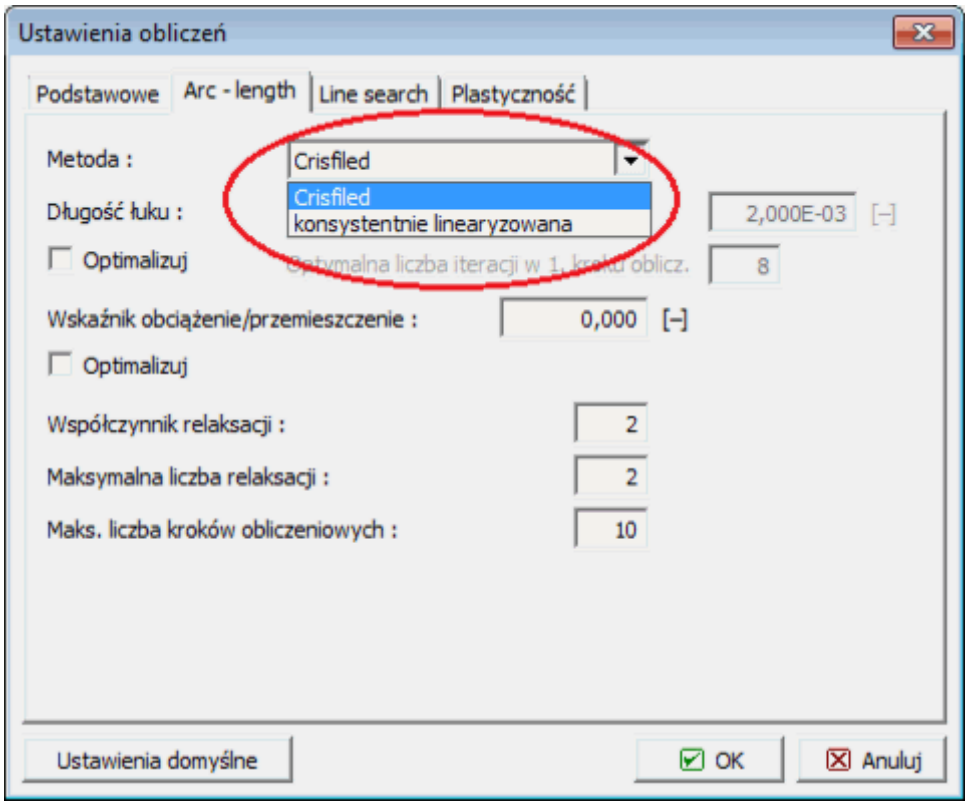
λ - współczynnik proporcjonalności

F - całkowite zakładane obciążenie

Proszę pamiętać, że w metodzie ALM, wektor **F** reprezentuje tylko pewne obciążenie referencyjne, które utrzymuje stałą wartość w trakcie całej sekwencji obliczeń reakcji. Faktyczna wartość obciążenia na koniec obliczeń jest równa λ pomnożonego przez **F**; $\lambda < 1$ reprezentuje stan, gdy faktyczna nośność konstrukcji jest mniejsza niż zakładane obciążenie referencyjne; jeżeli λ na koniec obliczeń reakcji przekracza wartość 1, to program dokona automatycznego dostosowania długości łuku, aby rozwiązanie konwergowało z wartością $\lambda = 1$ w wybranym zakresie tolerancji równym 0,01 (1% maksymalnego przyłożonego obciążenia). Tej wartości nie można zmienić.

W literaturze występuje kilka sformułowań metody ALM. Program zawiera metodę zaproponowaną przez Crisfielda i konsystentnie linearyzowaną metodę przedstawioną przez Ramma. Druga z tych metod jest znacznie prostsza, co najmniej z punktu widzenia sformułowania, niż metoda Crisfielda. Z drugiej jednak strony uważana jest też za mniej skuteczną. Domyślnie ustawiono metodę Crisfielda.

Istotnymi parametrami w tej metodzie są także "Ustawienie długości luku" i "Automatyczna kontrola długości łuku".



Arc-length - wybór rodzaju metody Arc-length

Ustawienia Arc-Length

Arc length - długość łuku - jest podstawowym parametrem wpływającym na obliczenia reakcji. Wskazówką dla wyboru długości łuku może być przebieg iteracji w poprzednim etapie obliczeniowym. Niezależnie od tego program umożliwia ustawienie:

1. **Wyznacz z kroku obliczeniowego** (kroku obciążenia) - długość łuku określana jest w sposób automatyczny z początkowego kroku obciążenia.
2. **Przyjmij z poprzedniej fazy** - wartość długości łuku na koniec poprzedniej fazy obliczeniowej jest stosowana jako wartość początkowa dla nowej fazy. Ta opcja staje się aktywna w drugiej fazie obliczeniowej.
3. **Definiuj** - umożliwia bezpośrednie podanie wartości długości łuku.

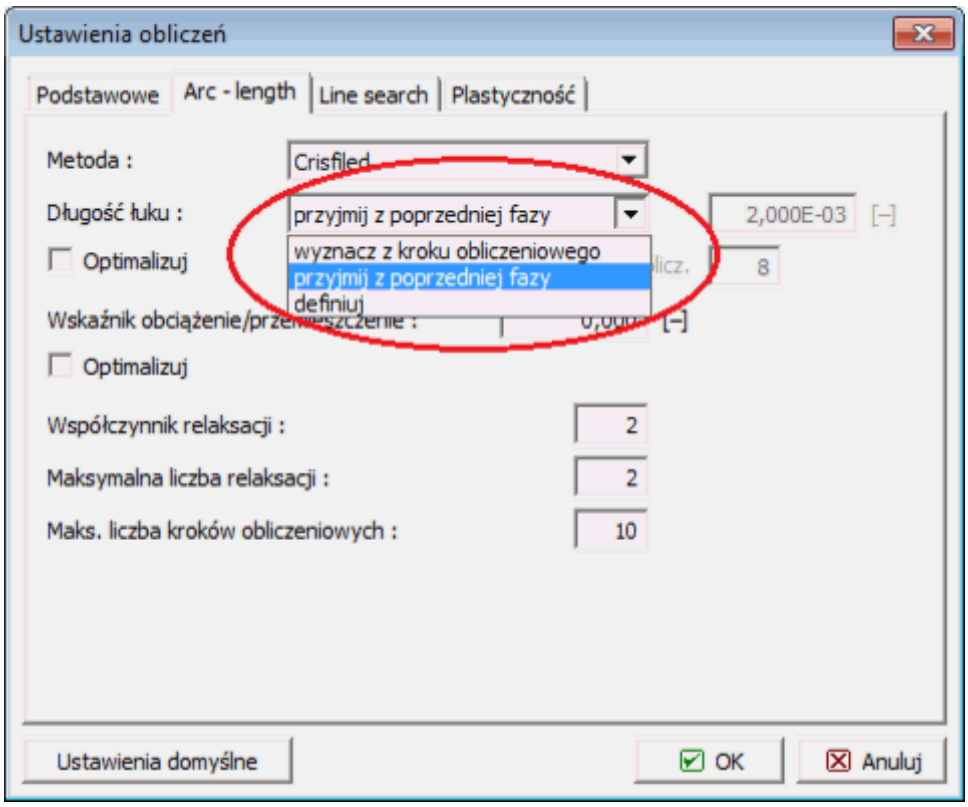
Jeżeli nie można określić reakcji konstrukcji *a priori*, to zalecamy stosowanie pierwszej opcji. W zależności od przebiegu obliczeń można zmodyfikować wartość długości łuku i powtórzyć obliczenia. W żadnym wypadku nie można jednak zapewnić konwergencji dla wybranej wartości długości łuku. Podobnie jak w metodzie NRM, jeżeli wystąpią problemy z konwergencją, to program umożliwi redukcję bieżącej długości łuku i rozpocznie obliczenia od początku.

Następnym parametrem kierującym procesem iteracji jest *Maksymalna liczba kroków obliczeniowych (obciążenia).* Program zawsze stosuje podaną liczbę kroków obciążenia, jeżeli:

- parametr λ jest większy od 1,
- przekroczona została maksymalna liczba relaksacji długości łuku.

Jeżeli obliczenia zostaną przerwane w wyniku przekroczenia maksymalnej liczby kroków

obciążenia i parametr λ jest mniejszy od 1, to niezbędne jest zwiększenie liczby kroków i rozpoczęcie obliczeń od początku.

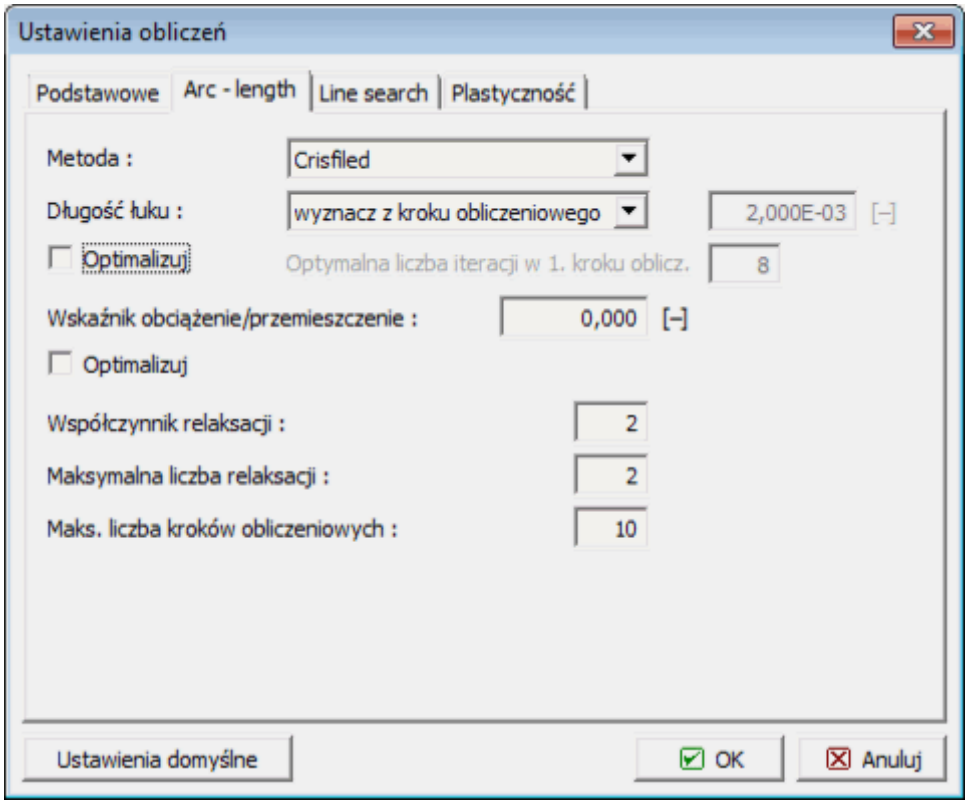


Arc-length - ustawienie długości łuku

Automatyczna kontrola długości łuku

Strategia automatycznej kontroli długości łuku stanowi ważny element przy korzystaniu z dowolnej metody numerycznej. Program umożliwia dostosowywanie bieżącej długości łuku do nowego kroku obciążenia w zależności od przebiegu iteracji w poprzednim kroku poprzez włączenie opcji **Optymalizuj**. Program spróbuje dokonać wyboru wartości długości łuku, która utrzymuje żądaną liczbę iteracji w każdym kroku obciążenia niezbędną dla osiągnięcia konwergencji - opcja **Optymalna liczba iteracji w 1. kroku obliczeniowym (obciążenia)**.

Kolejnym parametrem kierującym procesem iteracji jest **Wskaźnik obciążenie/przemieszczenie**. Parametr ten stanowi czynnik skalarny, który dostosowuje skalę obciążenia wyrażonego za pomocą parametru λ i wektora przemieszczenia u, pod warunkiem, że wartość tego parametru jest wystarczająco duża, aby decydujący wpływ na analizę miał przyrost obciążenia. Jeżeli wartość parametru ustawimy na 0 (ustawienie domyślne), otrzymamy tzw. cylindryczną ALM, a obliczenia będą zależeć od przyrostu przemieszczenia. Podejście takie jest bardziej stabilne i zalecane przez autorów. Nie mniej jednak, program umożliwia optymalizację tego parametru poprzez włączenie opcji *Optymalizuj*. W takim przypadku, bieżąca wartość tego parametru ustawiana jest jako równa parametrowi bieżącej sztywności Bergana, który stanowi miarę skalarną stopnia nieliniowości. Wartość tego parametru zmniejsza się wraz ze wzrostem stopnia nieliniowości. Przy zbliżaniu się do obciążenia niszczącego, wartość tego parametru dąży do zera, a na rozwiązanie ma wpływ przyrost przemieszczenia. Strategia ta pozwala więc na zastosowanie metody cylindrycznej (walcowej) przy wartości **Wskaźnika obciążenia/przemieszczenia** równej zero. Domyślnie, opcja ta jest wyłączona.



Arc-length - automatyczna kontrola długości łuku

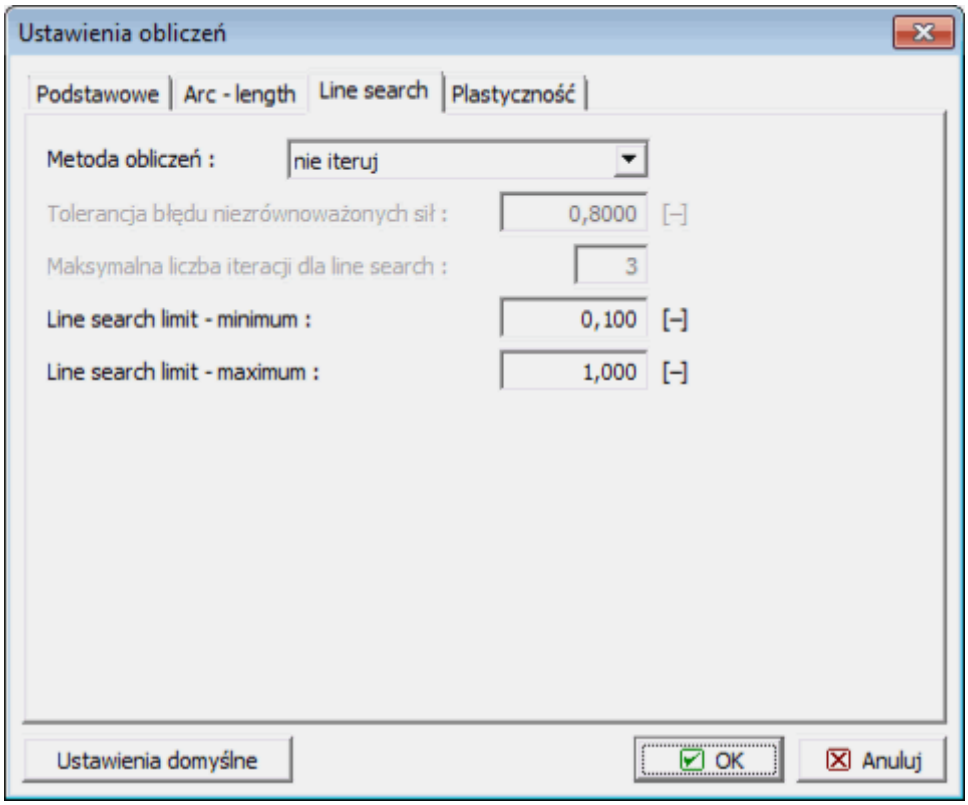
Metoda Line Search

Podstawowym celem metody Line search jest określenie skalarnego mnożnika η, który jest stosowany do skalowania bieżącego przyrostu przemieszczenia, tak aby spełnić warunek równowagi w danym kierunku. Rzeczywisty wektor przemieszczenia na końcu i-tej iteracji ma więc następującą postać:

$$\mathbf{u}_i = \mathbf{u}_{i-1} + \eta.\Delta\mathbf{u}$$

W związku z tym, proces obliczeniowy ulega przyspieszeniu $\eta > 1$, albo spowolnieniu, $\eta < 1$. Oczywiście, dla Line search wykonanej dla każdej iteracji wzrasta koszt iteracji. Z drugiej strony, niedogodność ta jest kompensowana przez mniejszą liczbę iteracji niezbędnych do osiągnięcia konwergencji, oraz przez możliwość uniknięcia dywergencji lub oscylacji procesu iteracji. W ustawieniu domyślnym metoda Line search jest włączona.

Użytkownikom o niewielkim doświadczeniu zalecamy użycie ustawienia domyślnego widocznego na rysunku.



Ustawienie metody line search

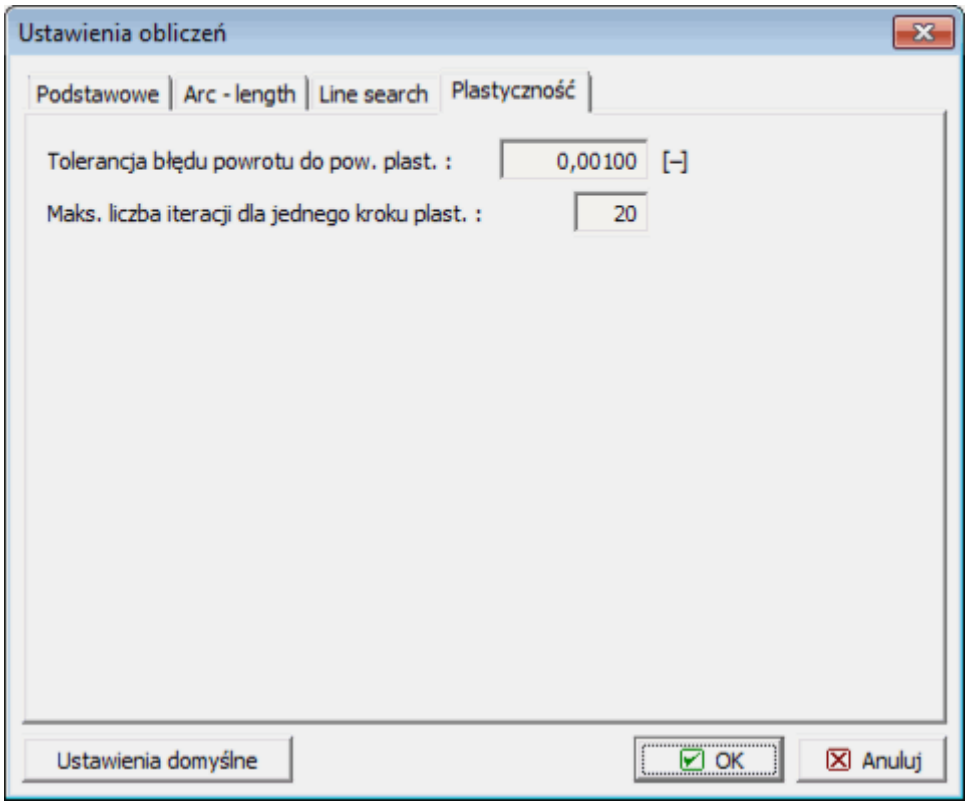
Plastyczność

Okno dialogowe **Plastyczność** służy do ustawiania parametrów kierujących procedurą aktualizacji naprężenia.

Parametr **Tolerancja błędu powrotu do powierzchni plastyczności** wskazuje tolerancję spełniającą wybrany warunek zniszczenia. Przy założeniu nieliniowego wzmocnienia/osłabienia, tak jak w przypadku modyfikowanego modelu cam clay, mapowanie powrotu naprężenia wymaga zastosowania procesu iteracji.

Maksymalna dozwolona liczba iteracji jest wtedy wyrażona za pomocą parametru **Maksymalna liczba iteracji dla jednego kroku plastycznego**. W przypadku stosowania sztywno-plastycznej wersji modelu Mohra-Coulomba, Druckera-Pragera lub modyfikowanego modelu Mohra-Coulomba, parametry te nie mają zastosowania.

Zalecane jest stosowanie wartości ustawionej domyślnie, która widoczna jest na rysunku.



Parametry kierujące mapowaniem powrotu naprężenia

Przebieg obliczeń

Przebieg obliczeń widoczny jest w dolnej części ekranu.

Analiza **sprężysta** realizowana jest w **jednym kroku obliczeniowym**. Analiza nieliniowa wykonywana jest w kilku krokach - obciążenie zewnętrzne wzrasta stopniowo w kilku **krokach obciążenia (obliczeń)**. Analiza kończy się powodzeniem, jeżeli nie występuje utrata ogólnej konwergencji, tak iż osiągane jest 100 procent zakładanego obciążenia.

Domyślne ustawienia parametrów, które kierują rozwiązaniem obliczeń są zoptymalizowane w celu zapewnienia odpowiedniej dokładności i wydajności obliczeń. Pomimo to, doświadczony użytkownik może potrzebować zmiany ustawień domyślnych lub sprawdzenia wpływu parametrów na dokładność i przebieg obliczeń. Parametry można modyfikować w oknie dialogowym "Ustawienia obliczeń":

- Parametr **Procent osiągniętego obciążenia** przedstawia procent obciążenia całkowitego (wartość oczekiwaną) na koniec bieżącego kroku obliczeniowego, przy założeniu udanej konwergencji dla bieżącego kroku obciążenia.
- Parametr **Długość kroku** przedstawia bieżący czynnik skalujący do określenia przyrostu obciążenia w bieżącym kroku obciążenia.
- Parametr **Współczynnik bezpieczeństwa** odpowiada oczekiwanej wartości współczynnika bezpieczeństwa przy założeniu udanej konwergencji dla danych parametrów c, φ.

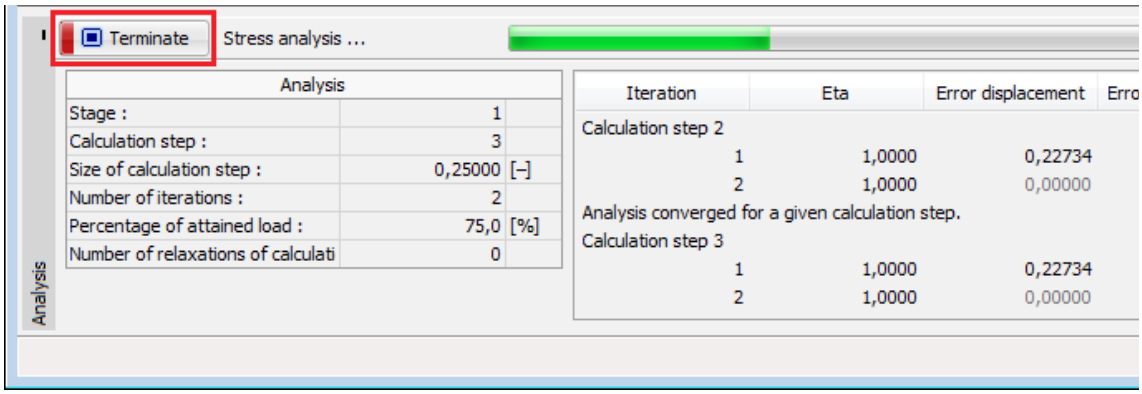
Przebieg iteracji w ramach danego kroku obciążenia charakteryzowany jest za pomocą zmiany parametrów konwergencji:

- η - parametr metody line search

- zmiana normy przyrostu przemieszczenia
- zmiana normy siły niezrównoważonej
- zmiana energii wewnętrznej

Jeżeli wszystkie trzy błędy są mniejsze niż ustawiona wstępnie wartość **tolerancji błędu** (można edytować w oknie dialogowym "**Ustawienia**"), to analiza dla danego kroku obliczeniowego zostanie przerwana.

Przycisk "**Zatrzymaj**" służy do przerwania procesu obliczeniowego. Wyniki są wtedy dostępne dla ostatniego poziomu obciążenia, który jest zgodny ze stanem równowagi.



Przebieg obliczeń

Wyniki

Wizualizacja (wykreślenie) wyników jest jedną z najważniejszych cech programu. Program pozwala na wybranie spośród kilku podstawowych stylów prezentacji graficznej wyników, które są zdefiniowane w oknie dialogowym "Konfiguracja rysunku : Obliczenia":

- rysuj **siatkę odkształconą**
- powierzchniowy wykres zmiennych powstałych **wewnątrz ośrodka gruntowego / skalnego** (można wyświetlić całkowite wartości lub ich przyrosty w odniesieniu do poprzedniej fazy obliczeniowej)
- **siły wewnętrzne** wzdłuż belek, elementów kontaktowych
- **siły w kotwach i siły reakcji**
- **niecka osiadania**
- **przekroje ukośne** zmiennych
- **wektory i kierunki** zmiennych

W programie wykorzystuje się następujące układy współrzędnych do wyświetlania wyników.

Pasek narzędzi "Wyniki" w górnej części ekranu służy do wyświetlania wybranych zmiennych i wybrania sposobu ich prezentacji na ekranie. Schemat kolorów przedstawiony jest w prawej, górnej części ekranu. Jego ustawienie można dostosować za pomocą paska narzędzi "Schemat kolorów".

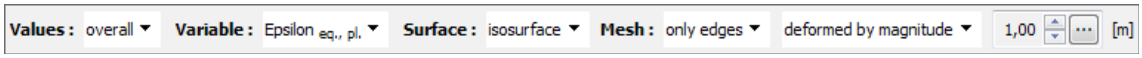
Prawidłowe ustawienie sposobu prezentacji wyników może być czasochłonne, z tego też względu program wyposażono w wygodny system przechowywania i zarządzania różnymi ustawieniami.

Wszystkie dane wyjściowe oraz wybrane wyniki można następnie drukować korzystając

z raportu z obliczeń.

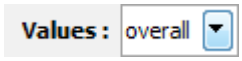
Pasek narzędzi - wyniki

Pasek narzędzi zawiera następujące elementy robocze:



Pasek narzędzi "Ustawienia wizualizacji graficznej wyników"

Poszczególne elementy funkcjonują w sposób następujący:



Wartości w fazach obliczeniowych

- wyświetla wyznaczone wartości (całkowite lub przyrost względem wybranej fazy budowy)



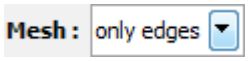
Rodzaj zmiennej

- wyświetla wybraną zmienną



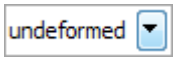
Rysunek powierzchniowy

- włącza/wyłącza rysowanie izolinii, izopowierzchni



Siatka

- włącza/wyłącza styl rysowania siatki ES (tylko krawędzie, albo zgodnie z ustawieniem w oknie dialogowym "Konfiguracja rysunku : Obliczenia").



Rysunek przemieszczeń

- dokonuje wyboru stylu rysowania siatki odkształconej - nieodkształcona/odkształcona (odkształcona o wartość, odkształcona współczynnikiem)

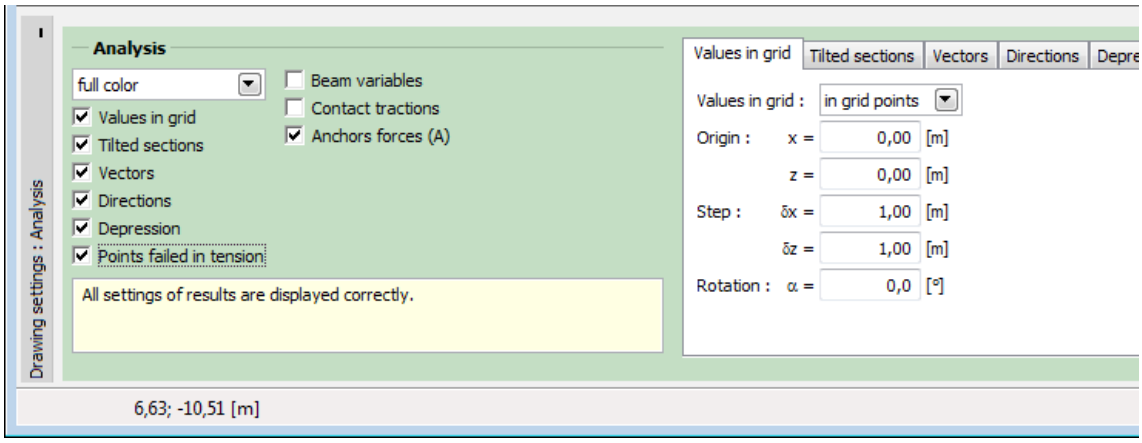
Pasek narzędzi zawiera **najczęściej używane elementy robocze** niezbędne dla przeglądania wyników na ekranie. Dokładne ustawienia stylu rysowania wyników dostępne są w oknie dialogowym "Konfiguracja rysunku : Obliczenia".

Podobnie jak w innych programach systemu GEO5, wyniki można zapisywać w pamięci i drukować. Styl rysunku można zdefiniować w oknie dialogowym "Konfiguracja rysunku".

Konfiguracja rysunku : Obliczenia

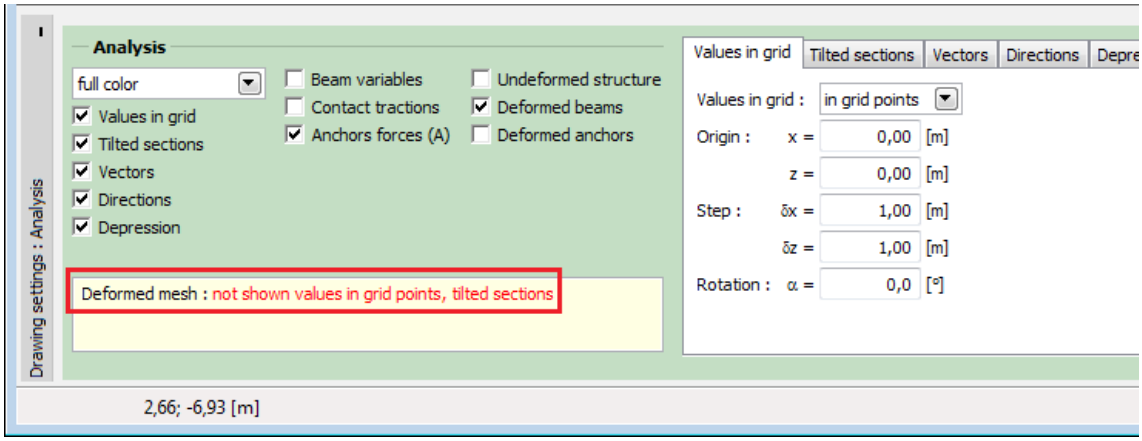
Okno dialogowe "**Konfiguracja rysunku : Obliczenia**" służy do wybrania rodzaju wyświetlanych zmiennych oraz sposobu ich prezentacji na ekranie. Poszczególne ustawienia można później zapisywać za pomocą paska narzędzi "Zapisane widoki".

Zakładka "**Wartości w siatce użytkownika**" służy do ustawiania podstawowych parametrów decydujących o wizualizacji zmiennych powierzchniowych i siatki ES - pozostałe zakładki stosowane są do definiowania innych rodzajów wyników.



Ramka "Konfiguracja rysunku : Obliczenia" - zakładka "Wartości w siatce użytkownika"

Ze względu na zachowanie przejrzystości prezentacji graficznej nie można wykonywać wizualizacji niektórych wyników **jednocześnie**. Nie można rysować siatki zdeformowanej jednocześnie z rozkładami sił wewnętrznych wzdłuż belek - można wybrać tylko jedną opcję. Jeżeli wybrano kombinację niedopuszczalną, to w dolnej części okna dialogowego program wyświetli ostrzeżenie. Przedstawiony przykład pokazuje niedopuszczalną kombinację *siatki zdeformowanej/wartości w węzłach siatki* ustawionych w pasku sterowania "Pasek narzędzi - wyniki".



Ostrzeżenie o wystąpieniu konfliktu podczas prezentacji wyników

Lista zmiennych

Można wyświetlić następujące zmienne (wartości w ośrodku gruntowym / skalnym):

Lista zmiennych wyświetlanych przez program - zmienne podstawowe:

Oznaczenie	Opis	Zmienna	Jednostka
Przemieszczenie dZ	Przemieszczenie w kierunku Z	d_z	$[mm]$
Przemieszczenie dX	Przemieszczenie w kierunku X	d_x	$[mm]$
Sigma Z, $całk.$	Całkowite naprężenie normalne w kierunku Z	$\sigma_{z.tot}$	$[kPa]$

Sigma $Z, ef.$	Efektywne naprężenie normalne w kierunku Z	$\sigma_{z.eff}$	$[kPa]$
Ciśnienie porowe $u.$	Ciśnienie porowe	u	$[kPa]$
Sigma $X, całk.$	Całkowite naprężenie normalne w kierunku X	$\sigma_{x.tot}$	$[kPa]$
Sigma $X, ef.$	Efektywne naprężenie normalne w kierunku X	$\sigma_{x.eff}$	$[kPa]$
Tau $X, Y.$	Naprężenie ścinające	τ_{xz}	$[kPa]$
Epsilon $eq.$	Odkształcenie ekwiwalentne	ε_{eq}	[-]
Epsilon $eq., pl.$	Ekwiwalentne odkształcenie plastyczne	$\varepsilon_{eq,pl}$	[-]

Lista zmiennych wyświetlanych przez program - zmienne dostępne po dokonaniu wyboru "Funkcji zaawansowanych":

Oznaczenie	**Opis**	**Zmienna**	**Jednostka**
Epsilon $obj.$	Odkształcenie objętościowe	$\varepsilon_{vol.}$	[-]
Sigma $śr.całk...$	Średnie całkowite naprężenie normalne	$\sigma_{stř.tot}$	$[kPa]$
Sigma $śr.ef.$	Średnie efektywne naprężenie normalne	$\sigma_{stř.eff}$	$[kPa]$
Sigma $eq.$	Równoważne naprężenie dewiatorowe	J	$[kPa]$
Epsilon $obj, pl.$	Plastyczne odkształcenie objętościowe	$\varepsilon_{vol.pl}$	[-]
Epsilon X	Odkształcenie normalne w kierunku X	ε_x	[-]
Epsilon Z	Odkształcenie normalne w kierunku Z	ε_z	[-]
Gama XZ	Odkształcenie ze ścinania w płaszczyźnie XZ	γ_{xz}	
Epsilon $1.$	Maksymalne odkształcenie główne	$\varepsilon_{1.princ}$	[-]
Epsilon $2.$	Pośrednie odkształcenie główne	$\varepsilon_{2.princ}$	[-]
Epsilon $3.$	Minimalne odkształcenie główne	$\varepsilon_{3.princ}$	[-]
Sigma $1.$	Maksymalne naprężenie główne	$\sigma_{1.princ}$	$[kPa]$
Sigma $2.$	Pośrednie naprężenie główne	$\sigma_{2.princ}$	$[kPa]$
Sigma $3.$	Minimalne naprężenie główne	$\sigma_{3.princ}$	$[kPa]$

Epsilon $X, pl.$	Normalne odkształcenie plastyczne w kierunku X	$\varepsilon_{x.pl}$	[-]
Epsilon Z, pl	Normalne odkształcenie plastyczne w kierunku Z	$\varepsilon_{z.pl}$	[-]
Gama $XZ, pl.$	Plastyczne odkształcenie ze ścinania w płaszczyźnie XZ	$\gamma_{xz.pl}$	

Monitory

Ramka "**Monitory**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych monitorów. Dodawanie monitorów (punktów pomiaru przemieszczeń) wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe monitory**".

Można definiować monitory punktowe lub liniowe. Okno dialogowe służy wtedy do podawania współrzędnych monitora i jego aktywności.

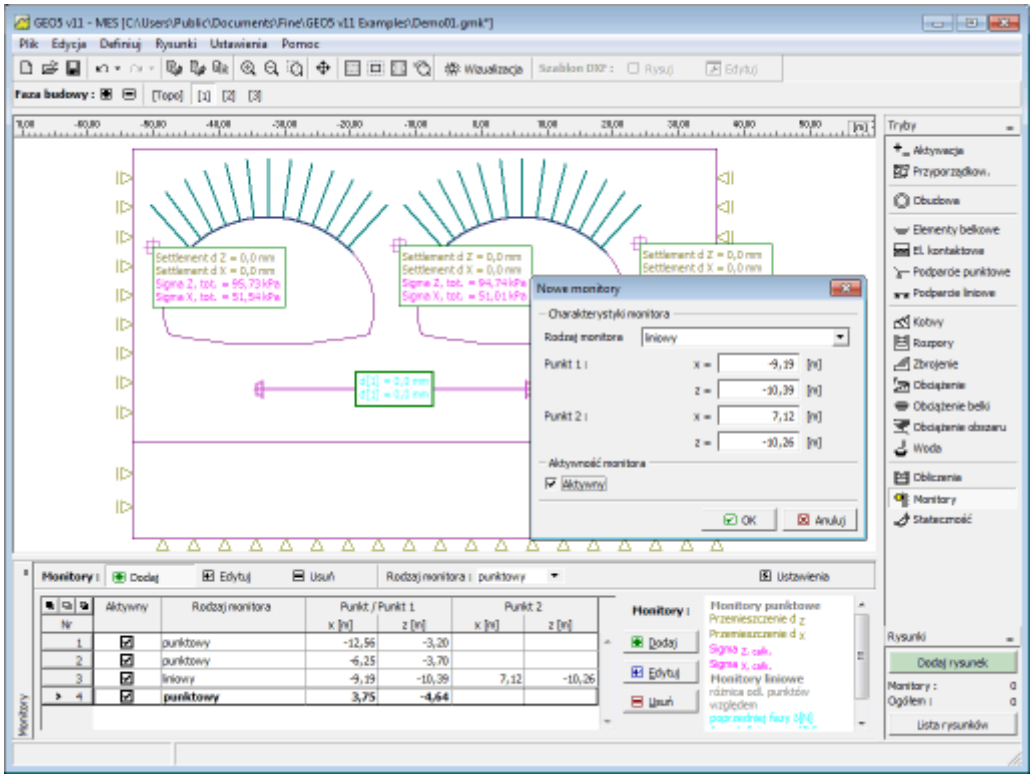
Monitory można również edytować na ekranie za pomocą obiektów aktywnych.

Program umożliwia definiowanie wybranej liczby monitorów punktowych i liniowych w dowolnym punkcie wewnątrz i na zewnątrz konstrukcji. Monitory pełnią kilka funkcji:

- wyświetlanie wartości zmiennych w danym punkcie (monitor punktowy)
- wyświetlanie wartości różnicy odległości między dwoma punktami w porównaniu z faza poprzedzającą $d[N]$ lub w porównaniu z fazą definiowania, gdzie N jest numerem fazy (monitor liniowy)

Monitory punktowe przechowują także wartości zmiennych zapisane podczas analizy poszczególnych faz budowy. Mogą one być następnie wprowadzone do raportu z obliczeń lub wykorzystane do tworzenia wykresów.

Lista zmiennych rysowanych dla poszczególnych monitorów ustawiana jest w oknie "Ustawienia monitorów". Do otwarcia okna służy przycisk "**Ustawienia**" na poziomym pasku narzędzi "**Monitory**".



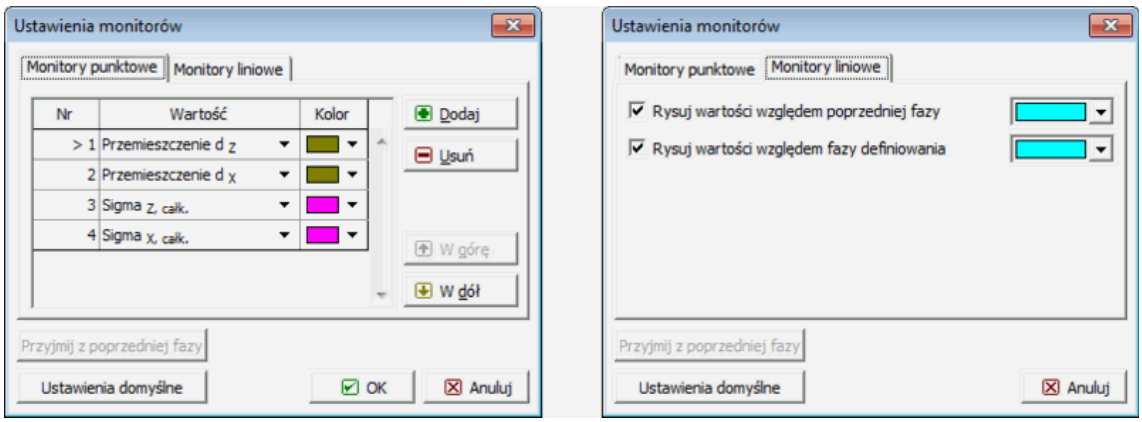
Ramka "Monitory"

Ustawienia monitorów

Okno dialogowe "**Ustawienia monitorów**" służy do ustawiania zmiennych, których wartości będą prezentowane dla danego monitora (monitory punktowe). Ustawienia dla danej listy zmiennych można przejąć z poprzedniej fazy budowy za pomocą przycisku "**Przejmij z poprzedniej fazy**". Domyślnie ustawiono wyświetlanie czterech zmiennych. Dodatkowe zmienne można dodać do listy używając przycisku "**Dodaj**". Zmienną można usunąć z listy za pomocą przycisku "**Usuń**".

W przypadku monitorów liniowych, okno dialogowe służy do aktywacji rysunku wartości, odpowiednio, względem poprzedniej fazy lub fazy definiowania.

Zarówno dla monitorów punktowych jak i liniowych, można zdefiniować schemat kolorów dla rysowanych wartości.



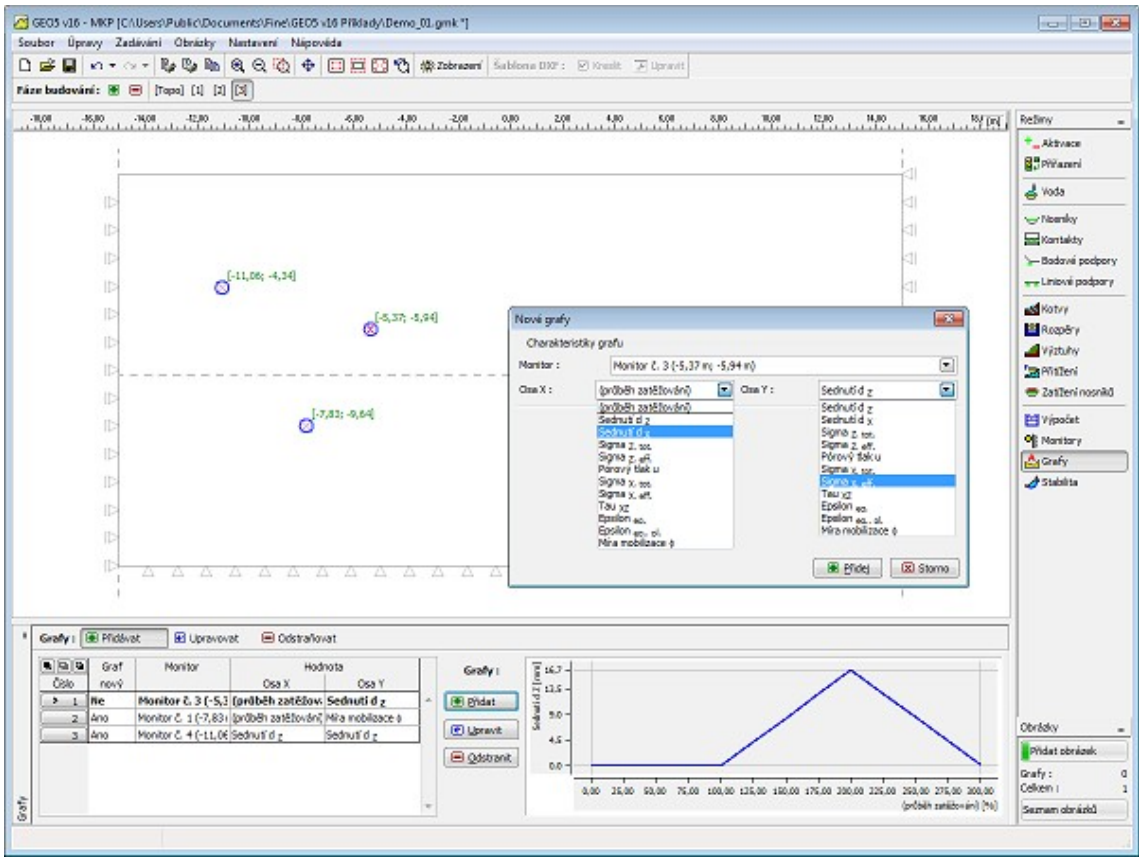
Okno dialogowe "Ustawienia monitorów"

Wykresy

Ramka "**Wykresy**" zawiera tabelę z listą zdefiniowanych wykresów. Dodawanie monitorów wykonywane jest w oknie dialogowym "**Nowe wykresy**". Okno dialogowe służy do definiowania numeru monitora, dla którego wykres będzie utworzony, a zmienne przyjęte odpowiednio dla osi X i Y.

Wykresy można również edytować na ekranie za pomocą obiektów aktywnych.

Program umożliwia również zdefiniowanie dowolnej liczby wykresów w punktach, w których zdefiniowane są monitory. Wykresy pozwalają na kreślenie wzajemnej zależności poszczególnych zmiennych przechowywanych w monitorach w trakcie obliczeń.



Ramka "Wykresy"

Stateczność

W obliczeniach stateczności (współczynnik bezpieczeństwa) program **redukuje początkowe parametry wytrzymałościowe** - kąt tarcia wewnętrznego i spójność - do momentu wystąpienia zniszczenia. Wynikiem obliczeń jest wtedy **współczynnik bezpieczeństwa**, który odpowiada klasycznej metodzie równowagi granicznej.

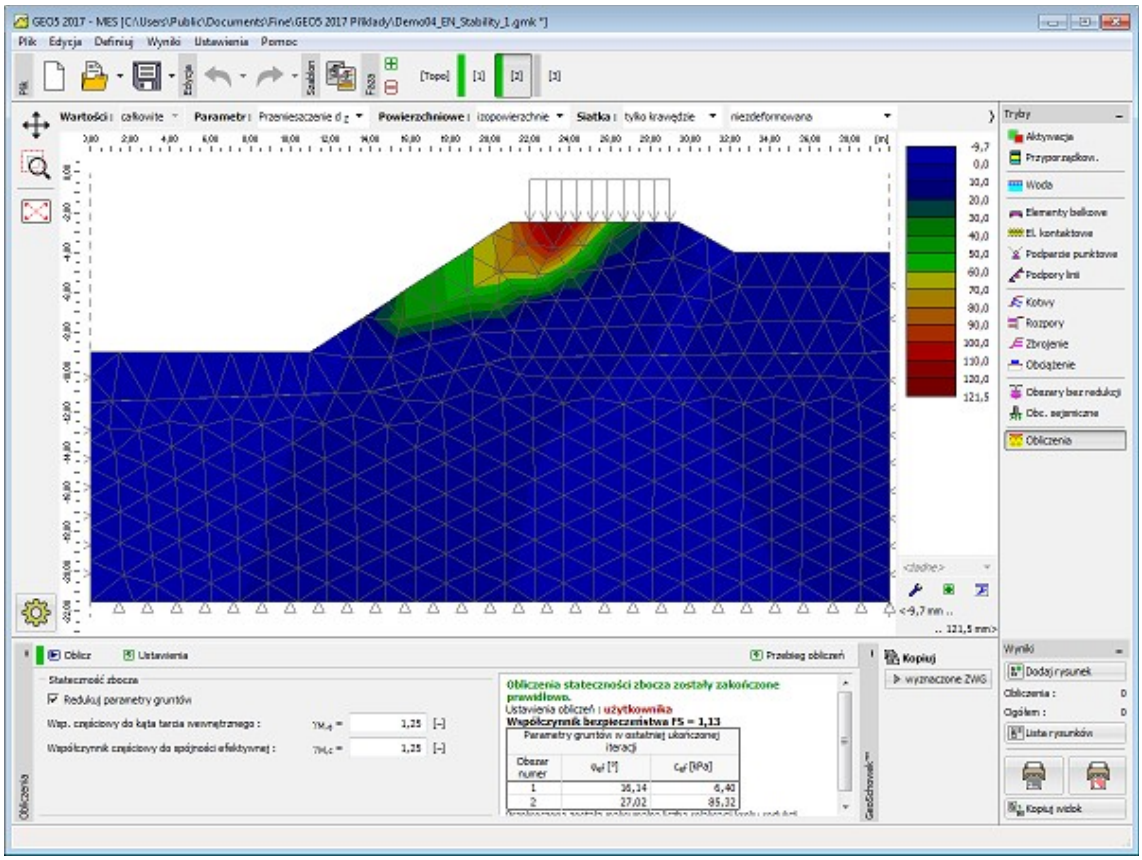
Analiza z użyciem współczynnika bezpieczeństwa wymaga zastosowania elementów o sześciowęzłowych. Ze względu na to, że głównym mechanizmem zniszczenia jest poślizg

plastyczny wymagane jest również zastosowanie dla wszystkich gruntów modelu plastyczności Mohra-Coulomba, modyfikowanego modelu Mohra-Coulomba lub modelu Druckera-Pragera. Ustwienia domyślne można zmieniać w oknie dialogowym "**Ustawienia obliczeń**".

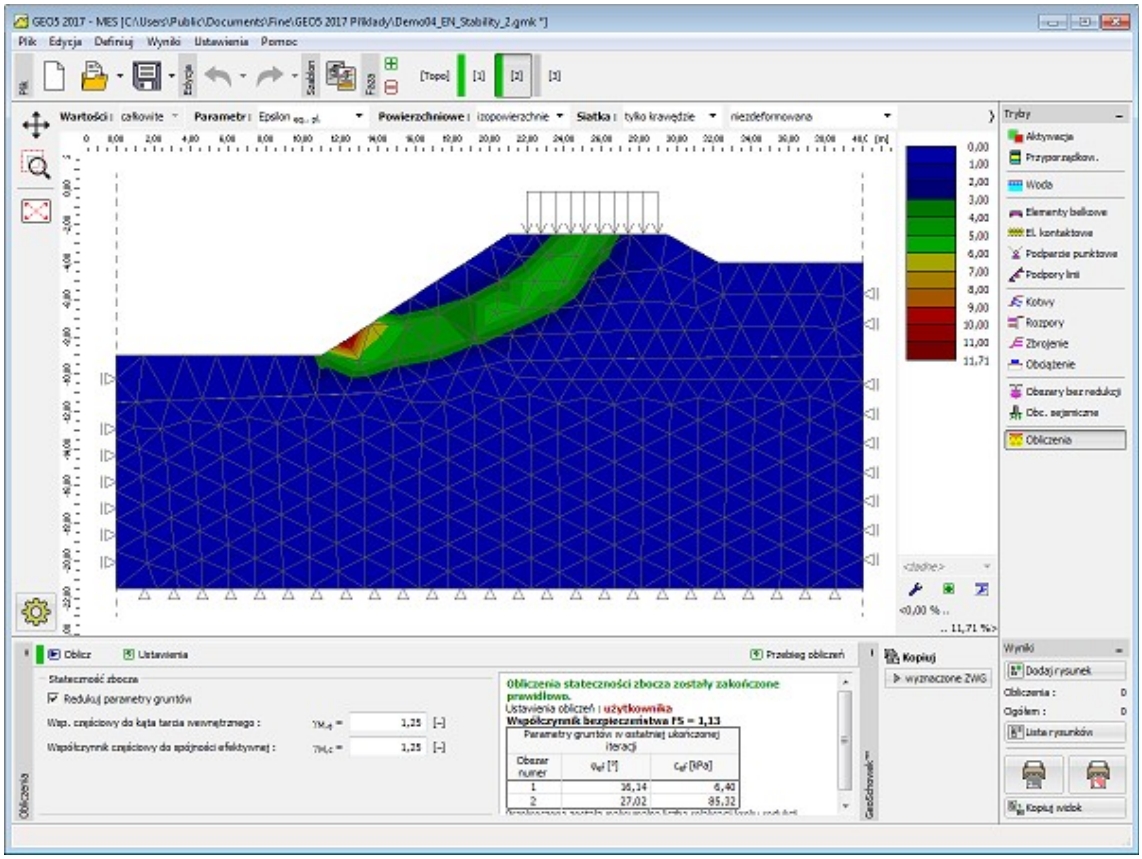
W trybie obliczeń stateczności jedyne zmienne dostępne do prezentacji graficznej to **przemieszczenia** (w kierunkach Z i X) oraz równoważne im **odkształcenia** całkowite i plastyczne. Odkształcenie ośrodka gruntowego odpowiada stanowi zniszczenia osiągniętemu dla zredukowanych parametrów gruntu - dlatego też nie odpowiada ono rzeczywistemu stanowi odkształcenia ośrodka gruntowego. Daje natomiast dobre wyobrażenie o ogólnej reakcji całego zbocza na początku zniszczenia.

Dobrym sposobem przedstawienia wyników analizy plastyczności są **wektory przemieszczeń** rysowane wraz z **ekwiwalentnym odkształceniem plastycznym**. Miejscowe odkształcenie plastyczne stanowi widoczną wskazówkę umiejscowienia **krytycznej powierzchni poślizgu**.

Program umożliwia także analizę stateczności zbocza (skarpy) według teorii stanów granicznych lub EN1997-1, podejście obliczeniowe 3. W ramce należy zdefiniować **współczynnik częściowy do kąta tarcia wewnętrznego** $\gamma_{M,\phi}$ oraz **współczynnik częściowy do spójności efektywnej** $\gamma_{M,c}$, które redukują parametry. W przypadku zastosowania redukcji według EN 1997 ($\gamma_{M,\phi}$ = 1,25, $\gamma_{M,c}$ = 1,25), stateczność zbocza spełnia wymagania jeśli FS=1,00.



Ramka "Stateczność"



Rysunek ekwiwalentnego odkształcenia plastycznego - powierzchnia poślizgu

Ustawienia podstawowych parametrów analizy stateczności zbocza

Obliczenia z zastosowaniem współczynnika bezpieczeństwa opierają się na założeniu, że całkowite obciążenie oddziałujące na masyw gruntowy/skalny jest wprowadzane w jednym kroku obciążenia. Właściwy współczynnik bezpieczeństwa obliczany jest za pomocą **metody redukcji parametrów wytrzymałościowych** c, φ. W związku z tym, współczynnik bezpieczeństwa został zdefiniowany jako skalarny mnożnik redukujący początkowe parametry c, φ aż do osiągnięcia stanu zniszczenia.

Współczynnik bezpieczeństwa ma następującą postać matematyczną:

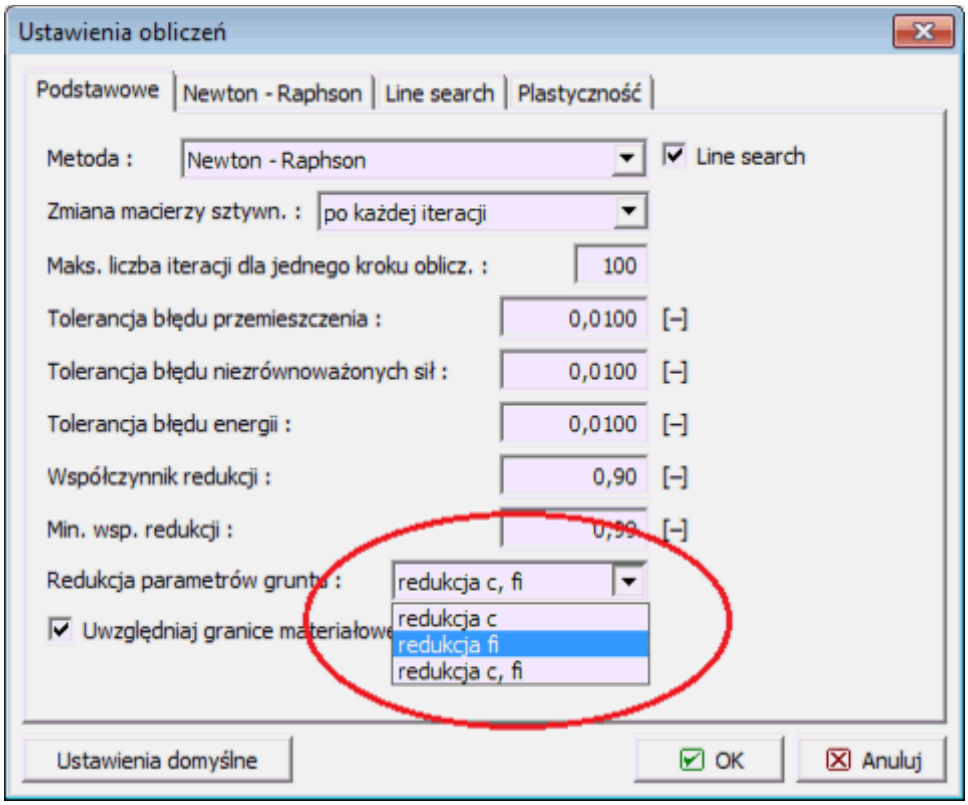
$$F = \frac{\tan \varphi^{orig}}{\tan \varphi^{failure}}$$

gdzie: φ^{orig} początkowa wartość kąta tarcia wewnętrznego gruntu

$\varphi^{failure}$ wartość kąta tarcia wewnętrznego gruntu w momencie zniszczenia

Poszukiwanie wartości krytycznej współczynnika bezpieczeństwa wymaga systematycznej modyfikacji (redukcji) parametrów wytrzymałościowych c, φ prowadzącej do osiągnięcia stanu zniszczenia. W ramach NRM, stan zniszczenia określa się jako stan, w którym rozwiązanie nie konwerguje. Procesem poszukiwania krytycznych wartości c, φ kierują następujące parametry.

1. **Redukcja** - współczynnik redukcji (mnożnik skalarny) służący do redukcji parametrów c, φ. Parametr ten podlega ciąglej aktualizacji w toku obliczeń.
2. **Minimalny współczynnik redukcji** - wartość graniczna, poniżej której wartość współczynnika redukcji nie powinna spaść podczas procesu poszukiwania. Parametr ten zapewnia, że obliczenia nie będą kontynuowane dla niepotrzebnie niskich wartości współczynnika redukcji. Jest to jeden z parametrów decydujących o zakończeniu procesu poszukiwania.
3. **Redukcja parametrów gruntu** - parametr ten umożliwia określenie, które z parametrów c, φ należy zredukować. Domyślnie ustawiono jednoczesną redukcję obydwu parametrów.



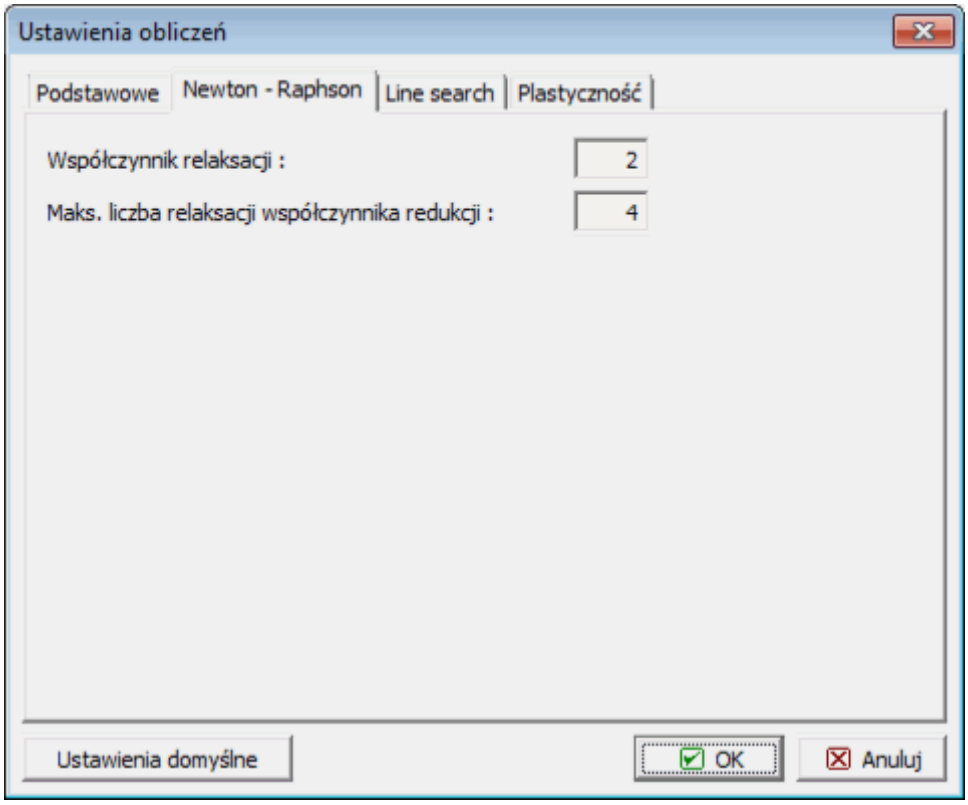
Ustawienia głównych parametrów obliczeń stateczności zbocza (MES)

Ustawienia wiodących parametrów relaksacji współczynnika redukcji

Podobnie jak w obliczeniach standardowych, program dostosowuje wartości współczynnika bezpieczeństwa. Jeżeli obliczenia nie konwergują dla danego zbioru parametrów c, φ, to współczynnik redukcji podlega relaksacji i obliczenia rozpoczynane są od początku. Podejście to definiowane jest za pomocą parametrów ustawianych w oknie "**Ustawienia obliczeń**" - zakładka **Newton-Raphson**.

Współczynnik relaksacji służy do redukcji bieżącej wartości *Współczynnika redukcji* parametrów c, φ. Obliczenia zostają zakończone, gdy wartość współczynnika redukcji spadnie poniżej wartości minimalnej, lub gdy nastąpi przekroczenie maksymalnej liczby dopuszczalnych redukcji. Po wybraniu metody NRM, program umożliwia określenie parametrów c, φ, co pozwala na doprowadzenie ośrodka gruntowego do stanu stateczności w przypadkach, gdy nie

znaleziono rozwiązania dla początkowych wartości parametrów c, φ. W takim przypadku program wykonuje sekwencję odwrotną, tak że wartości parametrów c, φ **są systematycznie podnoszone, aż do osiągnięcia statecznego rozwiązania**.



Parametry kierujące procesem redukcji parametrów wytrzymałościowych c, φ

Obszary bez redukcji

Ramka **"Obszary bez redukcji**" zawiera tabelę zdefiniowanych obszarów, w których parametry wytrzymałościowe nie będą redukowane podczas analizy stateczności.

Definiowanie obszarów bez redukcji wykonuje się tak samo jak definiowanie warstw.

W analizie stateczności istnieje możliwość zdefiniowania obszarów, w których parametry wytrzymałościowe p_{hi} i c nie będą redukowane. Obszary bez redukcji definiuje się w danej fazie budowy w postaci wielokąta. Redukcja parametrów wytrzymałościowych jest uniemożliwiona w każdym elemencie skończonym, który - przynajmniej częściowo - zlokalizowany jest w zdefiniowanym obszarze.

Obszary bez redukcji parametrów wytrzymałościowych mogą mieć zastosowanie w przypadkach, gdy analiza stateczności nie prowadzi do uzyskania globalnej powierzchni poślizgu oraz kinematyka zniszczenia i wartość współczynnika bezpieczeństwa są niewiarygodne.

Funkcja ta jest dostępna dla wszystkich modeli materiałowych możliwych do zastosowania w analizie stateczności, tj.

- Mohra-Coulomba
- Mohra-Coulomba modyfikowany
- Druckera-Pragera.

Inne modele materiałowe nie są dostępne do stosowania w analizie stateczności.

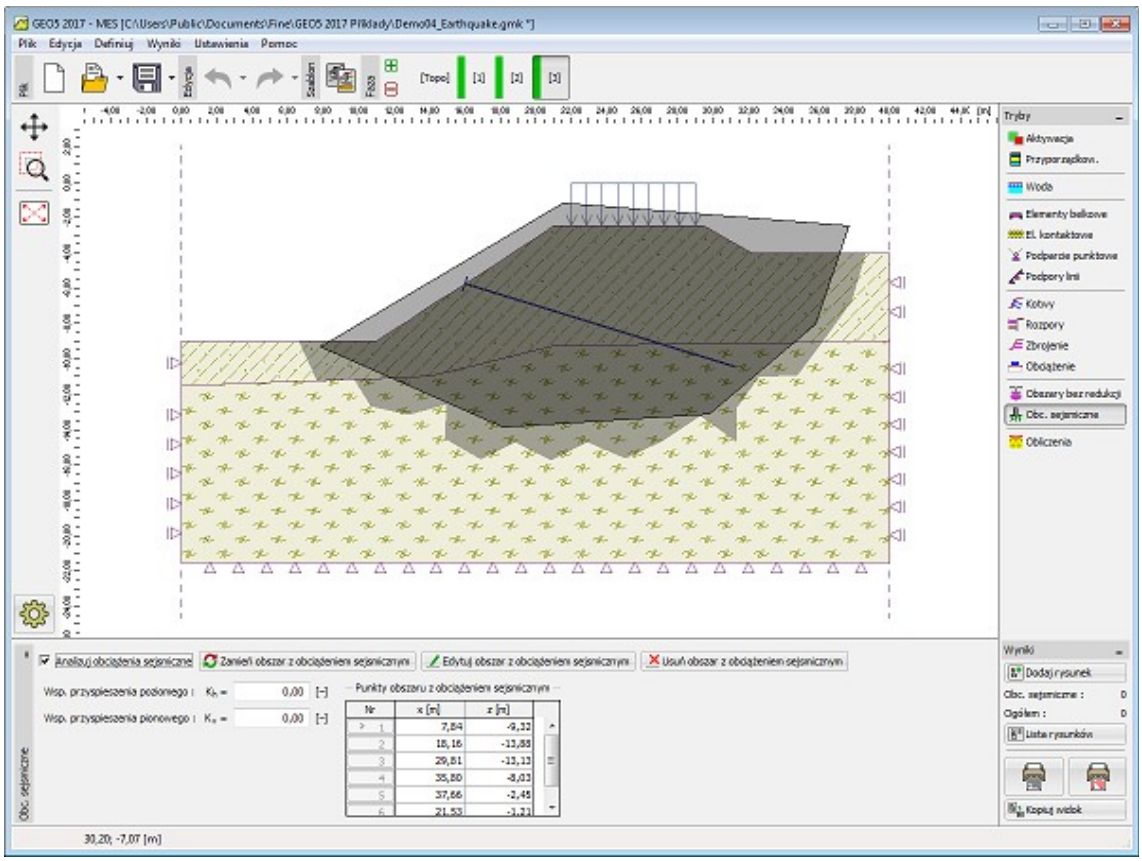
Obciążenia sejsmiczne

Ramka "**Obciążenia sejsmiczne**" służy do definiowania parametrów obciążeń sejsmicznych. Kierunki zdefiniowanych efektów obciążeń sejsmicznych wyświetlane są na pulpicie.

W celu prawidłowego przebiegu analiz numerycznych i skutecznego uzyskania zbieżności wyniku należy zdefiniować obszar, w którym **przewidywana jest powierzchnia poślizgu**. W obszarze tym, poziome i pionowe przyspieszenia oddziałują na elementy skończone (por. rysunek). Elementy skończone zlokalizowane poza tym obszarem nie są dotknięte oddziaływaniem obciążeń sejsmicznych. Obszar z obciążeniami sejsmicznymi nie powinien dotykać krawędzi (brzegów) modelu, ponieważ może to utrudnić uzyskanie wyniku.

Ramka zawiera tabelę z listą zdefiniowanych punktów obszaru. Definiowanie obszaru jest jednakowe jak zwykłe definiowanie warstw.

W przypadku, gdy brak jest danych pomiarowych dotyczących wartości współczynników przyspieszenia k_h i k_v, współczynniki te mogą być wyznaczone według podejścia zaczerpniętego z normy EN 1998-5.



Ramka "Obciążenia sejsmiczne"

Dane wyjściowe

Rozdział ten opisuje metody pracy z danymi wyjściowymi w programach GEO5 (eksport dokumentów, drukowanie rysunków), z wykorzystaniem paska narzędzi **"Wyniki".**

Programy GEO5 pozwalają na tworzenie **dokumenacji wynikowej** zawierającej rysunki zapisane w dowolnym trybie obliczeń. Zapamiętane rysunki można także drukować i eksportować.

- Druk i eksport dokumentu
- Druk i eksport rysunku

Praca z rysunkami opisana jest na stronach:

- Dodawanie rysunków
- Lista rysunków

Ustawienia strony można definiować w każdej dokumentacji wynikowej:

- Ustawienia nagłówka i stopki
- Ustawienia strony
- Numeracja stron

Informacje na temat firmy mogą być zdefiniowane i wydrukowane w dokumentacji wynikowej:

- O Firmie

Dodawanie rysunków

Program umożliwia zapisanie aktualnego rysunku w dowolnym trybie programu. W tym celu należy przycisnąć przycisk "**Dodaj rysunek**" na pasku narzędzi. Przycisk ten otwiera okno dialogowe "**Nowy rysunek**" i wstawia aktualny widok pulpitu do tego okna.

Rysunek jest zawsze powiązany z pewnym trybem wprowadzania danych lub obliczeń. (Aktualny tryb jest wyświetlany obok nazwy rysunku). Podczas drukowania dokumentu, rysunek jest automatycznie dodawany do określonego trybu w menu drzewiastym.

Program umożliwia definiowanie rysunku dla określonej fazy budowy (lub dla aktualnej analizy) lub konfigurację ustawienia, w taki sposób aby rysunek został dodany do dokumentu we wszystkich fazach budowy (lub wszystkich analizach). Ta ostatnia opcja jest uruchamiana przy wyborze "**wszystkie**" na liście rozwijanej "**Faza**" (lub na liście "**Obliczenia**").

Pole wyboru "**Rysunek całostronicowy**" umożliwia wprowadzenie rysunku całostronicowego do raportu z obliczeń.

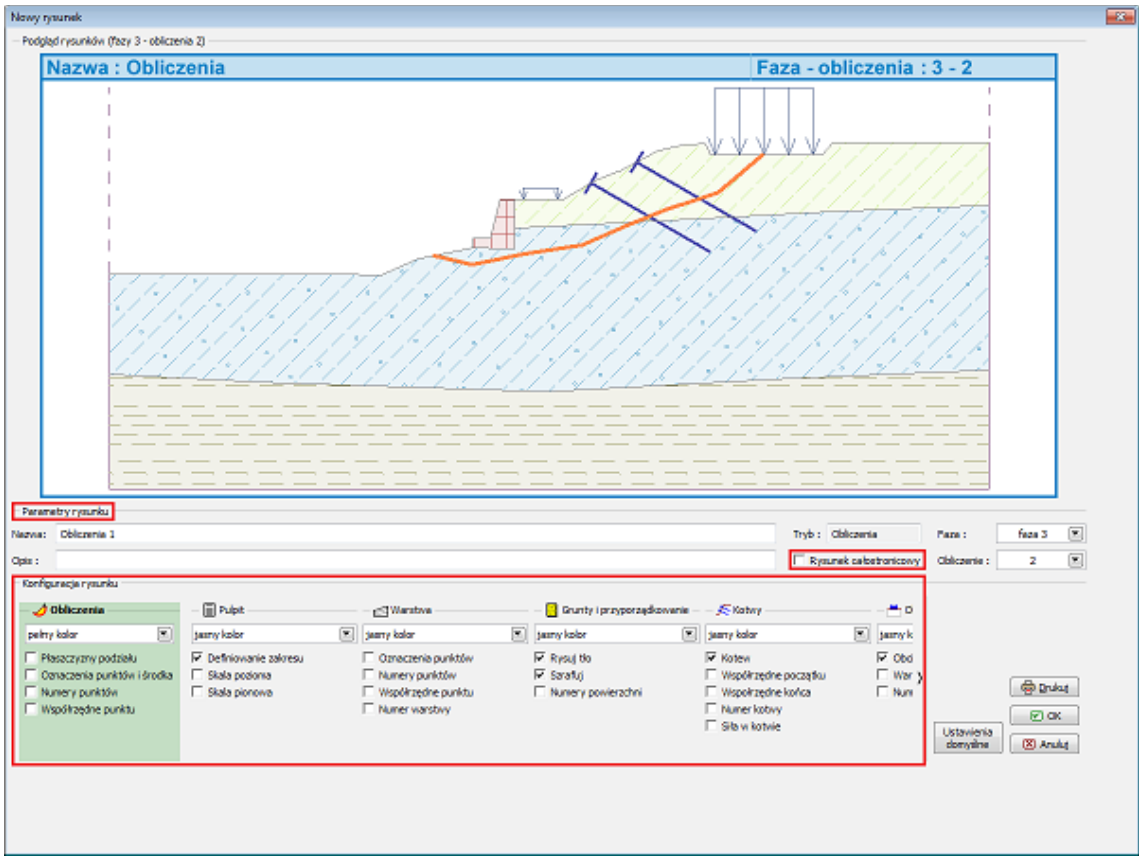
Uwaga: Wszystkie zdefiniowane rysunki są automatycznie regenerowane po modyfikacji danych.

Ramka "**Konfiguracja rysunku**" w dolnej części tego okna dialogowego umożliwia dostosowanie kolorów i stylu linii na rysunku (obiekcie). Ustawienia w tej części ramki przyjmowane są z ustawień wizualizacji z pulpitu. Funkcjonalność tej ramki jest taka sama jak ustawień wizualizacji na pulpicie i została opisana w rozdziale "Konfiguracja rysunku".

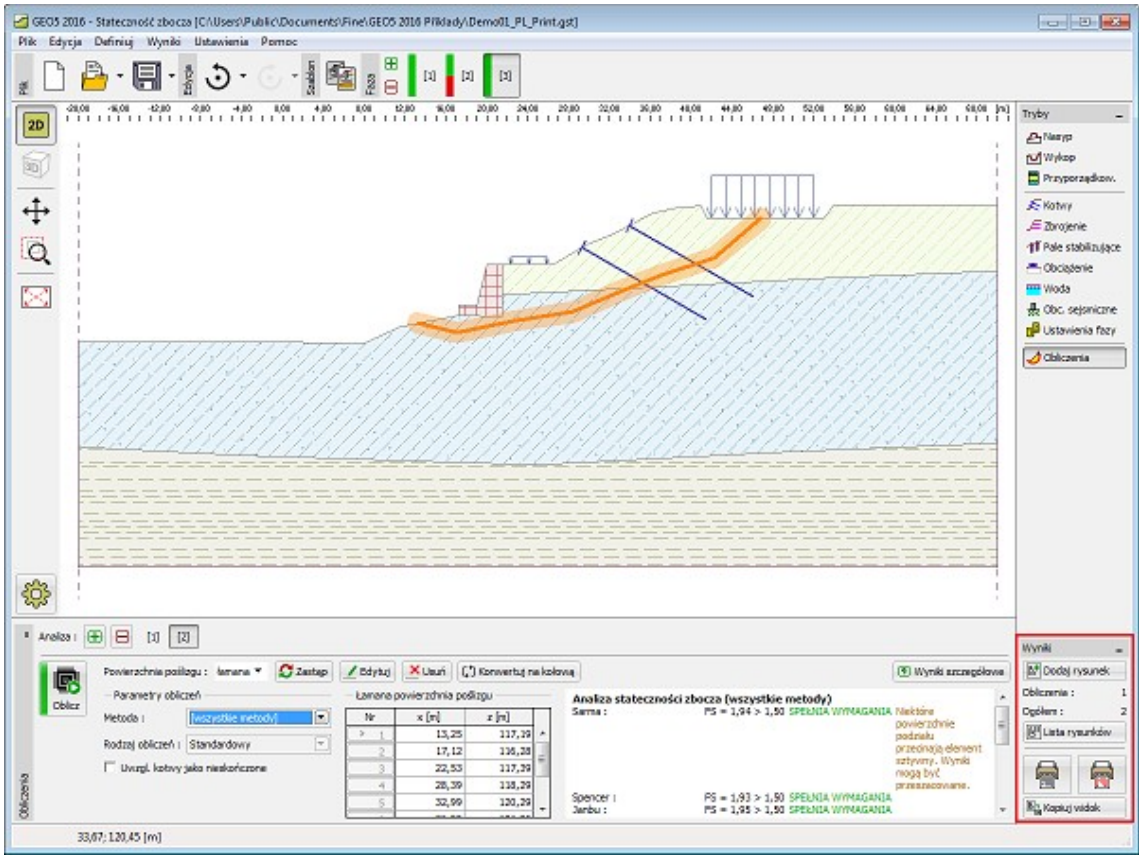
Przycisk "**OK**" zapisuje rysunek do "Listy rysunków". Rysunek można otwierać i modyfikować w dowolnym momencie.

Istnieje również możliwość wydrukowania rysunku z tego okna - naciśnięcie przycisku "**Drukuj**" otwiera okno dialogowe wydruku i eksportu rysunków. Jeżeli rysunek jest aktywny

we wszystkich fazach budowy (lub we wszystkich analizach), wówczas wszystkie możliwe kombinacje rysunków są drukowane jednocześnie.



Okno dialogowe "Nowy rysunek"



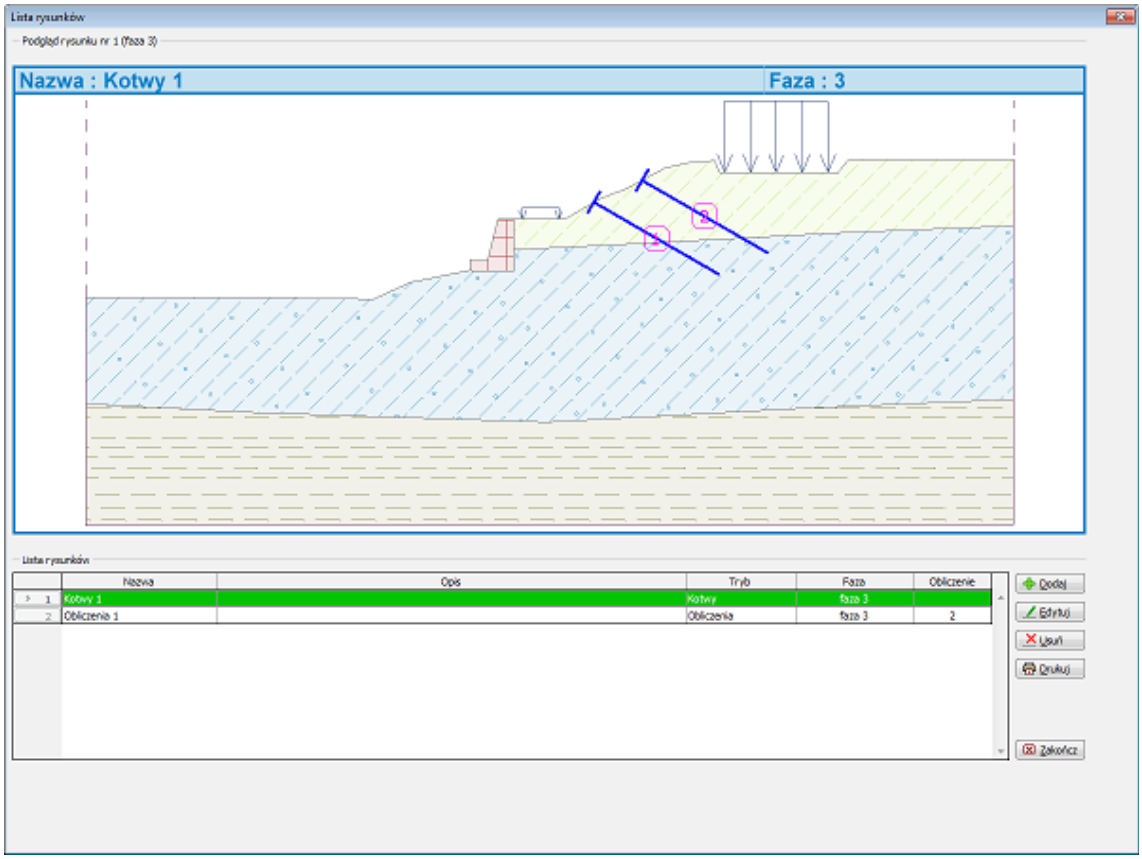
Pasek narzędzi "Wyniki"

Lista rysunków

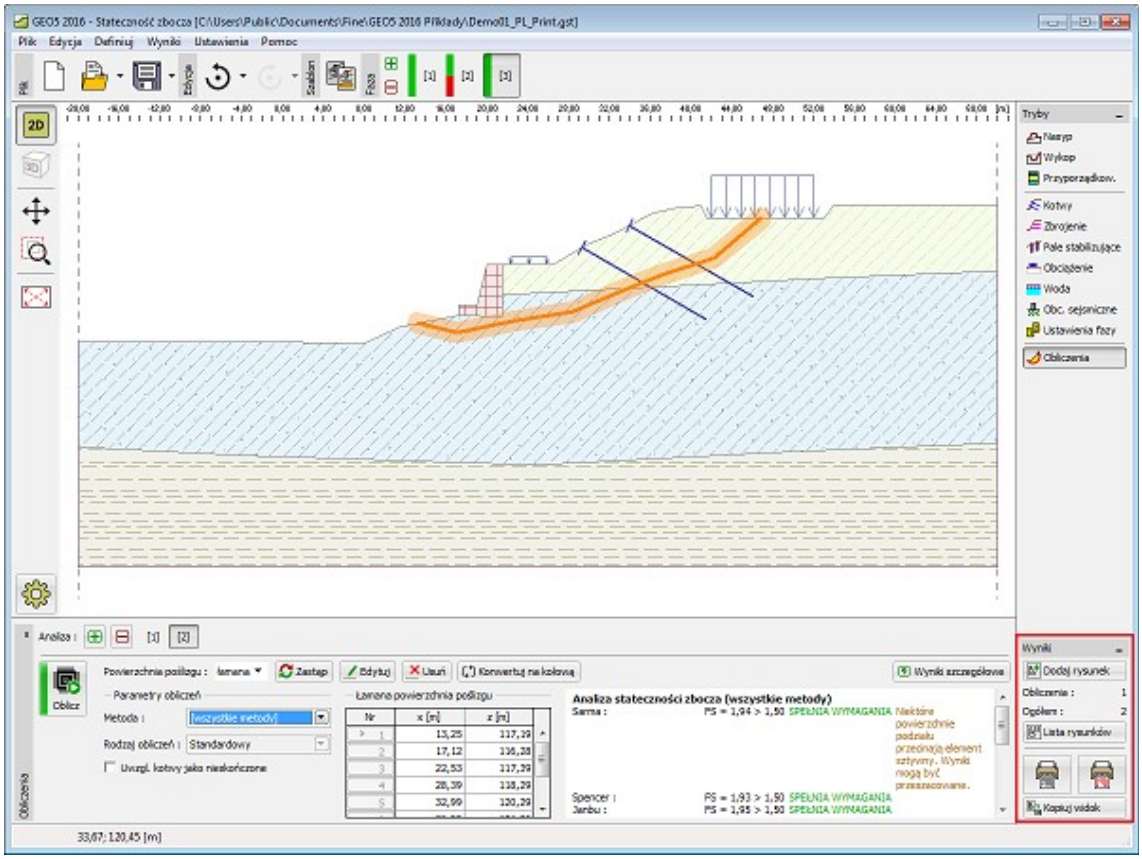
Rysunki zapisane za pomocą okna dialogowego "Nowy rysunek" są umieszczane kolejno w tabeli "**Lista rysunków**". Okno dialogowe "**Lista rysunków**" otwierane jest za pomocą przycisku na pasku narzędzi. Tabela listy rysunków zawiera nazwę rysunku oraz opis, tryb, w którym został utworzony, i fazę budowy lub numer analizy.

Poszczególne rysunki można edytować za pomocą przycisku "**Edytuj**", który otwiera okno dialogowe "**Edycja rysunku**" (okno to odpowiada oknu dialogowemu "Nowy rysunek", zarówno w odniesieniu do wyglądu, jak i funkcjonalności).

Istnieje możliwość wydrukowania rysunków z tego okna dialogowego poprzez naciśnięcie przycisku "**Drukuj**", który otwiera okno dialogowe do wydruku i eksportu rysunku. Jeżeli rysunek jest aktywny we wszystkich fazach budowy (we wszystkich analizach), wówczas program drukuje wszystkie możliwe kombinacje rysunku. W przypadku wyboru większej liczby rysunków, wówczas wszystkie wybrane rysunki są od razu drukowane.



Okno dialogowe "Lista rysunków"



Pasek narzędzi "Wyniki"

Druk i eksport dokumentu

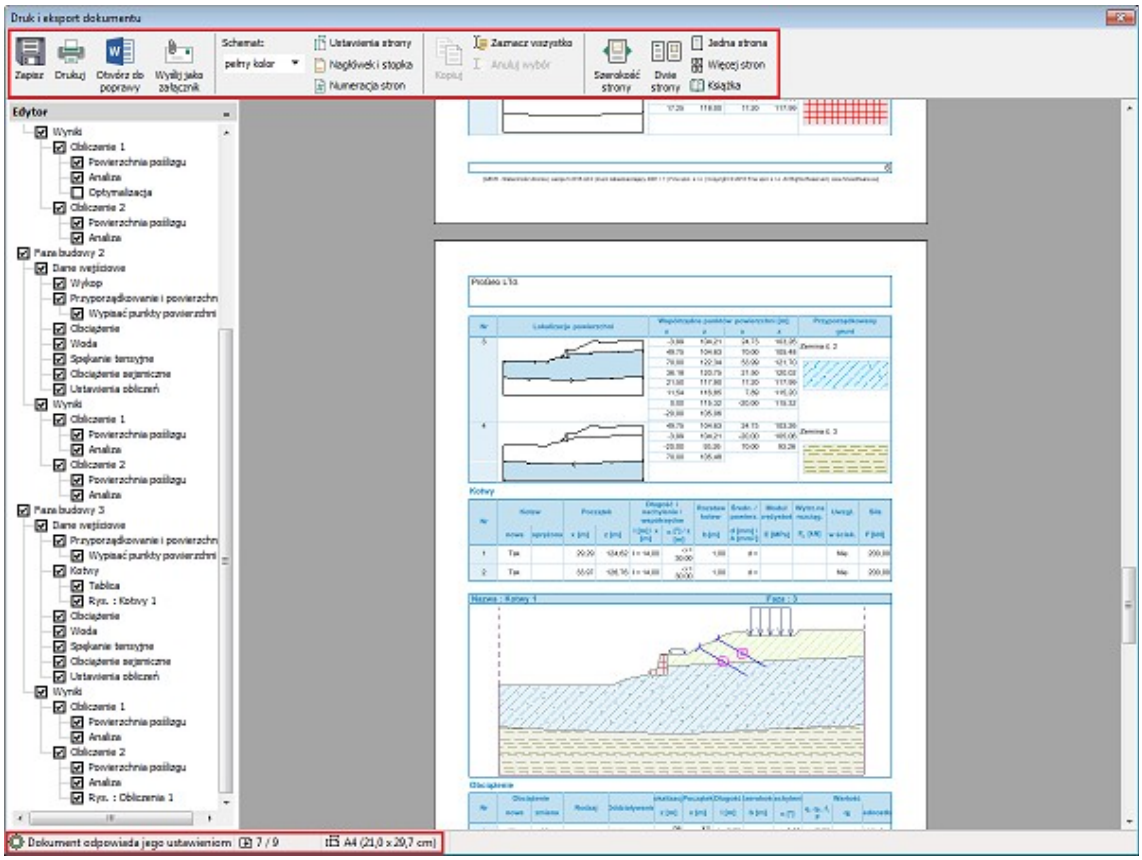
Okno dialogowe "**Druk i eksport dokumentu**" można otworzyć z menu sterowania (pozycje "**Plik**", "**Druk dokumentu**") lub za pomocą przycisku "Wyniki" na pasku narzędzi. Podgląd strony wydruku z wygenerowanym tekstem jest wyświetlany oknie.

Okno to generuje dokument wyjściowy z rysunkami zapisanymi na "Liście rysunków". W oknie tym można wydrukować utworzony protokół lub wyeksportować go do dalszego użycia. **Dokument jest zawsze aktualny** - program ponownie tworzy ten dokument na podstawie wprowadzonych danych (także z uwzględnieniem regeneracji rysunków) po każdym otwarciu okna.

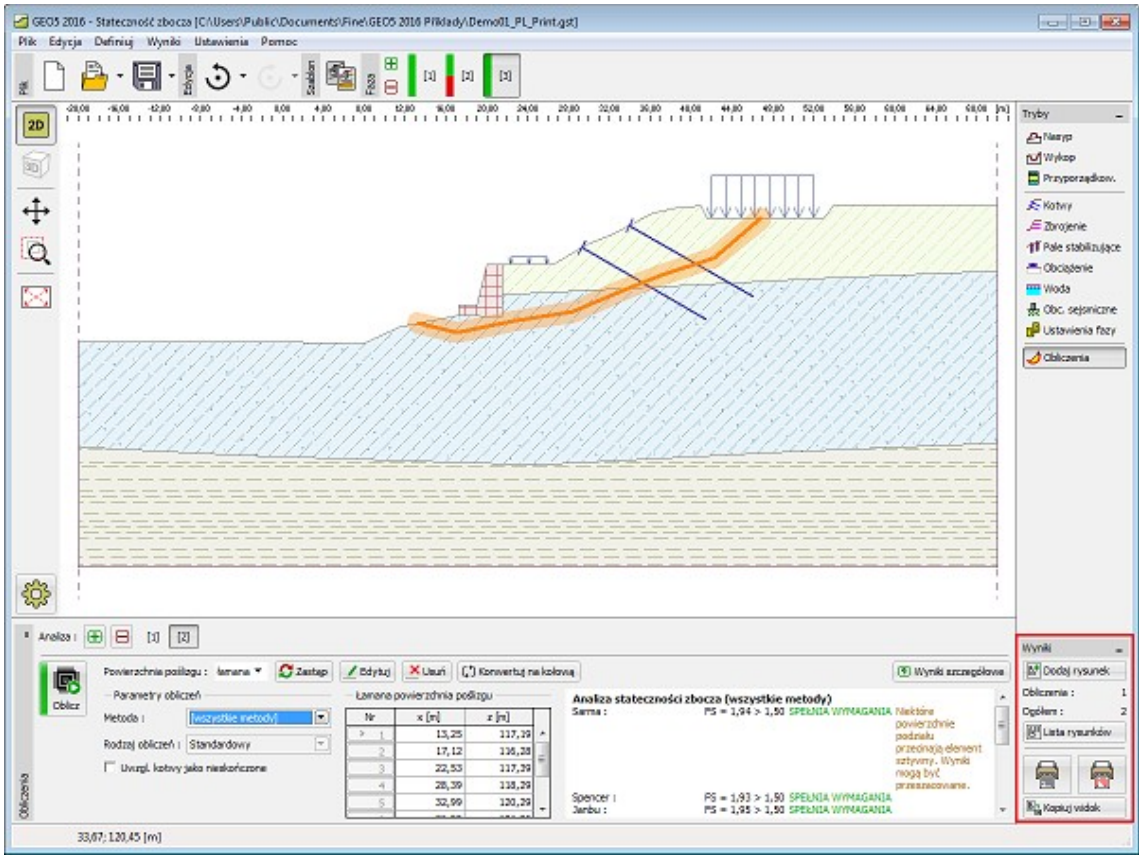
Okno dialogowe posiada swój własny Pasek narzędzi - Druk i eksport z przyciskami wykorzystywanymi do dostosowywania wyglądu stron (definiowanie nagłówka i stopki, ustawienia strony, numeracja stron), **druk** i **eksport** dokumentacji.

Wybrane przez używkownika części dokumentacji łącznie z rysunkami mogą być wygenerowane poprzez zaznaczenie odpowiedniej pozycji w "**menu drzewiastym**" w lewej części okna. Zaznaczenie lub odznaczenie dowolnej pozycji powoduje ponowne automatyczne generowanie dokumentu. Do przeglądania dokumentu można użyć pokrętła myszy (kółka) lub pasków przewijania z prawej strony.

W dolnej części tego okna dialogowego wyświetlane są bieżące informacje (rozmiar strony, numer bieżącej strony oraz całkowita liczba stron dokumentacji).



Okno dialogowe "Druk i eksport dokumentu"



Pasek narzędzi "Wyniki"

Druk i eksport rysunku

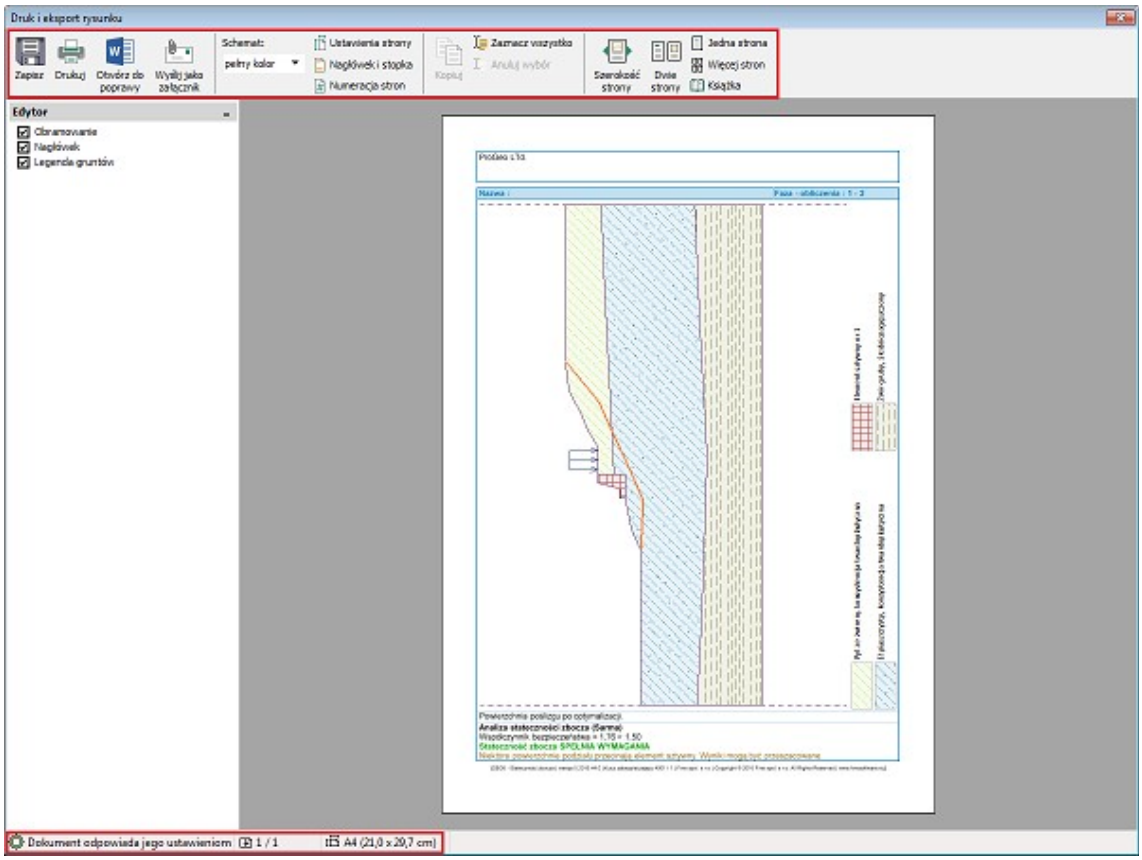
Okno to służy do druku lub eksportu jednego lub więcej rysunków. Dostępne są trzy sposoby uruchomienia tego okna:

- Z wykorzystaniem menu sterowania (pozycje "**Plik**", "**Druk rysunku**") lub za pomocą przycisku na pasku narzędzi "Wyniki" do wydruku danych z pulpitu.
- Za pomocą okna dialogowego "Nowy rysunek" przez naciśnięcie przycisku "**Drukuj**".
- Za pomocą okna dialogowego "Lista rysunków" przez naciśnięcie przycisku "**Drukuj**".

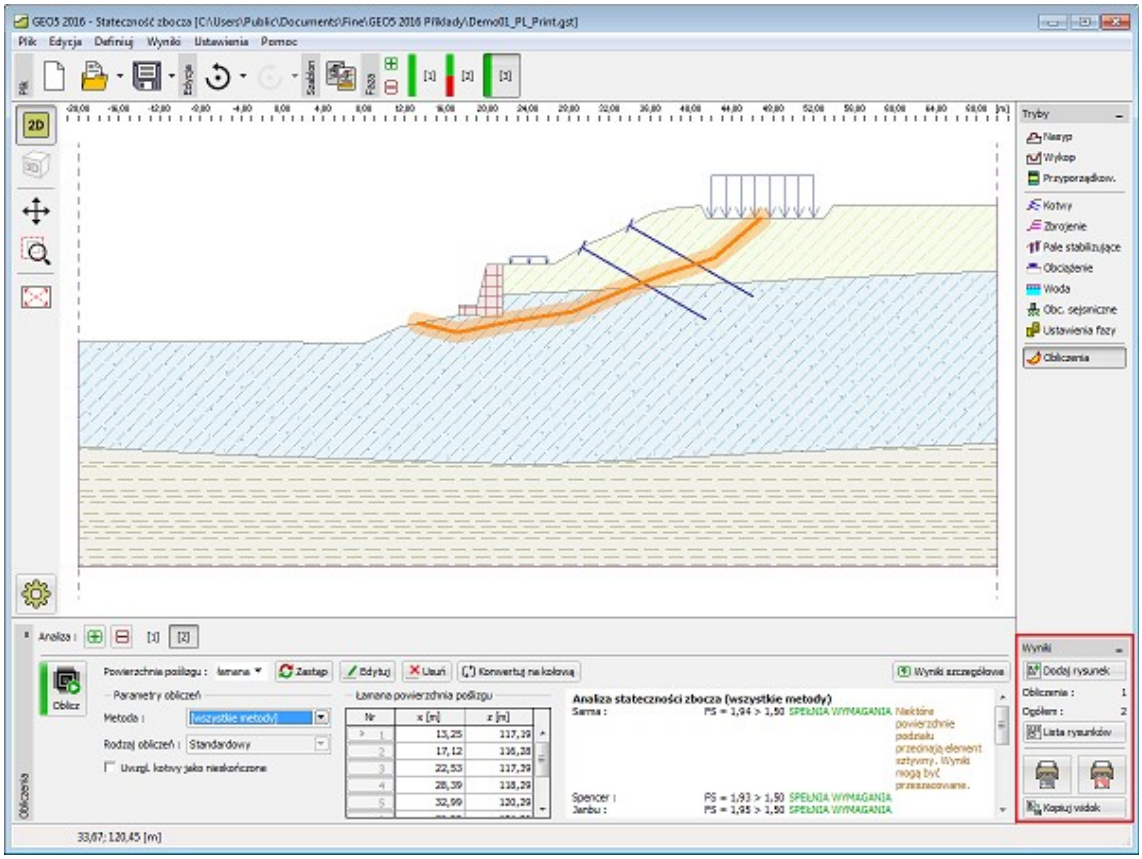
Okno to może zawierać więcej niż jeden rysunek w tym samym czasie (podczas drukowania kilku faz budowy lub kilku analiz), przy drukowaniu większej liczby rysunków z listy. Każdy rysunek jest drukowany na oddzielnej stronie. Podgląd rysunku można dostosować za pomocą przycisków na pasku narzędzi lub pokrętła myszy (kółka).

Okno dialogowe posiada swój własny Pasek narzędzi - Druk i eksport, którego elementy wykorzystywane są do dostosowywania/personalizacji wyglądu stron (definiowanie nagłówka i stopki, ustawienia strony, numeracja stron) oraz **drukowania** i **eksportu** dokumentacji.

W dolnej części tego okna dialogowego wyświetlane są bieżące informacje (rozmiar strony, numer bieżącej strony oraz całkowita liczba stron dokumentacji).



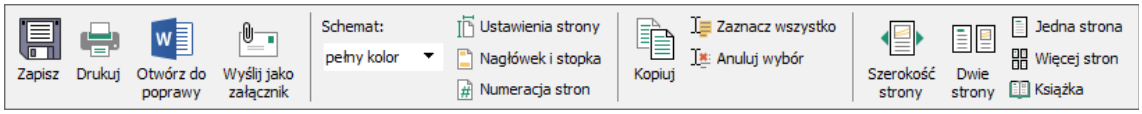
Okno dialogowe "Dokumenty" - druk i eksport bieżącego rysunku (widoku)



Pasek narzędzi "Wyniki"

Pasek narzędzi - Druk i eksport

Pasek narzędzi okien dialogowych "Druk i eksport dokumentu" i "Druk i eksport rysunków" zawiera następujące przyciski robocze:

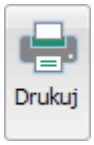


Pasek narzędzi "Druk i eksport"

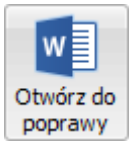
Poszczególne przyciski posiadają następujące funkcje:



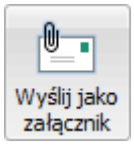
Zapisz Otwiera okno dialogowe "**Zapisz jako**", które umożliwia zapisanie pliku w formacie *.PDF, *.RTF lub *.TXT.



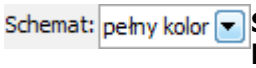
Drukuj Otwiera okno systemowe "**Drukuj**".



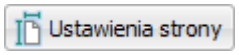
Otwórz do poprawy Otwiera edytor tekstu (w systemie Windows skojarzony z rozszerzeniem *.RTF) umożliwiający modyfikację dokumentu przez użytkownika.



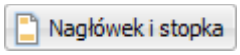
Wyślij jako załącznik Otwiera okno dialogowe maila do klienta i dodaje rysunek jako załącznik w formacie *.PDF.



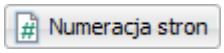
Schemat kolorów Określa styl widoku rysunków (pełny kolor, skala szarości, czarno - białe).



Ustawienia strony Otwiera okno dialogowe "Ustawienia strony", które umożliwia określenie parametrów strony (format, marginesy, orientacja).

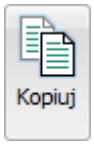


Nagłówek i stopka Otwiera okno dialogowe "Nagłówek i stopka", które umożliwia zdefiniowanie nagłówków i stopek dokumentacji.

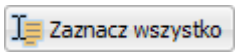


Numeracja stron Otwiera okno dialogowe "Numeracja stron", które umożliwia zdefiniowanie numeracji stron.

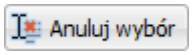
Uwaga: Dokument można przewijać przy pomocy przewijaka myszki lub suwaka z prawej strony okna.



Kopiuj Kopiuje wybrany rysunek (tekst) do schowka - parametry kopiowania określa się w oknie dialogowym "Opcje" - zakładka "Kopiuj do schowka".

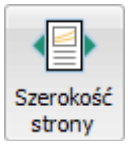


Zaznacz wszystko Wybiera/zaznacza wszystkie elementy dokumentu (tekst i rysunki).



Anuluj wybór Anuluje wybór (rysunki, tekst).

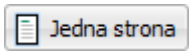
Uwaga: Istnieje możliwość zaznaczenia/wyboru dowolnego fragmentu dokumentu. Wykonuje się to poprzez przesunięcie myszki nad żądanym tekstem z jednoczesnym przytrzymaniem wciśniętego lewego przycisku myszki.



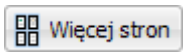
Szerokość strony Dopasowuje szerokość strony do maksymalnej szerokości okna dialogowego dokumentu.



Dwie strony Ustawia taki rozmiar stron, aby w oknie dialogowym wyświetlane były dwie strony.



Jedna strona Dostosowuje rozmiar strony w ten sposób, aby jedna cała strona była widoczna w oknie dialogowym.



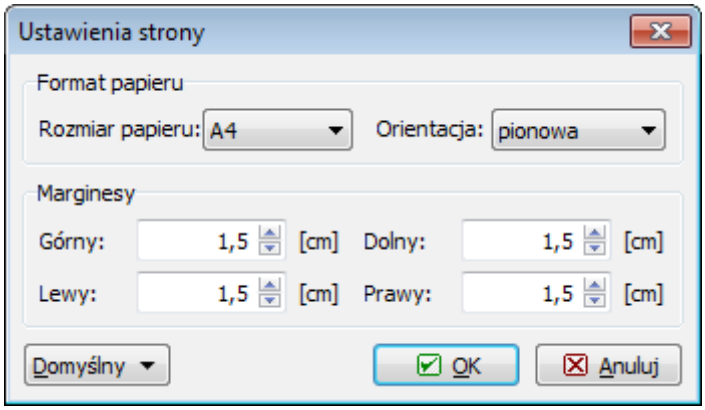
Więcej stron Ustawia taki rozmiar stron, aby w oknie dialogowym wyświetlanych było więcej stron.

Książka	**Książka**	Wyświetla dokument w formacie książki. **Uwaga**: Strony można dowolnie **powiększać** poprzez przytrzymanie klawisza **CTRL** z równoczesnym kręceniem przewijaka myszki.

Ustawienia strony

W tym oknie dialogowym można skonfigurować układ strony (format papieru, orientację i marginesy wydruku).

Opcja "**Domyśln**e", wybór "**Zapisz ustawienia jako domyślne**" ustawia wprowadzone ustawienia strony jako domyślne dla nowo utworzonych danych. **Przyjęte ustawienie domyślne jest wspólne dla wszystkich programów GEO**. Różni użytkownicy komputera mogą stosować różne ustawienia. Wybór "**Przyjmij ustawnienia domyślne**" pozwala przypisać ustawnienia domyślne programów GEO5 do dowolnego otwartego zadania, które ma inne ustawienia.



Okno dialogowe "Ustawienia strony"

Ustawienia nagłówka i stopki

To okno dialogowe służy do zdefiniowania parametrów nagłówka i stopki dokumentu. Pole zaznaczenia "**drukuj nagłówek (stopkę)**" określa, czy nagłówek lub stopka dokumentu będą drukowane.

Wiersze nagłówka i stopki mogą zawierać dowolny tekst i wstawione obiekty zdefiniowane w programie. Obiekty te otrzymują informacje z programu, takie jak:

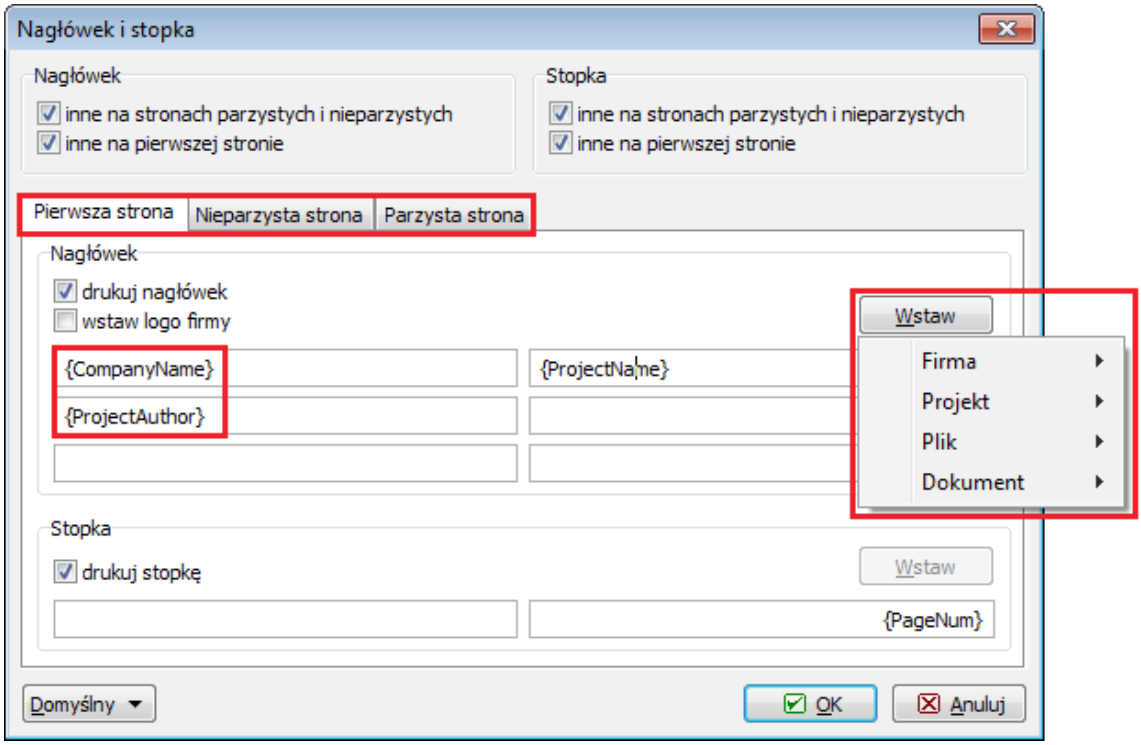
- Z okna dialogowego "O Firmie" (nazwa firmy, logo, adres)
- Z ramki "**Projekt**" (nazwa i opis zadania, autor)
- Z danych systemowych dokumentu (data, czas, numeracja stron)

Obiekty można wstawiać za pomocą przycisku "**Wstaw**" (przycisk otwiera listę obiektów). Przycisk ten jest aktywny, gdy kursor znajduje się w jedynym z wierszy, które umożliwiają wstawienie tekstu (obiektu). Wstawione obiekty są zapisywane w wewnętrznym formacie różnym od pozostałego tekstu i umieszczone w nawiasach klamrowych.

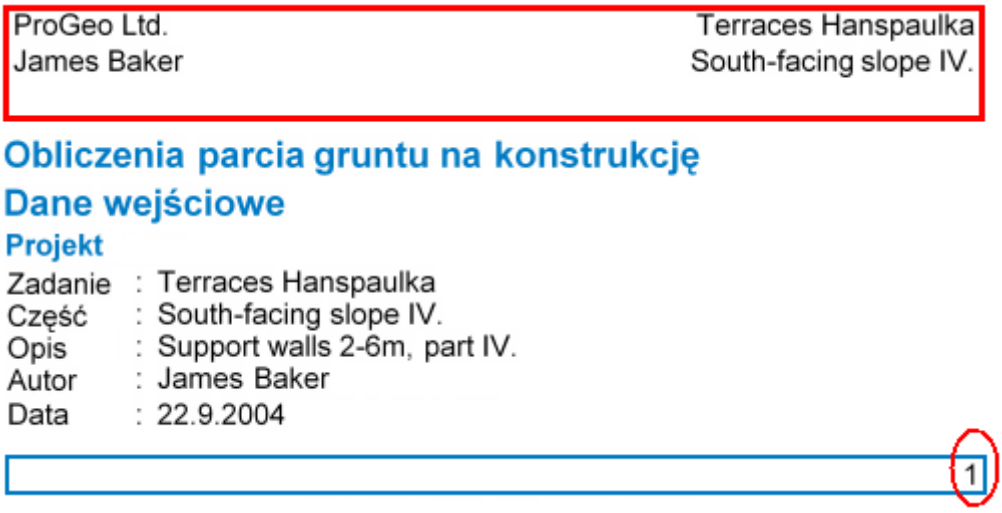
Program umożliwia zdefiniowanie różnych nagłówków dla pierwszej strony oraz stron nieparzystych i parzystych. W takim przypadku, poszczególne nagłówki są definiowane w oddzielnych zakładkach.

Opcja "**Domyślne**", wybór "**Zapisz ustawienia jako domyślne**" ustawia wprowadzone parametry nagłówka i stopki jako domyślne dla nowo utworzonych danych. **Przyjęte ustawienie domyślne jest wspólne dla wszystkich programów GEO**. Różni użytkownicy komputera mogą stosować różne ustawienia. Wybór "**Przyjmij ustawnienia domyślne**" pozwala przypisać ustawnienia domyślne programów GEO5 do dowolnego otwartego zadania, które ma inne ustawienia.

Format zapisu i powstały widok zostały przedstawione na poniższych rysunkach.



Okno dialogowe "Nagłówek i stopka"

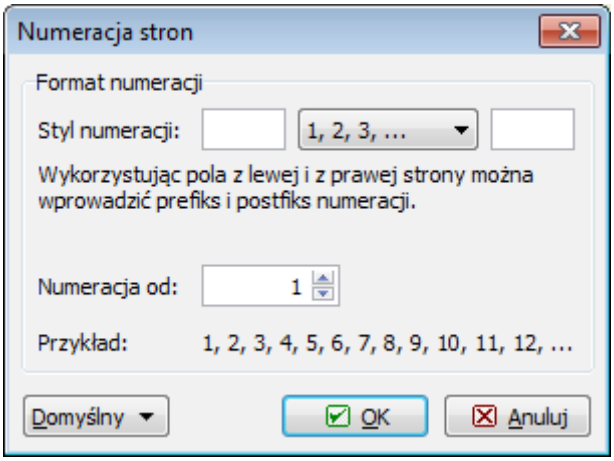


Widok nagłówka i stopki dokumentu

Numeracja stron

W tym oknie dialogowym można skonfigurować numerację stron. Rozwijana lista służy do zdefiniowania stylu numerowania (cyfry arabskie, cyfry rzymskie, za pomocą symboli). Stały tekst można wstawić zarówno przed jak i za numerem strony. Opcja "**Numeracja od**" umożliwia rozpoczęcie numerowania od dowolnej liczby.

Opcja "**Domyśln**e", wybór "**Zapisz ustawienia jako domyślne**" ustawia wprowadzone parametry numeracji stron jako domyślne dla nowo utworzonych danych. **Przyjęte ustawienie domyślne jest wspólne dla wszystkich programów GEO**. Różni użytkownicy komputera mogą stosować różne ustawienia. Wybór "**Przyjmij ustawnienia domyślne**" pozwala przypisać ustawnienia domyślne programów GEO5 do dowolnego otwartego zadania, które ma inne ustawienia.



Okno dialogowe "Numeracja stron"

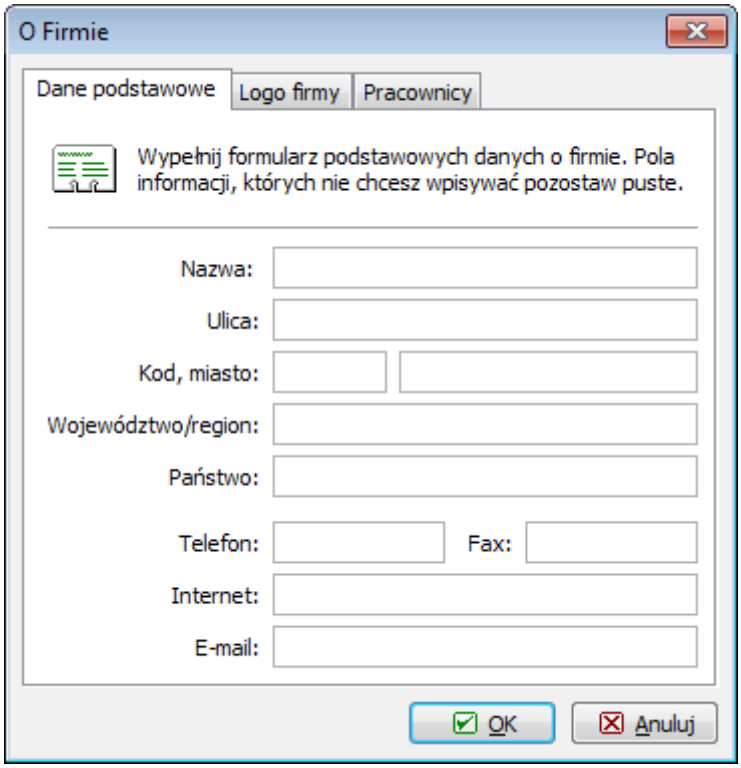
O firmie

To okno dialogowe uruchamiane jest z menu sterowania (pozycje "**Ustawienia**", "**Firma**").

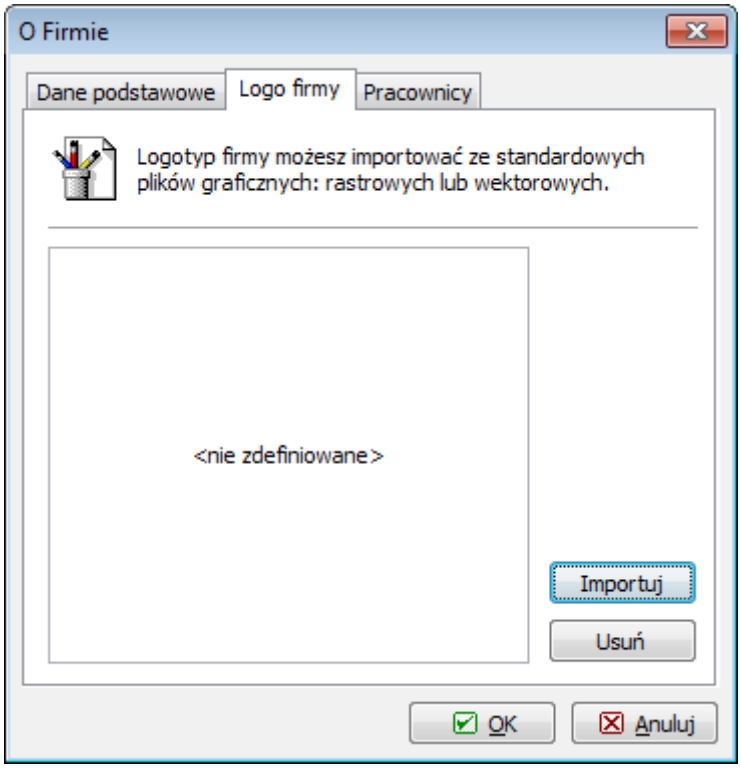
Zakładka "**Dane podstawowe**" służy do określenia podstawowych informacji o firmie. Wprowadzone dane są wykorzystywane w programie podczas drukowania i eksportowania dokumentów (rysunków), w nagłówku lub stopce dokumentu.

Zakładka "**Logo firmy**" umożliwia użytkownikowi wczytanie logo firmy. Przycisk "**Importuj**" otwiera okno dialogowe, które pozwala otworzyć rysunek w różnych formatach (*.JPG, *.JPEG, *.JPE, *.BMP, *.ICO, *.EMF, *.WMF).

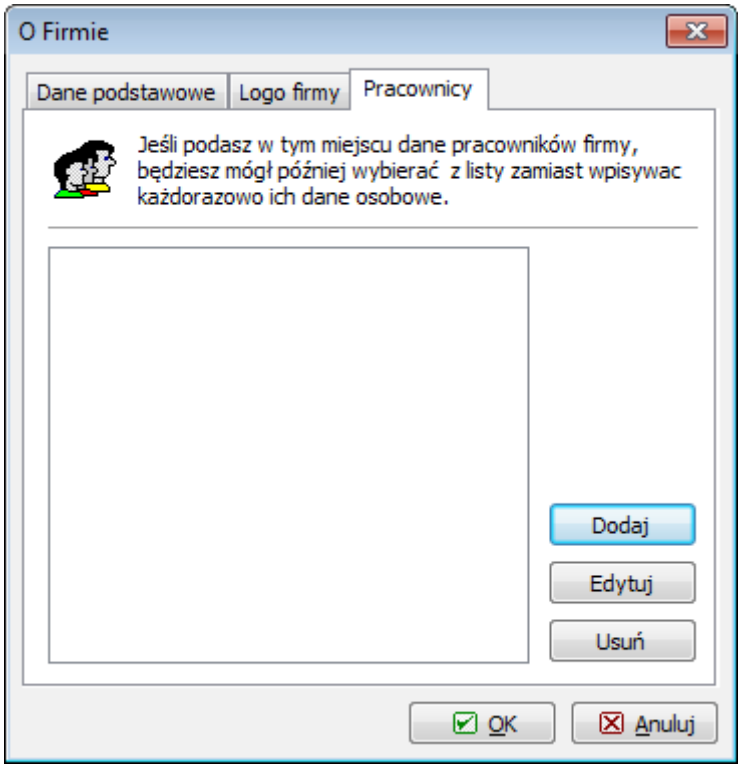
Zakładka "**Pracownicy**" umożliwia wprowadzenie listy użytkowników programu (pracowników). Po wypełnieniu listy nazwisk, nie ma już konieczności podawania nazwy autora w ramce "**Projekt**".



Okno dialogowe "O Firmie" - zakładka "Dane podstawowe"



Okno dialogowe "O Firmie" - zakładka "Logo firmy"



Okno dialogowe "O Firmie" - zakładka "Pracownicy"

Teoria

Część teoretyczna pomocy zawiera szczegółowe informacje dotyczące teorii obliczeniowych stosowanych w programach GEO5.

Naprężenia w gruncie

Obliczanie naprężeń w glebie w naszych programach opisano w następujących rozdziałach:

- Naprężenie geostatyczne, wyznaczanie wyporu
- Naprężenie efektywne / uogólnione
- Przyrost parcia gruntu na skutek obciążenia
- Przyrost parcia gruntu pod fundamentem

Naprężenie geostatyczne, wypór

Analiza naprężenia oparta jest na istnieniu warstw gruntu określonych przez użytkownika podczas wprowadzania danych. Program następnie wstawia fikcyjne warstwy w miejscach, gdzie zmieniają się naprężenie i parcie boczne (ZWG, punkty konstrukcyjne, itp.). Normalne naprężenie w i^{tej} warstwie jest obliczane w następujący sposób:

$$\sigma_i = \sum h_i . \gamma_i$$

gdzie: h_i - miąższość warstwy i^{tej}

γ_i - objętościowy ciężar gruntu

Jeżeli warstwa znajduje się pod **zwierciadłem wody gruntowej**, wówczas ciężar objętościowy gruntu pod zwierciadłem wody gruntowej oblicza się za pomocą wprowadzonych parametrów gruntu w następujący sposób:

- dla opcji "**Standardowe**" z wyrażenia:

$$\gamma_{su} = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

gdzie: γ_{sat} - ciężar objętościowy gruntu nawodnionego

γ_w - ciężar objętościowy wody

- dla opcji "**Oblicz z porowatości**" z wyrażenia:

$$\gamma_{su} = (1-n).(\gamma_s - \gamma_w)$$

gdzie: n - porowatość

γ_s - ciężar właściwy gruntu

γ_w - ciężar objętościowy wody

$$\gamma_s = \frac{G_d}{V - V_p}$$

gdzie: V - objętość gruntu

V_p - objętość pustek

γ_d - ciężar objętościowy gruntu suchego

Ciężar jednostkowy wody zakładany w programie wynosi $10\ kN/m^3$ lub $0{,}00625\ ksi$.

Zakładając pochyły grunt za konstrukcją ($\beta \neq 0$) oraz warstwowe podłoże, kąt β, podczas obliczania współczynnika parcia gruntu K, jest redukowany w i^{tej} warstwie za pomocą następującego wyrażenia:

$$tg\beta_i = \frac{\gamma}{\gamma_i} tg\beta$$

gdzie: γ - ciężar jednostkowy gruntu w pierwszej warstwie pod ziemią

γ_i - ciężar jednostkowy gruntu w warstwie i^{tej} pod ziemią

β - nachylenie zbocza za konstrukcją

Naprężenia efektywne / uogólnione w gruncie

Normalne naprężenie pionowe σ_z jest definiowane w następujący sposób:

$$\sigma_z = \gamma_{ef}.z + \gamma_w.z$$

gdzie: σ_z - pionowe, normalne naprężenie całkowite

γ_{ef} - ciężar jednostkowy gruntu zanurzonego

z - głębokość pod powierzchnią gruntu

γ_w - ciężar jednostkowy wody

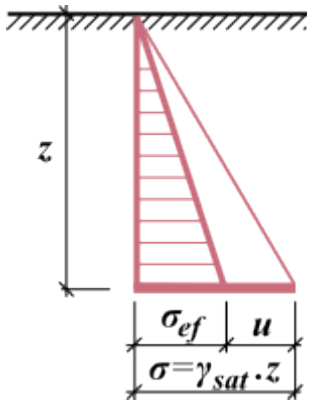
Wyrażenie to w swojej uogólnionej formie opisuje tak zwane pojęcie naprężenia efektywnego:

$$\sigma_z = \sigma_{ef} + u$$

gdzie: σ - całkowite naprężnie (ogólne)

σ_{ef} - naprężenie efektywne (aktywne)

u - naprężenie neutralne (parcie wody w porach)



Całkowite, efektywne i neutralne naprężenie w gruncie

Pojęcie naprężenia efektywnego jest ważne tylko dla naprężenia normalnego σ, bowiem naprężenie ścinające τ nie jest przenoszone przez wodę, aby było efektywne. Naprężenie całkowite wyznaczane jest za pomocą podstawowych narzędzi mechaniki teoretycznej, jako różnica pomiędzy naprężeniem całkowitym a parciem neutralnym (porowym) (tzn. zawsze z obliczeń, nie istnieje możliwość zmierzenia). Parcia porowe wyznaczane jest w laboratoriach, na miejscu lub za pomocą obliczeń. Decyzja, czy stosować naprężenie całkowite czy też efektywne, nie jest prosta. Poniższa tabela może zawierać kilka ogólnych zaleceń ważnych dla większości przypadków. Należy zdać sobie sprawę, że naprężenie całkowite zależne jest od sposobu obciążenia gruntu ciężarem własnym oraz siłami zewnętrznymi. W przypadku parcia porowego, zakładamy, że dla wody przepływającej przez pory parcie równe jest ciśnieniu hydrodynamicznemu, w przeciwnym razie, ciśnieniu hydrostatycznemu. Dla częściowo nawodnionych gruntów z wyższym stopniem, należy uwzględnić fakt, że ciśnienie porowe powstaje w wodzie i pęcherzykach powietrza.

Zakładane warunki	**Warstwa z odpływem**	**Warstwa bez odpływu**
krótkoterminowe	naprężenie efektywne	naprężenie całkowite
długoterminowe	naprężenie efektywne	naprężenie efektywne

W podłożu warstwowym o różnych ciężarach jednostkowych gruntu w poszczególnych warstwach poziomych, pionowe naprężenie całkowite wyznaczane jest jako suma ciężaru wszystkich warstw ponad sprawdzanym punktem i parcia parowego:

$$\sigma_z = \int_0^z \gamma.d.z + \gamma_w(z-d)$$

gdzie: σ_z - pionowe normalne naprężenie całkowite

γ - ciężar jednostkowy gruntu

- ciężar jednostkowy gruntu w stanie naturalnym dla gruntów ponad ZWG i suchymi warstwami

- ciężar jednostkowy gruntu pod wodą w innych przypadkach

d - głębokość zwierciadła wody gruntowej pod powierzchnią gruntu

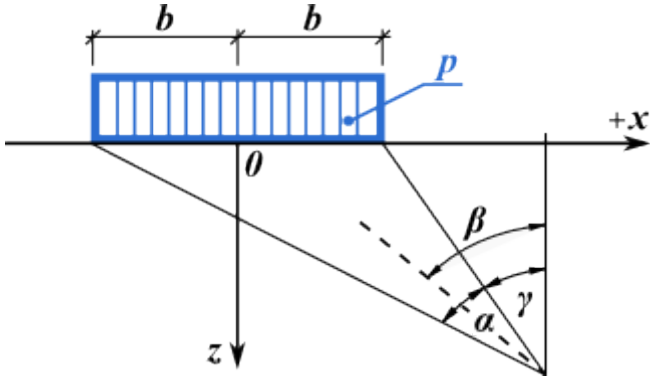
z - głębokość pod powierzchnią gruntu

γ_w - ciężar jednostkowy wody

Przyrost parcia gruntu od obciążenia

Przyrost parcia gruntu w gruncie lub skale na skutek obciążenia obliczany jest za pomocą teorii elastycznej podprzestrzeni (Bousinesque'a).

Przyrost parcia gruntu w punkcie wewnątrz gruntu lub skały na skutek **nieskończonego obciążenia pasowego** uzyskuje się z następującego schematu:



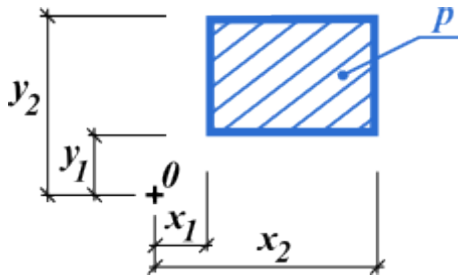
Obliczenia parcia gruntu na skutek nieskończonego obciążenia pasowego

$$\sigma_z = \frac{p}{\pi}(\alpha + \sin\alpha.\cos 2\beta)$$

$$\beta = \gamma + \frac{\alpha}{2}$$

Obciążenie trapezowe jest automatycznie dzielone w programie na odcinki. Poszczególne odcinki traktowane są jako obciążenia pasowe. Powstałe parcie gruntu jest sumą częściowych obciążeń z poszczególnych odcinków.

Przyrost naprężenia na skutek **obciążenia skupionego** obliczany jest w następujący sposób:



$$\Delta\sigma_z = \frac{p}{2\pi}\left(\frac{x_2.z.S_2}{y_2.S_{2x}^2} + \frac{x_2.z^3}{y_2.S_{2y}^2.S_2} - \frac{x_2.z.S_3}{y_1.S_{2x}^2} + \frac{x_2.z^3}{y_1.S_{1y}^2.S_3} - \frac{x_1.z.S_4}{y_2.S_{1x}^2} + \frac{x_2.z^3}{y_2.S_{2y}^2.S_4} + \frac{x_1.z.S_2}{y_1.S_{1x}^2} - \frac{x_1.z^3}{y_1.S_{2y}^2.S_1} + arctg\frac{x_2.y_2}{z.S_2} - arctg\frac{x_2.y_1}{z.S_3} - arctg\frac{x_1.y_2}{z.S_4} + arctg\frac{x_1.y_1}{z.S_1}\right)$$

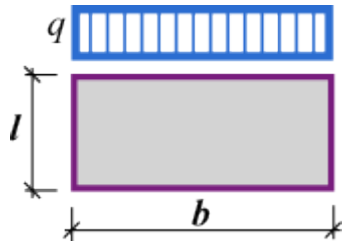
gdzie:

$$S_{2x} = \sqrt{x_2^2 + z^2} \qquad S_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z^2} \qquad S_3 = \sqrt{x_2^2 + y_1^2 + z^2}$$

$$S_{2y} = \sqrt{y_2^2 + z^2} \qquad S_2 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + z^2} \qquad S_4 = \sqrt{x_1^2 + y_2^2 + z^2}$$

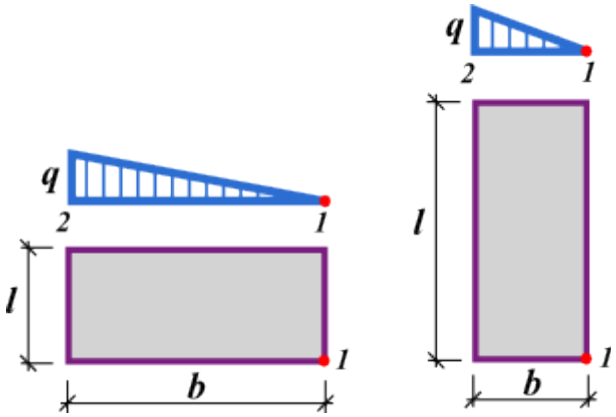
Przyrost parcia gruntu pod fundamentem

W programie "**Fundament bezpośredni**", rozkład naprężenia pod fundamentem jest wyznaczany przez połączenie wykresów obciążenia podstawowego:



Wykres obciążenia fundamentu

$$\sigma_z = \frac{f}{2\pi}\left[arctg\frac{l.b}{z\sqrt{l^2+b^2+z^2}} + \frac{l.b.z}{z\sqrt{l^2+b^2+z^2}}\left(\frac{1}{l^2+z^2} + \frac{1}{b^2+z^2}\right)\right]$$

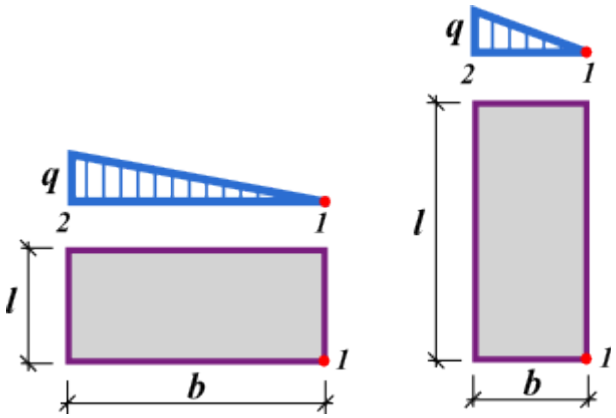


Wykres obciążenia fundamentu

$$\sigma_{z,1} = \frac{q}{2\pi}\left(\frac{l.b.z}{R\left(z^2+b^2\right)} + \frac{l.z}{b.R}\frac{R-\sqrt{l^2+z^2}}{\sqrt{l^2+z^2}}\right)$$

gdzie:

$$R = \sqrt{l^2 + b^2 + z^2}$$



Wykres obciążenia fundamentu

$$\sigma_{z,2} = \frac{q}{2\pi}\left(arctg\frac{l.b}{z.R} + \frac{l.z}{l^2+z^2}\frac{R-\sqrt{l^2+z^2}}{b} \right)$$

Parcia gruntu

Program GEO5 uwzględnia następujące kategorie parcia gruntu:

- czynne parcie gruntu
- bierne parcie gruntu
- spoczynmowe parcie gruntu

Podczas obliczania parć gruntu program GEO5 umożliwia rozróżnienie pomiędzy efektywnym a całkowitym stanem naprężenia oraz ustanowienie kilku sposobów obliczania wyporu. Ponadto, istnieje możliwość uwzględnienia skutków następujących czynników na wartości parcia gruntu:

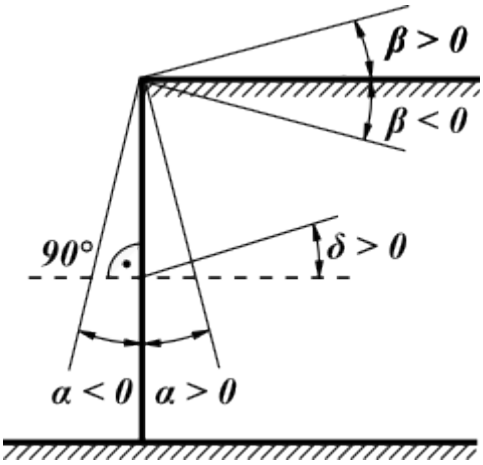
- wpływ obciążenia
- wpływ parcia wody
- wpływ terenu załamanego
- tarcie pomiędzy gruntem a konstrukcją
- przyleganie gruntu - adhezja
- wpływ klina gruntu przy odsadzkach wspornikowych
- wpływ obciążeń sejsmicznych

Następująca konwencja znaków jest stosowana w programie, tekście i przedstawionych wyrażeniach.

Podczas definiowania skał istnieje konieczność wprowadzenia spójności skały c oraz kąta tarcia wewnętrznego skały φ. Wartości te można uzyskać z badań geologicznych bądź z tabeli zalecanych wartości.

Konwencja znaków

Następująca konwencja znaków jest stosowana w programie, tekście i przedstawionych wyrażeniach.



Konwencja znaków do obliczania parć ziemi

- nachylenie powierzchni gruntu β jest dodatnie, kiedy grunt wznosi się od ściany
- nachylenie tyłu konstrukcji α jest dodatnie, kiedy stopa ściany (na tylnej ścianie) umieszczona jest w kierunku gruntu przy pomiarze od linii pionowej przechodzącej od górnego punktu konstrukcji
- tarcie pomiędzy gruntem a tyłem konstrukcji δ jest dodatnie, jeżeli wypadkowe parcie gruntu (zatem, także parcie gruntu) i normalne do tyłu konstrukcji od kąta zmierzonego w kierunku ruchu wskazówek zegara

Czynne parcie gruntu

Czynne parcie gruntu jest najmniejszym, bocznym, ograniczającym parciem gruntu powstałym przy pęknięciu poślizgowym przez ścianę przesuwającą się od gruntu w kierunku działającego parcia gruntu (minimalny obrót ściany konieczny do powstania czynnego parcia gruntu wynosi około 2 $mrad$, tzn. 2 mm/m wysokości ściany*).*

Następujące teorie i podejścia są stosowane do obliczeń czynnego parcia gruntu przy **założeniu efektywnego stanu naprężenia**:

- Teoria Mazindrani'ego (Rankina)
- Teoria Coulomba
- Teoria Müllera - Breslau'a
- Teoria Caquot
- Teoria Absi'ego

Dla gruntów spoistych przyjmowany jest stan odcięcia naprężenia, tzn. jeżeli na skutek spoistości uzyskuje się ujemną wartość czynnego parcia gruntu lub zgodnie z bardziej rygorystycznymi wymogami, wartość "Minimalnego parcia do wymiarowania" jest przekroczona, wówczas wartość czynnego parcia gruntu spada do zera lub jest równa "Minimalnemu parciu do wymiarowania".

Program umożliwia również przeprowadzenie analiz dla naprężeń całkowitych.

Czynne parcie gruntu - teoria Mazindrani’ego

Czynne parcie gruntu wyznaczane jest z następującego wzoru:

$$\sigma_a = \sigma_z.K_a = \gamma.z.K'_a.\cos\beta$$

gdzie:
- σ_z - pionowe naprężenie geostatyczne
- K_a - współczynnik czynnego parcia gruntu wg Rankin'a
- β - nachylenie zbocza
- γ - ciężar gruntu
- z - założona głębokość
- K'_a - współczynnik czynnego parcia gruntu wg Mazindrani'ego

$$K'_a = \frac{1}{\cos^2\varphi}\left[2.\cos^2\beta + 2.\left(\frac{c}{\gamma.z}\right).\cos\varphi.\sin\varphi - \sqrt{4.\cos^2\beta.\left(\cos^2\beta - \cos^2\varphi\right) + 4.\left(\frac{c}{\gamma.z}\right)^2.\cos^2\varphi + 8.\left(\frac{c}{\gamma.z}\right).\cos^2\beta.\sin\varphi.\cos\varphi}\right] - 1$$

gdzie:
- β - nachylenie zbocza
- φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu
- c - spójność gruntu

Przyjmując grunty niespoiste (c = 0) oraz poziomą powierzchnię gruntu (β = 0) daje rozwiązanie Rankin'a, dla którego czynne parcie gruntu wyznaczane jest z:

$$\sigma_a = \sigma_z.K_a$$

a współczynnik czynnego parcia gruntu przyjmuje:

$$K_a = tg^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right)$$

gdzie:
- φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu

Poziome i pionowe składowe czynnego parcia gruntu przyjmują:

$$\sigma_{ax} = \sigma_a.\cos(\alpha + \delta)$$
$$\sigma_{az} = \sigma_a.\sin(\alpha + \delta)$$

gdzie:
- σ_a - czynne parcie gruntu
- δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt
- α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

Literatura:

Mazindrani, Z.H., and Ganjali, M.H. 1997. Lateral earth pressure problem of cohesive backfill with inclined surface. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, ***123****(2): 110-112.*

Czynne parcie gruntu - teoria Coulomb'a

Czynne parcie gruntu wyznaczane jest z następującego wzoru:

$$\sigma_a = \sigma_z.K_a - 2c_{ef}.K_{ac}$$

gdzie: σ_z - pionowe naprężenie geostatyczne
c_{ef} - efektywna spójność gruntu
K_a - współczynnik czynnego parcia gruntu
K_{ac} - współczynnik czynnego parcia gruntu ze spoistości

Współczynnik czynnego parcia gruntu K_a wyznaczany jest z:

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2\alpha.\cos(\alpha+\delta).\left(1+\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta).\sin(\varphi-\beta)}{\cos(\alpha+\delta).\cos(\alpha-\beta)}}\right)^2}$$

Współczynnik czynnego parcia gruntu K_{ac} wyznaczany jest z:

dla: $\alpha < \pi/4$

$$K_{ac} = \frac{K_{ahc}}{\cos(\delta+\alpha)}$$

$$K_{ahc} = \frac{\cos\varphi.\cos\beta.\cos(\delta-\alpha).(1+tg(-\alpha).tg\beta)}{1+\sin(\varphi+\delta-\alpha-\beta)}$$

dla: $\alpha \geq \pi/4$

$$K_{ac} = \sqrt{K_a}$$

gdzie: φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu
δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt
β - nachylenie zbocza
α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

Poziome i pionowe składowe czynnego parcia gruntu przyjmują:

$$\sigma_{ax} = \sigma_a.\cos(\alpha+\delta)$$

$$\sigma_{az} = \sigma_a.\sin(\alpha+\delta)$$

gdzie: σ_a - czynne parcie gruntu
δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt
α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

Czynne parcie gruntu - teoria Müller-Breslau

Czynne parcie gruntu wyznaczane jest z następującego wzoru:

$$\sigma_a = \sigma_z.K_a - 2.c_{ef}.K_{ac}$$

gdzie: σ_z - pionowe naprężenie geostatyczne

c_{ef} - efektywna spójność gruntu

K_a - współczynnik aktywnego parcia gruntu

K_{ac} - współczynnik aktywnego parcia gruntu ze spoistości

Współczynnik czynnego parcia gruntu K_a wyznaczany jest z:

$$K_a = \left(\frac{\frac{\sin\left(\alpha + \pi/4 - \varphi\right)}{\sin\left(\alpha + \pi/4\right)}}{\sqrt{\sin\left(\alpha + \pi/4 + \delta\right)} + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta).\sin(\varphi - \beta)}{\sin\left(\alpha + \pi/4 - \beta\right)}}} \right)^2$$

gdzie:

φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu

δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt

β - nachylenie zbocza

α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

Współczynnik czynnego parcia gruntu K_{ac} wyznaczany jest z:

dla: $\alpha < \pi/4$

$$K_{ac} = \frac{K_{ahc}}{\cos(\delta + \alpha)}$$

$$K_{ahc} = \frac{\cos\varphi.\cos\beta.\cos(\delta - \alpha).(1 + tg(-\alpha).tg\beta)}{1 + \sin(\varphi + \delta - \alpha - \beta)}$$

dla: $\alpha \geq \pi/4$

$$K_{ac} = \sqrt{K_a}$$

gdzie:

φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu

δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt

β - nachylenie zbocza

α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

Poziome i pionowe składowe czynnego parcia gruntu przyjmują:

$$\sigma_{ax} = \sigma_a.\cos(\alpha + \delta)$$

$$\sigma_{az} = \sigma_a.\sin(\alpha + \delta)$$

gdzie:

σ_a - czynne parcie gruntu

δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt

α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

Literatura:

Müller-Breslau's Erddruck auf Stutzmauern,Stuttgart: Alfred Kroner-Verlag, 1906 (German).

Czynne parcie gruntu - teoria Caquot

Czynne parcie gruntu wyznaczane jest z następującego wzoru:

$$\sigma_a = \sigma_z.K_a - 2.c_{ef}.K_{ac}$$

gdzie:
- σ_z - pionowe naprężenie geostatyczne
- c_{ef} - efektywna spójność gruntu
- K_a - współczynnik aktywnego parcia gruntu
- K_{ac} - współczynnik aktywnego parcia gruntu ze spoistości

Następujące rozwiązanie analityczne (Boussinesque, Caquot) stosowane jest w GEO5 do obliczenia współczynnika czynnego parcia gruntu K_a:

$$K_a = \rho.K_a^{Coulomb}$$

gdzie:
- K_a - współczynnik czynnego parcia gruntu wg Caquot'a
- $K_a^{Coulomb}$ - współczynnik czynnego parcia gruntu wg Coulomb'a
- ρ - współczynnik przekształcenia - patrz dalej

$$\rho = \left[\left(1-0{,}9.\lambda^2-0{,}1.\lambda^4\right)\left(1-0{,}3.\lambda^3\right)\right]^{-n}$$

$$\lambda = \frac{\Delta+\beta-\Gamma}{4.\varphi-2.\pi(\Delta+\beta-\Gamma)}$$

$$\Delta = 2.tan^{-1}\left(\frac{|cot\,\delta|-\sqrt{cot^2\,\delta-cot^2\,\varphi}}{1+cosec\,\varphi}\right)$$

$$\Gamma = sin^{-1}\left(\frac{sin\beta}{sin\varphi}\right)$$

gdzie:
- β - nachylenie zbocza za konstrukcją
- φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu
- δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt

Współczynnik czynnego parcia gruntu K_{ac} wyznaczany jest z:

dla: $\alpha < \pi/4$

$$K_{ac} = \frac{K_{ahc}}{cos(\delta+\alpha)}$$

$$K_{ahc} = \frac{cos\varphi.cos\beta.cos(\delta-\alpha).(1+tg(-\alpha).tg\beta)}{1+sin(\varphi+\delta-\alpha-\beta)}$$

dla: $\alpha \geq \pi/4$

$$K_{ac} = \sqrt{K_a}$$

gdzie:
- φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu
- δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt
- β - nachylenie zbocza za konstrukcją
- α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

Poziome i pionowe składowe czynnego parcia gruntu przyjmują:

$$\sigma_{ax} = \sigma_a.cos(\alpha + \delta)$$
$$\sigma_{az} = \sigma_a.sin(\alpha + \delta)$$

gdzie:
- σ_a - czynne parcie gruntu
- δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt
- α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

Czynne parcie gruntu - teoria Absi'ego

Czynne parcie gruntu wyznaczane jest z następującego wzoru:

$$\sigma_a = \sigma_z.K_a - 2.c_{ef}.K_{ac}$$

gdzie:
- σ_z - pionowe naprężenie geostatyczne
- c_{ef} - efektywna spójność gruntu
- K_a - współczynnik czynnego parcia gruntu
- K_{ac} - współczynnik czynnego parcia gruntu ze spoistości

Program pobiera wartości współczynnika czynnego parcia gruntu K_a z bazy danych zbudowanej na podstawie wartości opublikowanych w książce: Kérisel, Absi: Tabele czynnego i biernego parcia gruntu, 3rd Ed. A.A. Balkema, 1990 ISBN 90 6191886 3.

Współczynnik czynnego parcia gruntu K_{ac} wyznaczany jest z:

dla: $\alpha < \pi/4$

$$K_{ac} = \frac{K_{ahc}}{cos(\delta + \alpha)}$$
$$K_{ahc} = \frac{cos\varphi.cos\beta.cos(\delta - \alpha).(1 + tg(-\alpha).tg\beta)}{1 + sin(\varphi + \delta - \alpha - \beta)}$$

dla: $\alpha \geq \pi/4$

$$K_{ac} = \sqrt{K_a}$$

gdzie:
- φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu
- δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt
- β - nachylenie zbocza

α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

Poziome i pionowe składowe czynnego parcia gruntu przyjmują:

$$\sigma_{ax} = \sigma_a.cos(\alpha + \delta)$$
$$\sigma_{az} = \sigma_a.sin(\alpha + \delta)$$

gdzie:
σ_a - czynne parcie gruntu
δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt
α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

Literatura:

Kérisel, Absi: Active and Passive Earth Pressure Tables, 3rd ed., Balkema, 1990 ISBN 90 6191886 3.

Czynne parcie gruntu - naprężenie całkowite

Przy wyznaczaniu czynnego parcia gruntu w spoistych w pełni nawodnionych gruntach, w których zazwyczaj zapobiega się konsolidacji (warunki bez odpływu), poziome, normalne naprężenie całkowite σ_x jest wyznaczane z:

$$\sigma_x = \sigma_z - K_{uc}.c_u$$

gdzie:
σ_x - poziome naprężenie całkowite (normalne)
σ_z - pionowe, normalne naprężenie całkowite
K_{uc} - współczynnik parcia gruntu
c_u - całkowita spójność gruntu

Współczynnik parcia gruntu K_{uc} wyznaczany jest z:

$$K_{uc} = 2.\sqrt{1 + \frac{a_u}{c_u}}$$

gdzie:
K_{uc} - współczynnik parcia gruntu
c_u - całkowita spójność gruntu
a_u - całkowita adhezja gruntu do konstrukcji

Bierne parcie gruntu

Bierne parcie gruntu jest najwyższym bocznym parciem ograniczającym powstałym przy pęknięciu poślizgowym przez ścianę przesuwającą się (penetrującą) w kierunku przeciwnym do działającego parcia gruntu (minimalny obrót ściany niezbędny do powstania biernego parcia gruntu wynosi około 10 $mrad$, tzn. 10 mm/m wysokości ściany*).* W większości wyrażeń stosowanych do obliczania biernego parcia gruntu przyjęta została konwencja znaków, że zwykłe wartości δodpowiadające pionowemu kierunkowi powstałego tarcia są ujemne. Jednak, program przejmuje, że wartości te są dodatnie. Rzadki przypadek tarcia działającego w górę nie jest rozważany w programie.

Następujące teorie i podejścia zostały wykorzystane do obliczeń biernego parcia gruntu **przy założeniu efektywnego stanu naprężenia**:

- Teoria Rankina i Mazindrani'ego
- Teoria Coulomba
- Teoria Caquot - Kérisela
- Teoria Müllera - Breslau'a
- Teoria Absi'ego
- Teoria Sokolovskiego

Program umożliwia również przeprowadzenie analiza dla naprężeń całkowitych.

Bierne parcie gruntu - teoria Rankina i Mazindrani'ego

Bierne parcie gruntu wyznaczane jest z następującego wzoru:

$$\sigma_p = \sigma_z . K_p = \gamma . z . K'_p . \cos\beta$$

gdzie:
- σ_z - pionowe naprężenie geostatyczne
- K_p - współczynnik biernego parcia gruntu wg Rankin'a
- β - nachylenie zbocza
- γ - ciężar gruntu
- z - przyjęta głębokość
- K'_p - współczynnik biernego parcia gruntu wg Mazindrani'ego

Współczynnik biernego parcia gruntu K_p wyznaczany jest z:

$$K'_p = \frac{1}{\cos^2\varphi} . \left[2.\cos^2\beta + 2.\left(\frac{c}{\gamma . z}\right).\cos\varphi.\sin\varphi + \sqrt{4.\cos^2\beta.\left(\cos^2\beta - \cos^2\varphi\right) + 4.\left(\frac{c}{\gamma . z}\right)^2.\cos^2\varphi + 8.\left(\frac{c}{\gamma . z}\right).\cos^2\beta.\sin\varphi.\cos\varphi} \right] - 1$$

gdzie:
- β - nachylenie zbocza
- φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu
- c - spójność gruntu

W przypadku braku tarcia ($\delta = 0$) pomiędzy konstrukcją a gruntami niespoistymi ($c = 0$), powierzchnia gruntu jest pozioma ($\beta = 0$) a powstała powierzchnia poślizgu znajduje się na jednej płaszczyźnie ze zboczem:

$$\vartheta_p = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}$$

teoria Mazindrani'ego jest redukowana do teorii Rankin'a. Współczynnik biernego parcia gruntu jest wówczas wyznaczany z:

$$K_p = \frac{1 + \sin\varphi}{1 - \sin\varphi} = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)$$

gdzie:
- φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu

Bierne parcie gruntu σ_p wg Rankin'a dla gruntu niespoistego wyznaczana jest z:

$$\sigma_p = \gamma.z.K_p$$

gdzie:
- γ - ciężar jednostkowy gruntu
- z - przyjęta głębokość
- K_p - współczynnik biernego parcia gruntu wg Rankin'a

Literatura:

Mazindrani, Z.H., and Ganjali, M.H. 1997. Lateral earth pressure problem of cohesive backfill with inclined surface. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 123(2): 110-112.

Bierne parcie gruntu - teoria Coulomba

Bierne parcie gruntu wyznaczane jest z następującego wzoru:

$$\sigma_p = \sigma_z.K_p + 2.c\sqrt{K_p}$$

gdzie:
- σ_z - efektywne, pionowe naprężenie geostatyczne
- K_p - współczynnik biernego parcia gruntu wg Coulomb
- c - spójność gruntu

Współczynnik biernego parcia gruntu K_p wyznaczany jest z:

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi+\alpha)}{\cos^2\alpha.\cos(\delta-\alpha).\left(1-\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta).\sin(\varphi+\beta)}{\cos(\delta-\alpha).\cos(\beta-\alpha)}}\right)^2}$$

gdzie:
- φ - kąt tarcia wewnętrznego gruntu
- δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt
- β - nachylenie zbocza
- α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

Pionowe σ_{px} i poziome σ_{pz} składowe biernego parcia gruntu są wyznaczane z:

$$\sigma_{px} = \sigma_p.\cos(\alpha+\delta)$$

$$\sigma_{pz} = \sigma_p.\sin(\alpha+\delta)$$

gdzie:
- δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt
- α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

Bierne parcie gruntu - teoria Caquot - Kérisela

Bierne parcie gruntu wyznaczane jest z następującego wzoru:

$$\sigma_p = \sigma_z . K_p \psi + 2.c.\sqrt{K_p \psi}$$

gdzie: K_p - współczynnik biernego parcia gruntu dla $\delta = -\varphi$, patrz tabela

ψ - współczynnik redukcji ψ dla $|\delta| < \varphi$, patrz tabela

c - spójność gruntu

σ_z - pionowe naprężenie geostatyczne

Pionowe σ_{px} i poziome σ_{pz} składowe biernego parcia gruntu są wyznaczane z:

$$\sigma_{px} = \sigma_p . cos(\alpha + \delta)$$

$$\sigma_{pz} = \sigma_p . sin(\alpha + \delta)$$

gdzie: δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt

α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

Współczynnik biernego parcia gruntu Kp

Współczynnik biernego parcia gruntu K_p *dla* $\delta = -\varphi$											
α [°]	φ [°]	K_p *kiedy* β°									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
	10	1,17	1,41	1,53							
	15	1,39	1,70	1,92	2,06						
	20	1,71	2,06	2,42	2,71	2,92					
	25	2,14	2,61	2,96	3,66	4,22	4,43				
-30	30	2,78	3,42	4,16	5,01	5,96	6,94	7,40			
	35	3,75	4,73	5,87	7,21	8,76	10,60	12,50	13,60		
	40	5,31	6,87	8,77	11,00	13,70	17,20	24,60	25,40	28,40	
	45	8,05	10,70	14,20	18,40	23,80	30,50	38.90	49,10	60,70	69,10

	10	1,36	1,58	1,70							
	15	1,68	1,97	2,20	2,38						
	20	2,13	2,52	2,92	3,22	3,51					
	25	2,78	3,34	3,99	4,60	5,29	5,57				
-20	30	3,78	4,61	5,56	6,61	7,84	9,12	9,77			
	35	5,36	6,69	8,26	10,10	12,20	14,80	17,40	19,00		
	40	8,07	10,40	12,00	16,50	20,00	25,50	36,50	37,80	42,20	
	45	13,20	17,50	22,90	29,80	38,30	48,90	62,30	78,80	97,30	111,00
	10	1,52	1,72	1,83							
	15	1,95	2,23	2,57	2,66						
	20	2,57	2,98	3,42	3,75	4,09					
	25	3,50	4,14	4,90	5,62	6,45	6,81				
-10	30	4,98	6,01	7,19	8,51	10,10	11,70	12,60			
	35	7,47	9,24	11,30	13,80	16,70	20,10	23,70	26,00		
	40	12,00	15,40	19,40	24,10	29,80	37,10	53,20	55,10	61,60	
	45	21,20	27,90	36,50	47,20	60,60	77,30	98,20	124,00	153,00	176,00
	10	1,64	1,81	1,93							
	15	2,1	2,4	2,7	2,9						

		9	6	3	1						
	20	3,01	3,44	3,91	4,42	4,66					
	25	4,29	5,02	5,81	6,72	7,71	8,16				
0	30	6,42	7,69	9,13	10,80	12,70	14,80	15,90			
	35	10,20	12,60	15,30	18,60	22,30	26,90	31,70	34,90		
	40	17,50	22,30	28,00	34,80	42,90	53,30	76,40	79,10	88,70	
	45	33,50	44,10	57,40	74,10	94,70	120,00	153,00	174,00	240,00	275,00
	10	1,73	1,87	1,98							
	15	2,40	2,65	2,93	3,12						
	20	3,45	3,90	4,40	4,96	5,23					
10	25	5,17	5,99	6,90	7,95	9,11	9,67				
	30	8,17	9,69	11,40	13,50	15,90	18,50	19,90			
	35	13,80	16,90	20,50	24,80	29,80	35,80	42,30	46,60		
	40	25,50	32,20	40,40	49,90	61,70	76,40	110,00	113,00	127,00	
	45	52,90	69,40	90,00	116,00	148,00	188,00	239,00	303,00	375,00	431,00
	10	1,78	1,89	2,01							
	15	2,58	2,82	3,11	3,30						
	20	3,90	4,38	4,92	5,53	5,83					

20	25	6,18	7,12	8,17	9,39	10,70	11,40				
	30	10,40	12,30	14,40	16,90	20,00	23,20	25,00			
	35	18,70	22,80	27,60	33,30	40,00	48,00	56,80	62,50		
	40	37,20	46,90	58,60	72,50	89,30	111,00	158,00	164,00	185,00	
	45	84,00	110,00	143,00	184,00	234,00	297,00	378,00	478,00	592,00	680,00
	10	1,78	1,89	2,00							
	15	2,72	2,96	3,26	3,45						
	20	4,35	4,88	5,46	6,14	6,47					
30	25	7,33	8,43	9,65	11,10	12,70	13,50				
	30	13,10	15,50	18,20	21,40	25,20	29,30	31,60			
	35	25,50	31,00	37,50	45,20	54,20	65,20	77,00	84,80		
	40	54,60	68,80	86,00	107,00	131,00	162,00	232,00	241,00	271,00	
	45	135,00	176,00	228,00	293,00	374,00	475,00	604,00	763,00	945,00	1090,00

Współczynnik redukcji biernego parcia gruntu

Współczynnik redukcji ψ dla $|\delta| < \varphi$

φ [°]	ψ dla $\lvert\delta\rvert < \varphi$					
5	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,0
10	1,00	0,989	0,962	0,929	0,898	0,864
15	1,00	0,979	0,934	0,881	0,830	0,775
20	1,00	0,968	0,901	0,824	0,752	0,678
25	1,00	0,954	0,860	0,759	0,666	0,574
30	1,00	0,937	0,811	0,686	0,574	0,467
35	1,00	0,916	0,752	0,603	0,475	0,362
40	1,00	0,886	0,682	0,512	0,375	0,262
45	1,00	0,848	0,600	0,414	0,276	0,174

Bierne parcie gruntu - teoria Müller - Breslau

Bierne parcie gruntu wyznaczane jest z następującego wzoru:

$$\sigma_p = \sigma_z . K_p + 2.c.\sqrt{K_p}$$

gdzie: K_p - współczynnik biernego parcia gruntu

c - spójność gruntu

σ_z - pionowe, normalne naprężenie całkowite

Współczynnik biernego parcia gruntu K_p wyznaczany jest z:

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha . \cos(\delta - \alpha) . \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi - \delta).\sin(\varphi + \beta)}{\cos(\alpha - \delta).\cos(\alpha + \beta)}}\right)^2}$$

gdzie: φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu

δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt

β - nachylenie zbocza

α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

Pionowe σ_{pv} i poziome σ_{ph} składowe biernego parcia gruntu są wyznaczane przez:

$$\sigma_{px} = \sigma_p . \cos(\alpha + \delta)$$

$$\sigma_{pz} = \sigma_p . \sin(\alpha + \delta)$$

gdzie: δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt

α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

Literatura:

Müller-Breslau's Erddruck auf Stutzmauern,Stuttgart: Alfred Kroner-Verlag, 1906 (German)

Bierne parcie gruntu - teoria Absi'ego

Bierne parcie gruntu wynika z następującego wzoru:

$$\sigma_p = \sigma_z . K_p + 2.c\sqrt{K_p}$$

gdzie: K_p - współczynnik biernego parcia gruntu

c - spójność gruntu

σ_z - pionowe, normalne naprężenie całkowite

Program pobiera wartości współczynnika K_p z bazy danych zbudowanej na podstawie ujętych w tablice wartości opublikowanych w książce: Kérisel, Absi: Tabele czynnego i biernego parcia gruntu, 3rd Ed. A.A. Balkema, 1990 ISBN 90 6191886 3.

Pionowe σ_{pv} i poziome σ_{ph} składowe biernego parcia gruntu są wyznaczane przez:

$$\sigma_{px} = \sigma_p . cos(\alpha + \delta)$$

$$\sigma_{pz} = \sigma_p . sin(\alpha + \delta)$$

gdzie: δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt

α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

Literatura:

Kérisel, Absi: Active and Passive Earth Pressure Tables, 3rd ed., Balkema, 1990 ISBN 90 6191886 3

Bierne parcie gruntu - teoria Sokolovskiego

Bierne parcie gruntu wyznaczane jest z następującego wzoru:

$$\sigma_p = \sigma_z . K_{pg} + c . K_{pc} + p_v . K_{pp}$$

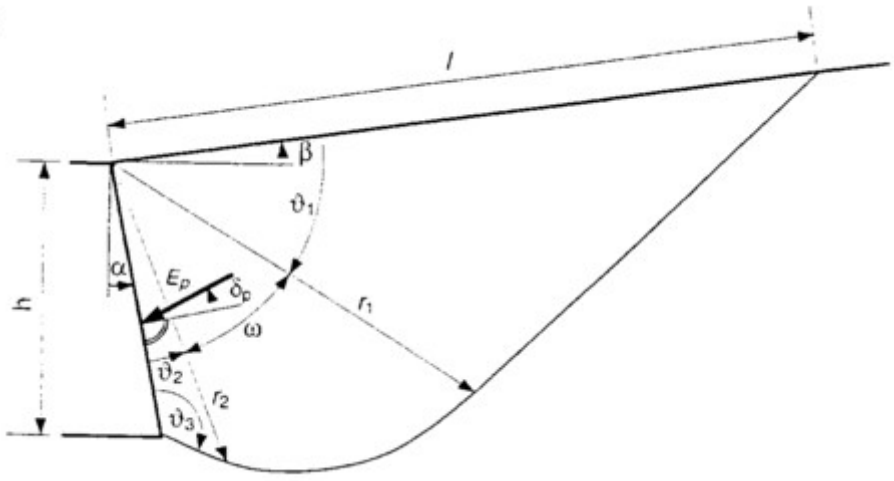
gdzie: K_{pg} - współczynnik biernego parcia gruntu dla gruntów niespoistych

K_{pc} - współczynnik biernego parcia gruntu ze spoistości

K_{pp} - współczynnik biernego parcia gruntu z obciążenia

σ_z - pionowe, normalne naprężenie całkowite

Poszczególne wyrażenia do wyznaczania wielkości biernego parcia gruntu oraz powierzchni poślizgu są kolejno wprowadzone; znaczenie poszczególnych zmiennych wynika z Rys.:



Powierzchnia poślizgu biernego parcia gruntu wg Sokolovski'ego

Kąty opisujące powierzchnię poślizgu:

$$\vartheta_1 = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} - \frac{\varepsilon_1 - \beta}{2}$$

$$\vartheta_2 = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} - \frac{\varepsilon_2 - \delta_p}{2}$$

$$\vartheta_3 = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} + \frac{\varepsilon_2 - \delta_p}{2}$$

$$\omega = \frac{\pi}{2} - \alpha + \beta - \vartheta_1 - \vartheta_2$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\sin\beta}{\sin\varphi}$$

$$\varepsilon_2 = -\frac{\sin\delta_p}{\sin\varphi}$$

gdzie:
- φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu
- δ_p - kąt tarcia konstrukcja - grunt
- β - nachylenie zbocza

Wektor promienia powierzchni poślizgu:

$$r_2 = \frac{h}{\cos\alpha} \cdot \frac{\sin\vartheta_3}{\sin(\vartheta_2 + \vartheta_3)}$$

$$r_1 = r_2 . e^{\omega . \tan\varphi}$$

$$I = r_1 . \frac{\cos\varphi}{\cos(\varphi + \vartheta_1)}$$

Jeżeli $\omega < 0$ obie proste krawędzie strefy r_1 i r_2 nakładają się numerycznie i tworzą płaszczyznę

poślizgu w miejscu nakładania. Współczynniki biernego parcia gruntu K_{pg}, K_{pp}, K_{pc} wynikają z:

$$K_{pg} = K_{pg,0}.i_{pg}.g_{pg}.t_{pg}$$

$$K_{pp} = K_{pp,0}.i_{pp}.g_{pp}.t_{pp}$$

$$K_{pc} = \cot\varphi.\left(K_{pp,0}.i_{pc}.g_{pc}.t_{pc} - \frac{1}{\cos\alpha.\cos\delta} \right)$$

gdzie:

φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu

δ_p - kąt tarcia konstrukcja - grunt

α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

$$K_{pg,0} = K_{pp,0} = \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}$$

Dodatkowe zmienne: i_{pg}, i_{pp}, i_{pc}, g_{pg}, g_{pp}, g_{pc}, t_{pg}, t_{pp}, t_{pc}

dla:

$$i_{pg} = \left(1-0{,}53.\delta_p\right)^{0{,}26+5{,}96\varphi} \quad i_{pp} = \left(1-1{,}33.\delta_p\right)^{0{,}08+2{,}3} \quad i_{pc} = i_{pp}$$

$\beta \le 0$ $\quad g_{pg} = \left(1+0{,}73.\beta\right)^{2{,}89} \quad g_{pp} = \left(1+1{,}16.\beta_p\right)^{1{,}57} \quad g_{pc} = \left(1+0{,}001.\beta.\tan\varphi\right)^{205{,}4}$

$\beta > 0$ $\quad g_{pg} = \left(1+0{,}35.\beta\right)^{0{,}42+8{,}15\varphi} \quad g_{pp} = \left(1+3{,}84.\beta_p\right)^{0{,}98\varphi} \quad g_{pc} = e^{2.\beta.\tan\varphi}$

$\alpha \le 0$ $\quad t_{pg} = \left(1+0{,}72.\alpha.\tan\varphi\right)^{3{,}51+}$

$\alpha > 0$ $\quad t_{pg} = \left(1-0{,}0012.\alpha.\tan\varphi\right)^{29}$

$$t_{pp} = \frac{e^{-2.\alpha.\tan\varphi}}{\cos\alpha}$$

gdzie:

$$t_{pc} = t_{pp}$$

Dla gruntów z wartością zero kąta tarcia wewnętrznego stosuje się następujące wyrażenia do wyznaczenia współczynników biernego parcia gruntu:

$$K_{pp} = \cos\beta$$

$$K_{pc} = K_{pc,0}.i_{pc}.g_{pc}.t_{pc}$$

gdzie:

$$K_{pc,0} = 2$$

$$i_{pc} = 1$$

$$g_{pc} = 1+\beta$$

$$t_{pc} = \frac{1-\alpha}{\cos\alpha} \Rightarrow K_{pc} = \frac{2.(1+\beta)(1-\alpha)}{\cos\alpha}$$

Literatura:

Sokolovski, V.V., 1960. Statics of Soil Media,Butterworth, London.

Bierne parcie gruntu - naprężenie całkowite

Przy wyznaczaniu biernego parcia gruntu w spoistych i w pełni nawodnionych gruntach, w których zazwyczaj zapobiega się konsolidacji (warunki bez odpływu), poziome, normalne naprężenie całkowite σ_x jest wyznaczane z:

$$\sigma_x = \sigma_z - K_{uc}.c_u$$

gdzie:
- σ_x - poziome naprężenie całkowite (normalne)
- σ_z - pionowe, normalne naprężenie całkowite
- K_{uc} - współczynnik parcia gruntu
- c_u - całkowita spójność gruntu

Współczynnik parcia gruntu K_{uc} wyznaczany jest z:

$$K_{uc} = -2.\sqrt{1+\frac{a_u}{c_u}}$$

gdzie:
- K_{uc} - współczynnik parcia gruntu
- c_u - całkowita spójność gruntu
- a_u - całkowita spójność gruntu do konstrukcji

Spoczynkowe parcie gruntu

Spoczynkowe parcie gruntu jest parciem poziomym działającym na konstrukcje sztywne. Parcie to jest zakładane w przypadkach, kiedy istnieje konieczność zminimalizowania bocznego i poziomego odkształcenia gruntu zabezpieczanego (np. do bocznego wsparcia konstrukcji ściany wykopu do głębokości poniżej istniejących fundamentów lub ogólnie, przy zabezpieczaniu gruntu z konstrukcjami wrażliwymi na nierownomierne osiadanie), lub gdy konstrukcje obciążane parciami gruntu są niezwykle sztywne ze względów technologicznych i nie umożliwiają odkształcania w kierunku obciążenia w celu mobilizacji czynnego parcia gruntu.

Spoczynkowe parcie gruntu jest wyznaczane z:

$$\sigma_r = \sigma_z.K_r$$

Dla **gruntów spoistych**, wzór Terzaghi'ego do obliczania K_r jest stosowany w programie:

$$K_r = \frac{\nu}{1-\nu}$$

gdzie:
- ν - współczynnik Poissona

Dla **gruntów niespoistych** stosuje się wyrażenie Jáky'ego:

$$K_r = 1 - sin\varphi$$

gdzie:
- φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu

Przy obliczaniu parcia spoczynkowego dla gruntów spoistych σ_r za pomocą wzoru Jáky'ego do wyznaczania współczynnika spoczynkowego parcia gruntu K_r, zaleca się zastosowanie alternatywnego kąta tarcia wewnętrznego φ_n.

Na sposób obliczania spoczynkowego parcia gruntu może zatem wpłynąć wybór typu gruntu (spoisty, niespoisty) przy obliczaniu jego parametrów. Nawet typowe grunty niespoiste (piasek, żwir) należy wprowadzać jako spoiste, jeżeli parcie spoczynkowe ma być obliczone za pomocą współczynnika Poissona i odwrotnie.

Dla **gruntów prekonsolidowanych** stosuje się wyrażenie zaproponowane przez Schmertmann'a do obliczenia współczynnika spoczynkowego parcia gruntu K_r:

$$K_r = 0{,}5.(OCR)^{0{,}5}$$

gdzie: K_r - współczynnik spoczynkowego parcia gruntu

OCR - wskaźnik prekonsolidacji

Istnieje również możliwość **bezpośredniego zdefiniowania** wartości współczynnika spoczynkowego parcia gruntu.

Program wyznacza wpływ nachylenia powierzchni gruntu za konstrukcją oraz wzrost parcia spoczynkowego spowodowany obciążeniem.

Spoczynkowe parcie gruntu dla pochyłej powierzchni terenu za konstrukcją

Dla nachylonej powierzchni gruntu za konstrukcją ($0° < \beta \leq \varphi$) spoczynkowe parcie gruntu przyjmuje postać:

$$\sigma_r = \frac{\sigma_z.K_r.\sin\varphi.\cos\beta}{\sin\varphi - \sin^2\beta}$$

gdzie: φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu

β - nachylenie zbocza

σ_z - pionowe naprężenie geostatyczne

K_r - współczynnik spoczynkowego parcia gruntu

Dla nachylonego tyłu ściany, wartości spoczynkowego parcia ziemi wyprowadza się z:

$$\sigma_r = \sigma_z\sqrt{\sin^2\alpha + K_r^2.\cos^2\alpha}$$

gdzie: α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

σ_z - pionowe naprężenie geostatyczne

K_r - współczynnik spoczynkowego parcia gruntu

Normalne i tangensowe składowe wyznaczane są z:

$$\sigma = \sigma_z.\left(\sin^2\alpha + K_r.\cos^2\alpha\right)$$

$$\tau = \sigma_z.(1 - K_r).\sin\alpha.\cos\alpha$$

gdzie: α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

σ_z - pionowe naprężenie geostatyczne

K_r - współczynnik spoczynkowego parcia gruntu

Kąt odchylenia od normalnej linii do ściany δ:

$$tg\delta = \frac{(1-K_r).tg\alpha}{K_r + tg^2\alpha}$$

gdzie: α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

K_r - współczynnik spoczynkowego parcia gruntu

Zwiększone parcie czynne

Zwiększone parcie czynne wyznaczane jest z uwzględnieniem współczynnika k.

Wartość parcia wyznaczana jest za pomocą wzoru:

$$\sigma = k\,\sigma_r + (1-k)\sigma_a$$

gdzie: σ_r - parcie spoczynkowe

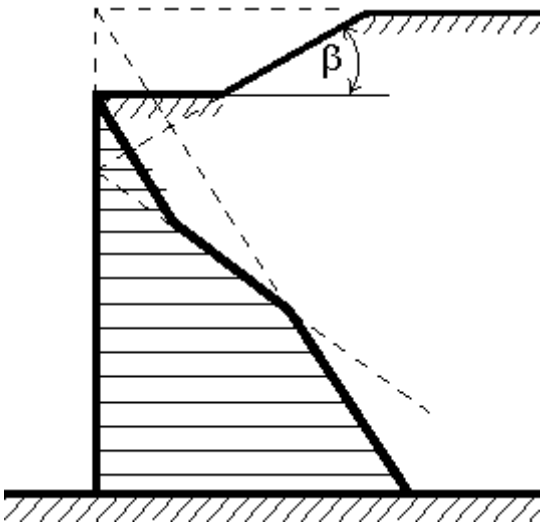
σ_a - parcie czynne

k - współczynnik zwiększonego parcia czynnego

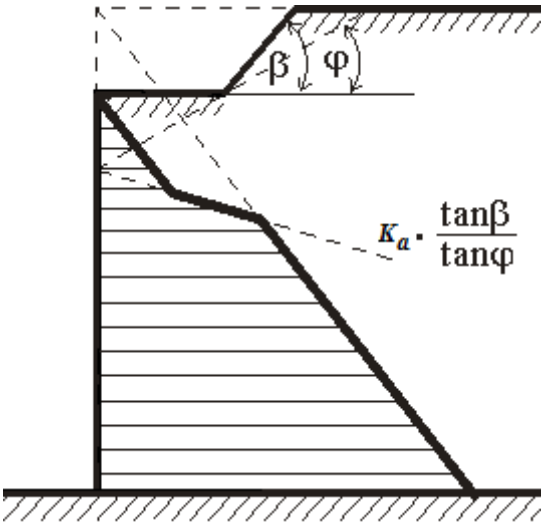
W przypadku gdy wartość wspólczynnika k=1, parcie oddziałujące na ścianę jest równe parciu spoczynkowemu. Jeśli wartość współczynnika k=0, wówczas parcie oddziałujące na ścianę jest równe parciu czynnemu.

Rozkład parć gruntu w przypadku terenu załamanego

Rysunki przedstawiają procedurę analizy parcia gruntu w przypadku terenu pochyłego. Powstały kształt rozkładu parcia gruntu działającego na konstrukcję uzyskuje się z sumy trójkątnych rozkładów powstałych z poszczególnych skutków działających na konstrukcję.



Zasada obliczania parcia gruntu w przypadku terenu załamanego



Zasada obliczania parcia gruntu w przypadku terenu pochylonego załamanego, dla $\beta > \varphi$

Wpływ wody

Wpływ wody gruntowej może być odzwierciedlony za pomocą jednej z następujących opcji:

- Brak wody gruntowej, woda nie jest uwzględniana
- Parcie hydrostatyczne, woda gruntowa za konstrukcją
- Parcie hydrostatyczne, woda gruntowa za i przed konstrukcją
- Parcie hydrodynamiczne
- Specjalny rozkład parcia wody

Brak wody gruntowej, woda nie jest uwzględniana



Bez wody gruntowej, woda nie jest uwzględniana

W opcji tej, wpływ wody nie jest uwzględniany.

Informacje uzupełniające:

Jeżeli pod poziomem ZWG znajdują się grunty drobnoziarniste, należy wówczas ostrożnie oceniać wpływ pełnego nawodnienia w tym regionie przyciągania powierzchniowego. Przyciąganie powierzchniowe jest odzwierciedlone w analizie jedynie przez zwiększenie stopnia nawodnienia i dlatego wartość γ_{sat} jest wstawiana do parametrów gruntu.

W celu rozróżnienia regionów o różnym stopniu nawodnienia można wstawić kilka warstw tego samego gruntu o różnych ciężarach jednostkowych. Ujemne ciśnienie porowe nie jest uwzględniane. Jednak dla warstw o różnym stopniu nawodnienia można zastosować różne wartości wytrzymałości na ścinanie z uwzględnieniem ssania (różnica w ciśnieniu porowym wody i gazu u_a - u_w).

Parcie hydrostatyczne, woda gruntowa za konstrukcją



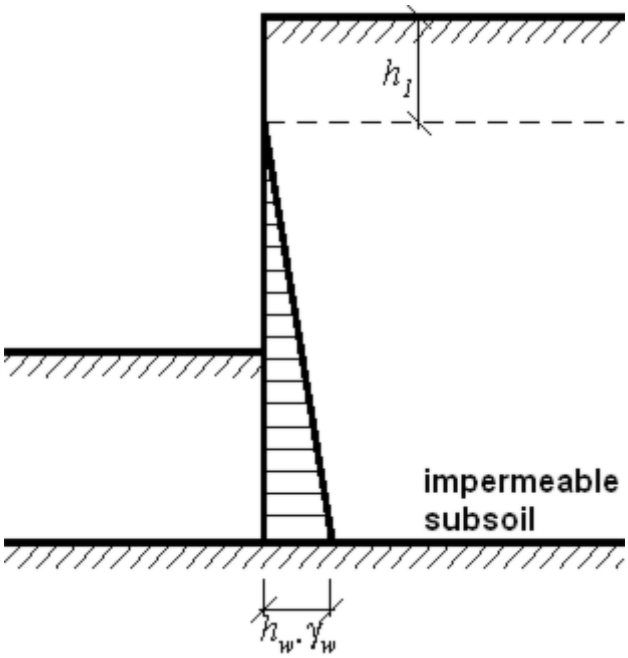
Parcie hydrostatyczne, woda gruntowa za konstrukcją

Tylna krawędź konstrukcji jest osadzona w podłożu nieprzepuszczalnym, co zapobiega przepływowi wody pod konstrukcją. Woda znajduje się tylko za tylną ścianą konstrukcji. Na przednią ścianę konstrukcji nie działa woda. Przypadek taki może wystąpić, kiedy woda z przodu konstrukcji przepływa swobodnie na skutek grawitacji lub zastosowania głębokiego odpływu. Tylna strona konstrukcji obciążona jest ciśnieniem hydrostatycznym:

$$u = \gamma_w . h_w$$

gdzie: γ_w - ciężar jednostkowy wody

h_w - różnica zwierciadeł wody



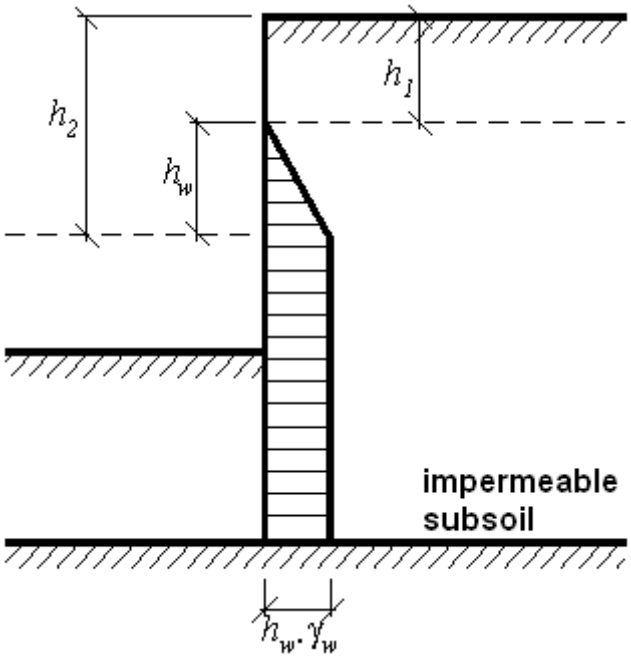
Oddziaływanie ciśnienia hydrostatycznego

Parcie hydrostatyczne, woda gruntowa za i przed konstrukcją



Parcie hydrostatyczne, woda gruntowa za i przed konstrukcją

Tylna krawędź konstrukcji jest osadzona w podłożu nieprzepuszczalnym, co zapobiega przepływowi wody pod konstrukcją. Zakłada się obciążenie na skutek wody przed i za konstrukcją. Woda przed konstrukcją usuwana jest działaniem grawitacji lub obniżana za pomocą pomp. Przód i tył konstrukcji jest obciążany ciśnieniem hydrostatycznym na skutek różnicy zwierciadeł wody (h_1 i h_2). Wymiar h_w przedstawia różnicę w zwierciadłach wody przed i za konstrukcją - patrz rysunek:



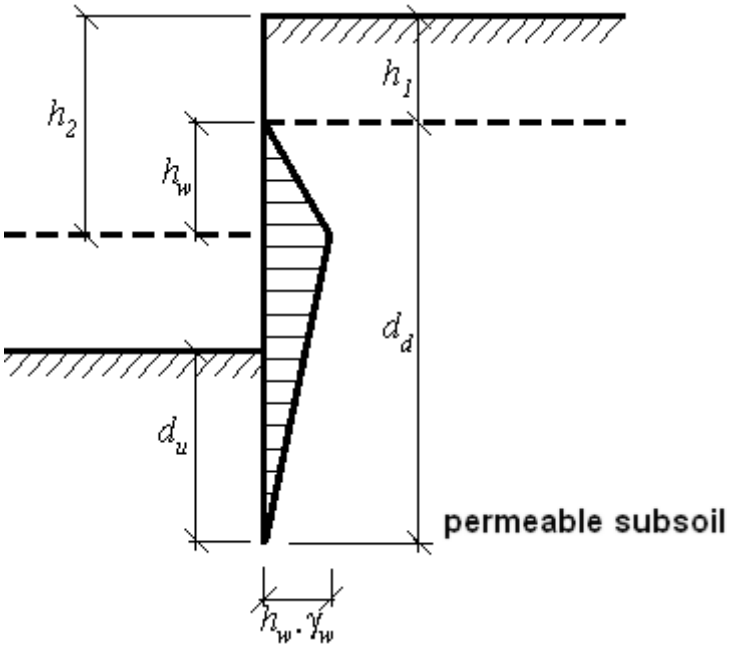
Oddziaływanie ciśnienia hydrostatycznego

Parcie hydrodynamiczne



Parcie hydrodynamiczne

Tylna krawędź konstrukcji osadzona jest na podłoży przepuszczalnym, które umożliwia swobodny przepływ wody pod konstrukcją - patrz rysunek. Ciężar jednostkowy gruntu unoszonego parciem od dołu γ_{su} jest modyfikowany w celu uwzględnienia ciśnienia przepływu. Modyfikacje te zależne są od kierunku przepływu wody.



Oddziaływanie ciśnienia hydrodynamicznego

Podczas obliczania parcia gruntu w obszarze opadającego przepływu, program wprowadza następującą wartość ciężaru jednostkowego gruntu:

$$\gamma = \gamma_{su} + \Delta\gamma = \gamma_{su} + i.\gamma_w$$

natomiast następującą wartość w obszarze wznoszącego przepływu:

$$\gamma = \gamma_{su} - \Delta\gamma = \gamma_{su} - i.\gamma_w$$

gdzie:
- γ_{su} - ciężar jednostkowy zanurzonego gruntu
- $\Delta\gamma$ - zmiana ciężaru jednostkowego gruntu
- i - współczynnik średniego przesączania
- γ_w - ciężar jednostkowy wody

Średnie zbocze hydrauliczne jest dane:

$$i = \frac{h_w}{d_d + d_u}$$

gdzie:
- i - współczynnik średniego przesączania
- h_w - różnica zwierciadeł wody
- d_d - opadająca ścieżka przesączania
- d_u - wznosząca ścieżka przesączania

Jeżeli zmiana ciężaru jednostkowego $\Delta\gamma$ wyznaczonego z:

$$\Delta\gamma = i.\gamma_w$$

gdzie:
- i - współczynnik średniego przesączania
- γ_w - ciężar jednostkowy wody

jest większy niż ciężar jednostkowy nawodnionego gruntu γ_{su}, wówczas występuje wypłukiwanie z przodu konstrukcji - w konsekwencji przepływu wody, grunt zachowuje się jak w nieważkości, a zatem nie może przenosić obciążeń. Program następnie wyświetla komunikat ostrzegawczy i przyjmuje wartość $\gamma = 0$. Wynik nie odpowiada wprowadzonym danym - jest bezpieczniejszy.

Specjalny rozkład parcia wody

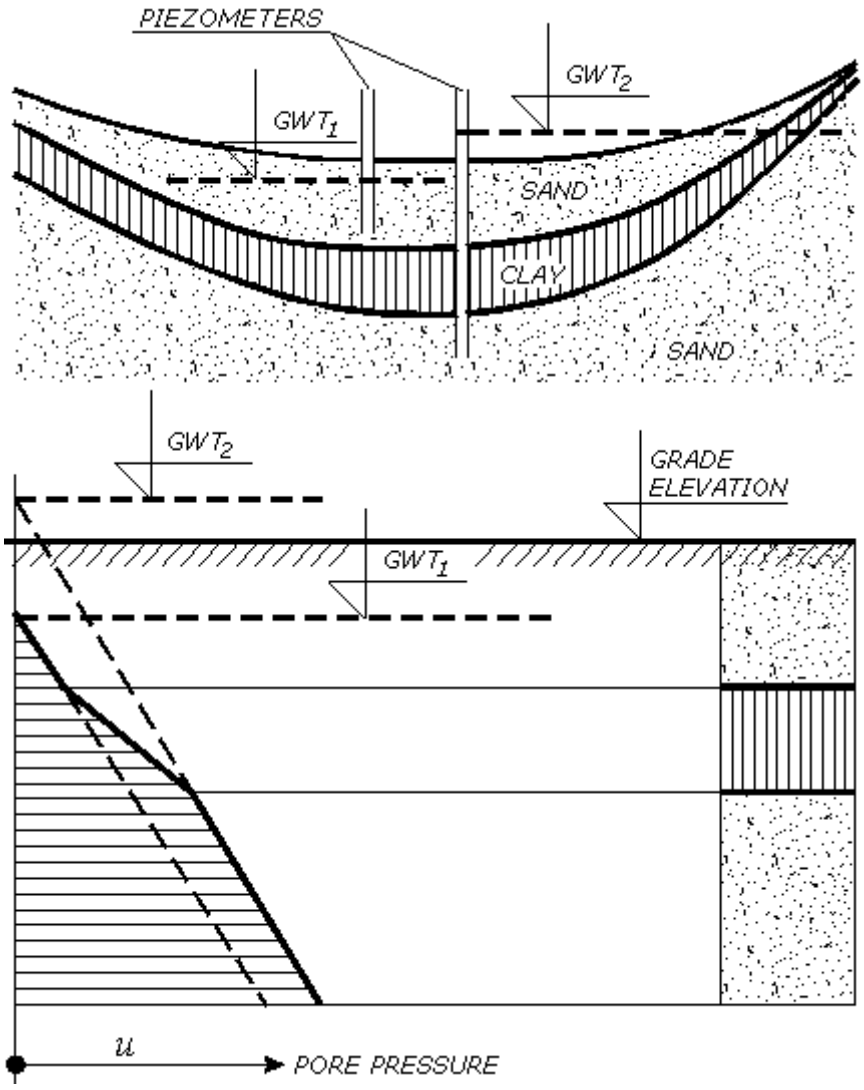


Specjalny rozkład parcia wody

Opcja ta umożliwia niezależne wprowadzenie (ręczne) rozkładu obciążenia na skutek wody z tyłu i z przodu konstrukcji za pomocą rzędnych ciśnienia porowego na różnych głębokościach. Różnica ciśnień pomiędzy poszczególnymi wartościami jest liniowa. Jednocześnie, istnieje konieczność wprowadzenia poziomów zwierciadeł pełnego nawodnienia gruntu z tyłu h_1 i z przodu h_2 konstrukcji, łącznie z możliwym zmniejszeniem ciężaru jednostkowego δ_y z przodu konstrukcji na skutek przepływu wody.

Przykład: Dwie oddzielone linie horyzontu wody gruntowej.

Istnieją dwie przepuszczalne warstwy (piasek i żwir) oddzielone jedną nieprzepuszczalną warstwą iłu, która powoduje rozdzielenie dwóch hydraulicznych linii horyzontu - patrz rysunek:



Przykład rozkładu ciśnienia porowego

Zmiana ciśnienia porowego nad warstwą iłu napędzana jest swobodnym zwierciadłem wody gruntowej GWT_1. Rozkład ciśnienia porowego pod warstwą iłu wynika ze stosunku w niższym, oddzielonym zwierciadle wody gruntowej GWT_2 gdzie woda gruntowa jest naprężana. Rozkład ciśnienia porowego w ile jest mniej więcej liniowy.

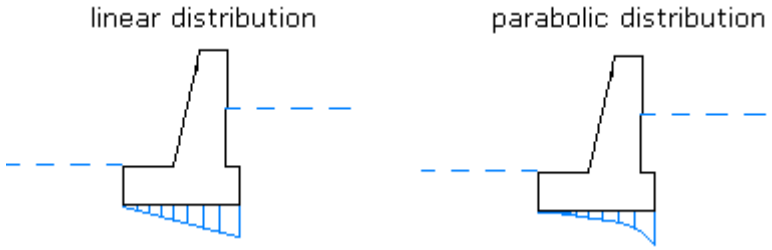
Przyciąganie powierzchniowe jest odzwierciedlone w analizie jedynie przez zwiększenie stopnia nawodnienia i dlatego wartość γ_{sat} jest wstawiana do parametrów gruntu.

W celu rozróżnienia regionów o różnym stopniu nawodnienia można wstawić kilka warstw tego samego gruntu o różnych ciężarach jednostkowych. Ujemne ciśnienie porowe nie jest uwzględniane. Jednak dla warstw o różnym stopniu nawodnienia można zastosować różne wartości wytrzymałości na ścinanie z uwzględnieniem ssania.

Wypór w podstawie fundamentu

Zmianę wyporu w podstawie fundamentu na skutek różnicy w zwierciadłach wody przyjmuje

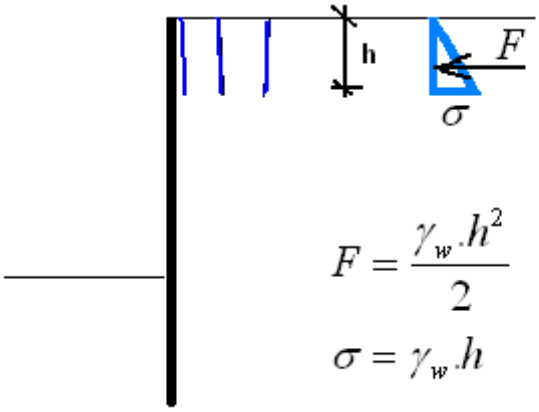
się zgodnie z oczekiwanym efektem liniow, parabolicznie lub nie jest uwzględniana.



Wypór w podstawie fundamentu

Wpływ rys rozciąganych

Program umożliwia uwzględnienie wpływu przypowierzchniowych rys rozciąganych wypełnionych wodą. Procedura analizy została przedstawiona na rysunku. Głębokość rys rozciąganych jest tylko parametrem wejściowym.



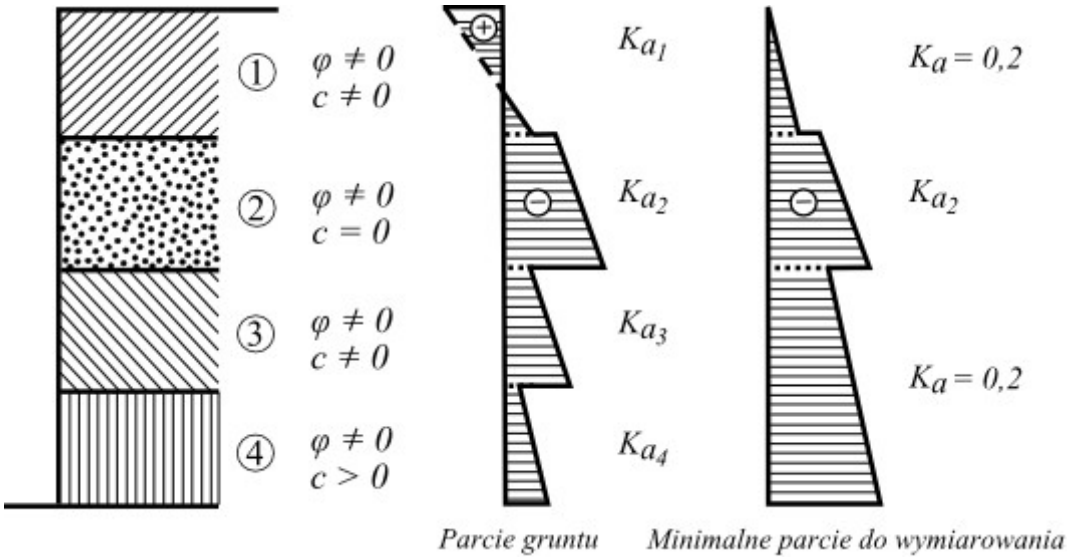
Wpływ rys rozciąganych

Minimalne parcie do wymiarowania

Podczas obliczania wielkości oraz rozkładu parć gruntu bardzo ciężko jest określić proporcje poszczególnych efektów. Sytuacja ta prowadzi do niepewności w wyznaczaniu wykresu obciążeń parć ziemi. W rzeczywistości, istnieje konieczność zastosowania w projekcie najbardziej niekorzystnego rozkładu, aby zapewnić bezpieczeństwo konstrukcji. Na przykład, w przypadku konstrukcji kotwowych w gruntach spoistych, przy stosowaniu rozsądnych wartości parametrów wytrzymałości gruntu wzdłuż całej konstrukcji mogą wystąpić naprężenia rozciągające w górnej części konstrukcji - patrz rysunek. Takie naprężenia rozciągające nie mogą jednak wywierać nacisku na konstrukcję ścianki (wskutek oddzielenie gruntu przez technologię budowy, izolacja i odwodnienie warstwy). W celu zapewnienia bezpiecznej konstrukcji ścianki szczególnie w miejscach pod powierzchnią gruntu, gdzie naprężenia rozciągające powstają podczas obliczeń czynnego parcia gruntu, program oferuje możliwość użycia opcji "**Minimalnego parcia do wymiarowania**" w analizie.

W celu wyznaczenia minimalnego parcia do wymiarowania, program stosuje alternatywny współczynnik $K_a = 0{,}2$ dla warstw gruntów spoistych jako minimalną wartość współczynnika czynnego parcia gruntu. Dlatego, zapewnia się, że wartość obliczonego czynnego parcia gruntu nie spadnie poniżej 20% parcia pionowego ($K_a \geq 0{,}2$) - patrz rysunek. Zastosowanie minimalnego parcia do wymiarowania zakłada na przykład możliwość zwiększenia parcia

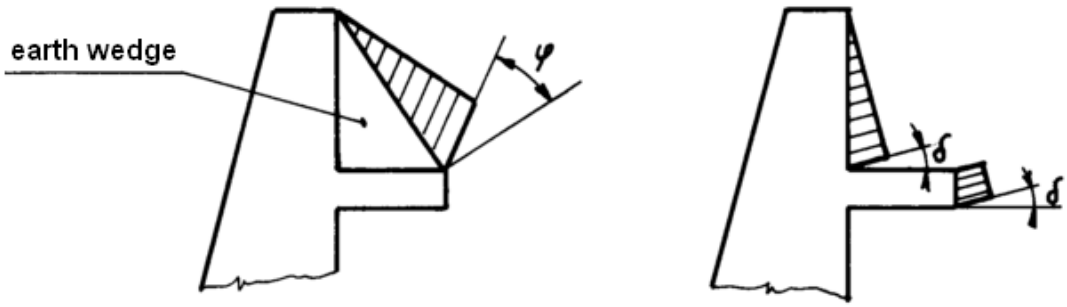
bocznego na skutek wypełnienia wodą deszczowa przekroju za konstrukcją ścianki. Jeżeli opcja minimalnego parcia do wymiarowania nie jest wybrana, wówczas program zakłada po prostu przerwanie naprężenia ($K_a \geq 0$).



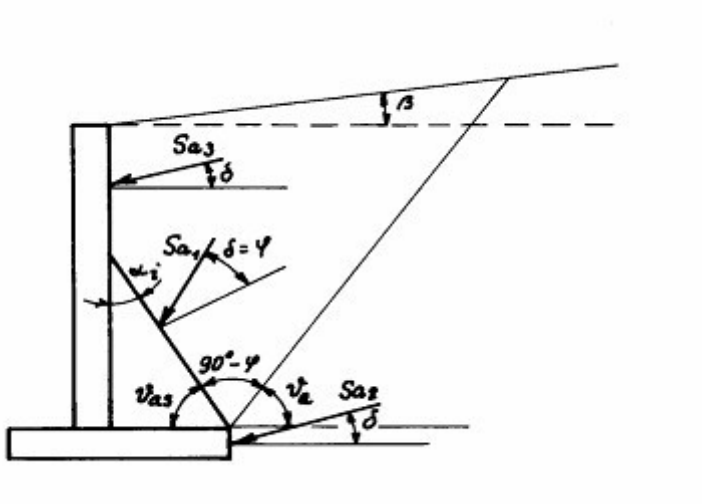
Minimalne parcie do wymiarowania

Klin parcia gruntu

Jeżeli konstrukcja z przekrojem wspornikowym (płyta fundamentowa ściany oporowej, modyfikacja w celu redukcji parć gruntu) jest rozważana podczas obliczania parć gruntu, istnieje wówczas możliwość obliczenia parć gruntu działających na rzeczywistą, tylną ścianę konstrukcji z wprowadzonym kątem tarcia $\delta \leq 2/3\varphi$ lub na alternatywną, tylną ścianę konstrukcji. Alternatywna tylna ściana konstrukcji zastępuje rzeczywistą ścianę łamaną płaszczyzną poślizgu przechodzącą od górnego punktu tyłu ściany w kierunku górnego punktu zewnętrznego przekroju i tworzy klin gruntu - patrz rysunek. Całkowicie zmobilizowany kąt tarcia $\delta = \varphi$ przyjmuje się wzdłuż tej płaszczyzny. Ciężar klina gruntu utworzonego pod alternatywną ścianą tylną przyczynia się dalej do obciążenia konstrukcji. W celu wprowadzenia alternatywnej, tylnej ściany konstrukcji do analizy należy wybrać opcję "**Tworzenie klina odłamu**" w programie "**Parcie**" GEO5. W pozostałych programach, klin gruntu jest tworzony automatycznie.



Obliczenie z oraz bez klina parcia gruntu



Wyznaczenie parcia klina odłamu w przypadku czynnego parcia gruntu

Powierzchnia poślizgu klina odłamu nachylona jest od linii poziomej pod kątem υ_a z:

$$\upsilon_a = \varphi + \varepsilon$$

$$tan\varepsilon = \frac{cos(\varphi-\alpha).sin(\varphi-\beta).cos(\alpha+\delta)+B.cos(\varphi-\beta-\alpha-\delta)}{sin(\varphi-\alpha).sin(\varphi-\beta).cos(\alpha+\delta)+B.sin(\varphi-\beta-\alpha-\delta)+M}$$

$$M = \sqrt{(sin(\varphi-\beta).cos(\beta-\alpha)+B).(sin(\varphi+\delta).cos(\alpha+\delta)+B)}$$

$$B = \frac{2.c.cos\,\alpha.cos(\beta-\alpha).cos\,\varphi}{\gamma.h.cos(\beta-\alpha)+\frac{2.\sigma_z.cos\,\alpha.cos\,\beta}{\gamma.h}}$$

gdzie:

φ	-	kąt wewnętrznego tarcia gruntu
β	-	nachylenie zbocza
δ	-	kąt tarcia konstrukcja - grunt
γ	-	ciężar jednostkowy gruntu
α	-	nachylenie tylnej ściany konstrukcji
h	-	wysokość klina odłamu

Kształt klina odłamu w podłożu warstwowym wyznaczany jest w taki sposób, że dla poszczególnych warstw gruntu nad fundamentem ściany program oblicza kąt υ_a, który następnie służy do określenia kąta υ_{as}. Dalej, program wyznacza przecięcie linii kreślonej pod kątem υ_{as} od górnego, prawego punktu bloku fundamentu z następną warstwą. Procedura następnie rysuje kolejną linię od poprzednio wyznaczonego przecięcia nachyloną pod kątem υ_{as}. Procedura kończy się, kiedy linia przecina teren lub powierzchnię ściany. Kształt klina jest dalej zakładany w formie trójkąta (przecięcie ze ścianą) lub prostokąta (przecięcie z terenem).

Wpływ obciążenia na parcia gruntu

Następujące typy obciążeń zostały wprowadzone w programie GEO5:

Czynne parcie gruntu

- Obciążenie powierzchniowe
- Obciążenie pasmowe
- Obciążenie trapezowe
- Obciążenie skupione
- Obciążenie liniowe
- Obciążenie poziome

Spoczynkowe parcie gruntu

- Obciążenie powierzchniowe
- Obciążenie pasmowe
- Obciążenie trapezowe
- Obciążenie skupione
- Obciążenie poziome

Bierne parcie gruntu

- Obciążenie powierzchniowe

Obciążenie powierzchniowe - czynne parcie gruntu

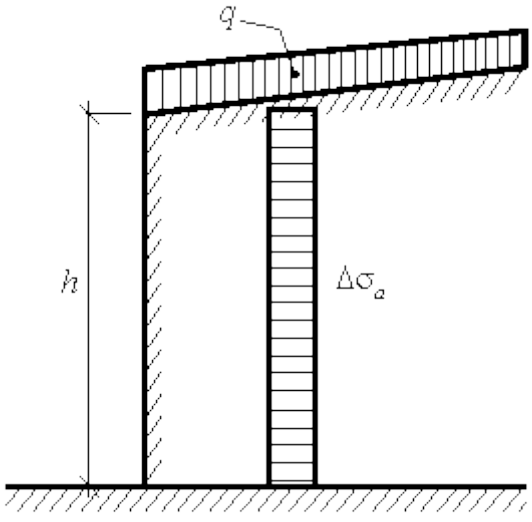
Przyrost czynnego parcia gruntu przy spoczynku na skutek obciążenia powierzchniowego wyznaczany jest z:

$$\Delta\sigma_a = p.K_a$$

gdzie: p - pionowe obciążenie jednolite

K_a - współczynnik czynnego parcia gruntu

Pionowe obciążenie jednolite p przyłożone do powierzchni gruntu wywiera na całej wysokości konstrukcji stały przyrost czynnego parcia gruntu - patrz rysunek:

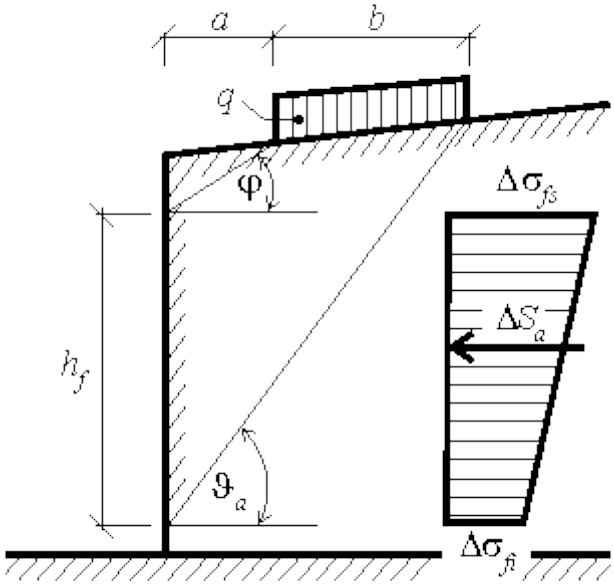


Przyrost czynnego parcia gruntu na skutek pionowego, jednolitego obciążenia powierzchni

gruntu

Obciążenie pasmowe - czynne parcie gruntu

Dla pionowego obciążenia pasmowego f_a działającego równolegle do konstrukcji na powierzchnię gruntu wzdłuż nieskończenie długiego pasa, zakłada się trapezowy przyrost czynnego parcia gruntu zastosowanego na konstrukcję w danym odcinku hf - patrz rysunek.



Wykres przyrostu czynnego parcia gruntu na skutek obciążenia pasmowego fa

Odcinek ten wyznaczany jest w miejscu przecięcia konstrukcji i linii nakreślonej od punktów krawędzi obciążenia pasmowego posiadającego zbocza związane z kątami φ i ϑ_a. Kąt ϑ_a odpowiadający maksymalnej powierzchni poślizgu wynika z:

$$\vartheta_a = \varphi + \varepsilon$$

Wzór ten został szczegółowo opisany w rozdziale "**Czynne parcie gruntu** - obciążenie liniowe".

Zmiana przyrostu parcia jest trapezowa; im większa intensywność $\Delta\sigma_{fs}$ jest stosowana na górnym końcu, tym mniejsza intensywność $\Delta\sigma_{fi}$ na dolnym końcu. Te dwa przyrosty są wyznaczane z:

$$\Delta\sigma_{fs} = \frac{f_a.b.K_{af}}{h_f}.\left(1+\frac{a}{a+b}\right)$$

$$\Delta\sigma_{fi} = \frac{f_a.b.K_{af}}{h_f}.\left(1-\frac{a}{a+b}\right)$$

gdzie: f_a - wielkość obciążenia pasmowego

b - szerokość obciążenia pasmowego działającego normalnie do konstrukcji

hf - kąt maksymalnej powierzchni poślizgu

$$K_{af} = \frac{sin(\vartheta_a - \varphi)}{cos(\vartheta_a - \varphi - \delta)}$$

gdzie:
- ϑ_a - kąt maksymalnej powierzchni poślizgu
- φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu
- δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt

Wynikowy przyrost czynnego parcia gruntu na skutek obciążenia pasmowego f_a wyznaczany jest z:

$$\Delta S_a = f_a.b.\frac{sin(\vartheta_a - \varphi)}{cos(\vartheta_a - \varphi - \delta)}$$

gdzie:
- ϑ_a - kąt maksymalnej powierzchni poślizgu
- φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu
- δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt
- f_a - wielkość obciążenia pasmowego
- b - szerokość obciążenia pasmowego

Dla gruntów niejednorodnych program postępuje w następujący sposób.

Obciążenie trapezowe - czynne parcie gruntu

Obciążenie trapezowe jest dzielone w programie na dziesięć odcinków. Poszczególne odcinki są traktowane jako obciążenia pasmowe. Wypadkowe parcie czynne jest sumą częściowych obciążeń uzyskanych z poszczególnych odcinków.

Obciążenie skupione - czynne parcie gruntu

Obciążone skupione (wypadkowa F na skutek obciążenia skupionego lub powierzchniowego - patrz rysunek) przekształcane w obciążenie liniowe o ograniczonej długości. Jeżeli szerokość obciążenia powierzchniowego b jest mniejsza od odległości a od tyłu ściany (patrz rysunek), wówczas alternatywne obciążenie liniowe f o długości $l+2(a+b)$ wynika ze wzoru:

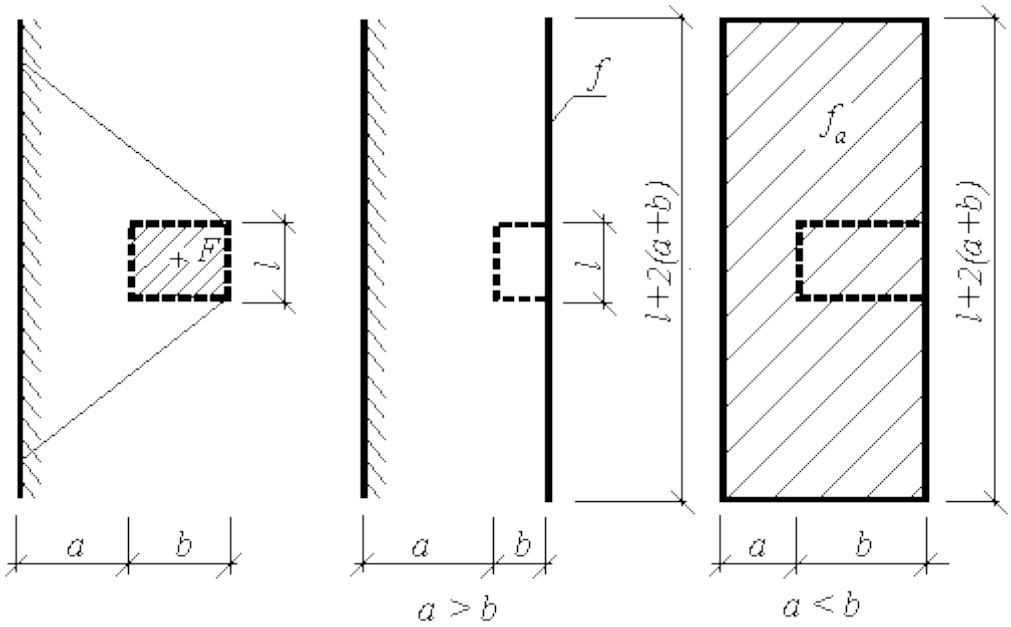
$$f = \frac{F}{l + 2.(a+b)}$$

gdzie:
- F - wypadkowa obciążenia powierzchniowego lub skupionego
- a - odległość obciążenia od tyłu ściany
- l - długość obciążenia
- b - szerokość obciążenia powierzchniowego

Jeżeli szerokość b obciążenia powierzchniowego jest większa od odległości a od tyłu ściany (patrz rysunek), alternatywne obciążenie pasmowe f o długości $l+2(a+b)$ i szerokości $(a+b)$ wynosi:

$$f_a = \frac{F}{(l + 2.(a+b)).(a+b)}$$

gdzie:
- F - wypadkowa obciążenia powierzchniowego lub skupionego
- a - odległość obciążenia od tyłu ściany
- l - długość obciążenia
- b - szerokość obciążenia powierzchniowego

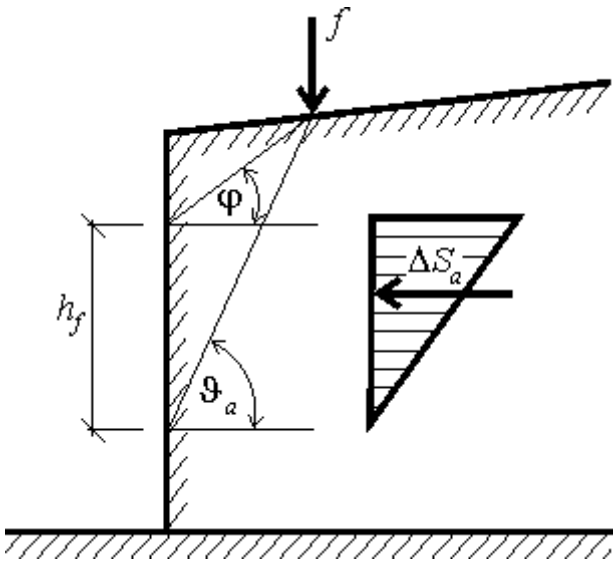


Obciążenie alternatywne do obliczenia przyrostu aktywnego parcia gruntu

Dla gruntów niejednorodnych program postępuje w następujący sposób.

Obciążenie liniowe - czynne parcie gruntu

Pionowe, nieskończenie długie obciążenie liniowe f działające na powierzchnie gruntu równolegle do konstrukcji prowadzi do trójkątnego przyrostu czynnego parcia gruntu na konstrukcję w danym odcinku h_f - patrz rysunek:



Wykres przyrostu czynnego parcia gruntu na skutek pionowego obciążenia liniowego działającego na powierzchnię gruntu

Działanie obciążenia liniowego wyznaczane jest w taki sposób, że dwie linie kreślone są od punktu przyłożenia następujących kątów φoraz ϑ_a (odpowiadające maksymalnej powierzchni poślizgu) z:

$$\vartheta_a = \varphi + \varepsilon$$

gdzie:
- φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu
- ε - kąt uzyskany z następujących wzorów

$$tan\varepsilon = \frac{cos(\varphi-\alpha).sin(\varphi-\beta).cos(\alpha+\delta)+B.cos(\varphi-\beta-\alpha-\delta)}{sin(\varphi-\alpha).sin(\varphi-\beta).cos(\alpha+\delta)+B.sin(\varphi-\beta-\alpha-\delta)+M}$$

$$M = \sqrt{(sin(\varphi-\beta).cos(\beta-\alpha)+B).(sin(\varphi+\delta).cos(\alpha+\delta)+B)}$$

$$B = \frac{2.c.cos\,\alpha.cos(\beta-\alpha).cos\,\varphi}{\gamma.h.cos(\beta-\alpha)+\frac{2.\sigma_z.cos\,\alpha.cos\,\beta}{\gamma.h}}$$

gdzie:
- β - nachylenie zbocza
- φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu
- δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt
- α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji
- c - spójność gruntu
- γ - ciężar jednostkowy gruntu
- h - przyjęta głębokość

Dla gruntu niejednorodnego i nachylenia powierzchni gruntu β mniejszej niż kąt wewnętrznego tarcia gruntu φ, wartość kąta ε wyznaczana jest z:

$$cot\,g = tg(\varphi-\alpha)+\frac{1}{cos(\varphi-\alpha)}\sqrt{\frac{sin(\varphi+\delta).cos(\alpha-\beta)}{sin(\varphi-\beta).cos(\alpha+\delta)}}$$

gdzie:
- β - nachylenie zbocza
- φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu
- δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt
- α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

Wypadkowa przyrostu czynnego parcia gruntu na skutek obciążenia liniowego f wynika z:

$$\Delta S_a = f.\frac{sin(\vartheta_a-\varphi)}{cos(\vartheta_a-\varphi-\delta)}$$

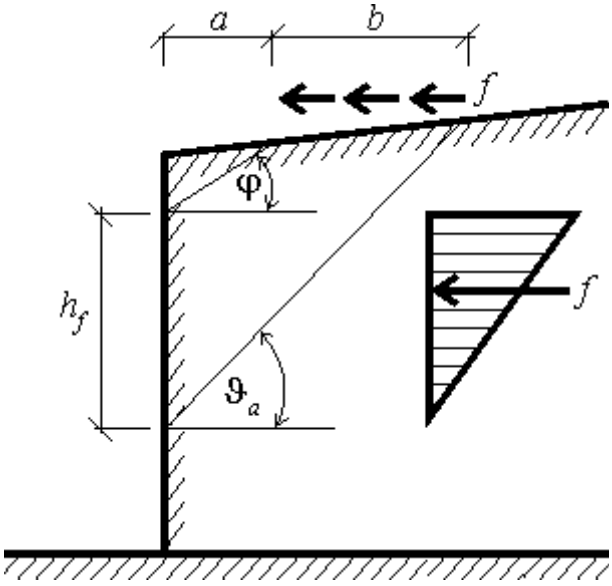
gdzie:
- ϑ_a - kąt maksymalnej płaszczyzny poślizgu
- φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu
- δ - kąt tarcia konstrukcja - grunt

f - wielkość obciążenia liniowego

Dla gruntów niejednorodnych program postępuje w następujący sposób.

Przyrost parcia gruntu pod wpływem obciążenia poziomego

Nieskończenie długie, równomierne obciążenie f oddziałujące poziomo na powierzchni terenu prowadzi do przyrostu parcia czynnego w postaci rozkładu trójkątnego na danej wysokości h_f - schemat pokazano na rysunku poniżej:



Wykresprzyrostu czynnego parcia gruntu pod wpływem równomiernego obciążenia poziomego oddziałującego na powierzchni terenu

Zakres oddziaływania na konstrukcję równomiernego obciążenia poziomego określają dwie linie wykreślone z końcowych punktów tego obciążenia pod kątem odpowiednio φ oraz ϑ_a (odpowiadającym krytycznej powierzchni poślizgu), na podstawie:

$$\vartheta_a = \varphi + \varepsilon$$

gdzie: φ - kąt tarcia wewnętrznego gruntu

ε - kąt wyznaczany na podstawie poniższych wzorów

$$tan\varepsilon = \frac{cos(\varphi-\alpha).sin(\varphi-\beta).cos(\alpha+\delta)+B.cos(\varphi-\beta-\alpha-\delta)}{sin(\varphi-\alpha).sin(\varphi-\beta).cos(\alpha+\delta)+B.sin(\varphi-\beta-\alpha-\delta)+M}$$

$$M = \sqrt{(sin(\varphi-\beta).cos(\beta-\alpha)+B).(sin(\varphi+\delta).cos(\alpha+\delta)+B)}$$

$$B = \frac{2.c.cos\,\alpha.cos(\beta-\alpha).cos\,\varphi}{\gamma.h.cos(\beta-\alpha)+\frac{2.\sigma_z.cos\,\alpha.cos\,\beta}{\gamma.h}}$$

gdzie: β - kąt nachylenia powierzchni terenu

φ - kąt tarcia wewnętrznego gruntu

δ - kąt tarcia pomiędzy konstrukcją i gruntem
α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji
c - spójność gruntu
γ - ciężar objętościowy gruntu
h - założona głębokość

Dla gruntów niejednorodnych i nachylenia powierzchni terenu β *mniejszego od kąta tarcia wewnętrznego gruntu* φ wartość kąta ε wyznacza się ze wzoru:

$$cot\, g = tg(\varphi - \alpha) + \frac{1}{cos(\varphi - \alpha)} \sqrt{\frac{sin(\varphi + \delta).cos(\alpha - \beta)}{sin(\varphi - \beta).cos(\alpha + \delta)}}$$

gdzie: β - kąt nachylenia powierzchni terenu
φ - kąt tarcia wewnętrznego gruntu
δ - kąt tarcia pomiędzy konstrukcją i gruntem
α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

Wypadkowa przyrostu parcia czynnego wywołanego obciążeniem liniowym f wynosi:

$$\Delta S_a = f.\frac{sin(\vartheta_a - \varphi)}{cos(\vartheta_a - \varphi - \delta)}$$

gdzie: ϑ_a - kąt nachylenia krytycznej powierzchni poślizgu
φ - kąt tarcia wewnętrznego gruntu
δ - kąt tarcia pomiędzy konstrukcją i gruntem
f - wartość obciążenia liniowego

W przypadku gruntów niejednorodnych program prowadzi obliczenia w sposób następujący.

Obciążenie powierzchniowe w gruntach niejednorodnych

Dla gruntów niejednorodnych należy postępować w następujący sposób:

- Obliczyć kąt ϑ_a dla danej warstwy gruntu.
- Wyznaczyć odpowiednią wielkość siły S_a i rozmiar wykresu parcia.
- Wyznaczyć wielkość parcia gruntu działającego pod dolną krawędzią danej warstwy oraz jego stosunek do ogólnej wielkości parcia.
- Obciążenie jest redukowane przez powyższy stosunek, następnie wyznaczane jest położenie tego obciążenia na górnej krawędzi następnej warstwy.
- Obliczyć ponownie kąt ϑ_a dla następnej warstwy i powtórzyć kroki aż do osiągnięcia spodu konstrukcji lub całkowitego wyczerpania obciążenia.

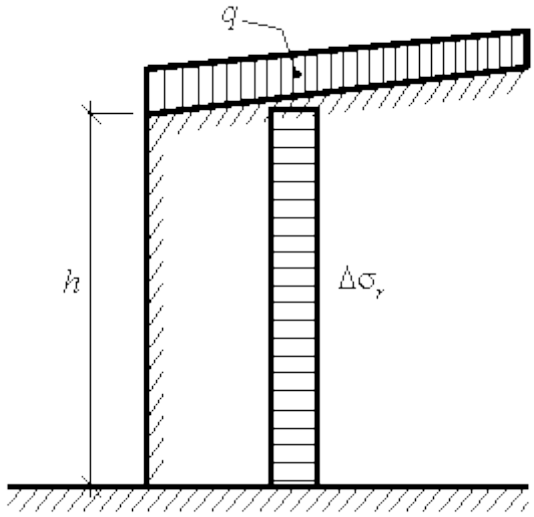
Obciążenie powierzchniowe - spoczynkowe parcie gruntu

Przyrost jednolicie rozłożonego spoczynkowego parcia gruntu $\Delta\sigma_r$ spowodowanego pionowym obciążeniem powierzchniowym na grunt za konstrukcją obliczane jest za pomocą następującego wzoru:

$$\Delta\sigma_r = f.K_r$$

gdzie: f - wielkość obciążenia powierzchniowego

K_r - współczynnik spoczynkowego parcia gruntu



Wykres przyrostu spoczynkowego parcia gruntu na skutek pionowego, jednolitego obciążenia powierzchniowego działającego na grunt

Obciążenie pasmowe - spoczynkowe parcie gruntu

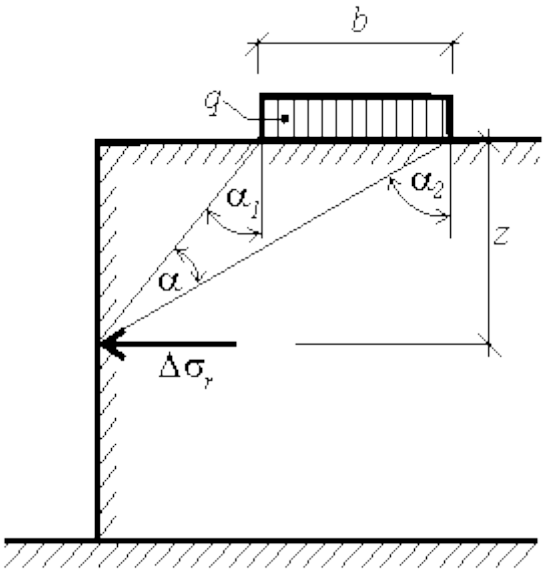
Jednolite obciążenie pasmowe f_a działające na powierzchnię gruntu za konstrukcją równolegle do konstrukcji pionowej (patrz rysunek) tworzy przyrost spoczynkowego parcia gruntu $\Delta\sigma_r$ posiadającego wartość wyznaczoną z:

$$\Delta\sigma_r = \frac{f_a}{\pi}\left(2.\alpha - sin2\alpha_2 + sin2\alpha_1\right)$$

gdzie: f_a - pionowe obciążenie pasmowe

α, α_1, α_2 - widoczne na rysunku

Przyrost parcia nie może być nigdy większy niż parcie od obciążenia powierzchniowego o tej samej wartości.



Przyrost parcia gruntu na skutek pionowego obciążenia pasmowego

Obciążenie trapezowe - spoczynkowe parcie gruntu

Obciążenie trapezowe jest dzielone w programie na pięć odcinków. Poszczególne odcinki traktowane są jako obciążenia pasmowe. Wypadkowe parcie gruntu jest sumą częściowych obciążeń uzyskanych z poszczególnych odcinków.

Obciążenie skupione - spoczynkowe parcie gruntu

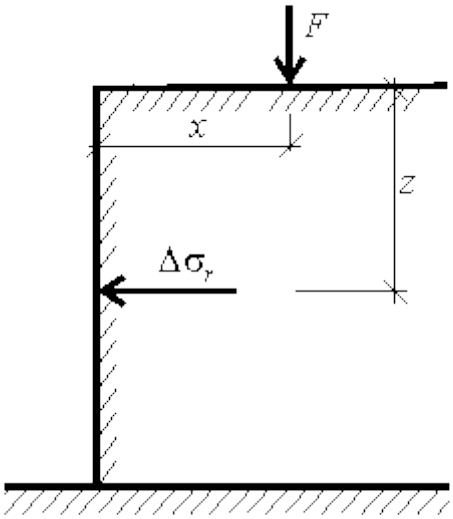
Przyłożenie siły skupionej F powoduje przyrost spoczynkowego parcia gruntu $\Delta\sigma_r$ działającego na konstrukcję pionową i posiadającego wartość:

$$\Delta\sigma_r = \frac{3.F}{\pi}\left(\frac{x^2.z}{r^5} + \frac{1-2.\nu}{3}.\left(\frac{1}{r.(r+z)} - \frac{(2.r+z).x^2}{(r+z)^2.x^3} - \frac{z}{r^3}\right)\right)$$

$$r = \sqrt{x^2 + z^2}$$

gdzie: F - skupiona siła działająca na powierzchnię gruntu

x,z - współrzędne widoczne na rysunku



Przyrost spoczynkowego parcia gruntu na skutek skupionej siły pionowej

Obciążenie powierzchniowe - bierne parcie gruntu

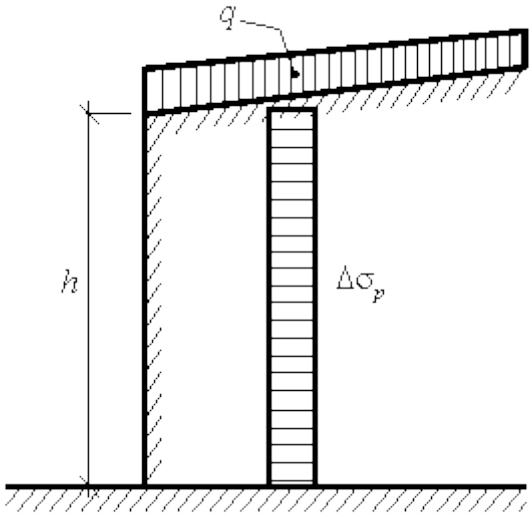
Dla biernego parcia gruntu wyznaczany jest tylko przyrost na skutek pionowego obciążenia jednolitego f_a ze wzoru:

$$\Delta\sigma_p = f_a.K_p$$

gdzie: f_a - pionowe obciążenie powierzchniowe

K_p - współczynnik biernego parcia gruntu

Pionowe obciążenie jednolite q działające na powierzchnię gruntu powoduje zatem stały przyrost parcia biernego na całą długość ściany - patrz rysunek.



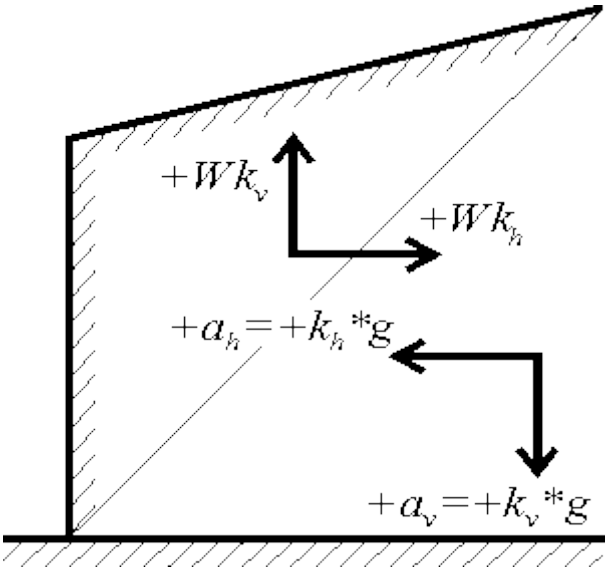
Przyrost biernego parcia gruntu

Wpływ obciążeń sejsmicznych

Obciążenia sejsmiczne zwiększają efekt parcia gruntu i redukują efekt parcia biernego. Teorie zastosowane w programach GEO5 (Mononobe-Okabe, Arrango, JTJ 004-89, JTS 146-2012, SL 203-97) NCMA-SRW) zakładają grunty bez spoistości oraz wpływu wody. Dlatego też, przyjmuje się, że wszystkie wprowadzone grunty są bez spoistości przy stosowaniu tych teorii, aby uwzględnić wpływ obciążeń sejsmicznych. Efekty obciążeń sejsmicznych na skutek obciążeń dodatkowych nie są uwzględniane w programie - użytkownik może wprowadzić te skutki (w zależności od typu obciążenia) jako "**Zdefiniowane siły**".

Przyjmuje się, że współczynnik k_h jest zawsze dodatni i taki, że jego skutki są zawsze niekorzystne. Współczynnik k_v może osiągać dodatnie jak i ujemne wartości. Jeżeli współczynnik przyspieszenia a_v działa w dół (od powierzchni gruntu), wówczas siły bezwładności k_v*W_s będą działały na klin gruntu w przeciwnym kierunku (unosząc klin). Zakłada się, że wartości równoważnego przyspieszenia a_v (a zatem również współczynnika k_v) i siły bezwładności k_v*W_s są dodatnie. Wyraźnie widać, że siły bezwładności działają w kierunku przeciwnym do przyspieszenia (jeżeli zakłada się przyspieszenie w dół - $a_v = - k_v*g$, wówczas siła bezwładności dociska klin gruntu do dołu: $-k_v*W_s$. Podczas badania skutków obciążeń sejsmicznych zakłada się kierunek z najbardziej niekorzystnymi wpływami na konstrukcję.

Dla konstrukcji ścianek istnieje możliwość zaniedbania wpływu pionowego przyspieszenia równoważnego k_v*W_s oraz dane wejściowe $k_v = 0$.



Konwencja znaków

Sejsmiczny kąt bezwładności wyznaczany jest ze współczynników k_h i k_v (tzn. kąt pomiędzy wypadkowymi siłami bezwładności oraz linią pionową) ze wzoru:

$$\psi = tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1-k_v}\right)$$

gdzie: k_v - współczynnik sejsmiczny przyspieszenia pionowego

k_h - współczynnik sejsmiczny przyspieszenia poziomego

Parcie z obciążeń sejsmicznych

Przyrost czynnego parcia gruntu na skutek obciążeń sejsmicznych (obliczany od dołu konstrukcji) wynika z:

$$\sigma_{ae,i} = \sigma_{0,i}\left(K_{ae,i} - K_{a,i}\right)$$

$$\sigma_{0,i} = \sum_{0}^{H} \gamma_i . h_i \left(1 - k_v\right)$$

gdzie:

- γ_i - ciężar jednostkowy gruntu w warstwie i^{tej}
- $K_{ae,i}$ - współczynnik czynnego parcia gruntu (statycznego i sejsmicznego) w warstwie i^{tej}
- K_a - wielkość parcia gruntu w warstwie i^{tej} wg Coulomb'a
- h_i - miąższość warstwy i^{tej}
- k_v - współczynnik sejsmiczny przyspieszenia pionowego

Redukcja parcia biernego ze względu na obciążenia sejsmiczne (liczona od dołu konstrukcji) wyznaczana jest następująco:

$$\sigma_{pe,i} = \sigma_{0,i}\left(K_{p,i} - K_{pe,i}\right)$$

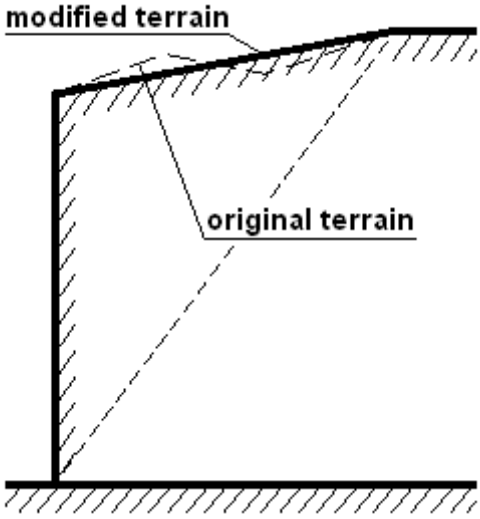
$$\sigma_{0,i} = \sum_{0}^{H} \gamma_i . h_i \left(1 - k_v\right)$$

gdzie:

- γ_i - ciężar jednostkowy gruntu w warstwie i^{tej}
- $K_{pe,i}$ - współczynnik biernego parcia gruntu (statycznego i sejsmicznego) w warstwie i^{tej}
- K_p - wartość parcia gruntu w warstwie i^{tej} według Coulomb'a
- h_i - miąższość i^{tej} warstwy
- k_v - współczynnik sejsmiczny przyspieszenia pionowego

Współczynniki czynnego i biernego parcia gruntu, odpowiednio: $K_{ae,i}$ i $K_{pe,i}$ obliczane są na postawie teorii Mononobe-Okabe lub teorii Arrango. Jeżeli w gruncie istnieje woda gruntowa, program uwzględnia ten fakt.

Podstawowym założeniem w programie przy obliczaniu obciążenia sejsmicznego jest płaska powierzchnia gruntu za konstrukcją o nachyleniu β. W przeciwnym razie, program aproksymuje kształt terenu przez płaską powierzchnię według rysunku:



Aproksymacja kształtu terenu

Punkt przyłożenia siły wypadkowej

Wypadkowa siła jest automatycznie ustawiana przez program w środku wykresu naprężenia. Różne teorie zalecają jednak różne położenia siły wypadkowej - z tego względu istnieje możliwość wybrania punktu przyłożenia siły wypadkowej w zakresie 0,33 - 0,7 H (H jest wysokością konstrukcji). Zalecaną wartością (domniemaną) jest 0,66H. Mając siłę wypadkową, program wyznacza kształt trapezowy naprężenia zachowując wprowadzony punkt przyłożenia siły wypadkowej oraz jej wielkość.

Teoria Mononobe - Okabe

Współczynnik K_{ae} dla aktywnego parcia gruntu wyznaczana jest z:

$$K_{ae}=\frac{\cos^2(\varphi-\psi-\alpha)}{\cos\psi\cos^2\alpha\cos(\psi+\alpha+\delta)\left(1+\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin(\varphi-\psi-\beta)}{\cos(\delta+\psi+\alpha)\cos(-\beta+\alpha)}}\right)^2}$$

Współczynnik K_{pe} dla biernego parcia gruntu wyznaczany jest z:

$$K_{pe}=\frac{\cos^2(\varphi-\psi+\alpha)}{\cos\psi\cos^2\alpha\cos(\psi-\alpha+\delta)\left(1-\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin(\varphi-\psi+\beta)}{\cos(\delta+\psi-\alpha)\cos(\beta-\alpha)}}\right)^2}$$

gdzie:
- γ - ciężar jednostkowy gruntu
- H - wysokość konstrukcji
- φ - kąt tarcia konstrukcja - grunt
- δ - kąt tarcia grunt - konstrukcja
- α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji
- β - nachylenie zbocza
- k_v - współczynnik sejsmiczny przyspieszenia pionowego

k_h - współczynnik sejsmiczny przyspieszenia poziomego

ψ - kąt bezwładności sejsmicznej

Dla aktywnego parcia gruntu, odchylenie sił sejsmicznych ψ musi być zawsze mniejsze lub równie różnicy kąta tarcia wewnętrznego a nachyleniem powierzchni gruntu (tzn. φ - β). Jeżeli wartość ψ jest większa, wówczas program przyjmuje wartość $\psi = \varphi$ - β. W przypadku biernego parcia gruntu, wartość odchylenia sił sejsmicznych ψ musi być zawsze mniejsza lub równa sumie kąta tarcia wewnętrznego i nachylenia powierzchni gruntu (tzn. $\varphi + \beta$). Wartości te są obliczane, a zmodyfikowany kąt może być wizualizowany jako dane wyjściowe - w drugim przypadku, słowo **MODIFIED** jest również wyświetlane.

Analysis of earthquake effects (active earth pressure) - partial results

Layer No.	thick. [m]	ϕ_d [°]	ψ [°]	K_a	K_{ae}	K_{ae}-K_a	Comment.
1	0.55	29.00	75.96	0.742	3.880	3.138	
2	0.48	29.00	75.96(17.69)	0.742	3.880	3.138	MODIFIED
3	1.30	29.00	75.96(17.69)	0.742	3.880	3.138	MODIFIED

Przykład danych wyjściowych programu

Literatura:

Mononobe N, Matsuo H 1929, On the determination of earth pressure during earthquakes. In Proc. Of the World Engineering Conf., Vol. 9, str. 176.

Okabe S> 1926 General theory of earth pressure. Journal of the japanese Societz of civl Enginners, tokz, Japan 12 (1).

Teoria Arrango

Program wykorzystuje teorię Coulomb'a do obliczenia wartości K_a i K_p jednocześnie uwzględniając wartości dynamiczne (α^*, β^*).

Dla czynnego parcia gruntu:

$$\beta^* = \beta + \psi$$
$$\alpha^* = \alpha + \psi$$

Dla biernego parcia gruntu:

$$\beta^* = \beta - \psi$$
$$\alpha^* = \alpha - \psi$$

gdzie: β - nachylenie zbocza

α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

ψ - nachylenie sił sejsmicznych

Współczynniki parć gruntu K_{ae} i K_{pe} wyznaczane są przez pomnożenie współczynników F_{ae} i F_{pe} odpowiednio przez wartości K_a i K_p.

$$F_{ae} = \frac{\cos^2(\alpha + \psi)}{\cos\psi . \cos^2\alpha}$$

$$F_{pe} = \frac{cos^2(\alpha - \psi)}{cos\,\psi . cos^2\,\alpha}$$

gdzie: α - nachylenie tylnej ściany konstrukcji

ψ - nachylenie sił sejsmicznych

Jeżeli wartość kąta β^* staje się większa niż φ, wówczas program przyjmuje wartość ($\beta^* = \varphi$).

Wartości obliczonego i zmodyfikowanego kąta β^* mogą być wizualizowane w danych wyjściowych - w drugim przypadku, wyświetlane jest również słowo **MODIFIED**. Obowiązkiem użytkownika jest sprawdzenie czy uzyskane wyniki są realistyczne.

Analysis of earthquake effects (active earth pressure) - partial results

Layer No.	thick. [m]	ϕ_d [°]	β [°]	ψ [°]	K_a	K_{ae}	K_{ae}-K_a	Comment.
1	0.30	26.50	71.43(26.50)	57.99	0.427	3.973	3.546	MODIFIED
2	0.80	26.50	71.43(26.50)	57.99	0.427	3.973	3.546	MODIFIED
3	0.40	26.50	71.43(26.50)	57.99	0.427	3.973	3.546	MODIFIED

Przykład danych wyjściowych programu

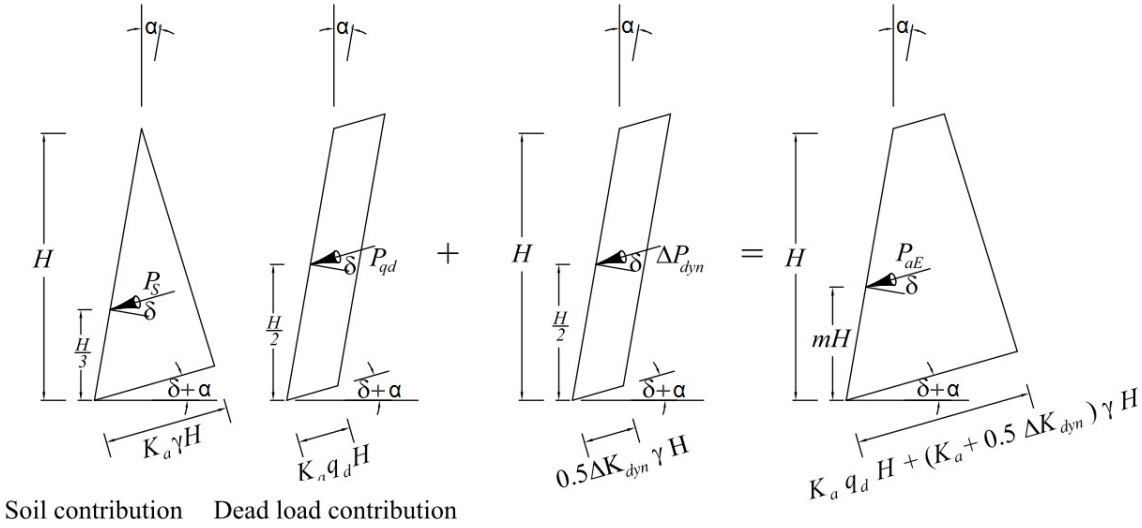
Literatura:

Design of sheet pile walls, Pile Buck Inc., Vero Beach, Florida, www.pilebuck.com

NCMA - SRW

Wyznaczanie sił dynamicznych zaczerpnięte zostało z publikacji *NCMA Design Manual for Segmental Retaining Walls 3rd Edition*.

Rozwiązanie bazuje na teorii Mononobe-Okabe, ale efekt dynamiczny parcia czynnego oddziałującego na ścianę jest redystrybuowany równomiernie na całej wysokości ściany (gruntu zbrojonego). Kolejną różnicą tej metody jest zastosowanie redukcji długości gruntu zbrojonego po połowę. Pozioma siła sejsmiczna jest następnie obliczana z tej zredukowanej długości.



Wpływ wody

Podczas analizy wpływu wody gruntowej na wartości parć gruntu program rozróżnia wodę związaną i swobodną. Jeśli ściana jest zalana wodą od strony frontowej wówczas wyznaczane jest parcie hydrodynamiczne oddziałujące na jej lico (front).

Woda związana

Ten typ stosuje w gruntach o niższej przepuszczalności - poniżej wartości $k = 1x10^{-3}\ cm/s$. W takich gruntach na przepływ wody wpływa na przykład rzeczywista wielkość ziaren (ich kształt i szorstkość) lub opór tarcia przylegającej wody. Ogólne wzory zaproponowane przez Mononobe-Okabe lub Arrango stosowane są do analizy wpływów obciążeń sejsmicznych. Jedyna różnica polega na zastąpieniu wartości kąta sejsmicznego ψ by ψ^*:

$$\psi^* = tan^{-1}\left(\frac{\gamma_{sat}.k_h}{\gamma_{su}.(1-k_v)}\right)$$

gdzie:
- γ_{sat} - ciężar jednostkowy całkowicie nawodnionego gruntu
- γ_{su} - ciężar jednostkowy zanurzonego gruntu
- k_h - współczynnik sejsmiczny przyspieszenia poziomego
- k_v - współczynnik sejsmiczny przyspieszenia pionowego

Woda swobodna

Ten typ stosuje się w gruntach o niższej przepuszczalności - powyżej wartości $k > 1x10^{-1}\ cm/s$. W takich gruntach przyjmuje się, że przepływ wody w porach jest mniej więcej niezależny od ziaren gruntu (np. burzliwy przepływ w gruncie gruboziarnistym). Ogólne wzory zaproponowane przez Mononobe-Okabe lub Arrango stosowane są do analizy wpływów obciążeń sejsmicznych. Jedyna różnica polega na zastąpieniu wartości kąta sejsmicznego ψ_e by ψ_e^+:

$$\psi^{+} = tan^{-1}\left(\frac{k_{he}^{+}}{1-k_v}\right)$$

$$k_{he}^{+} = \frac{\gamma_d}{\gamma_{su}}.k_h = \frac{G_s}{G_s - 1}.k_h$$

gdzie: γ_d - ciężar jednostkowy suchego gruntu

γ_{su} - ciężar jednostkowy zanurzonego gruntu

k_h - współczynnik sejsmiczny przyspieszenia poziomego

k_v - współczynnik sejsmiczny przyspieszenia pionowego

G_S - ciężar właściwy ziaren gruntu

$$G_s = \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

gdzie: ρ_S - gęstość brył gruntu

ρ_w - gęstość wody

Poza parciem dynamicznym, konstrukcja jest również obciążana parciem hydrodynamicznym powodowanym swobodną wodą, co wyrażane jest parciem dynamicznym na konstrukcje. Rzeczywisty rozkład paraboliczny jest aproksymowany w programie rozkładem trapezowym.

Wypadkowa parcia hydrodynamicznego **za konstrukcją** P_{wd} jest odległa o y_{wd} od krawędzi konstrukcji:

$$y_{wd} = 0{,}4.H$$

gdzie: H - wysokość konstrukcji

a wielkość wynika z:

$$P_{wd} = {}^{7}\!/_{12}.k_h.\gamma_w.H^2$$

gdzie: γ_w - ciężar jednostkowy wody

k_h - współczynnik sejsmiczny przyspieszenia poziomego

H - wysokość konstrukcji

Parcie hydrodynamiczne oddziałujące na lico ściany

Wypadkowa parcia hydrodynamicznego **na lico ściany** P_{wd} jest odległa o y_{wd} od krawędzi konstrukcji:

$$y_{wd} = 0{,}4.H$$

gdzie: H - wysokość konstrukcji

a wielkość wynika z:

$$P_{wd} = {}^{7}\!/_{12}.k_h.\gamma_w.H^2$$

gdzie: γ_w - ciężar jednostkowy wody

k_h - współczynnik sejsmiczny przyspieszenia poziomego

H - wysokość konstrukcji

EN 1998-5 Oddziaływania sejsmiczne

W przypadku gdy obliczenia prowadzone są według PN-EN 1998-5:2005 (U) ”Eurokod 8: Projektowanie konstrukcji poddanych oddziaływaniom sejsmicznym - Część 5: Fundamenty, konstrukcje oporowe i inne zagadnienia geotechniczne”, a współczynniki k_h oraz k_v nie pochodzą z badań in situ, konieczne jest zdefiniowanie ręczne tych parametrów w następujący sposób:

$$k_h = \alpha . \frac{S}{R}$$

gdzie: α - stosunek obliczeniowego przyspieszenia gruntu typu A względem przyspieszenia ziemskiego (a_g / g)

S - współczynnik do gruntu zdefiniowany w EN 1998-1:2004, rozdział 3.2.2.2

R - współczynnik do wyznaczania współczynnika sejsmicznego przyspieszenia poziomego - por. tab.

dla: $\frac{a_{vg}}{a_g} > 0{,}6$ $\quad k_v = \pm 0{,}5 . k_h$

w innych: $\quad k_v = \pm 0{,}33 . k_h$

Typ obudowy	R
Swobodne ściany oporowe, w których można dopuścić przemieszczenie do $d_r = 300 \alpha S$ (mm)	*2*
Swobodne ściany oporowe, w których można dopuścić przemieszczenie do $d_r = 200 \alpha S$ (mm)	*1,5*
Zginane ściany żelbetowe, kotwione lub rozpierane, żelbetowe ściany posadowione na pionowych palach, ograniczone ściany podziemia i przyczółki mostowe	*1*

Szczegółowy opis można znaleźć w normie EN 1998-5: rozdział 7.3.2.2 Oddziaływania sejsmiczne.

Siły od parcia spoczynkowego oddziałującego na sztywną konstrukcję

W analizie z uwzględnieniem obciążeń sejsmicznych parcie spoczynkowe oddziałuje na sztywną konstrukcję (np. trzon ścian kątowych).

$$F = k_h . \gamma . H^2$$

gdzie: H - wysokość konstrukcji

k_h - współczynnik sejsmiczny przyspieszenia poziomego

γ - ciężar jednostkowy gruntu

Siła wypadkowa oddziałuje w połowie wysokości konstrukcji.

Wpływ obciążeń sejsmicznych według norm chińskich

W programach dostępne są trzy różne normy chińskie dotyczące uwzględniania wpływu obciążeń sejsmicznych w projektowaniu różnego typu ścian oporowych, JTJ 004-89 (**Specifications of Earthquake Resistance Design for Highway Engineering**), SL 203-97 **(Specification for seismic design of hydraulic structures**), JTS 146-2012 (**Code for seismic Design of Water Transport Engineering**). Wszystkie wymienione metody bazują na teorii Mononobe-Okabe. Podstawowa różnica pomiędzy normami chińskimi i teorią Mononobe-Okabe jest taka, że w normach chińskich wprowadzony został ogólny współczynnik wpływu C_z redukujący siłe sejsmiczną o około 70 $\%$.

Zaletą wyboru norm chińskich do analizy zagadnień sejsmicznych jest brak konieczności definiowania wielu parametrów. Użytkownik musi jedynie wybrać intensywność obciążeń sejsmicznych, na podstawie których program automatycznie dobiera wartości innych parametrów zgodnie z odpowiednimi normami.

Earthquake_Chinese_Standards_JTJ_004_89

Only horizontal seismic force is considered according to JTJ 004-89.

Seismic force on structure

Seismic force acting on structure is provided by (Art. 3.1.5):

$$E_{ihw} = C_i C_z K_h \psi_{iw} G_{iw}$$

where: E_{ihw} - seismic force acting at the center of gravity of the wall above the i^{th} cross section $[kN/m]$

K_h - coefficient of horizontal seismic acceleration

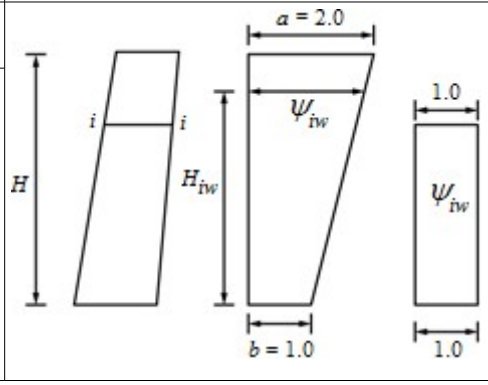
G_{iw} - weight of the structure above the ith cross section $[kN/m]$

C_z - comprehensive influence factor, usually it's 0.25

C_i - importance coefficient for seismic design

ψ_{iw} - distribution coefficient of horizontal earthquake along the wall

Recommended value of distribution coefficient ψ_{iw} (Tbl. 3.1.5):

Wall Height $[m]$	**Security level**		**Calculation diagram for** ψ_{iw}
	Highway, A class and B class motorway	C class and D class motorway	
$H \leq 12$	$\psi_{iw} = 1$	$\psi_{iw} = 1$	
$H > 12$	$\psi_{iw} = 1 + \frac{H_{iw}}{H}$	$\psi_{iw} = 1$	

ψ_{iw} isn't considered when $H \leq 12\ m$ which means parameter a and b don't work when $H \leq 12\ m$. a is the top value of the distribution map and b is the bottom value of the distribution map.

Seismic earth pressure

When computing seismic earth pressure, Coulomb theory is used and unite weight of soil γ, internal friction angle of soil φ and angle of friction structure-soil δ is replaced by γ / cos θ, sdasdasd φ - θ, $\delta + \theta$, where θ is seismic angle (Art. 3.1.6).

Seismic angel θ is determined by different option of seismic fortification intensity.

Water influence

Water influence according to Chinese standard is a little different from the water influence according to Mononobe-Okabe or Arrango theory by reducing the water influence using comprehensive influence factor C_z.

Seismic bearing capacity of subsoil

Seismic bearing capacity of subsoil is provided by (Art. 2.2.1):

$$f_{aE} = \zeta_a f_a$$

where: f_{aE} - seismic bearing capacity of subsoil

ξ_a - adjusting coefficient for seismic bearing capacity

f_a - characteristic value of bearing capacity which has been modified by the geometry of foundation

The above formula is as same as Art. 4.2.3 in GB 50011-2010 (Code for seismic design of buildings). Suggested values of ξ_a by different standards can be found here.

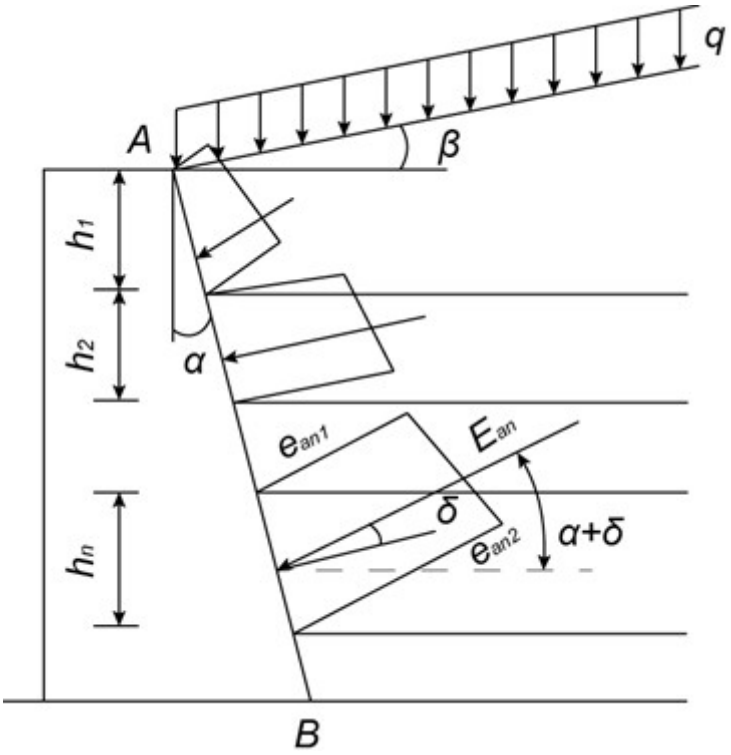
Influence of Earthquake according to JTS 146-2012

Only horizontal seismic force is considered according to JTS 146-2012.

Seismic force on structure

Calculation of seismic force acting on structure is as same as JTJ 004-89. Values of Cz can be set from 0.2 to 0.5 suggested by Art. 5.2 in JTS 146-2012.

Seismic earth pressure



Distribution of seismic active pressure (Fig. 5.3.1)

The only difference between JTS 146-2012 and JTJ 004-89 is that seismic earth pressure according to JTS 146-2012 considers the influence of cohesion.

Active seismic earth pressure is provided by (Art. 5.3.1):

$$E_{an} = \frac{1}{2}\left(e_{an1} + e_{an2}\right)\frac{h_n}{\cos\alpha}$$

where:

$$e_{an1} = \left(K_q\, q + \sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i\, h_i\right) K_{an} \cos\alpha - 2c_n K_{acn} \cos\alpha$$

$$e_{an2} = \left(K_q\, q + \sum_{i=0}^{n} \gamma_i\, h_i\right) K_{an} \cos\alpha - 2c_n K_{acn} \cos\alpha$$

$$K_q = \frac{\cos\alpha}{\cos(\alpha - \beta)}$$

$$K_{an} = \frac{\cos^2(\varphi_n - \alpha - \theta)}{\cos\theta \cos^2\alpha \cos(\delta_n + \theta + \alpha)\left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi_n + \delta_n)\sin(\varphi_n - \beta - \theta)}{\cos(\delta_n + \theta + \alpha)\cos(\alpha - \beta)}}\right)^2}$$

$$K_{acn} = \frac{\cos(\alpha - \beta)\cos\varphi_n}{\cos\theta \cos\alpha\left[1 + \sin(\varphi_n + \delta_n - \beta + \alpha)\right]}$$

E_{an} overall active pressure acting on n^{th} layer $[kN/m]$

b

where:

e_{an1} active pressure acting on the top of the n^{th} layer $[kPa]$

e_{an2} active pressure acting on the bottom of the n^{th} layer $[kPa]$

h_n thickness of n^{th} layer $[m]$

α back face inclination of the structure [°]

K_q coefficient

q uniform load acting on the terrain $[kPa]$

γ_i unit weight of ith layer $[kN/m^3]$, below water - buoyant unit weight is accepted

h_i thickness of the i^{th} layer $[m]$

K_{an} coefficient of active pressure of n^{th} layer

c_n standard value of cohesion of n^{th} layer $[kPa]$

K_{ac} coefficient of seismic active pressure of n^{th} layer

β slope inclination [°], and $|\beta| < \varphi$

φ_n internal friction angle of n^{th} layer [°]

θ seismic angel [°]

δ_n angle of friction structure - soil of n^{th} layer [°]

Passive seismic earth pressure is provided by (Art. 5.3.2):

$$E_{pn} = \frac{1}{2}\left(e_{pn1} + e_{pn2}\right)\frac{h_n}{\cos\alpha}$$

where:

$$e_{pn1} = \left(K_q \, q + \sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i \, h_i \right) K_{pn} \cos\alpha + 2c_n K_{pcn} \cos\alpha$$

$$e_{pn2} = \left(K_q \, q + \sum_{i=0}^{n} \gamma_i \, h_i \right) K_{pn} \cos\alpha + 2c_n K_{pcn} \cos\alpha$$

$$K_q = \frac{\cos\alpha}{\cos(\alpha - \beta)}$$

$$K_{pn} = \frac{\cos^2(\varphi_n + \alpha - \theta)}{\cos\theta \cos^2\alpha \cos(\delta_n + \theta - \alpha)\left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi_n + \delta_n)\sin(\varphi_n + \beta - \theta)}{\cos(\delta_n + \theta - \alpha)\cos(\alpha - \beta)}}\right)^2}$$

$$K_{pcn} = \frac{\cos(\alpha - \beta)\cos\varphi_n}{\cos\theta \cos\alpha [1 - \sin(\varphi_n + \delta_n + \beta - \alpha)]}$$

Seismic angel θ is determined by different options of seismic fortification intensity.

Water influence

Water influence according to Chinese standard is a little different from the water influence according to Mononobe-Okabe or Arrango theory by reducing the water influence using comprehensive influence factor C_z.

Seismic bearing capacity of subsoil

Calculation of seismic bearing capacity of subsoil is as same as JTJ 004-89.

Influence of Earthquake according to SL 203-97

Both horizontal and vertical seismic force can be considered according to SL 203-97. In SL 203-97, seismic angle θ is derived automatically from K_h, so seismic angle θ and seismic angle blow water θ' are not visible in the frame.

Seismic force on structure

Calculation of horizontal seismic force acting on structure is as same as JTJ 004-89.

Vertical seismic force acting on structure is provided by (Art. 4.1.8):

$$E_{ivw} = C_0 \frac{E_{ihw}}{K_h} K_v$$

where:
- E_{ivw} - vertical seismic force acting at the center of gravity of the wall above the i^{th} cross section $[kN/m]$
- E_{ihw} - horizontal seismic force acting at the center of gravity of the wall above the ith cross section $[kN/m]$
- k_h - coefficient of horizontal seismic acceleration
- k_v - coefficient of vertical seismic acceleration, usually, it's $\pm 2/3 K_h$ (Art. 4.3.2)
- G_{iw} - weight of the structure above the i^{th} cross section $[kN/m]$
- C_0 - meeting coefficient related to the influence of horizontal seismic effect,

usually, it's 0.5.

Seismic earth pressure

Calculation of seismic earth pressure is as same as JTJ 004-89. The only difference between SL 203-97 and JTJ 004-89 is that SL 203-97 has no "user defined - input K_h, θ" as an option for seismic fortification intensity.

Water influence

Water influence according to Chinese standard is a little different from the water influence according to Mononobe-Okabe or Arrango theory by reducing the water influence using comprehensive influence factor C_z.

Seismic bearing capacity of subsoil

Calculation of seismic bearing capacity of subsoil is as same as JTJ 004-89.

Seismic Fortification Intensity according to Chinese Standards

There are three main kinds of option for seismic fortification intensity according Chinese standards. Horizontal seismic acceleration coefficient K_h and seismic angle θ are determined according to what option is selected for seismic fortification intensity.

- 7 degree ($0.1g$), 7 degree ($0.15g$), 8 degree ($0.2g$), 8 degree ($0.3g$), 9 degree ($0.4g$): K_h and seismic angel s are determined according to corresponding seismic fortification intensity based on standards.
- User defined - input K_h: K_h is inputted by user and θ is determined by (Art. 4.9.1 from SL 203-97)

$$\theta = \arctan\left(\frac{C_z C_i K_h}{1 - C_z C_i K_v}\right)$$

- User defined - input K_h, θ: K_h and θ are both inputted by user.

Note: Third option is only valid for JTJ 004-89 and JTS 146-2012.

Values of K_h and θ according to corresponding seismic fortification intensity are given by the following tables:

For JTJ 004-89 (Tbl. 1.0.7 and Tbl. 3.1.6 from JTJ 004-89)

Seismic fortification intensity	7 degree		8 degree		9 degree
Coefficient of horizontal seismic acceleration K_h	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
Seismic angel θ	1.5°	2.3°	3.0°	4.5°	6.0°

Note: 7 degree ($0.15g$) and 8 degree ($0.30g$) are not from JTJ 004-89, because there are no value for these two situations in JTJ 004-89. They are from JTS 146-2012.

For JTS 146-2012 (Tbl. 5.3.1 from JTS 146-2012)

Seismic fortification intensity	7 degree		8 degree		9 degree
Coefficient of horizontal seismic acceleration K_h	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
Seismic angel θ	1.5°	2.3°	3.0°	4.5°	6.0°

For SL 203-97 (Tbl. 4.3.1 from SL 203-97)

Seismic fortification intensity	7 degree		8 degree		9 degree
Coefficient of horizontal seismic acceleration K_h	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40

Water Influence according to Chinese Standards

Seismic water influence can be dived into two parts - influence on seismic earth pressure and dynamic water pressure. Similar to water influence according to Mononobe-Okabe or Arrango theory, water influence according to Chinese standards also has two types water influence - confined water and unconfined water. The main difference between Monobe-Okabe theory and Chinese standards is that Chinese standards reduce the water influence using comprehensive influence factor C_z.

Confined water

This type is used in soils with lower permeability - app. below the value of $k = 1*10^{-3}\ cm/s$. When confined water is chosen, dynamic water pressure is not considered. The only difference from soils without water is that seismic angle used in calculation of seismic earth pressure is replaced by seismic angle below water θ'.

Value of seismic angle below water θ' is determined by the following two options:

1. By seismic fortification intensity - value of θ' is provided by the following tables:

For JTJ 004-89 (Tbl. 3.1.6 from JTJ 004-89)

Seismic fortification intensity	7 degree		8 degree		9 degree
Coefficient of horizontal seismic acceleration K_h	0.10g	0.15g	0.20g	0.30g	0.40g
Seismic angel θ	2.5°	4.5°	5.0°	9.0°	10.0°

For JTS 146-2012 (Tbl. 5.3.1 from JTS 146-2012)

Seismic fortification intensity	7 degree		8 degree		9 degree
Coefficient of horizontal seismic acceleration K_h	0.10g	0.15g	0.20g	0.30g	0.40g
Seismic angel θ'	3.0°	4.5°	6.0°	9.0°	12.0°

2. Input seismic angle - value of θ' is input by users. When this option is chosen, the default value of θ' is provided by:

$$\theta' = \arctan\left(\frac{\gamma_{sat} C_z C_i K_h}{\gamma_{sat}\left(1 - C_o C_z C_i K_v\right)}\right)$$

If you have no idea about how to calculate the value of θ', you can use the default.

Note: For SL 203-97, there are no additional options for confined water. θ' is calculated automatically according to the above formula.

Unconfined water

This type is used in soils with higher permeability - app. above the value of $k > 1*10^{-1}\ cm/s$. When unconfined water is chosen, both influence on earth pressure and dynamic water pressure is considered.

Value of seismic angle below water θ' is determined by the following three options:

1. By seismic fortification intensity - same to confined water.
2. Input seismic angle - same to confined water.
3. Input specific gravity of soil particles - value of θ' is provided by:

$$\theta' = \arctan\left(\frac{K_{hs}^{+}}{1 - C_o C_z C_i K_v}\right)$$

where:

$$K_{hs}^{+} = \frac{\gamma_d}{\gamma_{su}} C_z C_i K_h = \frac{G_s}{G_s - 1} C_z C_i K_h$$

Note: For SL 203-97, there are no additional options for unconfined water. θ' is calculated automatically according to the above formula.

Dynamic water pressure is calculated according to the standard chosen.

For JTJ 004-89 (Art. 4.2.11 from JTJ 004-89):

$$E_w = 0.24\, C_i\, K_h\, \gamma_w d^2$$

where: E_W - over all dynamic water pressure acting on the structure [kN]

C_i - importance coefficient for seismic design

γw - unit weight of water [kN/m^3]

d - depth of water above the heel of the structure [m]

Distribution of dynamic water pressure is constant along the structure.

For JTS 146-2012 (Art. 5.4.1 from JTS 146-2012):

$$p_z = \frac{7}{8}\eta\, C_i C_z\, K_h\, \gamma_w d^{\frac{1}{2}} Z^{\frac{1}{2}}$$

where:

$$\eta = th\frac{\pi b}{4d}$$

where: p_z - dynamic water pressure at depth Z [kPa]

η - reduction factor, for walls, it equals to 1.0

Z - distance between calculation point and water table [m]

d - depth of water above the heel of the structure [m]

b - width of water table $[m]$

For SL 203-97 (Art. 6.1.9 from SL 203-97):

$$p_z = C_z C_i K_h \gamma_w d \, \psi(Z)$$

where: p_z - dynamic water pressure at depth Z $[kPa]$

d - depth of water above the heel of the structure $[m]$

$\psi(Z)$ - distribution coefficient of dynamic water pressure at depth Z

Value of $\psi(Z)$ is provide by the following table (Tbl. 6.1.9 from SL 203-97):

Importance Coefficient for Seismic Design Ci

Values of importance coefficient for seismic design C_i (Tbl. 1.0.4 from JTJ 004-89):

The importance of the motorway	Important coefficient for seismic design C_i
Important Highway and A class motorway	1.7
Highway and A class motorway or important B class motorway	1.3
B class motorway or important C class motorway	1.0
C class motorway or important D class motorway	0.6

Values of importance coefficient for seismic design Ci (Tbl. 1.0.4 from JTG TB02-01-2008):

Importance of the bridge	E1 seismic effect	E2 seismic effect
A class	1.0	1.7
B class	0.43 (0.5)	1.3 (1.7)
C class	0.34	1.0
D class	0.23	-

Adjusting Coefficient for Seismic Bearing Capacity ξa

Values of adjusting coefficient for seismic bearing capacity ξ_a (Tbl. 4.2.3 from GB 50011-2010):

Name and property of the subsoil	ξ_a
Rock, dense gravelly soil, dense gravel and coarse and medium coarse sand, clay and silt whose $f_{ak} \geq 300\ kPa$	1.5
Medium and moderate dense gravelly soil, medium dense and moderate dense gravel and coarse and medium coarse sand, dense and medium dense fine and silty sand, clay, silt and firm loess whose $300\ kPa \leq f_{ak} < 300\ kPa$	1.3
Moderate dense fine and silty sand, clay, silt and plastic loess whose $100\ kPa \leq f_{ak} < 150\ kPa$	1.1
Mud, mudy soil, lose sand, miscellaneous fill, newly accumulated loess and soft loess	1.0

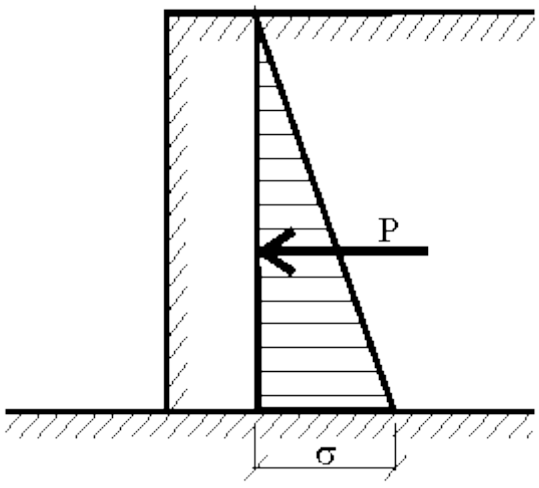
Note: In JTJ 004-89, it's table 2.2.1 which is similar to the above table.

Values of adjusting coefficient for seismic bearing capacity ξ_a (Tbl. 5.5.1 from JTS 146-2012):

Subsoil	ξ_a
Loose sand, not in liquidation status	1.0
Normal sand soil, not in liquidation status	1.3
Dense gravelly soil and bedrock	1.5

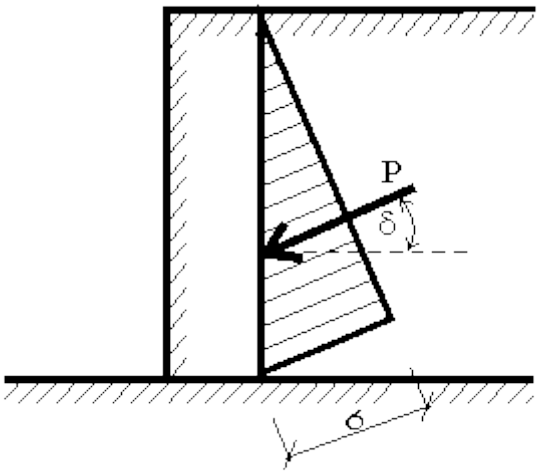
Wpływ tarcia pomiędzy gruntem a konstrukcją

Wielkość czynnego lub biernego parcia gruntu zależne jest nie tylko od wybranej teorii rozwiązania, ale również od tarcia pomiędzy gruntem a ścianą oraz przylegania gruntu do lica konstrukcji wyrażane kątem δ. Jeżeli $\delta = 0$, wówczas parcie σ działa w kierunku normalnym do ściany, a wypadkowa parcia gruntu P jest również w kierunku normalnym do ściany - patrz rysunek:



Rozkład parcia gruntu wzdłuż konstrukcji dla $\delta = 0$

Jeżeli tarcie pomiędzy gruntem a ścianą jest uwzględniane w analizie parć gruntu, wówczas parcie gruntu σ i jego wypadkowa P nachylone są od ściany pod kątem δ. Kierunek kątów tarcia δod normalnego do ściany musi być wprowadzony zgodnie ze wspólnym ruchem konstrukcji i gruntu. Przy rosnącej wartości δ zmniejsza się wartość parcia gruntu, tzn., wypadkowa siły czynnego parcia gruntu odchyla się w normalnym kierunku - patrz rysunek:



Rozkład parcia gruntu wzdłuż konstrukcji dla $\delta \neq 0$

Wielkość δ można zazwyczaj wyznaczyć w zakresie $\delta \leq 1/3\varphi$ do $\delta = 2/3\varphi$. Wartość kierunku kąta tarcia δ pomiędzy gruntem a konstrukcją jest zapisywana w tabeli wartości δ dla różnych warstw oraz w tabeli zalecanych wartości dla $|\delta| / \varphi$. Wartość $\delta \leq 1/3\varphi$może być użyta przy założenia gładkiego wykończenia konstrukcji ścianki (folia i powłoka przed wodą gruntową). Dla powierzchni niewykończonych nie zaleca się przekraczać wartości $\delta = 2/3\varphi$. Przy wyborze wartości δnależy również odzwierciedlić pozostałe warunki, szczególnie równanie siły równowagi w kierunku pionowym. Należy zadecydować, czy konstrukcja może przenosić obciążenia pionowe na skutek tarcia na własnej ścianie bez nadmiernego odkształcenia pionowego. W przeciwnym razie, należy zredukować wartość δ, bowiem wystąpić może tylko częściowa mobilizacja tarcia na ścianie. W przypadku niepewności zawsze bezpieczniej jest przyjąć mniejszą wartość δ.

Tabela kątów tarcia na styku konstrukcji z gruntem dla materiałów nietypowych

Wartości kąta δ dla różnych materiałów kontaktu konstrukcja-grunt (według norm NAVFAC)

Materiał warstwy	**Współczynnik tarcia** $tg(\delta)$	**Kąt tarcia** $\delta°$
Beton masywny na następujących materiałach fundamentowych:		
Czysta, mocna skała	*0,7*	*35*
Czysty żwir, mieszanka piaskowo-żwirowa, piasek gruby	*0,55* do *0,6*	*29 do 31*

Czysty piasek od drobnego do średniego, pylasty piasek od drobengo do średniego, pylasty lub ilasty żwir	*0,45* do *0,55*	
Czysty piasek drobny, ilasty lub pylasty piasek od drobnego do średniego	*0,35* do *0,45*	*19* do *24*
Drobny pył piaszczysty, nieplastyczny pył	*0,30* do *0,30*	*17* do *19*
Bardzo twardy ił rezydualny lub prekonsolidowany	*0,40* do *0,50*	*22* do *26*
Twardoplastyczna i półzwarty ił i ił pylasty	*0,30* do *0,35*	*17* do *19*
Ściana z grodzic stalowych z następującymi gruntami:		
Czysty żwir, mieszanki piaskowo-żwirowe, dobrze sortowany nasyp skalny z odłamkami	*0,4*	*22*
Czysty piasek, pylasta mieszanka piaskowo-żwirowa, jednorodny nasyp z twardej skały	*0,3*	*17*
Piasek pylasty, żwir lub piasek zmieszany z iłem lub pyłem	*0,25*	*14*
Drobny pył piaszczysty, nieplastyczny pył	*0,20*	*11*
Beton formowany lub betonowa ściana szczelninowa z następującymi gruntami:		
Czysty żwir, mieszanki piaskowo-żwirowe, dobrze sortowany nasyp skalny z odłamkami	*0,40* do *0,50*	*22* do *26*
Czysty piasek, pylasta mieszanka piaskowo-żwirowa, jednorodny nasyp z twardej skały	*0,3* do *0,4*	*17* do *22*
Piasek pylasty, żwir lub piasek zmieszany z iłem lub pyłem	*0,3*	*17*
Drobny pył piaszczysty, nieplastyczny pył	*0,25*	*14*
Różne materiały budowlane:		
Ciosana skała miękka na ciosanej skale miękkiej	*0,7*	*35*
Ciosana skała twarda na ciosanej skale miękkiej	*0,65*	*33*
Ciosana skała twarda na ciosanej skale twardej	*0,55*	*29*
Mur na drewno (grube ziarno)	*0,5*	*26*
Stal na stal na łączeniach ścianki szczelnej	*0,3*	*17*

Przyleganie gruntu - adhezja

Podczas przeprowadzania analizy w stanie naprężeń całkowitych w przypadku czynnego oraz biernego parcia gruntu należy uwzględnić wartość całkowitego (bez drenażu) naprężania ścinającego gruntu c_u, oraz wartość adhezji a (przylegania) gruntu do konstrukcji. Wartość adhezji a jest zazwyczaj rozważana jako spójność gruntu c. Typowe wartości a dla danego zakresu spójności c zostały przedstawione w następującej tabeli.

Wspólne wartości adhezji gruntu a

Grunt	**Spójność** c $[kPa]$	**Adhezja** a $[kPa]$
Miękkoplastyczny i plastyczny grunt spoisty	0 - 12	0 - 12
Twardoplastyczny grunt spoisty	12 - 24	12 - 24
Półzwarty grunt spoisty	24 - 48	24 - 36
Zwarty grunt spoisty	48 - 96	36 - 46

Parametry skał

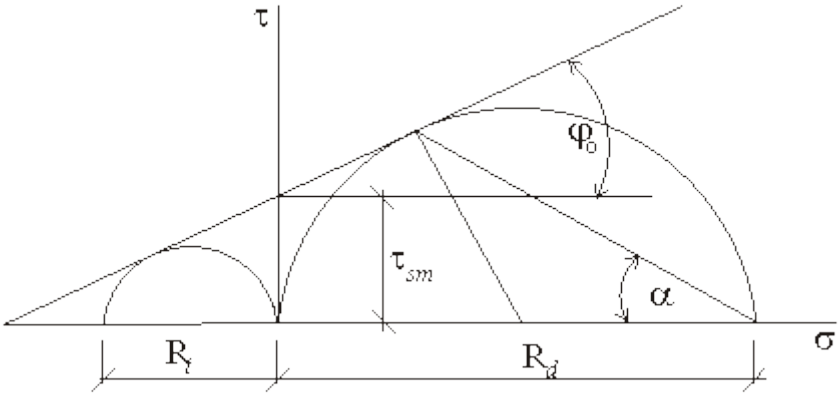
Orientacyjne parametry skały w odniesieniu do wytrzymałości skały w czystym ściskaniu.

Wytrzymałość skały na ściskanie σ_{ci} $[MPa]$	**Parametr wytrzymałości skały wg Hoeka** m_i [-]	**GSI** [-]	**Spójność skały** c $[kPa]$	**Kąt tarcia wewnętrznego skały** φ [°]
150	*25*	*75*	*7000 - 13000*	*46 - 68*
80	*12*	*50*	*3000 - 4000*	*30 - 65*
50	*16*	*75*	*2000 - 4000*	*40 - 60*
30	*15*	*65*	*1000 - 2000*	*40 - 60*
20	*8*	*30*	*400 - 600*	*20 - 44*
15	*10*	*24*	*300 - 500*	*24 - 38*
5	*10*	*20*	*90 - 100*	*23 - 28*

W przeciwieństwie do gruntów (spoistych jak i niespoistych), wielkość kąta tarcia wewnętrznego (czasem zwana kątem wytrzymałości na ściskanie) różni się i zależy od aktualnego stanu naprężenia w skale. Na rysunku wielkość ta przedstawiona jest kątem tangensa do obwiedni kół Mohra utworzonych dla końcowego stanu naprężenia. Wartość φ zmniejsza się stopniowo zwiększając wartość naprężenia σ. Jeżeli warunek elastyczności zostanie przekroczony (na skutek odkształcenia plastycznego), ustawiamy wówczas $\varphi = 0$. Jako reprezentatywną wartość kąta tarcia wewnętrznego φ przyjmuje się wartość φ_0 związaną z naprężeniem $\sigma = 0$. W zastosowaniach praktycznych, część obwiedni

Mohra pomiędzy kołami rozciągającym R_t a ściskającym R_d jest zazwyczaj zastępowana tangensem do obu kół (patrz Rys.) Wielkość kąta tarcia wewnętrznego wynika wówczas z:

$$sin\varphi_0 = \frac{R_d - R_t}{R_d + R_t}$$



Wyznaczanie φ0 z koła Mohra

Kąt tarcia wewnętrznego można oszacować poprzez zmierzenie kątów płaszczyzn poślizgu na pozostałych częściach testowanych próbek razem następującym wzorem:

$$\alpha = 45^\circ - \frac{\varphi_0}{2}$$

Niektóre wartości orientacyjne:

zwietrzały konglomerat piasku, nisko spękany	*35 - 44°*
niezwietrzały łupek ilasty, średnio spękany	*30 - 40°*
niezwietrzały tuf, średnio spękany	*33 - 42°*
niezwietrzały diabaz	*39 - 50°*
niezwietrzały fantanit, nisko spękany	*45 - 52°*

Analiza ścian

Analiza ściany może być przeprowadzona za pomocą:

- teorii stanów granicznych (w przypadku wykonywania obliczeń według **EN 1997** lub **LRFD** konstrukcja obliczana jest w ten właśnie sposób)
- współczynnika bezpieczeństwa

Ponadto, w obydwu powyższych przypadkach sprawdzana jest nośność podłoża.

Następujące siły uwzględniane są w analizie:

- **ciężar ściany -** zależy od kształtu i ciężaru jednostkowego ściany (do wprowadzenia tych danych służy okno dialogowe "**Materiał**") - wypór definiuje się dla ścian znajdujących się poniżej zwierciadła wody gruntowej
- **odpór na licu -** przy definiowaniu odporu na licu, odpowiednia siła oddziałuje jako parcie spoczynkowe, parcie bierne lub też zredukowane parcie bierne
- siły ciężkości klinów gruntu - dowolna liczba tych sił może wystąpić w zależności od

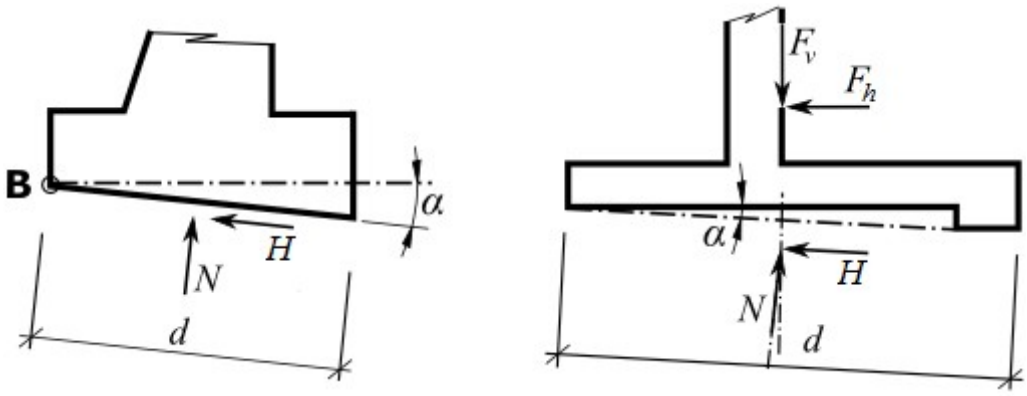
kształtu konstrukcji

- czynne parcie gruntu lub parcie spoczynkowe działające na konstrukcję - podstawowe obciążenie konstrukcji na skutek parć gruntu - w zależności od opcji wybranej w ramce "**Ustawienia**", parcie obliczane jest z lub bez redukcji wprowadzonych parametrów gruntu
- siła wynikająca z wpływu wody lub ciśnienia porowego
- siły wynikające z obciążeń dodatkowych - jedna siła odpowiada każdemu zdefiniowanemu obciążeniu. Jeżeli wartość siły na skutek obciążenia równa się zero (obciążenie nie ma wpływu na konstrukcję), wówczas nie jest ona widoczna na rysunku, ale jest widoczna w tabeli.
- **zdefiniowane siły** - wyświetlane są siły uwzględniane w analizie
- **siły na skutek obciążeń sejsmicznych** - kilka sił wynikających z obciążeń sejsmicznych uwzględnia się w analizie - zwiększenie parcia gruntu działającego na konstrukcję, redukcja parcia biernego na licu konstrukcji, lub siła na skutek wody swobodnej za konstrukcją
- przedłużenia siatki i zbrojenia gruntu są wyświetlane i uwzględniane, jeżeli pojawiają się w analizie
- kotwienie fundamentu ściany

Wyznaczanie sił w poziomie podstawy fundamentu

Po wyznaczeniu sił oddziałujących na konstrukcję program określa całkowite siły - pionową F_v i poziomą F_h, a następnie wyznacza siły oddziałujące w poziomie podstawy fundamentu (siła normalna N i siła tnąca H):

$$N = F_v \cos\alpha + F_h \sin\alpha$$
$$H = F_v \sin\alpha + F_h \cos\alpha$$



Siły oddziałujące w poziomie podstawy fundamentu

Analiza - stany graniczne

Program wyznacza siłę normalną i tnącą w poziomie podstawy fundamentu, a następnie przeprowadza sprawdzenie konstrukcji na obrót i poślizg. W przypadku ścian z płaską podstawą fundamentu i zdefiniowaną odsadzką istnieje możliwość uwzględnienia odsadzki w postaci parcia oddziałującego na ścianę przednią lub w postaci ściany z pochyloną podstawą fundamentu.

Sprawdzenie na obrót:

$$\frac{M_{res}}{\gamma_o} > M_{ovr}$$

gdzie:
- M_{ovr} - moment obracający
- γ_o - współczynnik redukcji do obrotu
- M_{res} - moment utrzymujący

Sprawdzenie na przesuw:

$$\frac{\left[(N \tan \varphi_d + c_d(d-2e)/\mu) + F_{res}\right]}{\gamma_s} > H$$

gdzie:
- N - siła normalna działająca na podstawę fundamentu
- φ_d - obliczeniowy kąt tarcia konstrukcja-grunt
- c_d - obliczeniowa spójnosć konstrukcja-grunt
- d - szerokość podstawy fundamentu
- e - mimośród
- γ_s - współczynnik redukcji wytrzymałości na przesuw
- H siła tnąca działająca na podstawę fundamentu
- F_{res} - siła utrzymująca (pochodząca od zbrojenia i przedłużenia siatki)

gdzie mimośród e:

$$e = \frac{M_{ovr} - M_{res} + \frac{N.d}{2}}{N}$$

gdzie:
- M_{ovr} - moment obracający
- M_{res} - moment utrzymujący
- N - siła normalna działająca na podstawę fundamentu
- d - szerokość podstawy fundamentu

Poziome składowe sił są uwzględniane w sile tnącej i momencie obracającym, natomiast składowe pionowe sił są uwzględniane w sile normalnej i momencie utrzymującym. Siły i momenty utrzymujące zawierają także poziome składowe sił pochodzące ze zbrojenia oraz przedłużonych siatek.

Analiza - współczynnik bezpieczeństwa

Program wyznacza siłę normalną i tnącą w poziomie podstawy fundamentu, a następnie przeprowadza sprawdzenie konstrukcji na obrót i poślizg. W przypadku ścian z płaską podstawą fundamentu i zdefiniowaną odsadzką istnieje możliwość uwzględnienia odsadzki w postaci parcia oddziałującego na ścianę przednią lub w postaci ściany z pochyloną podstawą fundamentu.

Sprawdzenie na obrót:

$$\frac{M_{res}}{M_{ovr}} > SF_o$$

gdzie:
- M_{ovr} - moment obracający
- M_{res} - moment utrzymujący
- SF_O - współczynnik bezpieczeństwa na obrót

Sprawdzenie na przesuw:

$$\frac{\left[\left(N \tan \varphi_d + c_d (d - 2e)/\mu\right) + F_{res}\right]}{H} > SF_s$$

gdzie:
- N - siła normalna działająca na podstawę fundamentu
- φ_d - obliczeniowy kąt tarcia konstrukcja - grunt
- c - spójność konstrukcja - grunt
- d - szerokość podstawy fundamentu
- e - mimośród
- H siła tnąca działająca na podstawę fundamentu
- F_{res} - siła utrzymująca (pochodząca od zbrojenia i przedłużenia siatki)
- SF_S - współczynnik bezpieczeństwa na przesuw

gdzie mimośród e:

$$e = \frac{M_{ovr} - M_{res} + \frac{Nd}{2}}{N}$$

gdzie:
- M_{ovr} - moment obracający
- M_{res} - moment utrzymujący
- N - siła normalna działająca na podstawę fundamentu
- d - szerokość podstawy fundamentu

Poziome składowe sił są uwzględniane w sile tnącej i momencie obracającym, natomiast składowe pionowe sił są uwzględniane w sile normalnej i momencie utrzymującym. Siły i momenty utrzymujące zawierają także poziome składowe sił pochodzące ze zbrojenia oraz przedłużonych siatek.

Stateczność wewnętrzna

Teoria stanów granicznych umożliwi także sprawdzenie możliwości poślizgu konstrukcji wzdłuż zbrojenia. Dla wybranego zbrojenia program poszukuje krytycznej powierzchni poślizgu w zakresie 45 - 90^O od końca analizowanego zbrojenia.

Dla każdej powierzchni poślizgu program wyznacza siły tnące i utrzymujące i przeprowadza weryfikację.

Siły tnące obejmują:

- parcie czynne na ścianę zastępczą

- siły wywołane obciążeniami za ścianą

Siły utrzymujące obejmują:

- wytrzymałość konstrukcji na przesuw (wyznaczana jak przy wymiarowaniu ściany)
- tarcie pomiędzy zbrojeniem i blokiem analizowanym na przesuw
- siły uzyskane od innych zbrojeń

Siła utrzymująca uzyskana dzięki tarciu pomiędzy zbrojeniem i blokiem analizowanym na poślizg wyznaczana jest w sposób następujący:

$$F = N\, tg\varphi\, C_{ds}$$

gdzie: N - siła normalna działająca na zbrojenie (wynikająca z ciężaru własnego gruntu i obciążenia za ścianą zastępczą)

φ - kąt tarcia wewnętrznego gruntu otaczającego zbrojenie

C_{ds} - współczynnik redukcji tarcia na zbrojeniu

Sprawdzenie jest nastęnie przeprowadzane z zastosowaniem danych wprowadzonych w zakładce "Konstrukcje oporowe" według teorii stanów granicznych i współczynnika bezpieczeństwa. Muszą być spełnione następujące zależności:

$H_{res} > H_{act}$ odpowiednio: $\frac{H_{res}}{H_{act}} > SF_{sr}$

gdzie: H_{res} - siła utrzymująca

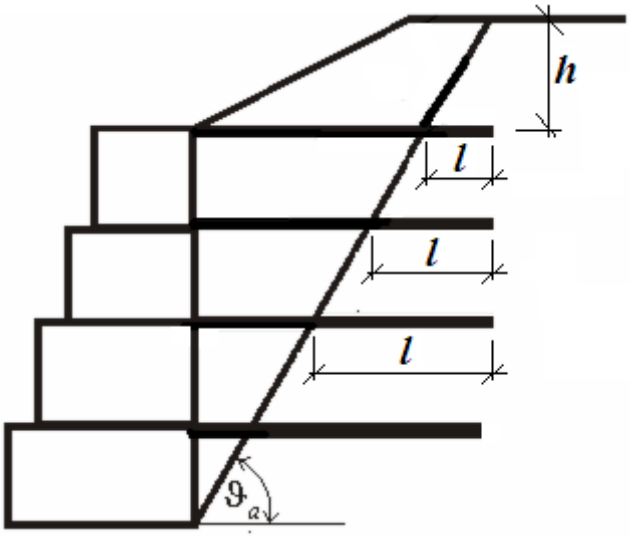
H_{act} - siła czynna

SF_{sr} - wymagany współczynnik bezpieczeństwa na poślizg po geo-zbrojeniu

Zbrojenie gruntu

Geo-zbrojenia lub nawisy/przedłużenia siatki za ścianą mogą znacząco zwiększyć stateczność ściany. Podstawowym parametrem zbrojenia jest **wytrzymałość na rozciąganie** R_t. We wszystkich programach (z wyjątkiem programu Redi-Rock wall) stosowana jest wartość obliczeniowa tego parametru, tj. wytrzymałość na rozciąganie zbrojenia zmniejszona współczynnikami uwzględniającymi trwałość, pełzanie, środowisko chemiczne czy uszkodzenia przy wykonaniu. Siła przkazywana przez zbrojenie **nigdy nie może przekroczyć zdefiniowanej wartości wytrzymałości na rozciąganie** R_t (dla gabionów przyjęta została wartość domyślna 40 kN/m).

Drugim parametrem zbrojenia jest **nośność na wyciąganie** T_p. Parametr ten determinuje długość zakotwienia, tj. wymaganą długość zbrojenia w gruncie, dla którego zbrojenie jest w pełni naprężone osiągając wartość R_t. Ponieważ realna wartość nośności na wyciąganie jest trudna do określenia, program oferuje trzy możliwości jej wyznaczania lub odpowiednio wyznaczania siły F przekazywanej przez zbrojenie.



Schemat zastosowania nawisów z siatki

Wyznaczanie nośności zbrojenia

Siła wyciągająca F wyznaczana jest ze wzoru:

$$F = 2.\sigma.tg\varphi.C$$

gdzie:
- σ - naprężenie normalne wynikające z ciężaru własnego w punkcie przecięcia zbrojenia i powierzchni poślizgu
- φ - kąt tarcia wewnętrznego gruntu
- C - współczynnik interakcji (domyślnie $0,8$)
- l - długość zbrojenia w gruncie poza powierzchnią poślizgu

Obliczanie kąta υ_a zostało opisane w rozdziale klin parcia gruntu.

Definiowanie długości zakotwienia zbrojenia l_k

W programie istnieje możliwość zdefiniowania wartości długości zakotwienia l_k. Parametr ten zdeterminowany jest przez wytrzymałość na ścinanie mobilizującą się pomiędzy zbrojeniem a gruntem, narastającą stopniowo od zera do jej wartości granicznej (mierzona od końca zbrojenia zakotwionego w gruncie).

$$F = \frac{l}{l_k}.R_t$$

gdzie:
- l - długość zbrojenia w gruncie poza powierzchnią poślizgu
- l_k - długość zakotwienia
- R_t - wytrzymałość na rozciąganie

Definiowanie nośności na wyciąganie T_p

Siła wyciągająca F definiowana jest jako:

$$F = T_p.l$$

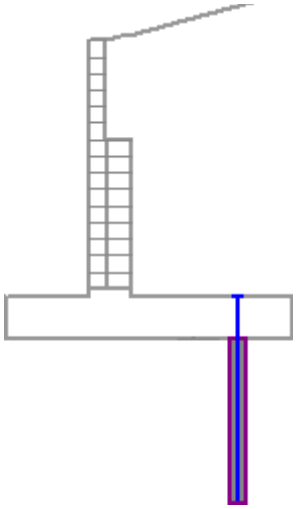
gdzie:
- l - długość zbrojenia w gruncie poza powierzchnią poślizgu

T_p - nośność zbrojenia na wyciąganie

Kotwienie fundamentu

Kotwienie fundamentu ściany można zdefiniować w programie "**Ściana kątowa**". W takim przypadku istnieje konieczność określenia położenia kotwy, wymiarów wierconego otworu oraz rozstawu kotew.

Dla kotew zdefiniowane są dwa stany graniczne nośności - **nośność na wyciąganie** T_p $[kN/m]$ oraz **wytrzymałość kotwy** R_t $[kN]$.



Kotwienie podstawy

Nośności można wprowadzić bądź obliczyć na podstawie zdefiniowanych wartości z następujących wyrażeń:

$$T_p = \frac{\pi\, d\, a}{SF_e}$$

gdzie:
T_p - wytrzymałość na wyciąganie
d - średnica otworu wierconego
a - przyczepność graniczna
SF_e - współczynnik bezpieczeństwa na wyciąganie

$$R_t = \frac{\pi\, d_s^2}{4}\,\frac{f_y}{SF_t}$$

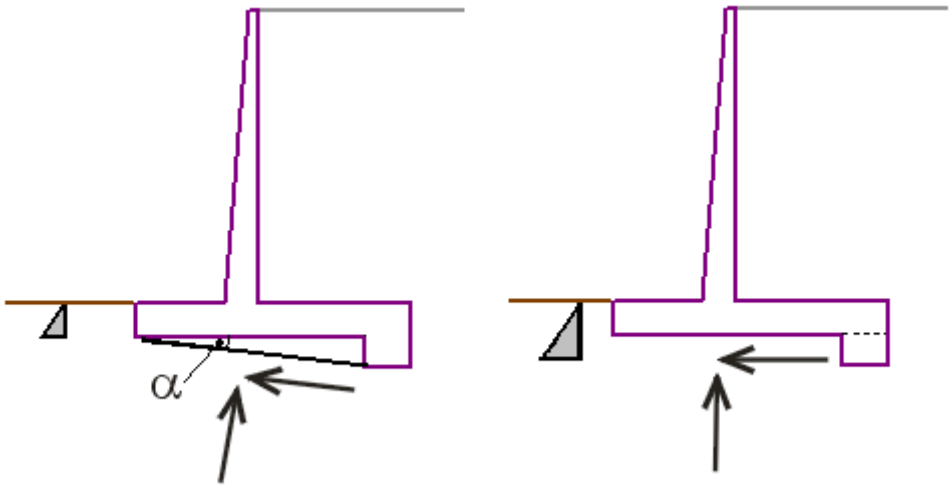
gdzie:
R_t - wytrzymałość kotwy
d_s - średnica kotwy
f_y - granica plastyczności kotwy
SF_t - współczynnik bezpieczeństwa na wyciąganie

Przybliżone wartości nośności na wyciąganie

Material	**Przyczepność graniczna** $[N/mm^2]$	**Nośność graniczna dla określonej średnicy otworu** $[kN/m]$				
		65 mm	75 mm	90 mm	100 mm	150 mm
Miękki łupek ilasty	0,21 - 0,83	42 - 169	49 - 195	59 - 234	65 - 260	98 - 391
Piaskowiec	0,83 - 1,73	169 - 350	195 - 407	234 - 486	260 - 543	391 - 562
Łupek, twardy łupek ilasty	0,86 - 1,38	175 - 281	202 - 325	243 - 390	270 - 433	405 - 562
Miękki wapień	1,00 - 1,52	204 - 310	235 - 358	282 - 429	314 - 477	471 - 562
Granit, bazalt	1,72 - 3,10	351 - 562	405 - 562	486 - 562	540 - 562	562 - 562
Beton	1,38 - 2,76	281 - 562	325 - 562	390 - 562	433 - 562	562 - 562

Uwzględnienie odsadzki ściany

Dostępne są dwie metody uwzględnienia odsadzki ściany fundamentu w analizie pokazane na rysunku (programy "**Ściana kątowa**" i "**Mur oporowy**").



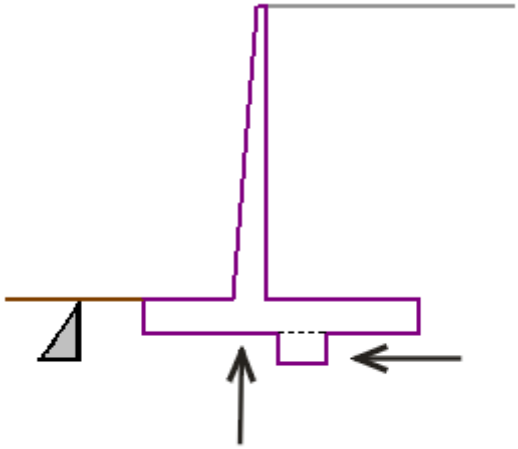
Metody uwzględniania odsadzki ściany

Jeżeli przyjmuje się odsadzkę jako **nachyloną podstawę fundamentu**, rozważa się wówczas nowy kształt podstawy fundamentu, a odpór na licu konstrukcji uwzględniany jest jedynie na wysokości lica ściany.

Jeżeli wpływ odsadzki rozważany jest jako **odpór na licu**, wówczas analiza przyjmuje płaską podstawę fundamentu (jak gdyby nie istniała odsadzka), ale odpór na licu konstrukcji uwzględniany jest do głębokości odsadzki. W takim przypadku, obliczenia odporu na licu konstrukcji muszą być także wprowadzone - w przeciwnym razie wpływ odsadzki zostanie

pominięty.

Odsadzka zdefiniowana poniżej fundamentu ściany jest zawsze rozważana jako odpór na licu konstrukcji.

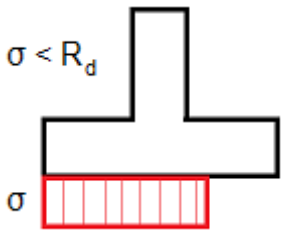


Założenie odsadzki ściany na środku

Nośność podłoża fundamentowego

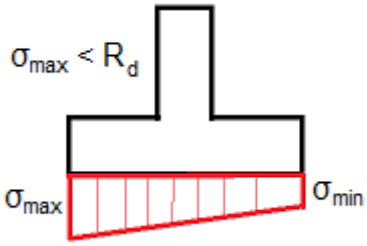
Analiza nośności podłoża fundamentowego uwzględnia siły uzyskane z wszystkich przeprowadzonych wcześniej analiz ogólnej stateczności konstrukcji (teoria stanów granicznych, współczynnik bezpieczeństwa). W tym celu stosuje się następujące zależności:

Zazwyczaj, naprężenie kontaktowe w podstawie fundamentu uwzględniane jest jako stałe na zredukowanej długości fundamentu.



$$\sigma = \frac{N}{d - 2e} < R_d$$
$$e \leq e_{alw}$$

Niektóre normy wymagają przyjęcie trapezowego kształtu naprężeń kontaktowych. W tym przypadku, sprawdzenie przeprowadzane jest dla maksymalnej wartości σ_{max}.



gdzie: N - normalna siła działająca w podstawie fundamentu

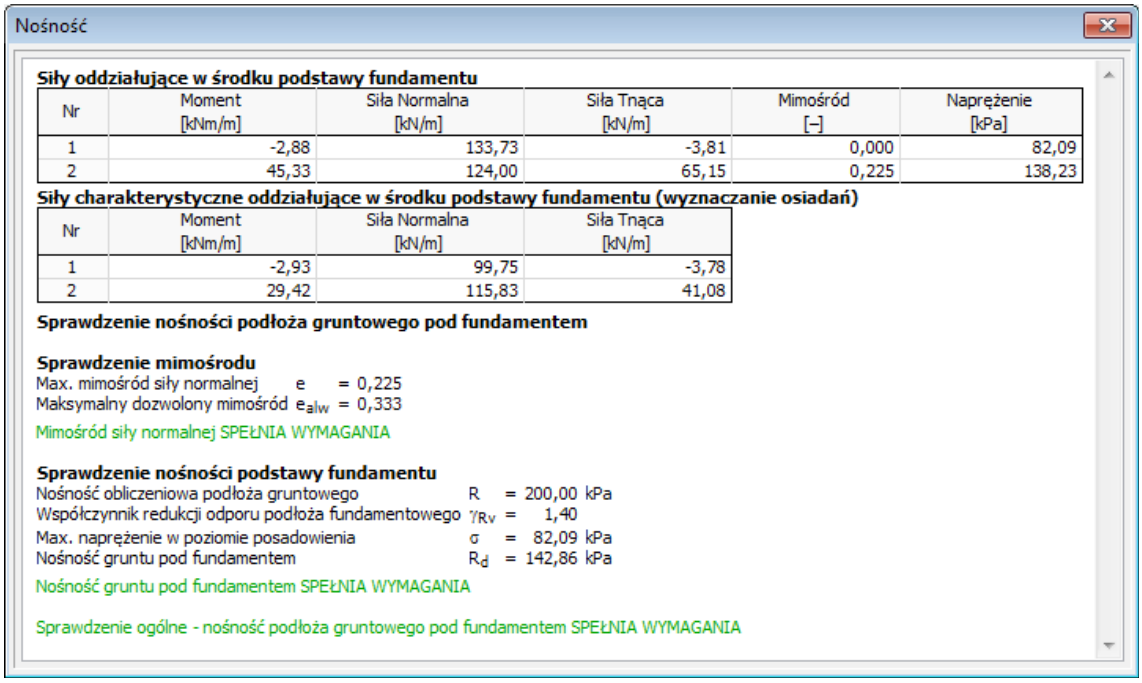
d - szerokość tylnej krawędzi ściany

e maksymalny mimośród siły normalnej

R_d - nośność podłoża fundamentowego

e_{alw} - dopuszczalny mimośród (wartość tę można zdefiniować w ramce "**Ustawienia**" w zakładce "Konstrukcje oporowe")

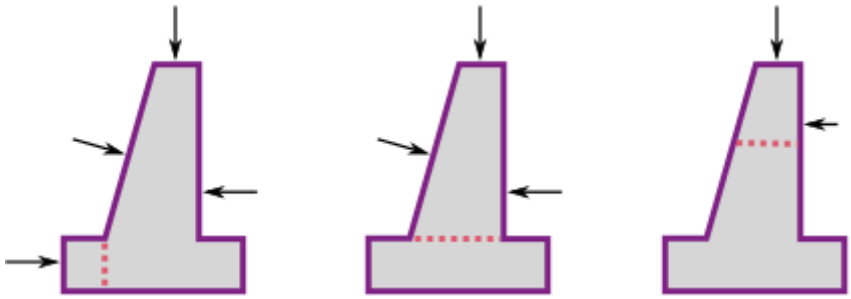
Do wyznaczania nośności podłoża fundamentowego (przy założeniu **fundamentu bezpośredniego** pod ścianą) program pozwala na wyznaczenie **obciążeń obliczeniowych lub charakterystycznych**, oddziałujących w środku podstawy fundamentu. W celu właściwego wyznaczenia osiadania oraz obrotu fundamentu należy przenieść dane i wyniki do programu "**Fundament bezpośredni**". Przy założeniu **fundamentu na palach** w ramce "Fundament" istnieje możliwość wyznaczenia sił wewnętrznych w głowicach pali (dla pojedynczego rzędu pali) lub odpowiednio w środku podstawy fundamentu (dla przestrzennej siatki pali).



Okno dialogowe "Nośność"

Wymiarowanie ściany

Po obliczeniu sił działających na konstrukcję, program wyznacza wszystkie siły wewnętrzne w analizowanym przekroju poprzecznym (normalna siła N, siła tnąca Q i moment M), a następnie weryfikuje nośność przekroju poprzecznego stosując jedno z ustawień wybranych w zakładce "Konstrukcje oporowe". Tylko siły znajdujące się ponad weryfikowanym połączeniem (patrz rysunek) przyjmowane są do wymiarowania. Siły te nie są mnożone przez żaden ze współczynników obliczeniowych.



Siły uwzględnione w analizie

Przednia odsadzka ściany analizowana jest ze względu na obciążenie momentem zginającym i siłą tnącą. Naprężenie w podstawie fundamentu można założyć jako **stałe** (CSN) lub **liniowe** (EC).

Przy założeniu **liniowej zmiany naprężenia** u podstawy fundamentu, rozkład naprężeń wyznaczany jest z:

$$\sigma_1 = \frac{N}{d^2}.\left(4.d - 6.\left(\frac{d}{2} - e\right)\right)$$

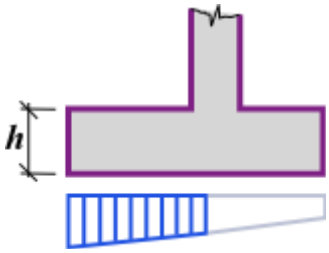
$$\sigma_2 = \frac{N}{d^2}.\left(-2.d + 6.\left(\frac{d}{2} - e\right)\right)$$

lub przy wykluczeniu rozciągania:

$$\sigma = \frac{2.N}{3.\left(\frac{d}{2} - e\right)}$$

gdzie:
- e - mimośród siły normalnej N
- d - szerokość fundamentu ściany
- N - normalna siła działająca w podstawie fundamentu (patrz analiza zgodnie z teorią stanów granicznych lub współczynnika bezpieczeństwa)

Moment zginający i siła tnąca wyznaczane są jako reakcja na belkę wspornikową pokazaną na rysunku:



Siły wewnętrzne działające na odsadzkę ściany

Sprawdzenie odsadzki tylnej ściany (odpowiednio górnego rozciąganego zbrojenia w odsadzce) wykonywane jest w niektórych państwach, zwykle jednak nie jest wymagane. Programy "**Ściana kątowa**" i "**Mur oporowy**" w wersji 5.5 umożliwiają zaprojektowanie zbrojenia odsadzki tylnej. Przekrój jest wówczas obciążany ciężarem własnym konstrukcji, klinem odłamu gruntu, obciążeniem naziomu, siłą w kotwieniu oraz siłą związaną z naprężeniem kontaktowym w gruncie. Siły wynikające z naprężeń są uwzględniane jedynie

jeśli oddziałują w sposób negatywny. Siły zdefiniowane przez użytkownika nie są uwzględniane.

Przekrój sprawdzany jest przy obciążeniu momentem zginającym oraz siłą tnącą.

Wymiarowanie ścian użebrowanych

Po wyznaczeniu sił oddziałujących na konstrukcję program wyznacza wszystkie siły wewnętrzne w wymiarowanym przekroju (siły tnące Q oraz momenty M) a następnie przeprowadza wymiarowanie przekroju stosując jedną z metod wybranych w zakładce "Konstrukcje oporowe".

Trzon ściany - kierunek poziomy

Maksymalny moment w środku rozpiętości pomiędzy żebrami (przednimi lub tylnymi) z przodu trzonu ściany:

$$M = \frac{1}{20}\sigma_{pi}l^2$$

Maksymalny moment w miejscu żeber (przednich lub tylnych) z tyłu trzonu ściany:

$$M = -\frac{1}{12}\sigma_{pi}l^2$$

Maksymalna siła tnąca:

$$Q = \frac{1}{2}\sigma_{pi}l$$

gdzie: σ_{pi} - średnie naprężenie po tylnej stronie trzonu ściany

l - rozstaw żeber (przednich/tylnych)

Trzon ściany - kierunek pionowy

Maksymalny moment w środku wysokości ściany z przodu trzonu ściany:

$$M = 0.03\sigma_H Hl/4$$

Maksymalny moment w podstawie ściany z tyłu trzonu ściany:

$$M = -0.03\sigma_H Hl$$

Maksymalna siła tnąca:

$$Q = \frac{1}{2}\sigma_{pi}l$$

gdzie: σ_H - naprężenie w podstawie po tylnej stronie trzonu ściany

H - wysokość ściany

l - rozstaw żeber (przednich/tylnych)

Przednia odsadzka - ściana użebrowana z przodu

Maksymalny moment w środku rozpiętości pomiędzy przednimi żebrami na górnej ścianie odsadzki przedniej:

$$M = \frac{1}{20}\sigma_{j1}l^2$$

Maksymalny moment pod żebrami na dolnej ścianie odsadzki przedniej:

$$M = -\frac{1}{12}\sigma_{j1}l^2$$

Maksymalna siła tnąca:

$$Q = \frac{1}{2}\sigma_{j1}l$$

gdzie: σ_{j1} - naprężenie maksymalne pod odsadzką przednią

l - rozstaw przednich żeber

Tylna odsadzka - ściana użebrowana z tyłu

Maksymalny moment w środku rozpiętości pomiędzy tylnymi żebrami na górnej ścianie odsadzki tylnej:

$$M = \frac{1}{20}\sigma_j l^2$$

Maksymalny moment pod żebrami na dolnej ścianie odsadzki tylnej:

$$M = -\frac{1}{12}\sigma_j l^2$$

Maksymalna siła tnąca:

$$Q = \frac{1}{2}\sigma_j l$$

gdzie: σ_j - naprężenie maksymalne pod odsadzką tylną

l - rozstaw tylnych żeber

Żebra przednie / tylne

Żebra przednie i tylne wymiarowane są jako przekroje prostokątne. Obliczenie jest jednakowe jak w przypadku trzonu ściany kątowej. Siły wewnętrzne są przemnażane przez szerokość obciążenia $l+b$ (rozstaw żeber przednich/tylnych + grubość żeber przednich/tylnych).

Siły wewnętrzne w miejscach innych sprawdzeń (Odsadzka tylna - ściana użebrowana z przodu, Odsadzka przednia - ściana użebrowana z tyłu) wyznaczane są tak samo jak w przypadku zwykłych ścian kątowych.

Stateczność wewnętrzna gabionu

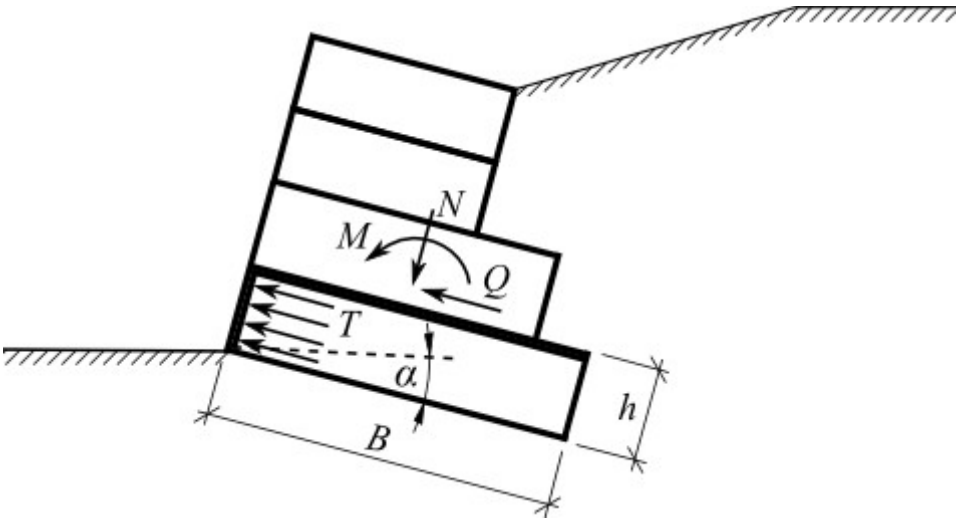
Wewnętrzna stateczność konstrukcji z gabionów analizowana jest za pomocą:

- teorii stanów granicznych
- współczynnika bezpieczeństwa

Analiza łączeń pomiędzy poszczególnymi blokami jest przeprowadzana w oknie dialogowym „**Wymiarowanie**”. Konstrukcja ponad blokiem jest obciążana parciem czynnym, a odpowiednie siły wyznaczane są w ten sam sposób, co analiza całej ściany. W analizie stosuje się luźne wypełnienie - nie ręcznie nakładane wypełnienie skalne - ale jego efekt można

symulować za pomocą bardzo wysokiego kąta tarcia wewnętrznego. Istnieje możliwość założenia, że po upływie pewnego czasu na skutek działania wypełnienia kruszywem naprężenie w siatkach spada. Poszczególne przekroje ściany gabionu sprawdzane są ze względu na maksymalne naprężenie normalne i ścinające. Za pomocą tych zmiennych istnieje możliwość zmodyfikowania zbocza lica konstrukcji poprzez utworzenie tarasów lub zwiększenie zbocza lica ściany α.

Założenie obciążenia przyłożonego do podstawy bloku przedstawiono schematycznie na następującym rysunku:



Obciążenie u podstawy bloku

Normalne naprężenie w środku podstawy bloku wyznaczane jest z:

$$\sigma = \frac{N}{B-2e} + \frac{\gamma h \cos\alpha}{2}$$

$$e = \frac{M}{N}$$

gdzie:
- N - normalna wypadkowa obciążenia działającego na podstawę bloku
- B - szerokość górnego bloku
- e - mimośrodowość
- M - moment działający na podstawę bloku
- h - wysokość podstawy bloku
- γ - ciężar jednostkowy materiału podstawy bloku
- α - nachylenie gabionów

Parcie działające na ścianę dolnego bloku wyznaczane jest jako zwiększone parcie czynne:

$$T = 0{,}5.T_r + 0{,}5.T_a$$

$$T_r = \sigma\, K_r$$

$$T_a = \sigma.K_a - 2.c_d.\sqrt{K_a}$$

$$K_r = 1 - \sin\varphi_d$$

$$K_a = tg^2\left(45 - \frac{\varphi_d}{2}\right)$$

gdzie:
- φ_d - kąt obliczeniowy wewnętrznego tarcia materiału dolnego bloku
- c_d - spójność obliczeniowa materiału dolnego bloku
- γ - ciężar jednostkowy materiału dolnego bloku
- h - wysokość dolnego bloku
- B - szerokość górnego bloku
- α - nachylenie gabionu
- T - średnia wartość parcia działającego na lico dolnego bloku
- σ - maksymalne normalne naprężenie działające na dolny blok
- K_r - współczynnik spoczynkowego parcia gruntu
- K_a - współczynnik czynnego parcia gruntu

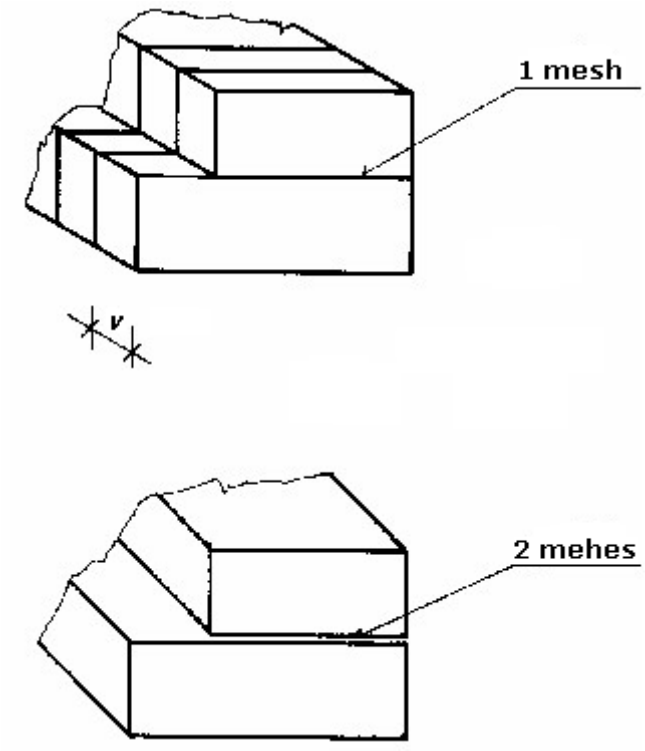
Szerokości siatek dolnego bloku na jeden metr bieżący ściany gabionu wynosi:

$$D_{upp} = 1$$

$$D_{total} = \frac{h}{v} + 1$$

gdzie:
- D_{upp} - szerokość górnej siatki pomiędzy blokami obciążonymi siłami rozciągającymi
- D_{total} - ogólna szerokość siatek obciążonych siłami ściskającymi T
- v - odstępy pomiędzy pionowymi siatkami
- h - wysokość dolnego bloku

Program pozwala na analizę gabionów z prostą i podwójną siatką umieszczoną pomiędzy blokami. Dla podwójnych siatek, wprowadzone naprężenie rozciągające siatki (okno dialogowe „**Edycja materiału**”) powinno być dwukrotnie większe od wartości przyjętej dla prostych siatek.



Geometria gabionów

Stateczność wewnętrzna ściany z gabionów - współczynnik bezpieczeństwa

Następujące przypadki zakłada się przy analizie wewnętrznej stateczności ściany gabionu za pomocą współczynnika bezpieczeństwa:

1) Sprawdzenie stateczności na obrót:

$$\frac{M_{res}}{M_{ovr}} > SF_o$$

gdzie:
- M_{ovr} -moment obracający
- M_{res} -moment utrzymujący
- SF_o -współczynnik bezpieczeństwa na obrót

2) Sprawdzenie na przesuw:

$$\frac{\left[\left(N \tan \varphi_d + c_d (d - 2e)/\mu\right) + F_{res}\right]}{H} > SF_s$$

gdzie:
- N - siła normalna
- φ_d - obliczeniowy kąt tarcia konstrukcja-grunt
- c_d - spójność konstrukcja - grunt
- d - width of block

e - mimośród

H - siła tnąca

F_{res} - resisting force (from georeinforcement and mesh overlap)

SF_S - współczynnik bezpieczeństwa na przesuw

μ - reduction coefficient

3) Sprawdzenie nośności ze względu na parcie boczne:

$$\frac{S_u}{S} > SF_n$$

$$S = \frac{Tbh}{D_{total}}$$

gdzie: T - średnia wartość parcia działającego na lico dolnego bloku

S - siła na jeden metr bieżący połączenia

S_u - nośność połączenia (do definiowania danych służy zakładka "Materiał")

SF_n - współczynnik bezpieczeństwa do wytrzymałości siatki (do wprowadzenia danych służy zakładka "Konstrukcje oporowe" - domyślna wartość wynosi 1,5)

b - szerokość = 1 m szerokości konstrukcji

h - wysokość bloku

D_{total} - całkowita szerokość siatek pracujących w ściskaniu T

4) Sprawdzenie nośności połączenia pomiędzy blokami:

$$\frac{N_u}{N} > SF_n$$

$$N_d = \frac{T\ b\ h}{D_{total}} + \frac{\max(0, Q - Q_{tr})}{D_{upp}}$$

$$Q_{tr} = \frac{N \tan\varphi_d + c_d B}{\gamma_f}$$

gdzie: N_d - siła rozciągająca na jeden metr bieżący górnego połączenia

N_u - wytrzymałość siatki (do definiowania danych służy okno dialogowe "Materiał")

SF_n - współczynnik bezpieczeństwa do wytrzymałości siatki (do wprowadzenia danych służy zakładka "Konstrukcje oporowe" - domyślna wartość wynosi 1.5)

Q_{tr} - siła tnąca przenoszona tarciem i spójnością pomiędzy blokami

γ_f - współczynnik redukcji tarcia pomiędzy blokami (do definiowania danych służy zakładka "Konstukcje oporowe")

h - wysokość bloku

D_{total} - całkowita szerokość siatek pracujących w ściskaniu T

D_{upp} - szerokość górnej siatki pomiędzy blokami obciążonymi siłami rozciągającymi

Stateczność wewnętrzna ściany z gabionów - stany graniczne

W obliczeniach stosowane są zredukowane parametry materiału gabionu, zależne od współczynników ustawionych w zakładce "Konstrukcje oporowe".

1) Sprawdzenie stateczności na obrót:

$$M_{ovr} < M_{res}$$

gdzie: M_{ovr} - moment obracający

M_{res} - moment utrzymujący

2) Sprawdzenie na przesuw:

$$\frac{\left[\left(N \tan \varphi_d + c_d (d - 2e)/\mu\right) + F_{res}\right]}{\gamma_s} > H$$

gdzie: N - siła normalna

φ_d - obliczeniowy kąt tarcia wewnętrznego gruntu

c_d - obliczeniowa spójność gruntu

d - szerokość bloku

e - mimośród

γ_s - współczyynik redukcji wytrzymałości na poślizg

H - siła tnąca

F_{res} - siła utrzymująca (od zbrojenia i przedłużenia siatki)

μ - współczynnik redukcyjny

3) Sprawdzenie nośności ze względu na parcie boczne:

$$S < S_u$$

$$S = \frac{T\, b\, h}{D_{total}}$$

gdzie: T - średnia wartość parcia działającego na lico dolnego bloku

S - siła na jeden metr bieżący łączenia

S_u - nośność łączenia (dane wprowadza się w oknie dialogowym "Materiał")

b - szerokość = 1 m szerokości konstrukcji

h - wysokość podstawy bloku

$D_{tota\ l}$ - ogólna szerokość siatek pracujących w ściskaniu T

4) Sprawdzenie nośności połączenia pomiędzy blokami:

$$N_d < N_u$$

$$Q_{tr} = \frac{N \tan \varphi_d + c_d B}{\gamma_f}$$

$$N_d = \frac{T\ b\ h}{D_{total}} + \frac{\max\ (0\ ,Q - Q_{tr})}{D_{upp}}$$

gdzie:
- N_d - siła rozciągająca na jeden metr bieżący górnego łączenia dolnego bloku
- N_u - wytrzymałość siatki (dane wprowadza się w oknie dialogowym "Materiał")
- Q_{tr} - siła tnąca przenoszona tarciem i spójnością pomiędzy blokami
- γ_t - współczynnik redukcji tarcia pomiędzy blokami (dane wprowadza się w oknie dialogowym "Konstrukcje oporowe")
- h wysokość podstawy bloku
- D_{total} ogólna szerokość siatek pracujacych w ściskaniu T
- D_{upp} szerokość górnej siatki pomiędzy blokami obciążonymi siłami rozciągającymi

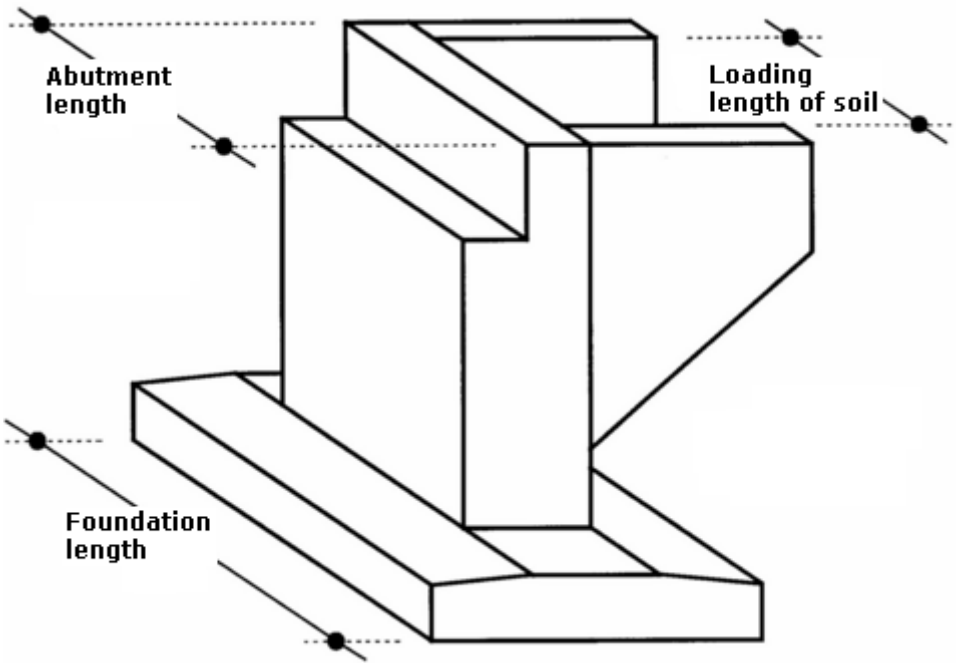
Obliczanie sił przyczółku

Przyczółek analizowany jest na 1 m $(1ft)$ bieżący. Wszystkie siły w analizie są zatem uwzględniane w następujący sposób:

- **ciężar własny przyczółka**, na 1 m $(1ft)$ bieżący, obliczany jest z wprowadzonego przekroju poprzecznego
- **reakcje od mostu i płyty przejściowej** wprowadza się w $kN(kpi)$ za pomocą wartości dla całego przyczółku, wartości te są dzielone w analizie przez długość przyczółka
- **parcie gruntu** jest wyznaczane na 1 m $(1ft)$ bieżący, a następnie redukowane stosunkiem **długości obciążenia gruntem / długości przyczółka**
- ciężar klinów gruntu jest wyznaczany na 1 m $(1ft)$ bieżący, a następnie redukowane stosunkiem **długości obciążenia gruntem / długości przyczółka**
- dodatkowe obciążenie jest wyznaczane na 1 m $(1ft)$ bieżący, a następnie redukowane stosunkiem **długości obciążenia gruntem / długości przyczółka**
- **zdefiniowane siły** i **odpór na licu przyjmuje** się na 1 m bieżący bez redukcji
- **ściany skrzydeł** - ciężar własny ścian skrzydeł obliczany jest z ich geometrii; przed wprowadzeniem do konstrukcji trzonu i obliczeń fundamentu jest dzielony przez **długość przyczółka** (obowiązkiem użytkownika jest dołączenie lub wykluczenie wpływu skrzydeł ścian z analizy)

Obliczenia poszczególnych sił przyczółka zostało opisane bardziej szczegółowo w rozdziale "Analizy ściany".

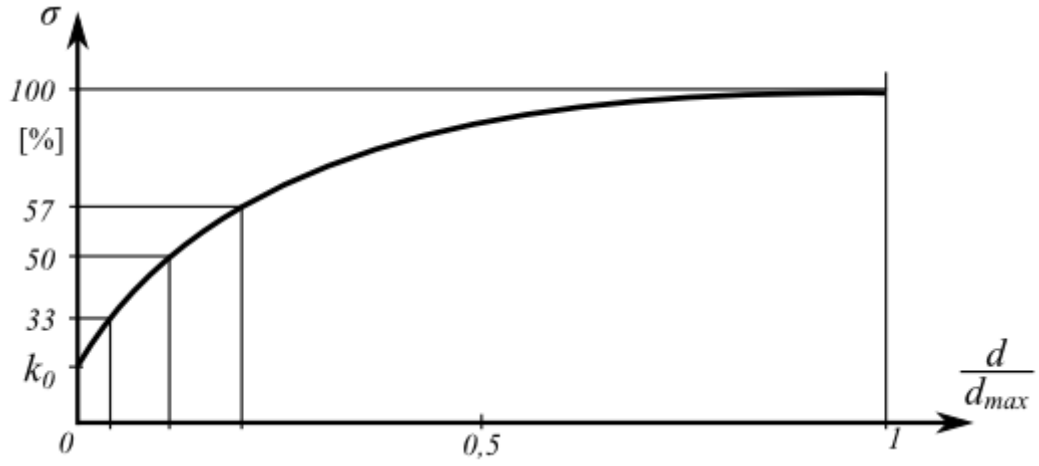
Wszystkie siły działające na przekrój roboczy, które zostały wprowadzone do obliczeń (za wyjątkiem oporu na licu) są redukowane stosunkiem **długości przyczółka / długości fundamentu**.



Geometria przyczółka mostu

Zredukowane parcie bierne gruntu

Mobilizacja parcia biernego gruntu σ_p odpowiada maksymalnemu przemieszczeniu konstrukcji w stronę gruntu. Takie przemieszczenie może jednakże nie wystąpić (na przykład w przypadku ścian utwierdzonych w gruncie), wówczas konstrukcja obciążona będzie zredukowanym parciem biernym gruntu σ_{ps}. Wartość zredukowanego parcia biernego gruntu σ_{ps} może się zawierać w zakresie od wartości parcia spoczynkowego σ_r (w przypadku zerowej deformacji), do wartości parcia biernego σ_p. Na rysunku pokazano zależność wartości parcia gruntu niespoistego (opór gruntu), w odniesieniu do proporcji między rzeczywistym przemieszczeniem d i przemieszczeniem maksymalnym d_{max} (przy aktywacji parcia biernego gruntu σ_p).



Zależnosć wartości parć gruntu od wskaźnika rzeczywistej deformacji konstruckji

Zbocze gwoździowane

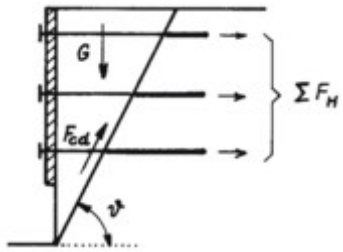
Program "**Zbocze gwoździowane**" umożliwia przeprowadzenie następujących analiz:

- analiza wewnętrznej stateczności konstrukcji (gładkie lub łamane powierzchnie poślizgu, nośność gwoździ)
- analiza ściany fikcyjnej - analogicznie jak w przypadku ściany oporowej
- analiza betonowej obudowy konstrukcji (wymiarowanie)
- analiza ogólnej stateczności w programie "**Stateczność zbocza**"

Analiza stateczności wewnętrznej

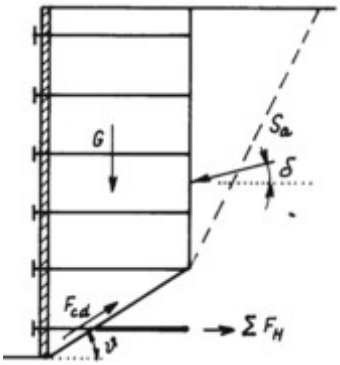
Wewnętrzna stateczność konstrukcji sprawdzana jest przy założeniu dwóch typów powierzchni poślizgu:

- **Płaska powierzchnia poślizgu**



Płaska powierzchnia poślizgu

- **Łamana powierzchnia poślizgu**



Łamana powierzchnia poślizgu

W obu przypadkach określona powierzchnia poślizgu badana jest ze względu na zmianę kąta ϑ.

Podczas przeprowadzania analizy **optymalizacyjnej**, obliczenia wykonywane są dla ław ze zmianą katą powierzchni poślizgu ***v*** od *1* do *89* stopni z krokiem jednego stopnia.

Analiza wewnętrznej stateczności może być przeprowadzona za pomocą współczynnika bezpieczeństwa lub teorii stanów granicznych w zależności od ustawienia w ramce "Konstrukcje oporowe".

Analiza sprawdza, czy stosunek sił oporu i ścinania (napędowe) działających na powierzchnię poślizgu są większe od wprowadzonego współczynnika bezpieczeństwa. Stosuje się następujące siły:

Siły ścinania:

- składowa siły ciężkości równoległa do powierzchni poślizgu
- w przypadku łamanej powierzchni poślizgu - składowa czynnego parcia gruntu działającego na pionową część konstrukcji oraz równolegle do powierzchni poślizgu (parcie wyznaczane jest bez redukcji parametrów wejściowych)
- siły poziome na skutek obciążeń sejsmicznych

Siły oporu:

- tarcie i spójność gruntu wzdłuż powierzchni poślizgu
- suma sił przenoszonych przez gwoździe

Analiza nośności gwoździ

Dla każdego gwoździa wprowadza się lub oblicza następujące nośności:

R_f nośność głowicy gwoździa

R_t wytrzymałość gwoździa na zginanie

T_p nośność gwoździa na wyciąganie

Charakterystyki wytrzymałościowe gwoździa reprezentują podstawowe parametry do obliczenia całkowitej nośności gwoździ.

Wytrzymałość gwoździa na zerwanie wynika z:

$$R_t = \frac{\pi d_s^2}{4} \frac{f_y}{SF_t}$$

gdzie:
- R_t - wytrzymałość na zerwanie
- d_s - średnica gwoździa
- f_y - wytrzymałość materiału gwoździa
- SF_t - współczynnik bezpieczeństwa na zerwanie

Nośność gwoździ na wyciąganie wyznaczana jest jedną z następujących metod:

1. wyznaczanie na podstawie nośności granicznej:

$$T_p = \frac{\pi d g_s}{SF_e}$$

gdzie:
- T_p - nośność gwoździa na wyciąganie [kN/m]
- d - średnica otworu
- g_s - tarcie na pobocznicy, definiowane jako parametr gwoździa lub jako parametr gruntu
- SF_e - współczynnik bezpieczeństwa na wyciąganie

2. wyznaczanie z naprężeń efektywnych

$$T_p = \frac{\pi d\left(K_a \sigma_z \tan\varphi + c\right)}{SF_e}$$

gdzie:

$$K_a = \frac{1+K_0}{2} = \frac{1+\left(1-\sin\varphi\right)}{2}$$

gdzie: T_p - nośność gwoździa na wyciąganie [kN/m]

d - średnica otworu

σ_z - pionowe naprężenie geostatyczne

φ - efektywny kąt tarcia wewnętrznego gruntu

c - efektywna spójność gruntu

SF_e - współczynnik bezpieczeństwa na wyciąganie

3. Wyznaczanie według HA 68/94

$$T_p = \frac{\pi d\left(\sigma_n \tan\varphi + c\right)}{SF_e}$$

gdzie: T_p - nośność gwoździa na wyciąganie [kN/m]

d - średnica otworu

σ_n - Średnie promieniowe naprężenie efektywne

φ - efektywny kąt tarcia wewnętrznego gruntu

c - efektywna spójność gruntu

SF_e - współczynnik bezpieczeństwa na wyciąganie

Średnie promieniowe naprężenie efektywne σ_n wyznaczane jest z następującego wzoru:

$$\sigma_n = \frac{\left(1+K_L\right)\sigma_z}{2}$$

gdzie: σ_z -pionowe naprężenie geostatyczne

$$K_L = \frac{1+K_a}{2}$$

gdzie:

$$K_a = \frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi}$$

Nośność głowicy gwoździa określana jest z następującego wzoru:

$$R_f = \frac{\min\left(R_t ; T_p l\right)\left(0{,}6+0{,}2\left(S_{\max}-1\right)\right)}{SF_f}$$

gdzie: R_t - nośność gwoździ na zerwanie

l - długość gwoździa

T_p - nośność gwoździa na wyciąganie [kN/m]

S_{max} - maksymalny rozstaw gwoździ w konstrukcji

SF_f - współczynnik bezpieczeństwa do nośności głowicy gwoździa

W przypadku, gdy gwoździe nie są zakotwione w obudowie konstrukcji, istnieje możliwość zdefiniowania zerowej nośności głowicy gwoździ.

Zalecane wartości tarcia na pobocznicy

Wartości w poniższej tabeli opracowane zostały na podstawie wyników badań polowych i laboratoryjnych.

Tarcie na pobocznicy: gwoździe wiercone klasycznie

$q_{s,k}$ [kPa] [1] wedlug **EA Pfähle**								
Grunty niespoiste			Grunty spoiste			Skały		
q_c [2] [MN/m^2]			c_u [3] [kN/m^2]			$q_{u,k}$ [4] [MN/m^2]		
7,5	15	25	60	150	250	0,5	5	20
55 -80	105 - 140	130 -170	30 - 40	50 -65	65 - 85	70 - 250	500 -1000	500 - 2000

Uwagi:

1) Określenie tarcia na pobocznicy powinno być wykonywane podczas rozpoznania geotechnicznego

2) Opór pod stożkiem, CPT test (według DIN EN ISO 22476-1)

3) Całkowita spójność gruntu

4) Wytrzymałość na ściskanie jednoosiowe

Literatura:

EA-Pfähle, ISBN: 978-3-433-03005-9

Wartości w poniższej tabeli opracowane zostały na podstawie klasyfikacji gruntów i skał.

Szacowna nośność graniczna gwoździ gruntowych w gruncie i skale (źródło: Elias a Juran, 1991)

Material	**Metoda wykonania**	**Typ gruntu / skały**	**Nośność graniczna** q_s [kPa]
Skała	**Wiercenie obrotowe**	Margiel / wapień	300 - 400

		Fylit	100 - 300
		Kreda	500 - 600
		Miękki dolomit	400 - 600
		Szczelinowy dolomit	600 - 1000
		Zwietrzały piaskowiec	200 - 300
		Zwietrzały łupek ilasty	100 - 150
		Zwietrzały łupek	100 - 175
		Bazalt	500 - 600
		Łupek / twardy łupek ilasty	300 - 400
Grunty niespoiste	**Wiercenie obrotowe**	Piasek / żwir	100 - 180
		Piasek pylasty	100 - 150
		Pył	40 - 120
		Piedmont rezydualny	40 - 120
		Drobne koluwium	75 - 150
	Wbijanie w obudowie	Piasek / żwir - niski nadkład - wysoki nadkład	 190 - 240 280 - 430
		Zwarta morena	380 - 480
		Koluwium	100 - 180
	Wiercenie świdrem śrubowym	Nasyp z piasku pylastego	20 - 40
		Drobny piasek pylasty	55 - 90
		Pylasty piasek gliniasty	60 - 140
	Iniektowanie	Piasek	380

		Żwir piaskowy	700
Grunty drobnoziarniste	**Wiercenie obrotowe**	Ił pylasty	35 - 50
	Wbijanie w obudowie	Pył ilasty	90 - 140
	Wiercenie świdrem śrubowym	Less	25 - 75
		Glina miękka	20 - 30
		Glina twarda	40 - 60
		Twardy pył ilasty	40 - 100
		Wapienna ił piaszczysty	90 - 140

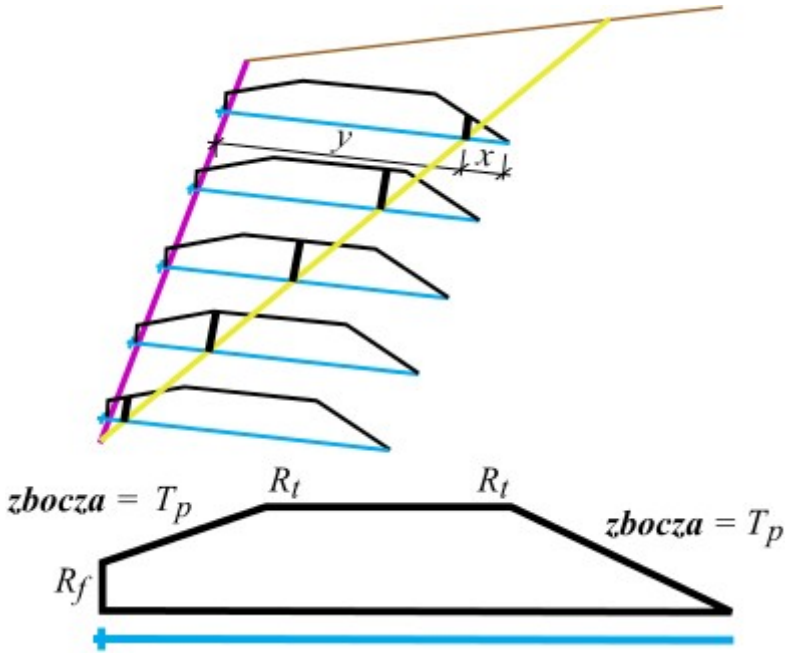
Uwaga: Przekształcić wartości w kPa do psf poprzez pomnożenie przez 20.9. Przekształcić wartości w kPa do psi poprzez pomnożenie przez 0.145

Całkowita nośność gwoździ

Nośność gwoździa wyznaczana jest na podstawie położenia jego przecięcia z powierzchnią poślizgu. Jeżeli gwóźdź znajduje się całkowicie przed powierzchnią poślizgu, wówczas nie uwzględnia się go w obliczeniach. Jeżeli natomiast gwóźdź przecina powierzchnię poślizgu, wówczas jego nośność wyznaczana jest z:

$$F = \min\left(T_p x\ ;\ R_t\ ;\ R_f + T_p y\right)$$

gdzie:
- x - długość gwoździa za powierzchnią poślizgu w kierunku masywu gruntowego
- y - długość gwoździa przed powierzchnią poślizgu
- R_f - nośność głowicy gwoździa
- R_t - wytrzymałość gwoździa na zerwanie
- T_p - nośność gwoździa na wyciąganie



Rozkład siły rozciągającej wzdłuż gwoździa

Analiza - współczynnik bezpieczeństwa

W obliczeniach przeprowadzane jest sprawdzenie, czy stosunek sił **oporu** i **ścinania** działających na powierzchnię poślizgu jest większy od wprowadzonego współczynnika bezpieczeństwa.

Współczynnik bezpieczeństwa dla wprowadzonych sił poślizgu wyznaczany jest z:

$$SF = \frac{F_h \cos(\upsilon + \alpha) + F_{cd}}{(G + S_{a,vert}) \sin\upsilon + S_{a,hor} \cos\upsilon}$$

$$F_h = \sum F_{h,n}$$

$$F_{cd} = \sum \frac{d_i}{d} (G \cos\upsilon + F_h \sin(\upsilon + \alpha)) \tan\varphi_i + \sum d_i c_i$$

gdzie:

- G - siła ciężkości
- $S_{a,vert}$ - pionowa składowa parcia czynnego
- $S_{a,hor}$ - pozioma składowa parcia czynnego
- d_i - długość odcinka i^{tego} powierzchni poślizgu
- d - długość powierzchni poślizgu
- $F_{h,n}$ - nośność n^{tego} gwoździa za powierzchnią poślizgu na 1m bieżący
- c_i - spójność i^{tej} warstwy gruntu
- φ_i - kąt tarcia wewnętrznego i^{tej} warstwy
- υ - nachylenie powierzchni poślizgu

α - nachylenie gwoździ od poziomu

Analiza - teoria stanów granicznych

W obliczeniach przeprowadzane jest sprawdzenie, czy **siły bierne** (oporowe) F_p działające na powierzchnię poślizgu są większe od **sił czynnych** (ścinających) F_a:

$$F_p > F_a$$

$$F_p = F_h \cos(\upsilon + \alpha) + F_{cd}$$

$$F_a = (G + S_{a,vert})\sin\upsilon + S_{a,hor} - \cos\upsilon$$

$$F_h = \sum F_{h,n}$$

$$F_{cd} = \sum \frac{d_i}{d}(G\cos\upsilon + F_h \sin(\upsilon + \alpha))\tan\varphi_i + \sum d_i c_i$$

gdzie:

G - siła ciężkości

$Sa,vert$ - pionowa składowa parcia czynnego

Sa,hor - pozioma składowa parcia czynnego

d_i - długość odcinka i^{tego} powierzchni poślizgu

d - długość powierzchni poślizgu

Fh,n - nośność n^{tego} gwoździa za powierzchnią poślizgu na 1m bieżący

c_i - spójność i^{tej} warstwy gruntu

φ_i - kąt tarcia wewnętrznego i^{tej} warstwy

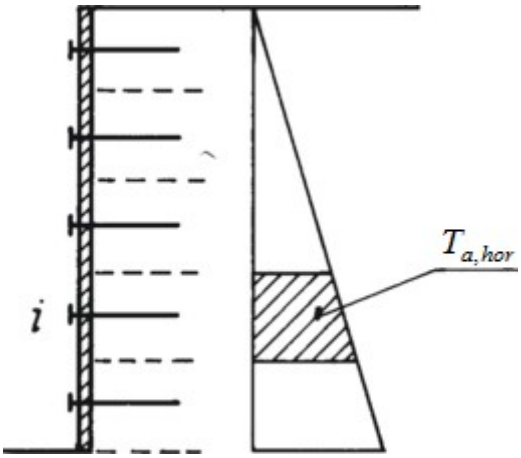
υ - nachylenie powierzchni poślizgu

α - nachylenie gwoździ od poziomu

Siła w gwoździu

Wartość **czynnego parcia gruntu** jest redukowana za pomocą współczynnika K_n. Zalecana (wyznaczona eksperymentalnie) wartość wynosi $K_n = 0{,}85$.

Siły przenoszone przez poszczególne gwoździe są wyznaczane tak, że dana część obliczonego parcia gruntu jest przypisywana **do danego pasa (odcinka)**. Następnie, każdy gwóźdź jest obciążany odpowiednią częścią czynnego parcia gruntu.



Siły przenoszone przez poszczególne gwoździe

Siła w gwoździu wyznaczana jest z:

$$F_i = \frac{b\,k_n \sum T_{a,hor}}{\cos\alpha}$$

gdzie:
- b - rozstaw gwoździ
- α - nachylenie gwoździa
- K_n - współczynnik redukcji
- $T_{a,hor}$ - czynnego parcie gruntu działające na pas (odcinek) ściany

Wymiarowanie osłony betonowej

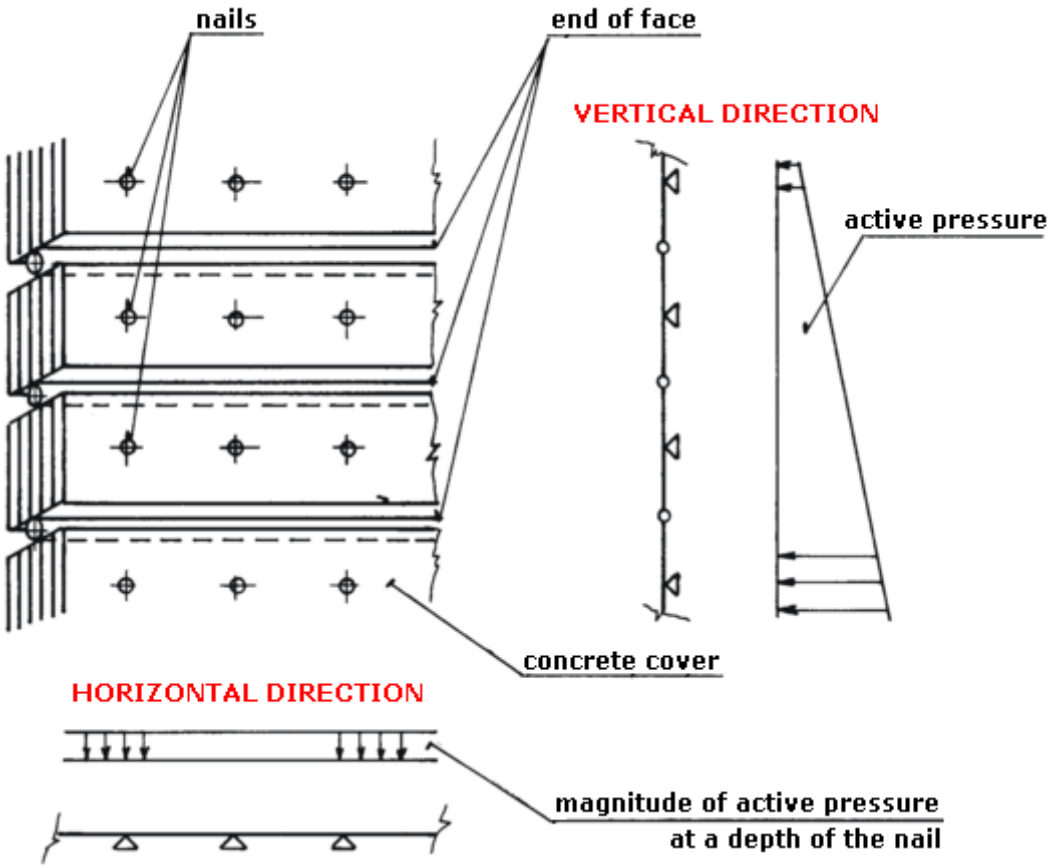
Osłona betonowa zbocza gwoździowanego służy do zabezpieczenia przed czynnym parciem gruntu. W tym celu zakłada się, że konstrukcja jest podzielona na poszczególne pasy (odcinki) pośrednie.

W **kierunku pionowym**, głowica gwoździa modelowana jest jako podpora, a połączenie pomiędzy pasami (odcinkami) jako przeguby wewnętrzne.

W **kierunku poziomym**, program generuje (domyślnie) konstrukcję z pięcioma podporami jednolicie obciążonymi parciem czynnym do głębokości głowicy gwoździa.

Program umożliwia sprawdzenie zbrojenia osłony betonowej konstrukcji obciążanej momentem zginającym.

Schemat **budowy modelu** konstrukcji łącznie z obciążeniem jest widoczny na rysunku:



Wymiarowanie osłony betonowej

Projektowanie wykopów

GEO5 umożliwia projektowanie i analizę różnego rodzaju obudów głębokich wykopów. Sciany wykopów mogą być wielokrotnie **kotwione** lub **rozpierane**, a także pracujące **wspornikowo**.

Podstawowym programem do analizy kotwionych i rozpieranych obudów wykopów jest program "Ściana analiza". Umożliwia on modelowanie rzeczywistej pracy konstrukcji z uwzględnieniem faz budowy, wyznaczanie przemieszczeń i sił wewnętrznych w konstrukcji, wymiarowanie kotew i sprawdzanie stateczności wewnętrznej bryły odłamu. Ponadto program wykonuje wymiarowanie przekrojów żelbetowych, stalowych i drewnianych.

Program "Ściana projekt" przeznaczony jest to sprawnego projektowania ścian wykopów pracujących wspornikowo oraz wstępnej analizy ścian rozpieranych. Program wyznacza wymagane zagłębienie konstrukcji poniżej dna wykopu oraz siły wewnętrzne w konstrukcji. W programie można także przeprowadzić wymiarowanie przekrojów (beton, stal, drewno).

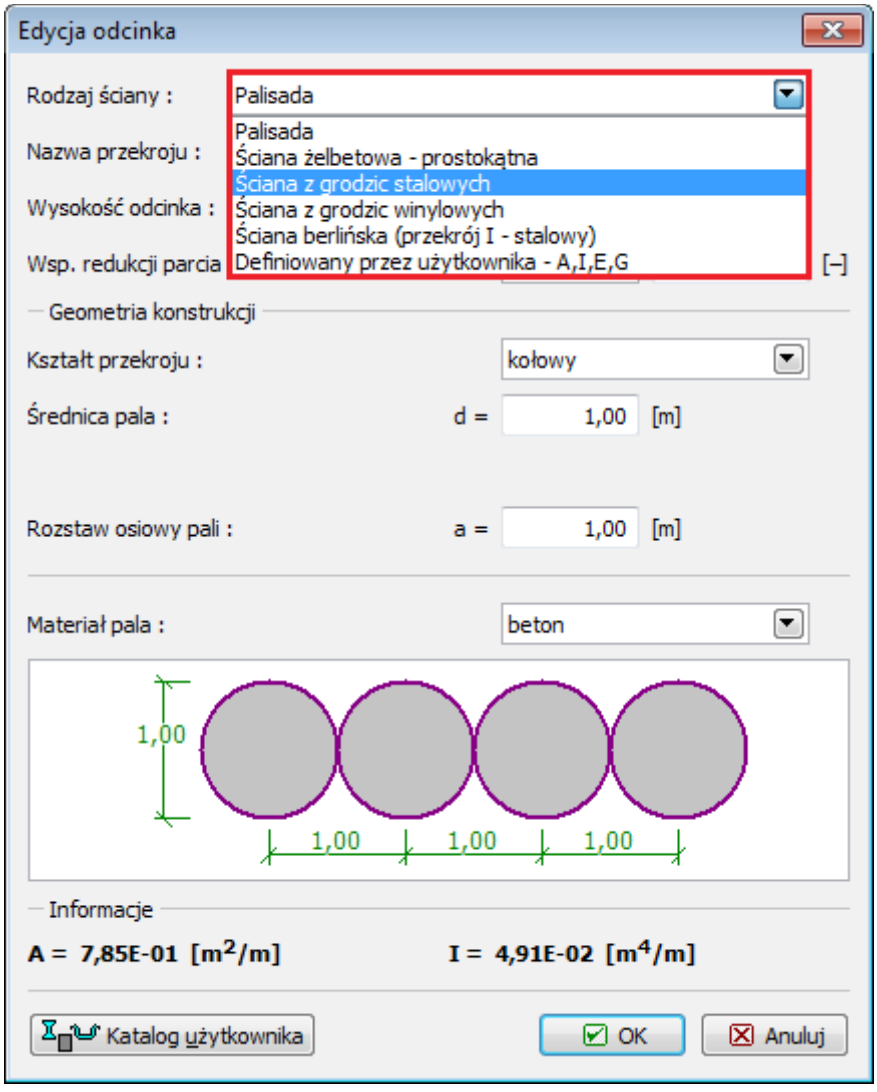
Specialnym przypadkiem konstrukcji zabezpieczającej wykonywanej w obrębie skarp lub zboczy jest palisada z pali stabilizujących. Program "Pal stabilizujący" służy do analizy tego rodzaju konstrukcji.

Definiowanie przekroju

Lista rozwijana w oknie dialogowym "**Edycja odcinka**" zawiera poszczególne, dostępne do wyboru, rodzaje konstrukcji obudów wykopów:

- Palisada
- Ściana żelbetowa - prostokątna (ściana szczelinowa)
- Ściana z grodzic stalowych (ścianka szczelna)
- Ściana berlińska
- Ściana z grodzic winylowych
- Przekrój definiowany przez użytkownika

Niektóre rodzaje obudów można zapisywać w "Katalogu użytkownika" (przycisk "**Katalog użytkownika**").



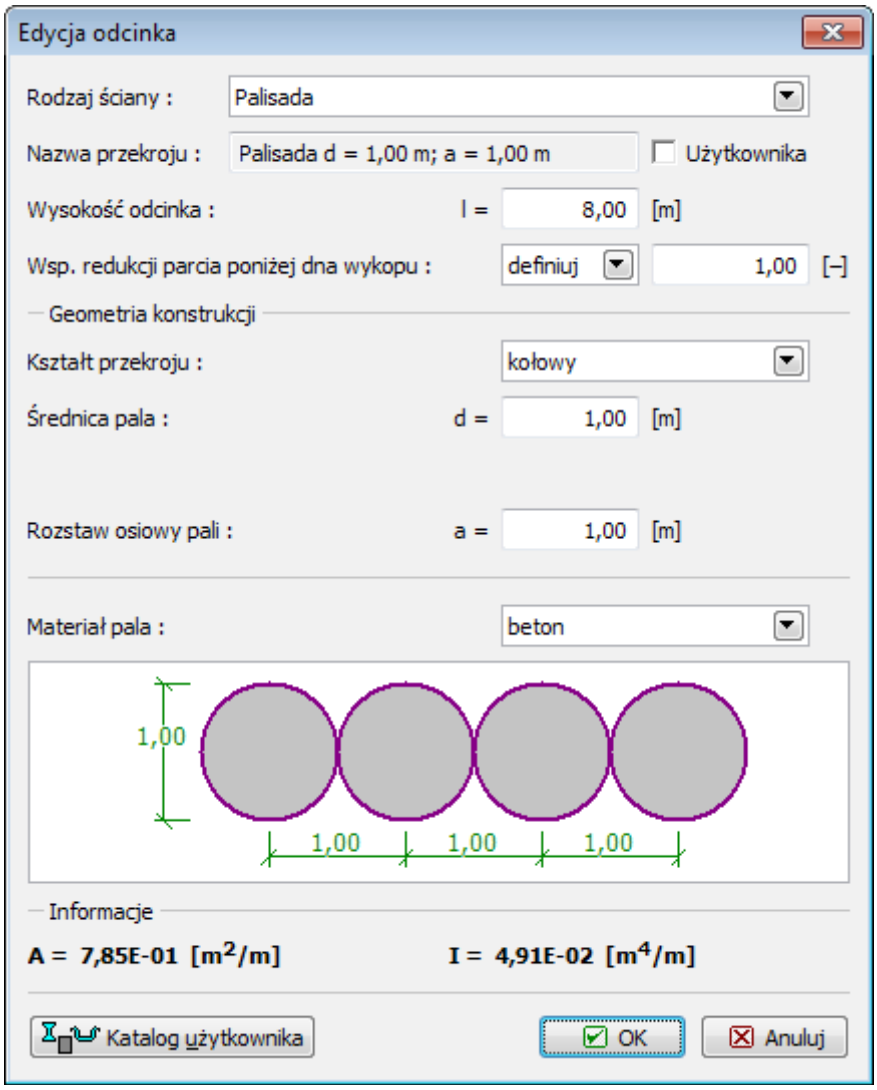
Okno dialogowe "Edycja odcinka"

Palisada

Konstrukcja obudowy wykopu w postaci **Palisady** wymaga zdefiniowania następujących parametrów:

- **Nazwa przekroju** (program generuje nazwę domyślną, może być ona zmodyfikowana po wyborze opcji "Użytkownika")

- **Współczynnik redukcji parcia poniżej dna wykopu** - współczynnik stosowany jest do redukcji parcia gruntu poniżej dna wykopu w przypadku obudów nieciągłych - współczynnik ten może być zdefiniowany przez użytkownika lub **wyznaczony** automatycznie przez program (w przypadku ścian ciągłych wartość tego współczynnik wynosi 1.0)
- **Kształt przekroju** (kołowy, kwadratowy)
- **Średnica pali** d i ich **rozstaw** a
- **Materiał pali** (beton, drewno)



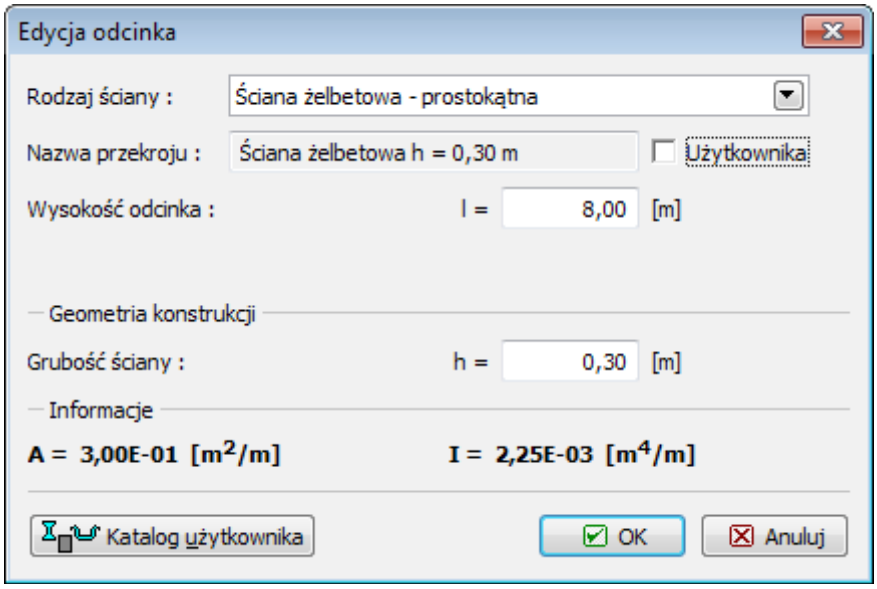
Definiowanie parametrów - palisada

Ściana żelbetowa - prostokątna

Konstrukcja obudowy wykopu w postaci **Ściany żelbetowej - prostokątnej** (np. ściana szczelinowa) wymaga zdefiniowania następujących parametrów:

- **Nazwa przekroju** (program generuje nazwę domyślną, może być ona zmodyfikowana po wyborze opcji "Użytkownika")

- **Grubość ściany** h



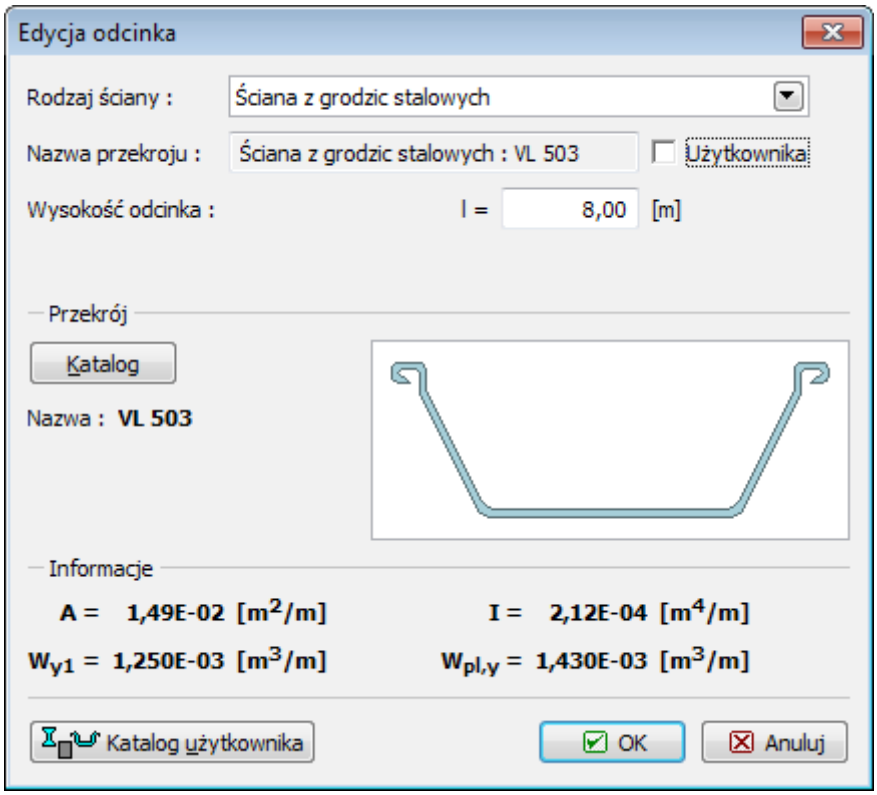
Definiowanie parametrów - ściana żelbetowa - prostokątna

Ściana z grodzic stalowych (ścianka szczelna)

Konstrukcja obudowy wykopu w postaci **Ściany z grodzic stalowych** wymaga zdefiniowania następujących parametrów:

- **Nazwa przekroju** (program generuje nazwę domyślną, może być ona zmodyfikowana po wyborze opcji "Użytkownika")
- **Rodzaj profilu** - wyboru profilu dokonuje się z oknie dialogowym "**Katalog profili**" (przycisk "**Katalog**")

Katalog profili zawiera wiele klas grodzic stalowych i obudów różnych producentów (lista poniżej). Jeśli stosują Państwo inne produkty, prosimy o kontakt z nami (hotline@fine.cz), wprowadzimy je do katalogu w programie.



Definiowanie parametrów - ściany z grodzic

Literatura:

Grodzice dostępne w katalogu programu:

Grodzice stalowe:

- *Vítkovice steel - Product catalog of sheet piles*
- *Arcelor Mittal - Steel Sheet Piling, General Catalogue 2012*
- *ThyssenKrupp Bautechnik - Sheet Piling Handbook*
- *Chinese standard GB/T 20933-2014 Hot rolled sheet pile*
- *Bethlehem Steel Sheet Piling*
- *Gerdau Steel Sheet Piling*

Grodzice stalowe formowane na zimno:

- *Mer Lion Metals - Cold Formed Steel Sheet Piles Catalogue*

Inne grodzice:

- *ThyssenKrupp Bautechnik - Kaltgewalzte Spundwandprofile – Kanaldielen*

Grodzice typu O WOM/WOF:

- *Mer Lion Metals - Steel Sheet Piles Catalogue*
- *PilePro Group Company - Sheet Pile Connectors*

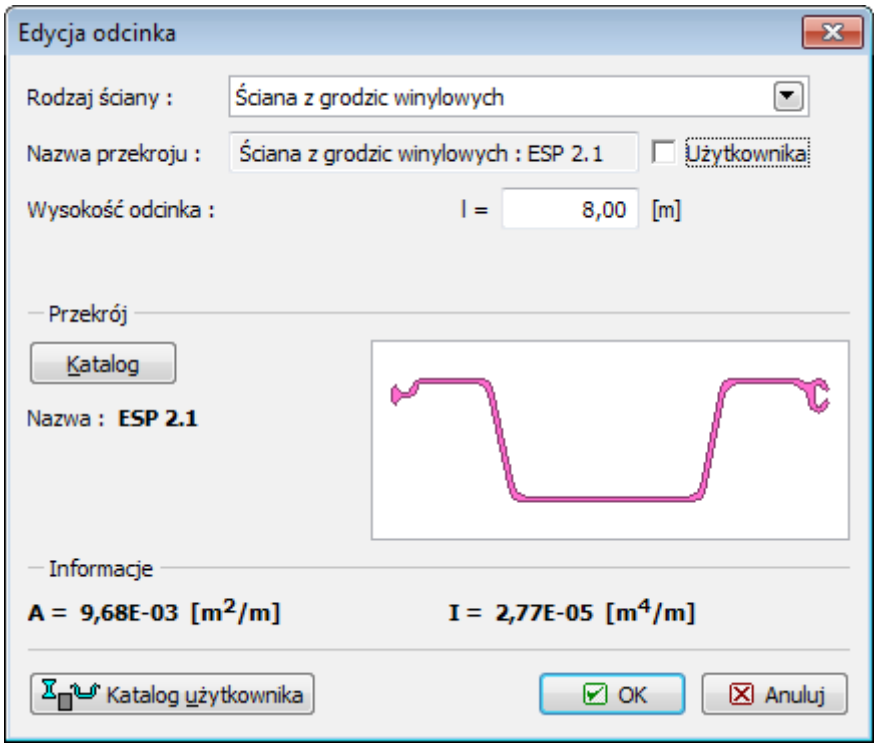
Ściana z grodzic winylowych

Konstrukcja obudowy wykopu w postaci **Ściany z grodzic winylowych** wymaga zdefiniowania

następujących parametrów:

- **Nazwa przekroju** (program generuje nazwę domyślną, może być ona zmodyfikowana po wyborze opcji "Użytkownika")
- **Długość odcinka** l
- **Rodzaj profilu** - wyboru profilu dokonuje się z oknie dialogowym "**Katalog profili**" (przycisk "**Katalog**")

Katalog profili zawiera wiele klas grodzic i obudów różnych producentów (lista poniżej). Jeśli stosują Państwo inne produkty, prosimy o kontakt z nami (hotline@fine.cz), wprowadzimy je do katalogu w programie.



Parameters input - plastic sheet pile

Grodzice plastikowe są **bardzo podatne na zginanie,** a ich przmieszczenia są znacznie większe niż przemieszczenia ścian stalowych czy żelbetowych. Standardowa metoda wyznaczania modułu reakcji według Schmitta nie może być stosowana dla ścian z plastiku. Jeśli w obliczeniach ścian winylowych wybrana zostanie metoda Schmitta, program automatycznie przełączy do metody **"Winyl"**. W takim przypadku **moduł reakcji** liczony jest na podstawie modułu edometrycznego - $k_h = 2/3\ E_{oed}$.

Inne metody pozostają takie same jak w przypadku innych typów przekrojów konstrukcyjnych.

Sprawdzenie nośności ściany z grodzic plastikowych może być przeprowadzone w ramce **"Wymiarowanie"**.

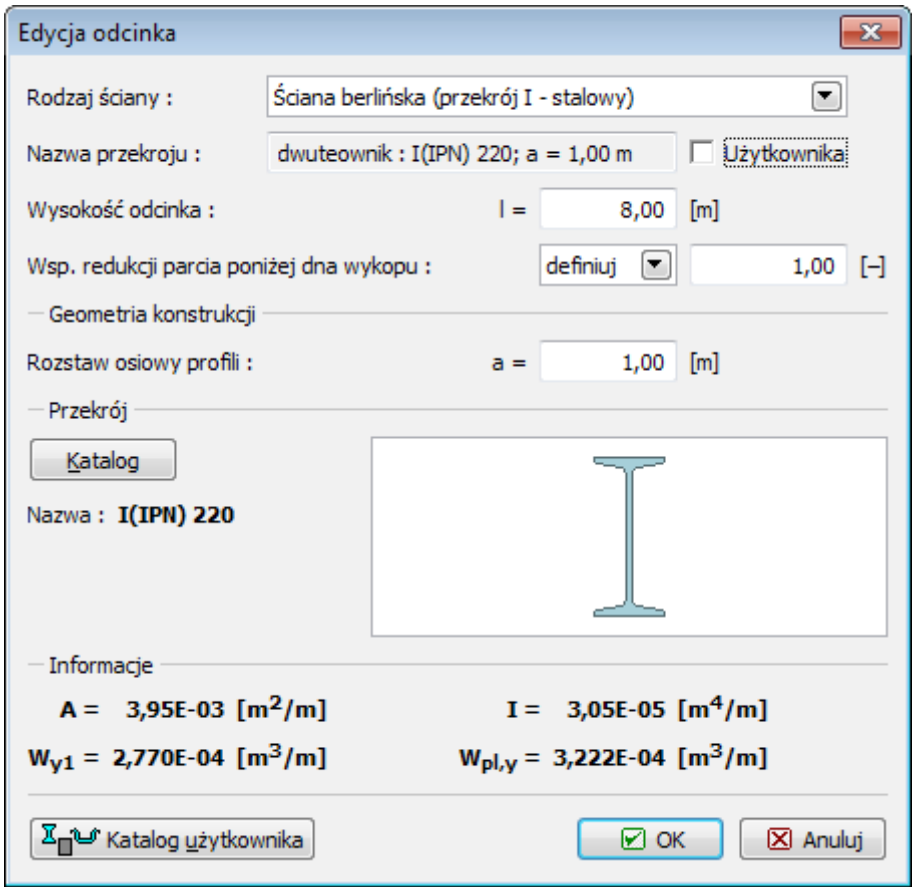
Literatura:

- *Katalog Everlast Synthetic Products, LLC - can be found at https://everlastseawalls.com/seawall-products/vinyl-sheet-piling*

Ściana berlińska

Konstrukcja obudowy wykopu w postaci **Ściany berlińskiej** wymaga zdefiniowania następujących parametrów:

- **Nazwa przekroju** (program generuje nazwę domyślną, może być ona zmodyfikowana po wyborze opcji "Użytkownika")
- **Współczynnik redukcji parcia poniżej dna wykopu** - współczynnik stosowany jest do redukcji parcia gruntu poniżej dna wykopu w przypadku obudów nieciągłych - współczynnik ten może być zdefiniowany przez użytkownika lub **wyznaczony** automatycznie przez program (w przypadku ścian ciągłych wartość tego współczynnik wynosi 1.0)
- **Długość odcinka** l
- **Rozstaw profili**
- **Rodzaj profilu** - wyboru profilu dokonuje się z oknie dialogowym "**Katalog profili**" (przycisk "**Katalog**"), lub w oknie dialogowym "**Edytor przekroju**" (przycisk "**Spawany**")



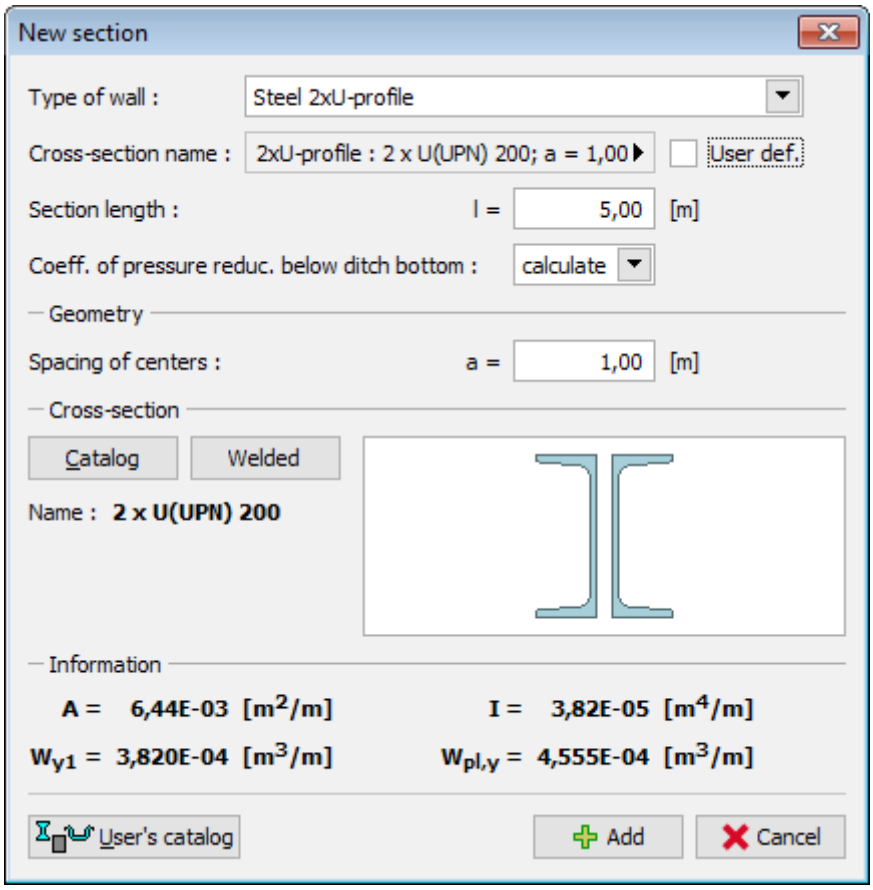
Definiowanie parametrów - ściana berlińska

Steel 2xU-profile

The **Steel 2xU-profile** requires input of:

- **Cross-section name** (default name is generated by program, it can be changed using "**User def.**" check box)

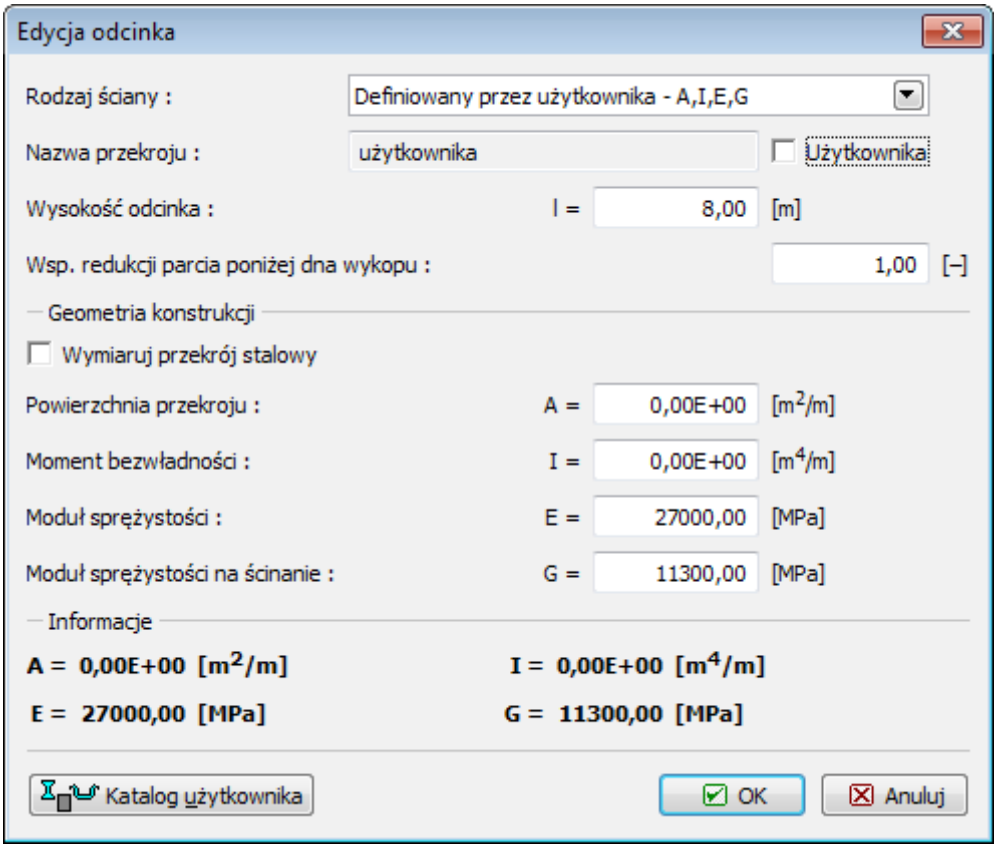
- **Coefficient of pressure reduction below ditch bottom** - this coefficient is used for reduction of pressures below ditch bottom for calculation of braced sheeting - it can be either input or calculated automatically (for classical non-braced sheeting this coefficient is equal to 1.0)
- **Section length** l
- **Spacing of profiles**
- **Cross-section type** - it is selected in the dialog window "**Catalog of profiles**" (button "**Catalog**"), or in the dialog window "**Cross-section editor**" (button "**Welded**")



Parameters input - steel 2xU-section

Przekrój definiowany przez użytkownika - A, I, E, G

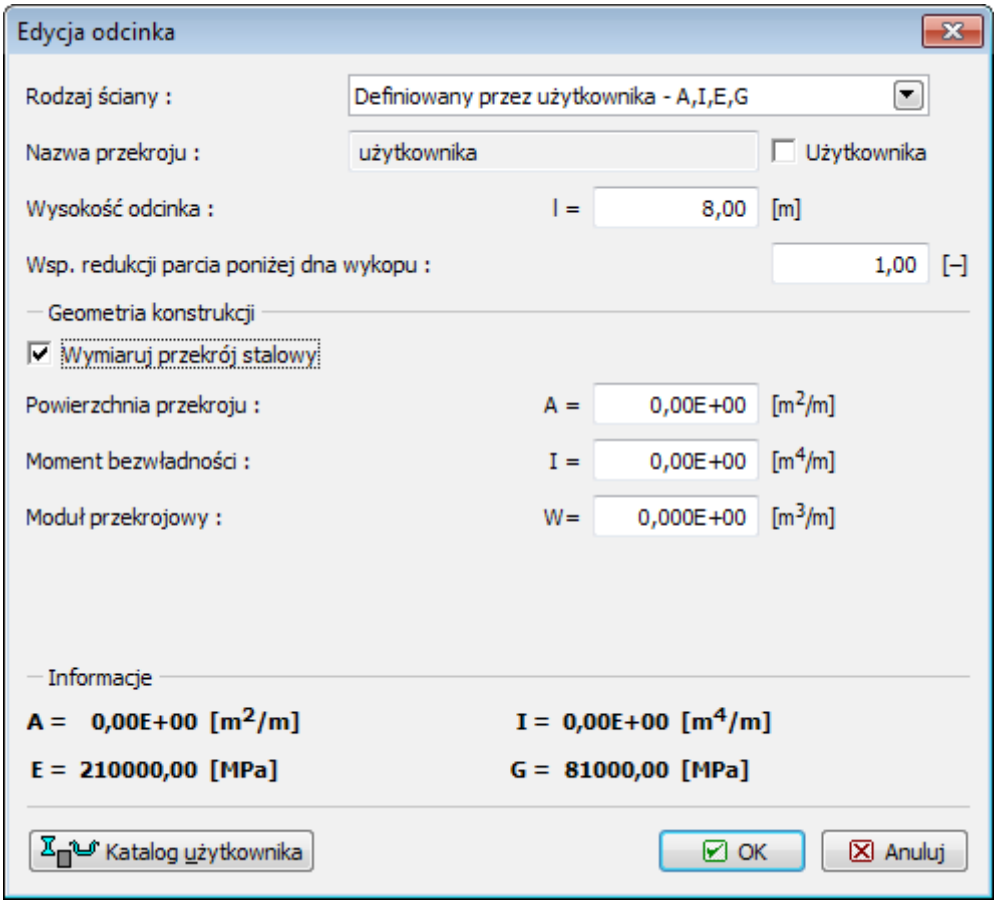
W przypadku przekrojów własnych, definiowanych przez użytkownika konieczne jest zdefiniowanie parametrów przekroju poprzecznego (A,I) oraz parametrów materiałowych (E,G).



Definiowanie parametrów przekroju (A, I) i materiału (E, G)

Do wymiarowania przekroju stalowego (pole wyboru "**Wymiaruj przekrój stalowy**") należy ponadto zdefiniować wartość modułu przekrojowego (W). Parametry materiałowe (E, G) są wówczas przyjmowane na podstawie danych z ramki "Materiał".

Przekrój może być sprawdzony wyłącznie na **zginanie ze ściskaniem**.



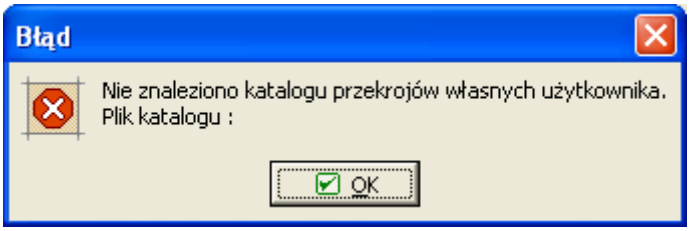
Definiowanie parametrów przekroju i materiału

Katalog użytkownika

Katalog użytkownika umożliwia zdefiniowanie oraz zapisanie własnych przekrojów i ich parametrów stosowanych w obliczeniach obudowy wykopu. Podczas pierwszego użycia katalogu (nie został jeszcze utworzony), program wyświetla komunikat ostrzegawczy z informacją, że nie znaleziono katalogu. Wówczas, naciśnięcie przycisku "**OK**" otwiera okno dialogowe "**Zapisz jako**", które umożliwia wprowadzenie nazwy katalogu i zapisanie go w określonym miejscu po naciśnięciu przycisku "**Zapisz**" (domyślnie wybierany jest folder, w którym zapisywane są dane projektu).

Program umożliwia użytkownikowi utworzenie więcej niż jednego katalogu. Kolejny katalog tworzy się poprzez naciśnięcie przycisku "**Nowy**" - program wyświetla zapytanie, czy aktualny katalog ma być zastąpiony (**aktualnie wczytany katalog nie jest usuwany!**) i zapisuje nowy katalog pod nową nazwą. Przycisk "**Otwórz**" umożliwia wczytanie dowolnego katalogu użytkownika, natomiast "**Zapisz jako**" służy do zapisania katalogu pod inną nazwą.

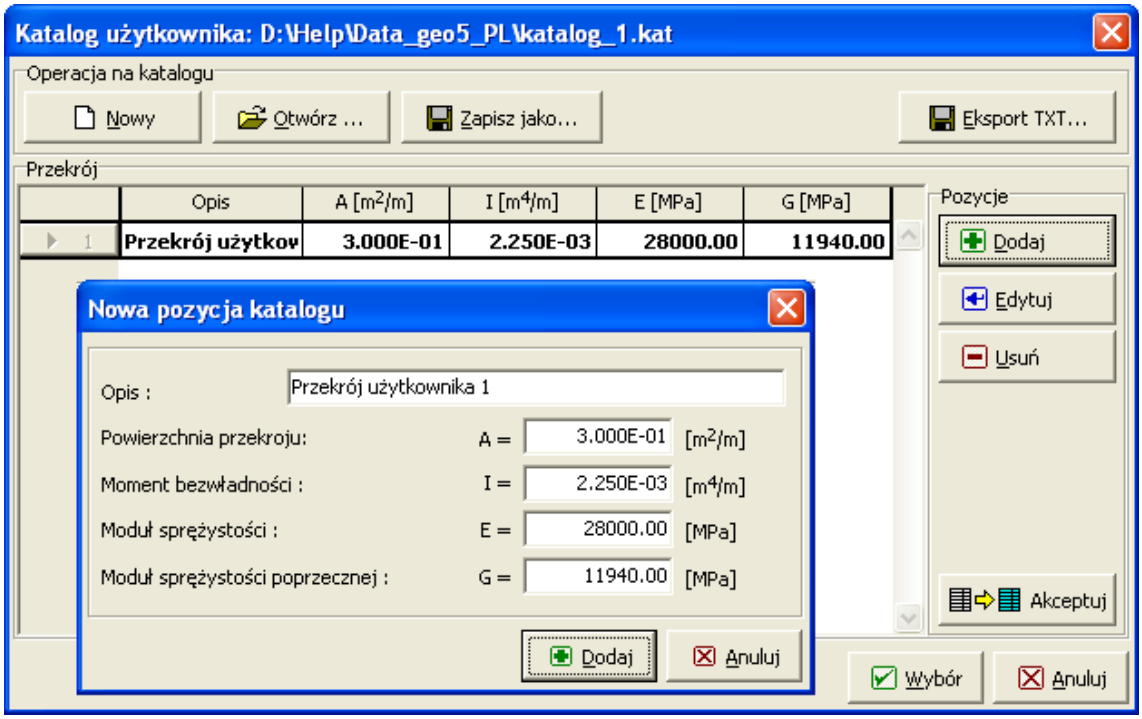
Przycisk "**Eksport TXT**" pozwala na eksportowanie obecnie wczytanego katalogu użytkownika do pliku tekstowego.



Okno dialogowe pojawiające się przy pierwszym użyciu katalogu przekrojów własnych

Okno dialogowe "**Katalog użytkownika**" zawiera tabelę z listą przekrojów zdefiniowanych przez użytkownika. Przycisk "**Dodaj**" otwiera okno dialogowe "**Nowa pozycja katalogu**", które umożliwia określenie, a następnie zapisanie parametrów nowego przekroju do katalogu. Przyciski "**Edytuj**" i "**Usuń**" służą do edycji poszczególnych pozycji w tabeli.

Przycisk "**Akceptuj**" akceptuje aktualne charakterystyki przekroju poprzecznego określone w oknie dialogowym "Nowy przekrój" i otwiera okno dialogowe "**Nowa pozycja katalogu**" do modyfikacji i zapisania aktualnego przekroju.



Okno dialogowe "Katalog użytkownika" i "Nowa pozycja katalogu"

Automatyczne wyznaczanie współczynnika redukcji parcia poniżej dna wykopu

W przypadku **automatycznego wyznaczania**, współczynnik redukcji parcia poniżej dna wykopu k [-] wyznaczany jest w sposób następujący:

- **palisada z pali kołowych (a)**

$k = 0.9\ (1.5d + 0.5)/a$ $(d \leq 1\ m)$

$k = 0.9\ (d + 1)/a$ $(d > 1\ m)$

- **palisada z pali prostokątnych lub z profili stalowych I (b)**

$k = (1.5b + 0.5)/a$ $(b \leq 1\ m)$

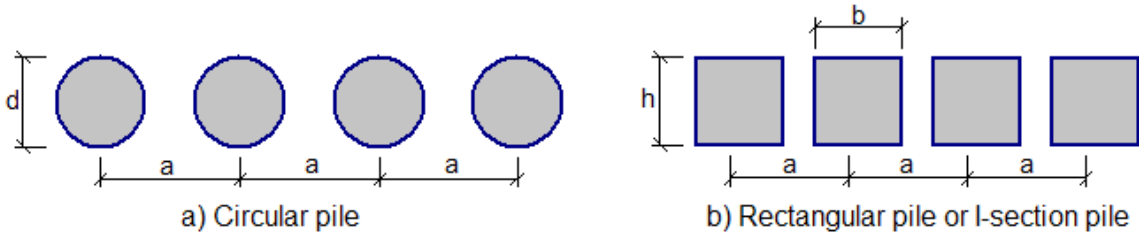
$k = (b + 1)/a$ $(b > 1\ m)$

Uwaga: Jeśli współczynnik $k > 1$, wówczas $k = 1$.

gdzie: d - średnica pala

b - szerokość pala prostokątnego, lub długość półki profilu I

a - rozstaw osiowy pali lub profili



Współczynnik redukcji parcia poniżej dna wykopu k

Ściana projekt

Analizy w programie "**Ściana projekt**" można podzielić na trzy grupy:

- Analizy ścian bez kotwienia (np. ścianka szczelna)
- Analiza ścian kotwionych utwierdzonych w gruncie
- Analiza ścian kotwionych z prostym podparciem w gruncie

Analiza ścian berlińskich jest również dostępna w programie.

Analiza ścian wspornikowych

Ścianka pracująca wspornikowo jest analizowana za pomocą standardowego podejścia, które uwzględnia efekt parć gruntu (czynne parcie gruntu oddziałuje za konstrukcją, natomiast bierne parcie gruntu z przodu konstrukcji).

Na podstawie **teorii stanów granicznych**, program wyszukuje w sposób iteracyjny punkt na ścianie, który spełnia równanie momentu równowagi w postaci:

$$M_{overturning} = M_{resisting}$$

Po wyznaczeniu tego punktu, program następnie określa zagłębienie podstawy ściany, dla którego spełniona jest równowaga sił ścinających (obliczenie głębokości utwierdzenia ściany). W ten sposób znajduje się calkowitą długość analizowanej konstrukcji.

Podczas stosowania podejścia opartego na **współczynniku bezpieczeństwa**, program wyszukuje w sposób iteracyjny punkt w celu uzyskania:

$$\frac{M_{resisting}}{M_{overturning}} = FS$$

Oczywistym jest, że rozkład sił wewnętrznych wynikających z tego podejścia jest daleki od rzeczywistego. W niektórych państwach jednak podejście to jest wymagane.

Obliczenie można przeprowadzić poprzez wybranie minimalnego parcia do wymiarowania lub poprzez redukcję **parcia biernego**. Rzeczywista wielkość biernego parcia gruntu zapewnia odkształcenia analizowanej konstrukcji, które zazwyczaj nie mogą wystąpić. Rzeczywiste parcie bierne może przyjąć dla ścian nieodkształconych wartość parcia spoczynkowego, jak również wszystkie wartości pośrednie do wartości parcia biernego dla całkowicie odkształconej ściany (obrót o około 10 $mRad$ - tzn. deformacja 10 mm na 1 m wysokości konstrukcji). Dlatego, rozsądnie jest rozważyć zredukowane wartości biernego parcia gruntu, ustawiając wartość "**Współczynnika redukcji parcia biernego**" na wartość mniejszą lub równą jeden. Zaleca się następujące wartości:

- 0,67 - redukuje odkształcenia mniej więcej o połowę
- 0,50 - w przybliżeniu odpowiada odkształceniu konstrukcji obciążonej zwiększonym parciem czynnym gruntu
- 0,33 - w przybliżeniu odpowiada odkształceniu konstrukcji obciążonej parciem spoczynkowym, konstrukcja osiąga około 20 procent swoich pierwotnych odkształceń.

Analiza ścian kotwionych utwierdzonych w gruncie

Ściany kotwione utwierdzone w gruncie analizowane są jako ciągła belka za pomocą wariantu odkształcenia metody elementów skończonych, tak aby odpowiadały założeniu kotwienia utwierdzonego gruncie. Właściwa analiza poprzedzana jest wyznaczeniem obciążenia na skutek parcia gruntu na konstrukcję. Zakłada się czynne parcie działające na tył konstrukcji, natomiast lico ściany obciążane jest parciem biernym.

Parcie bierne można redukować za pomocą **współczynnika redukcji parcia biernego**. Rzeczywista wielkość biernego parcia gruntu zapewnia odkształcenia analizowanej konstrukcji, które zazwyczaj nie mogą wystąpić. Rzeczywiste parcie bierne może przyjąć dla ścian wolnych od odkształceń wartość parcia spoczynkowego, jak również wszystkie wartości pośrednie do wartości parcia biernego dla całkowicie odkształconej ściany (obrót o około 10 $mRad$ - tzn. deformacja 10 mm na 1 m of wysokości konstrukcji). Dlatego, rozsądnie jest rozważyć zredukowane wartości biernego parcia gruntu, ustawiając wartość "**Współczynnika redukcji parcia biernego**" na wartość mniejszą lub równą jeden. Zaleca się następujące wartości:

- 0,67 - redukuje odkształcenia mniej więcej o połowę
- 0,33 - deformacja osiąga około 20 procent swoich pierwotnych wartości

Program oferuje dwie opcje **wyznaczania parcia czynnego**:

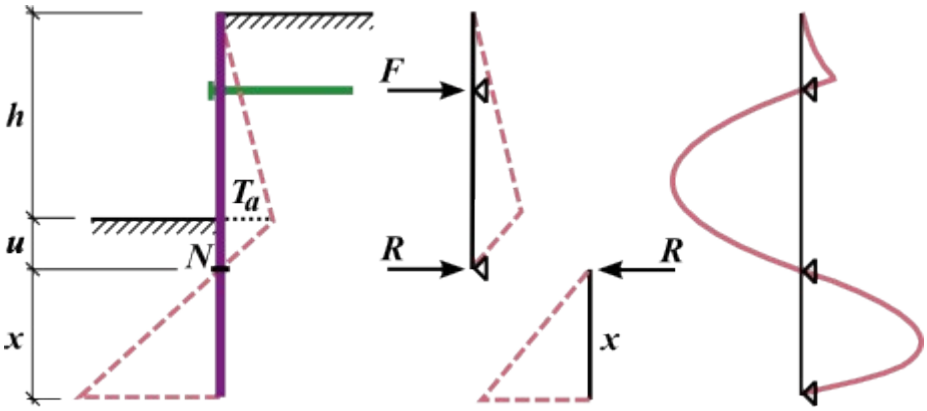
- obliczenie z wprowadzonych parametrów gruntu, wody, dodatkowego obciążenia, terenu, łącznie z wprowadzeniem minimalnego parcia do wymiarowania
- wprowadzenie dowolnego rozkładu parcia gruntu do głębokości punktu zero (w ten sposób istnieje możliwość wprowadzenia dowolnej zmiany rozkładu parcia gruntu)

Punkt wartości zero, tzn. punkt, w którym parcie ogólne równa się zero, i wyznaczany jest z następującego wyrażenia:

$$u = \frac{\sigma_a}{\gamma . K}$$

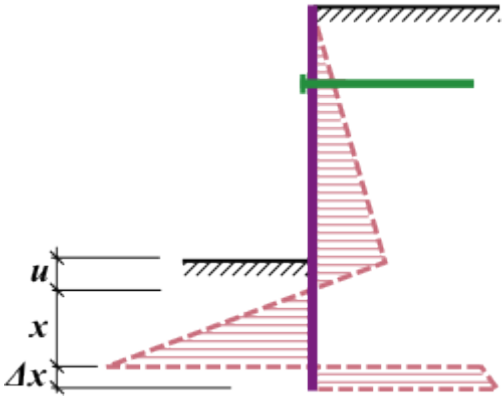
gdzie:
- u - głębokość punktu wartości zero
- σ_a - wielkość parcia czynnego za konstrukcją na dnie wykopu
- K - współczynnik parcia ogólnego
- γ - ciężar jednostkowy gruntu pod dnem wykopu

Analiza konstrukcji kotwionej z utwierdzeniem w gruncie zakłada, że punkt zero obciążenia N (na głębokości u) jest identyczny z punktem zero momentu. Dla właściwej analizy, konstrukcja jest dzielona na dwie części - górną część (górna belka) do punktu wartości zero, oraz dolną belkę:



Analiza ściany kotwionej z tyłu

Górna belka jest analizowana najpierw z oceną sił kotwienia F i siłą reakcji R w punkcie wartości zero. Następnie, długość dolnej belki x wyznaczana jest tak, że stan równowagi momentu w odniesieniu do utwierdzenia jest spełniony (belka obciążana jest reakcją R i różnicą parć gruntu). W celu spełnienia równowagi siły ścinającej, obliczona długość mocowanego końca wydłużana jest o wartość Δx według rysunku:



Wyznaczanie wydłużenia długości ściany o Δx

Analiza ścian kotwionych z prostym podparciem w podstawie

Ściany kotwione z prostym podparciem w gruncie analizowane są jako ciągła belka za pomocą wariantu odkształcenia metody elementów skończonych, aby odpowiadały założeniu prostej podpory konstrukcji. Właściwa analiza poprzedzana jest wyznaczeniem obciążenia na skutek parcia gruntu na konstrukcję. Zakłada się czynne parcie działające na tył konstrukcji, natomiast lico ściany obciążane jest parciem biernym.

Parcie bierne można redukować za pomocą **współczynnika redukcji parcia biernego**. Rzeczywista wielkość biernego parcia gruntu zapewnia odkształcenia analizowanej konstrukcji, które zazwyczaj nie mogą wystąpić. Rzeczywiste parcie bierne może przyjąć dla ścian wolnych od odkształceń wartość parcia spoczynkowego, jak również wszystkie wartości pośrednie do wartości parcia biernego dla całkowicie odkształconej ściany (obrót o około 10 $mRad$ - tzn.

deformacja 10 mm na 1 m of wysokości konstrukcji). Dlatego, rozsądnie jest rozważyć zredukowane wartości biernego parcia gruntu, ustawiając wartość "**Współczynnika redukcji parcia biernego**" na wartość mniejszą lub równą jeden. Zaleca się następujące wartości:

- 0,67 - redukuje odkształcenia mniej więcej o połowę
- 0,33 - deformacja osiąga około 20 procent swoich pierwotnych wartości

Program oferuje dwie opcje **wyznaczania parcia czynnego**:

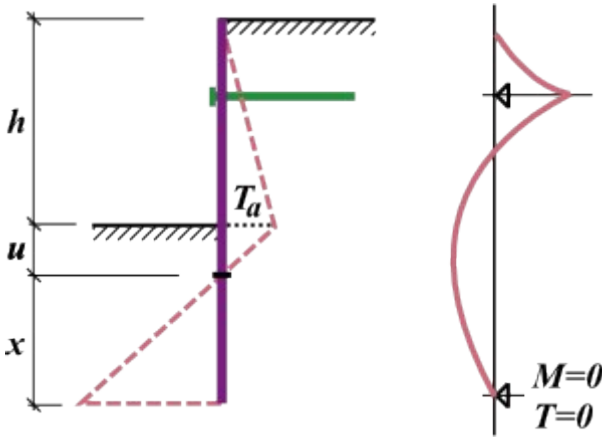
- obliczenie z wprowadzonych parametrów gruntu, wody, dodatkowego obciążenia, terenu, łącznie z wprowadzeniem minimalnego parcia do wymiarowania
- wprowadzenie dowolnego rozkładu parcia gruntu do głębokości punktu zero (w ten sposób istnieje możliwość wprowadzenia dowolnej zmiany rozkładu parcia gruntu)

Punkt wartości zero, tzn. punkt, w którym parcie ogólne równa się zero, i wyznaczany jest z następującego wyrażenia:

$$u = \frac{\sigma_a}{\gamma . K}$$

gdzie:
u - głębokość punktu wartości zero
σ_a - wielkość parcia czynnego za konstrukcją na dnie wykopu
K - współczynnik parcia ogólnego
γ - ciężar jednostkowy gruntu pod dnem wykopu

Dla prosto podpartych konstrukcji zakłada się, że moment i siła ścinająca wynoszą zero z tyłu ściany. Program najpierw umieszcza koniec konstrukcji w punkcie wartości zero, a następnie poszukuje położenia końca belki x, gdzie spełniony jest powyższy warunek (patrz Rys.). Procedura rozwiązania dla ścian wielokrotnie kotwionych jest identyczna.



Analiza ściany kotwionej z prostą podporą z tyłu

Ściana analiza

Program przeprowadza sprawdzenie zdefiniowanej konstrukcji za pomocą metody parć zależnych lub z zastosowaniem metody sprężystej według JGJ 120-2012. Obciążenie konstrukcji uzyskuje się na podstawie jej odkształcenia, umożliwia to realistyczne modelowanie zachowania konstrukcji i zapewnia ekonomicznie efektywne projektowanie. Analiza prawidłowo uwzględnia **proces budowy** w postaci poszczególnych **faz budowy**, łącznie ze stopniowym rozwojem deformacji oraz sprężania kotew. Metoda ta umożliwia ponadto modelowanie ścian

berlińskich.

Zastosowanie metody parć zależnych wymaga wyznaczenia modułu reakcji podłoża, który może być **liniowy** lub nieliniowy.

Program umożliwia także sprawdzenie stateczności wewnętrznej układu kotwienia.

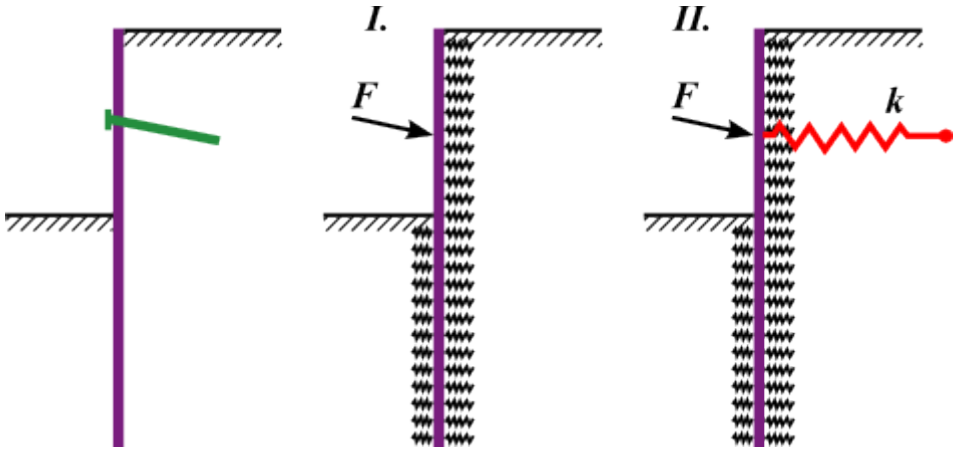
Właściwa analiza przeprowadzana jest przez wariant odkształceniowy metody elementów skończonych. Przemieszczenia, siły wewnętrzne oraz moduł reakcji podłoża są wyznaczane w poszczególnych węzłach.

Przyjmuje się następującą procedurę do podziału konstrukcji na elementy skończone:

- w pierwszej kolejności węzły wstawiane są we wszystkich punktach topologicznych konstrukcji (punkty początkowe i końcowe, punkty lokalizacji kotew, punkty wykopu, punkty zmiany parametrów przekrojów poprzecznych, itp),
- na podstawie wybranego przez użytkownika podziału, program wyznacza wszystkie pozostałe węzły w taki sposób, aby wszystkie elementy miały mniej więcej taki sam rozmiar.

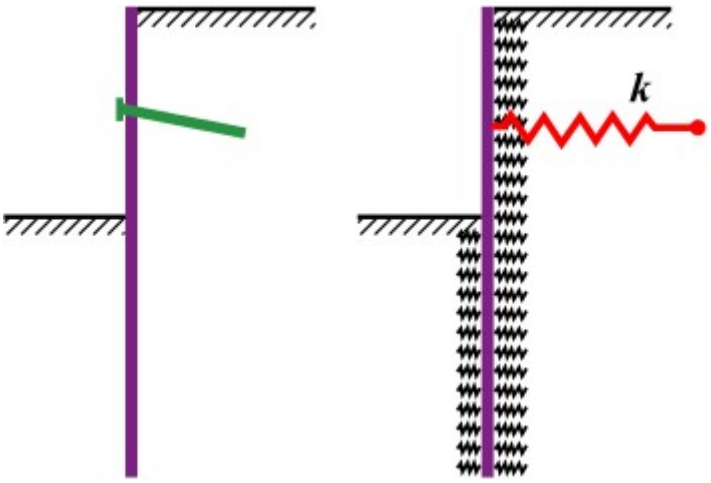
Wartość modułu reakcji przypisywana jest do każdego elementu - uwzględniana w postaci sprężyny Winkler'a podłoża sprężystego. **Podpory** umieszczane są na wcześniej **odkształconej konstrukcji** - każda podpora reprezentuje wtedy wymuszone przesunięcie konstrukcji.

Kotwy iniekcyjne (sprężane), w fazach budowy, w których są definiowane, uwzględniane są w postaci siły skupionej (wariant I. na poniższym Rysunku). W pozostałych fazach budowy, kotwy modelowane są w postaci sprężyn o sztywności, k (wariant II. na poniższym Rysunku) oraz siły:



Model kotew iniekcyjnych

Kotwy bierne uwzględniane są w obliczeniach, we wszystkich fazach budowy, w postaci sprężyn. Siła w kotwie wyznaczana jest na podstawie przemieszczenia konstrukcji i sztywności kotwy:



Model kotew biernych

Zmiana siły w kotwie na skutek przemieszczenia wyznaczana jest ze wzoru:

$$\Delta F = \frac{k.v.\Delta w}{\cos\alpha}$$

$$k = \frac{E.A}{l}$$

gdzie:
- v - odległość pozioma pomiędzy kotwami
- Δw - przyrost przemieszczenia w poziomie kotwienia
- E - moduł Young'a kotwy
- A - pole przekroju poprzecznego kotwy
- l - długość kotwy
- k - sztywność kotwy
- α - nachylenie kotwy

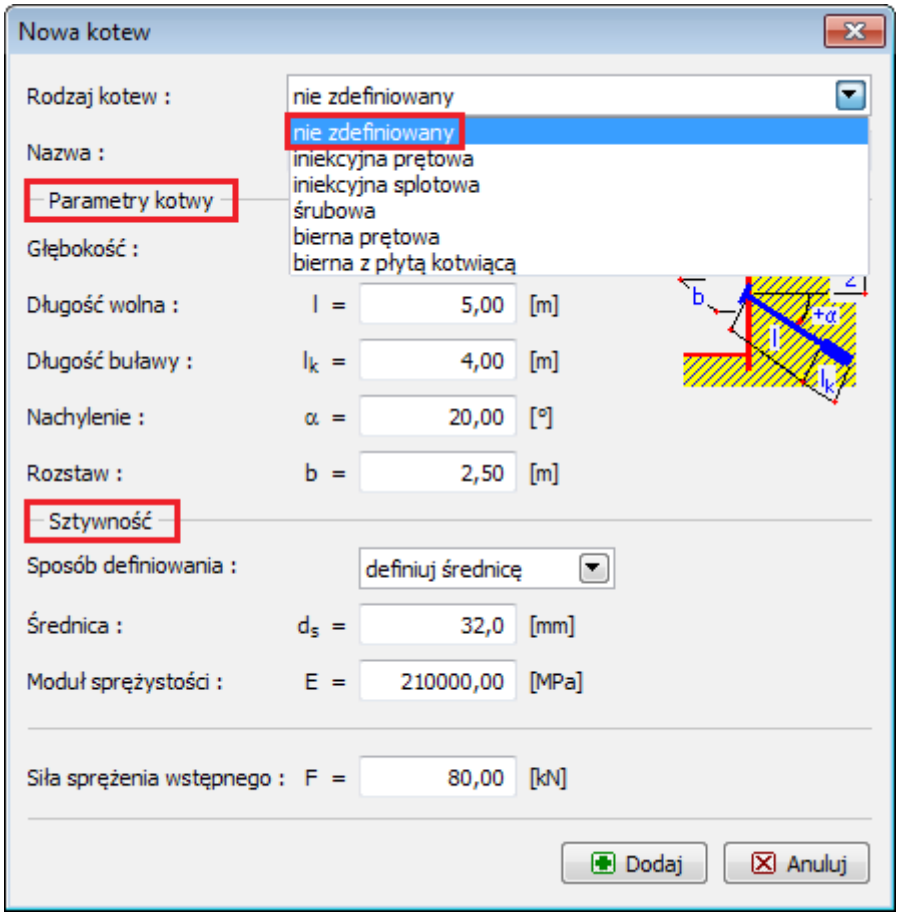
Literatura:

Hurych, P.: Metoda zavislych tlaku. Sbornik konference "Automatizacia projektovania", Vysoke Tatry, 1978.

Rodzaje kotew

Program umożliwia definiowanie i wyznaczanie nośności kotew biernych oraz iniekcyjnych (sprężanych).

W przypadku, gdy sprawdzenie kotew nie jest wymagane, można wybrać opcję rodzaju przekroju **"nie zdefiniowany**". W takiej sytuacji definiowane są wyłącznie parametry niezbędne z punktu widzenia analizy całej konstrukcji (geometria, sztywność).



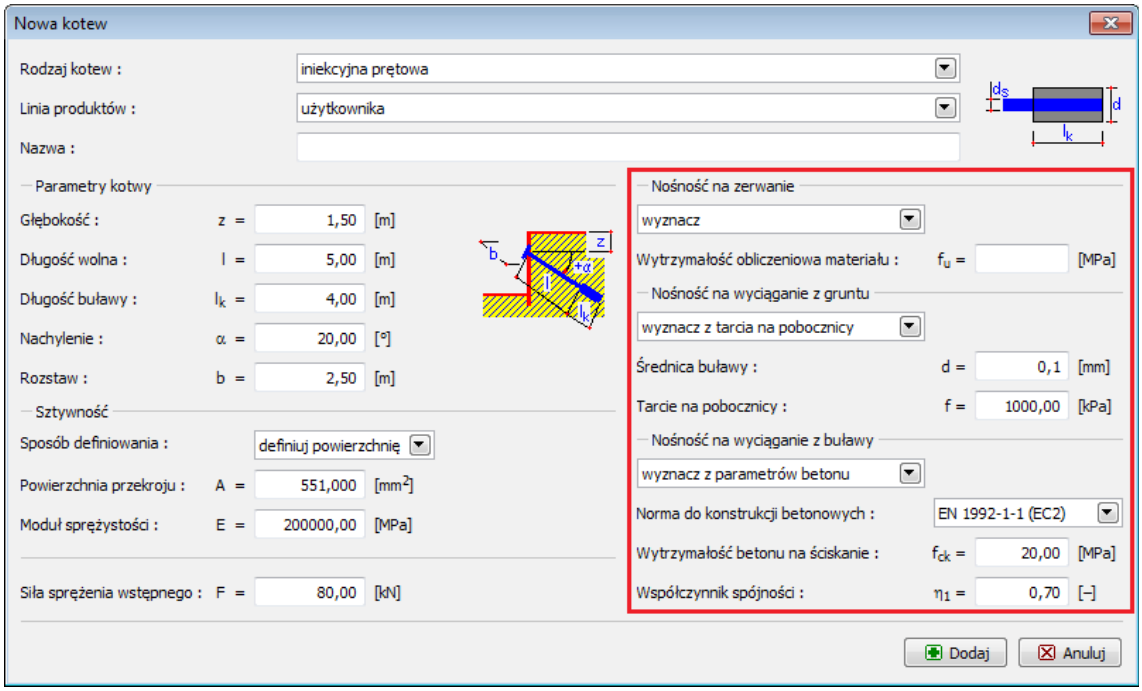
*Definiowanie kotew - **bez** sprawdzania nośności*

Program pozwala na definiowanie i analizę (sprawdzanie nośności) następujących rodzajów kotew:

- iniekcyjne prętowe
- iniekcyjne splotowe
- śrubowe
- bierne prętowe
- bierne z płytą kotwiącą

Kotwy weryfikowane są pod kątem trzech **sposobów zniszczenia**.

- Nośność na zerwanie R_t (wszystkie rodzaje)
- Nośność na wyciąganie (z gruntu) R_e (bierne i iniekcyjne, prętowe i cięgnowe)
- Nośność na wyciąganie (z buławy) R_c (iniekcyjne prętowe i cięgnowe)



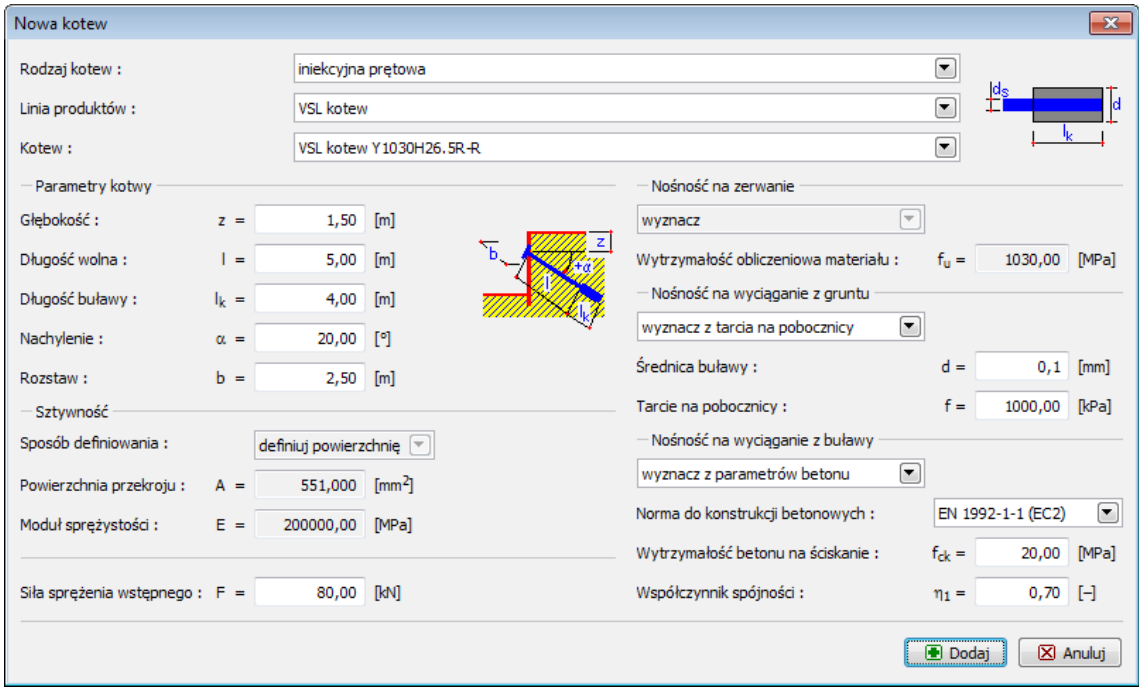
Definiowanie kotew - wymiarowanie nośności

Kotwy iniekcyjne prętowe

Wyboru "**Rodzaju kotew**" (w tym przypadku "**Iniekcyjna prętowa**") dokonuje się z listy rozwijanej w oknie dialogowym "**Nowa kotew**".

Przy definiowaniu kotew **Iniekcyjnych prętowych** konieczne jest podanie następujących parametrów:

- **Linia produktów** - zdefiniowana przez użytkownika (parametry definiowane przez użytkownika) lub kotwy wybrane z wbudowanego w programie katalogu (VSL, DYWIDAG...)
- **Parametry kotwy** - głębokość, długość wolna, długość buławy, nachylenie...
- **Sztywność kotwy** - średnica d_s lub powierzchnia przekroju A kotwy, moduł sprężystości E
- **Siła sprężenia wstępnego**
- **Parametry do wymiarowania kotew** (nośność na zerwanie, nośność na wyciąganie (z gruntu), nośność na wyciąganie (z buławy))



Definiowanie parametrów kotew

Literatura:

Kotwy zawarte w katalogu programu:

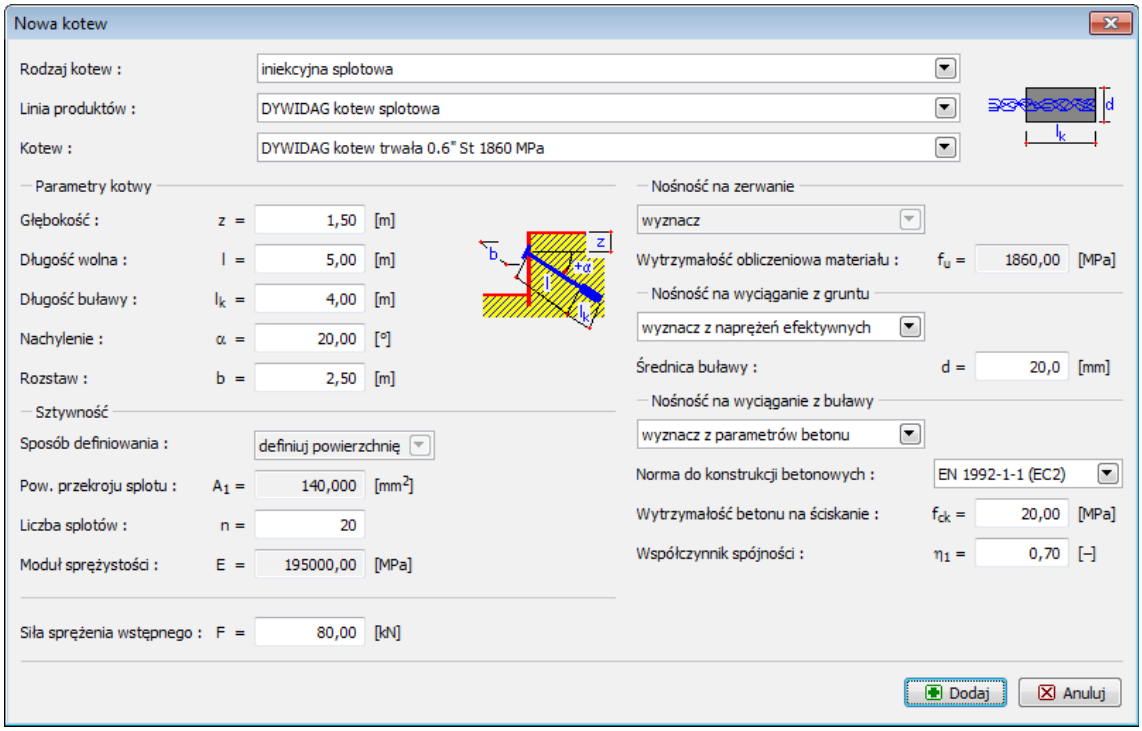
- *VSL Systems Ltd. - VSL Ground Anchor Systems - web brochure*
- *Dywidag- Systems International - Dywidag Bar Anchors, Dywidag Strand anchors - web brochures*

Kotwy iniekcyjne splotowe

Wyboru "**Rodzaju kotew**" (w tym przypadku "**Iniekcyjna splotowe**") dokonuje się z listy rozwijanej w oknie dialogowym "**Nowa kotew**".

Przy definiowaniu kotew **Iniekcyjnych splotowych** konieczne jest podanie następujących parametrów:

- **Linia produktów** - zdefiniowana przez użytkownika (parametry definiowane przez użytkownika) lub kotwy wybrane z wbudowanego w programie katalogu (VSL, DYWIDAG...)
- **Parametry kotwy** - głębokość, długość wolna, długość buławy, nachylenie...
- **Sztywność kotwy** - średnica splotu d_1 (lub powierzchnia przekroju splotu A_1), Liczba splotów n i moduł sprężystości E
- **Siła sprężenia wstępnego**
- **Parametry do wymiarowania kotew** (nośność na zerwanie, nośność na wyciąganie (z gruntu), nośność na wyciąganie (z buławy))



Definiowanie parametrów kotew

Literatura:

Kotwy zawarte w katalogu programu:

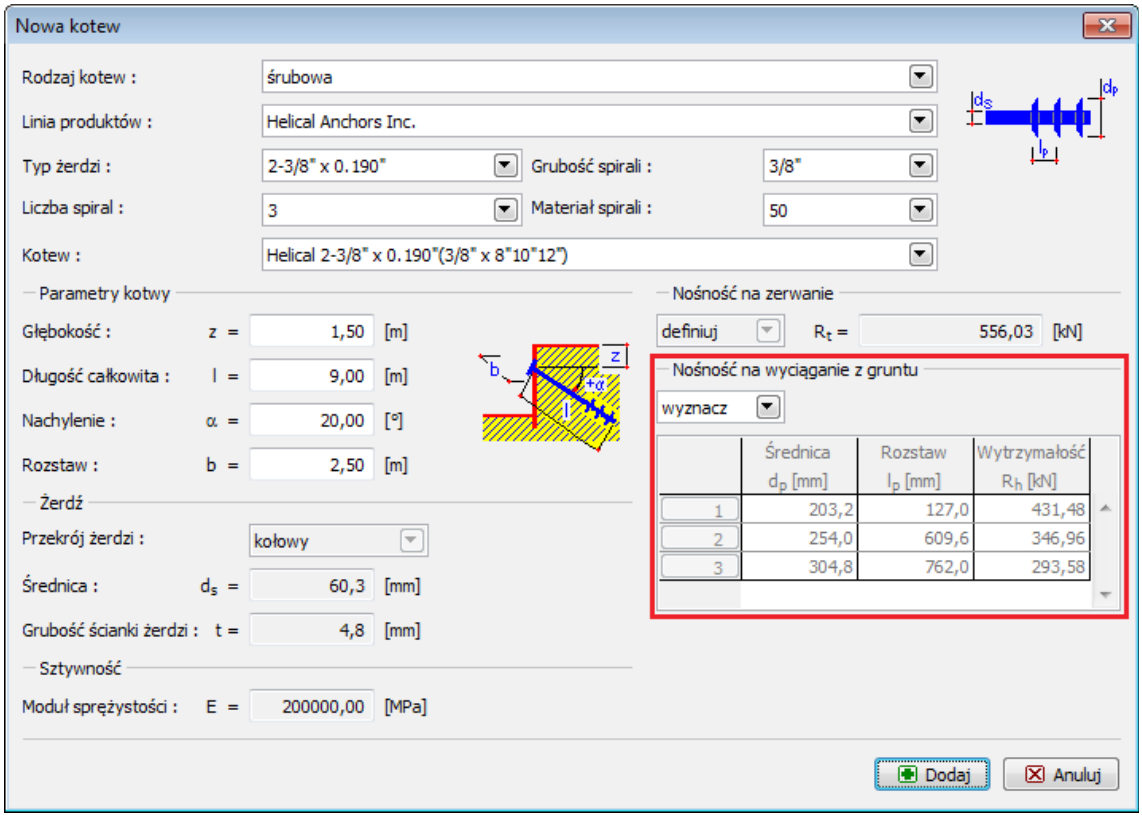
- *VSL Systems Ltd. - VSL Ground Anchor Systems - web brochure*
- *Dywidag- Systems International - Dywidag Bar Anchors, Dywidag Strand anchors - web brochures*

Kotwy śrubowe

Wyboru "**Rodzaju kotew**" (w tym przypadku "**śrubowe**") dokonuje się z listy rozwijanej w oknie dialogowym "**Nowa kotew**".

Przy definiowaniu kotew **śrubowych** konieczne jest podanie następujących parametrów:

- **Linia produktów** - zdefiniowana przez użytkownika (parametry definiowane przez użytkownika) lub kotwy wybrane z wbudowanego w programie katalogu (Helical Anchors, Mac Lean, Chance...). Kotwy zawarte w katalogu definiowane są za pomocą innych parametrów (**typ żerdzi, liczba spiral, grubość i materiał spirali**) - w przypadku gdy wybrana kombinacja **nie jest produkowana**, pole **nazwy kotew pozostaje puste** i edycja **nie może być dokończona**
- **Parametry kotwy** - głębokość, długość całkowita, nachylenie...
- **Kształt przekroju żerdzi** - kołowy (rura), kwadratowy
- **Sztywność kotwy** - moduł sprężystości E
- **Parametry do wymiarowania kotew** (nośność na zerwanie, nośność na wyciąganie z gruntu)



Definiowanie parametrów kotew

Wyznaczanie nośności na wyciąganie z gruntu:

Opcja "definiuj"

Opcja ta jest wymagana w przypadku kotew definiowanych przez użytkownika. W tym przypadku należy zdefiniować wartość nośności na wyciąganie z gruntu R_e [kN, lbf]. Tabela z wymiarami i lokalizacją poszczególnych spiral pojawia się wyłącznie w celu wizualizacji kotwy oraz sprawdzenia stateczności wewnętrznej.

Opcja "wyznacz"

Opcja ta dostępna jest wyłącznie w przypadku wyboru kotew z katalogu. Wymiary oraz lokalizacja poszczególnych spiral podane są przez producenta kotew. Nośność na wyciąganie z gruntu wyznaczana jest ze wzoru:

$$R_e = \sum_{i=1}^{n} \min \left(R_{h,i} \; ; \; A_i \left(c \, N_c + \sigma_z \, N_q \right) \right)$$

gdzie: n - liczba spiral

$R_{h,i}$ - Maksymalna nośność kotwy śrubowej określana przez producenta

c - spójność gruntu

σ_z - naprężenie geostatyczne

N_c,N_q - współczynniki Meyerhofa do nośności

A_i - powierzchnia przekroju kotwy śrubowej

$$N_q = e^{\pi * \tan\varphi} \tan(45 + \frac{\varphi}{2})^2$$

$$N_c = (N_q - 1)\cot\varphi$$

gdzie: φ - kąt tarcia wewnętrznego (dla $\varphi = 0$, $N_c = 2+\pi$)

Literatura:

Kotwy uwzględnione w katalogu

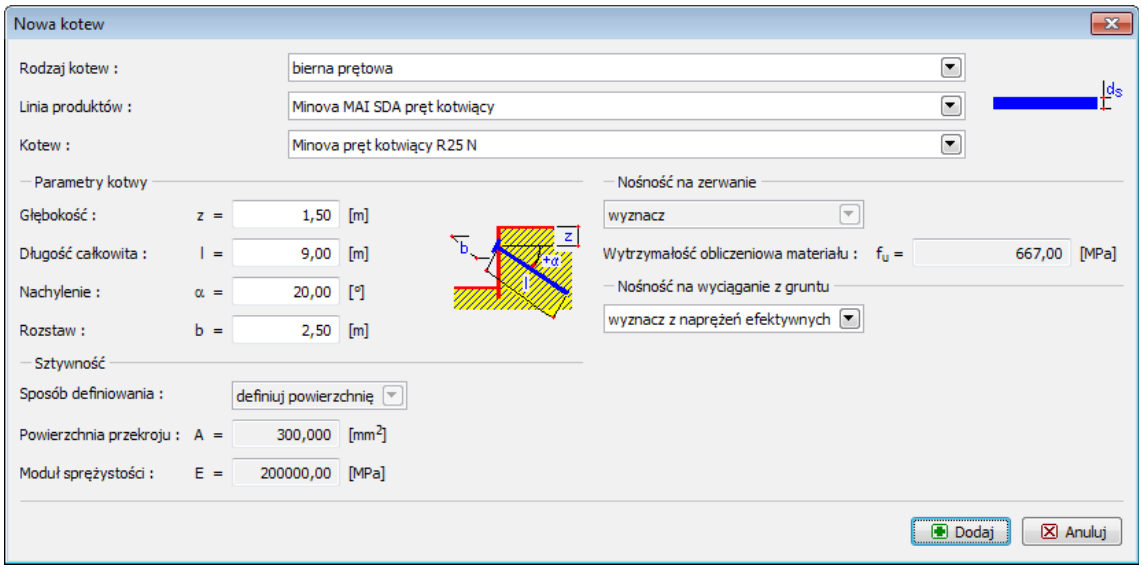
- Helical Anchors, Inc. - Product Catalog
- MacLean-Dixie - Helical Foundation Syastems - Engineering Reference Manual
- Chance - Civil Construction Product Catalog, Vol. I.

Kotwy bierne prętowe

Wyboru "**Rodzaju kotew**" (w tym przypadku "**Bierne prętowe**") dokonuje się z listy rozwijanej w oknie dialogowym "**Nowa kotew**".

Przy definiowaniu kotew **Biernych prętowych** konieczne jest podanie następujących parametrów:

- **Linia produktów** - zdefiniowana przez użytkownika (parametry definiowane przez użytkownika) lub kotwy wybrane z wbudowanego w programie katalogu (VSL, DYWIDAG...)
- **Parametry kotwy** - głębokość, długość całkowita, nachylenie...
- **Sztywność kotwy** - średnica kotwy d_s lub powierzchnia przekroju poprzecznego A kotwy, moduł sprężystości E
- **Parametry do wymiarowania kotew** (nośność na zerwanie, nośność na wyciąganie (z gruntu))



Definiowanie parametrów kotew

Literatura:

Kotwy zawarte w katalogu programu:

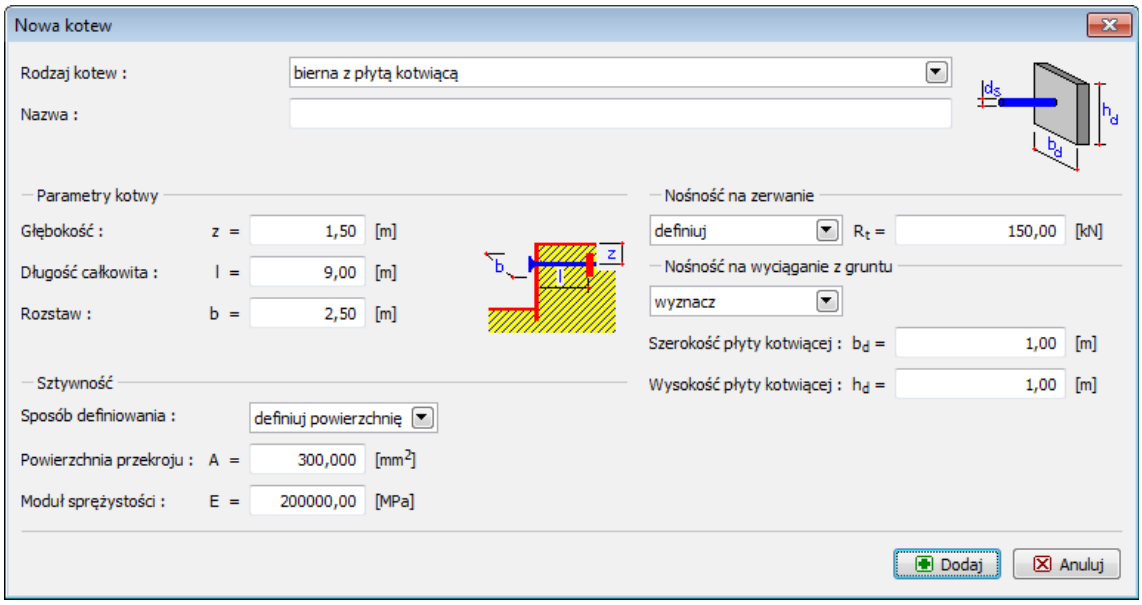
- *VSL Systems Ltd. - VSL Ground Anchor Systems - web brochure*
- *Minova Bohemia, s.r.o. - Injekční zavrtávací a kotevní tyče MAI SDA R a T, Technický list*

Kotwy bierne z płytą kotwiącą

Wyboru "**Rodzaju kotew**" (w tym przypadku "**Bierne z płytą kotwiącą**") dokonuje się z listy rozwijanej w oknie dialogowym "**Nowa kotew**".

Przy definiowaniu kotew **Biernych z płytą kotwiącą** konieczne jest podanie następujących parametrów:

- **Parametry kotew** - głębokość, długość całkowita, rozstaw
- **Sztywność kotew** - średnica kotwy d_S lub powierzchnia przekroju poprzecznego kotwy A, moduł sprężystości E
- **Parametry do wymiarowania kotew** (nośność na zerwanie, nośność na wyciąganie z gruntu jest opisana poniżej)



Definiowanie parametrów kotew

Obliczenia kotew biernych z płytą kotwiącą

Kotwy tego typu zbudowane są z pręta o określonej długości oraz elementu kotwiącego na końcu.

Nośność na wyciąganie z gruntu jest równa parciu biernemu na wysokości elementu kotwiącego, zredukowanemu poprzez współczynnik k:

$$R_e = k.0{,}5.(2.z_B.h_D - h_D^2).K_p.\gamma$$

Dla $h = 0$:

$$k = \frac{b_D}{b}$$

Dla $h \geq b$ - b_D:

$$k = \frac{3\,b_D}{b}$$

gdzie: h - wysokość nadkładu gruntu nad elementem kotwiącym

b_D - szerokość płyty kotwiącej

b - rozstaw elementów kotwiących

h_D - wysokość elementu kotwiącego

z_B - głębokość dolnej krawędzi elementu kotwiącego

K_p - współczynnik biernego parcia gruntu

γ - ciężar jednostkowy gruntu

Współczynnik k jest interpolowany dla wartości pośrednich h.

Wyznaczenie nadkładu gruntu nad elementem kotwiącym:

$$h = z - \frac{h_D}{2}$$

gdzie: z - zagłębienie elementu kotwiącego

Całkowita nośność na wyciąganie jest aktywowana w przypadku, gdy czynny i bierny klin gruntu nie przecinają się.

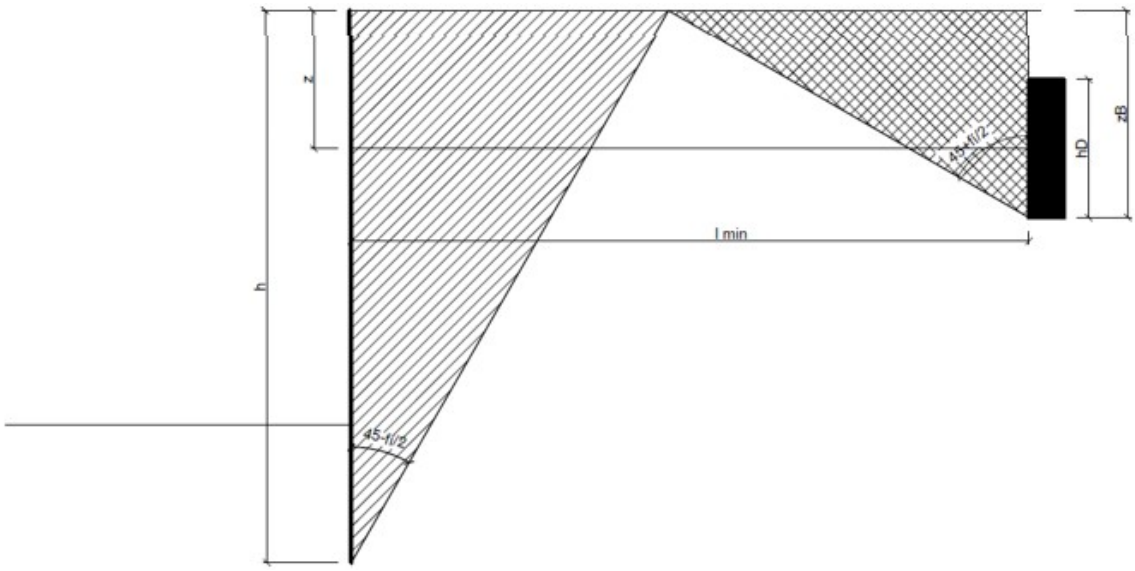
Minimalna wymagana długość pręta dla nośności na wyciąganie wyznaczana jest ze wzoru:

$$l_{\min} = h\,\tan\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) + z_B\,\tan\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)$$

gdzie: φ - kąt tarcia wewnętrznego

h - wysokość obudowy wykopu

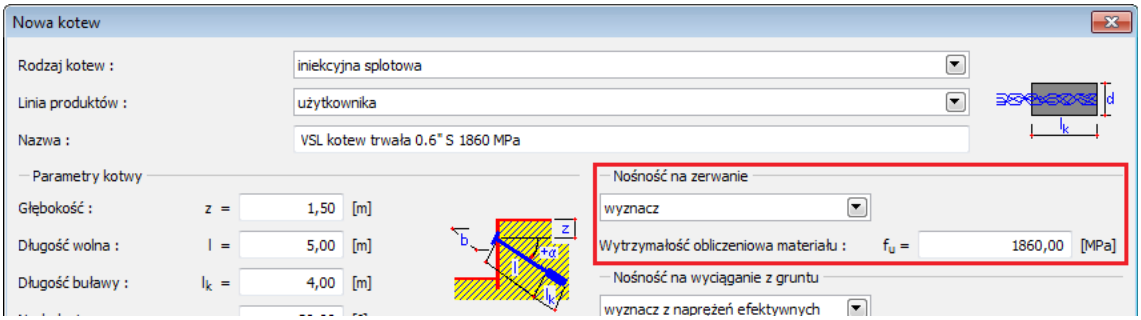
W przypadku, gdy długość pręta l jest krótsza od minimalnej wymaganej dlugości l_{min}, parcie bierne uwzględniane jest z przecięcia czynnego i biernego klina gruntu.



Zasada wyznaczania minimalnej wymaganej długości pręta

Nośność kotew

Wyboru metody wyznaczania nośności kotew dokonuje się w obszarze "**Nośność na zerwanie**".



Definiowanie obliczeń nośności na zerwanie kotwy

Opcja "wyznacz"

Obliczenie w tym przypadku jest jednakowe dla wszystkich rodzajów kotew i przyjmuje postać:

$$R_t = f_u A$$

gdzie: f_u - nośność obliczeniowa materiału

A - powierzchnia przekroju kotwy

Opcja "definiuj"

W polu definiowania należy podać wytrzymałość na rozciąganie R_t [kN, lbf]

W przypadku **kotew splotowych** należy zdefiniować **powierzchnię przekroju jednego splotu** (opcja "**definiuj powierzchnię**") - całkowita powierzchnia cięgna wyznaczana jest następnie ze wzoru:

$$A = A_1 n$$

gdzie: A_1 - powierzchnia przekroju jednego splotu

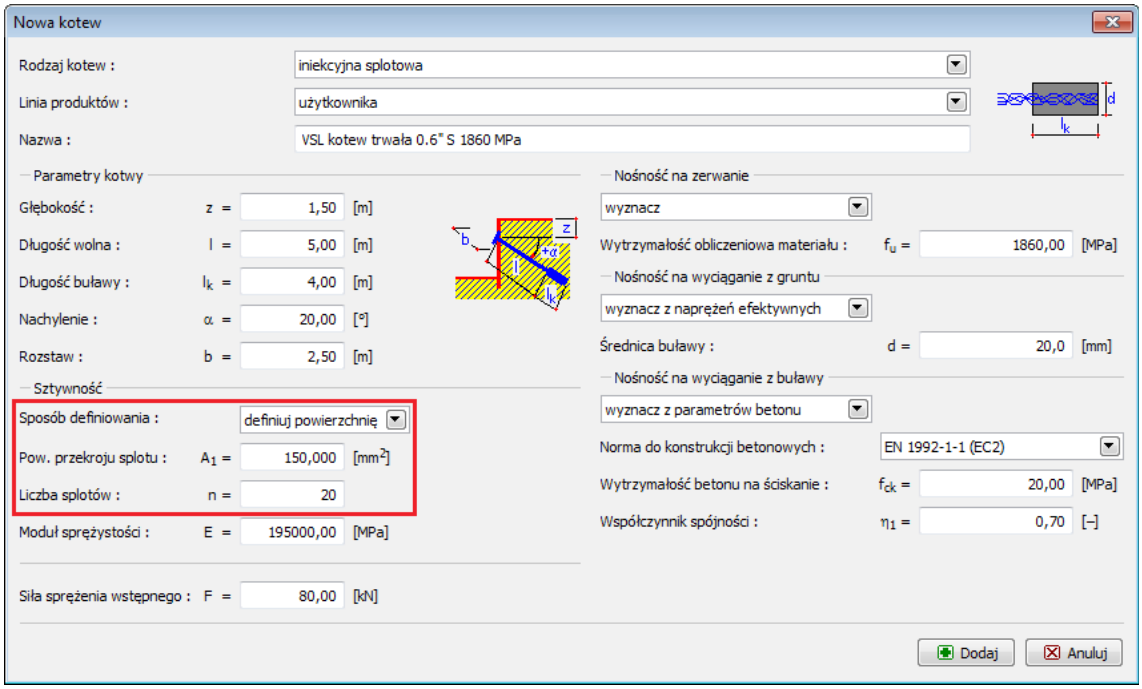
n - liczba splotów

Jeśli definiowana jest średnica splotu (opcja "**definiuj średnicę**"), całkowita powierzchnia cięgna wyznaczana jest ze wzoru:

$$A = \frac{\pi d_1^2}{4} n$$

gdzie: d_s - średnica jednego splotu

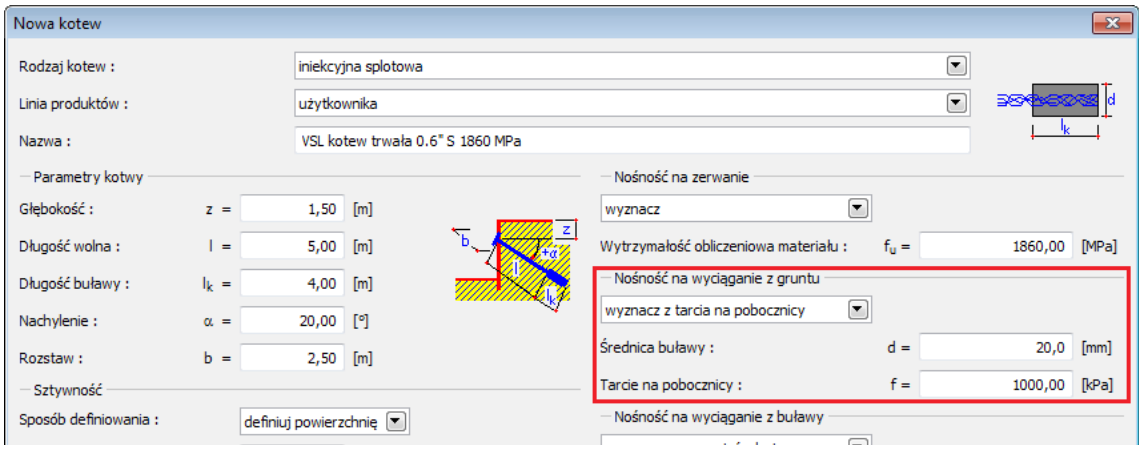
n - liczba splotów



Definiowanie parametrów kotew splotowych

Nośność na wyciąganie z gruntu

Wyboru metody wyznaczania nośności kotew na wyciąganie z gruntu dokonuje się w obszarze "**Nośność na wyciąganie z gruntu**".



Definiowanie obliczeń nośności na wyciąganie z gruntu

Obliczenia kotew iniekcyjnych - prętowych i splotowych oraz kotew biernych prętowych

Opcja "wyznacz z naprężeń efektywnych"

$$R_s = \pi\, d\, l_k\, \sigma_z \tan\varphi$$

gdzie: d - średnica buławy

l_k - długość buławy

σ_z - naprężenie geostatyczne

φ - kąt tarcia wewnętrznego

Opcja "wyznacz z tarcia na pobocznicy"

$$R_s = \pi\, d\, l_k\, f$$

gdzie: d - średnica buławy

l_k - długość buławy

f - jednostkowy opór pobocznicy buławy

Opcja "zdefiniuj nośność na mb"

$$R_s = R_{e,bm}\, l_k$$

gdzie: $R_{e,\,bm}$ - nośność na wyciąganie z gruntu na jeden mb

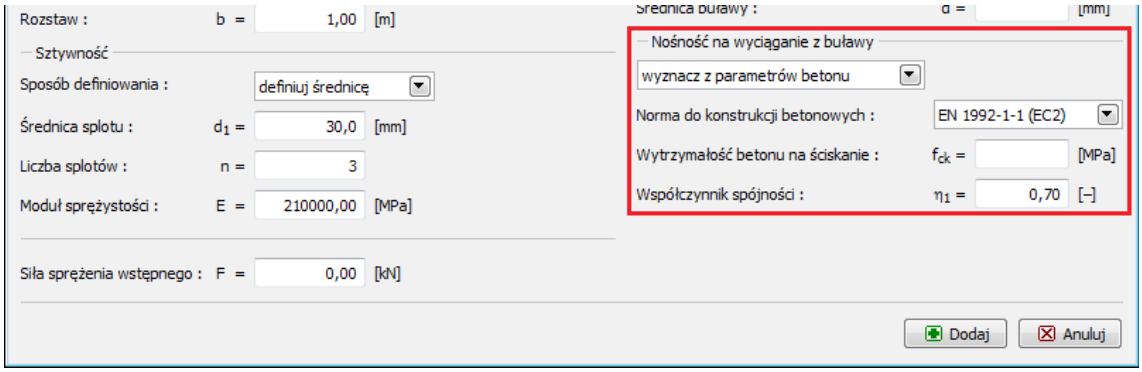
l_k - długość buławy

Opcja "definiuj"

Należy zdefiniować całkowitą nośność na wyciąganie z gruntu R_e [kN, lbf]

Nośność na wyciąganie z buławy

Wyboru metody wyznaczania nośności kotew dokonuje się w obszarze "**Nośność na wyciąganie z buławy**".



Definiowanie obliczeń nośności na wyciąganie z buławy

Warunek poniższy określa nośność na wyciąganie z buławy. Sprawdzany jest jednakowo dla kotew iniekcyjnych prętowych i splotowych.

$$R_c = \pi\, d_s\, l_k\, \tau$$

Opcja "Wyznacz z wytrzymałości na ścinanie"

gdzie: d_S (d_1) - średnica pręta (średnica splotu odpowiadająca powierzchni splotu)

l_k - długość buławy

τ - wytrzymałość na ścinanie pomiędzy prętem i materiałem buławy

Opcja "Wyznacz z parametrów betonu"

Analiza jest jednakowa jak w poprzednim przypadku, wytrzymałość na ścinanie τ wyznaczana jest z parametrów betonu według różnych norm:

- EN 1992-1-1 (EC2)

$$\tau = 1{,}2\,\eta_1\,f_{ctd}$$

gdzie: η_1 - współczynnik spójności (1,0 dla dobrych warunków spójności; 0,7 w innych przypadkach)

f_{ctd} - wytrzymałość betonu na rozciąganie - wyznaczona z f_{ck} na podstwie wzorów; ≤ od wartości C60/75

- ACI 318-11

$$\tau = 3{,}3\sqrt{f_{c'}}$$

$$\tau \le 100 psi (cca\ 0{,}689 kPa)$$

gdzie: $f_{c'}$ - wytrzymałość betonu na ściskanie

- GB 50010-2010

$$\tau = \alpha\,f_t$$

gdzie: α - współczynnik typu zbrojenia

1,47 – 7-splotowa

1,56 – 3-splotowa

1,79 – prętowa zwykła

1,92 – prętowa żebrowana

f_t wytrzymałość na rozciąganie betonu

Opcja "definiuj nośność na mb"

$$R_c = R_{c,bm}\,l_k$$

gdzie: $R_{c,\,bm}$ - nośność na wyciąganie z betonu na mb [kN/bm, lbf/ft]

l_k - długość buławy

Optcja "definiuj"

Należy zdefiniować całkowitą nośność na wyciąganie z buławy R_c [kN, lbf]

Metoda parć zależnych

Podstawowym założeniem tej metody jest to, że grunt lub skała w pobliżu ściany zachowuje się jak idealnie sprężysto-plastyczny materiał Winkler'a. Materiał ten wyznaczany jest z modułu reakcji podłoża k_h, który charakteryzuje odkształcenie w obszarze sprężystym, oraz poprzez dodatkowe odkształcenia graniczne. Przy przekroczeniu tych odkształceń zakłada się, że materiał zachowuje się jak idealnie plastyczny.

Stosuje się następujące założenia:

- parcie działające na ścianę może przyjąć dowolną wartość pomiędzy parciem czynnym a biernym - ale nie może znajdować się poza tymi granicami
- parcie spoczynkowe działa na nieodkształconą konstrukcję ($w = 0$)

Parcie działające na odkształconą konstrukcję wyznaczane jest z:

$$\sigma = \sigma_r - k_h.w$$

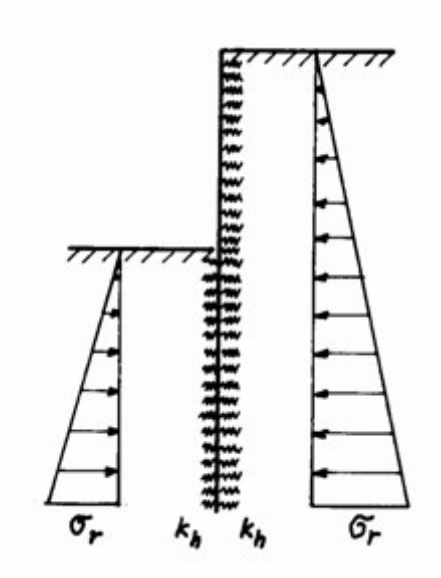
$\sigma = \sigma_a$ dla: $\sigma < \sigma_a$

$\sigma = \sigma_p$ dla: $\sigma > \sigma_p$

gdzie:
- σ_r - parcie spoczynkowe
- k_h - moduł reakcji podłoża
- w - odkształcenie konstrukcji
- σ_a - czynne parcie gruntu
- σ_p - bierne parcie gruntu

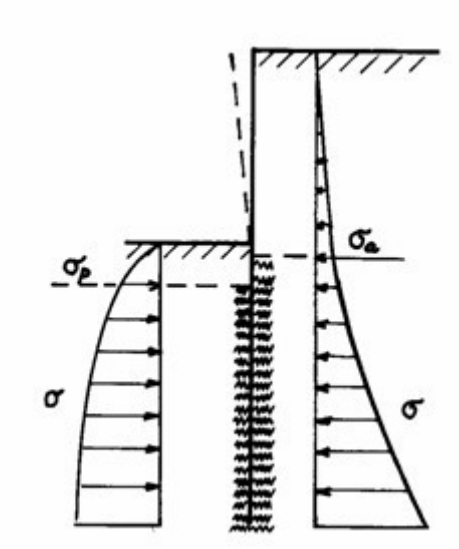
Procedura obliczenia jest następująca:

- moduł reakcji podłoża k_h przypisywany jest do wszystkich elementów, a konstrukcja obciążana jest parciem spoczynkowym - patrz rysunek:



Schemat konstrukcji przed pierwszą iteracją

- przeprowadzana jest analiza i sprawdzany jest warunek dopuszczalnych wielkości parcia działającego na ścianę. W miejscach, gdzie warunki te są naruszane, program przypisuje wartość $k_h = 0$, a ściana jest obciążana odpowiednio parciem czynnym lub biernym - patrz rysunek:



Schemat konstrukcji podczas procesu iteracji

Powyższa procedura iteracji jest kontynuowana aż do spełnienia wszystkich wymaganych warunków.

W analizach kolejnych faz budowy, program uwzględnia odkształcenie plastyczne ściany. Jest to również powodem określania poszczególnych **faz budowy**, które są zgodne z właściwym procesem budowy.

Literature:

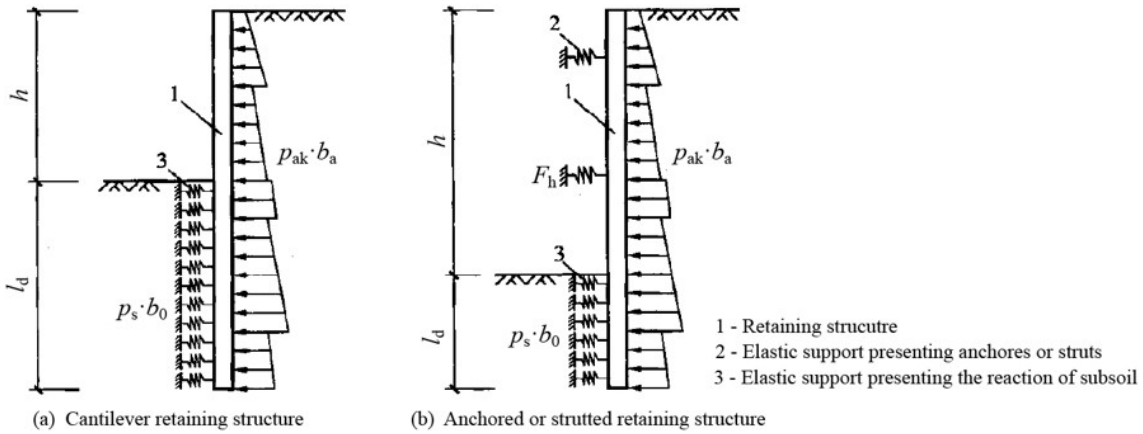
Bartak, J.: Progresivni postupy navrhovani pazenych stavebnich jam. VUT Brno, 1991.

Hurych, P.: Metoda zavislych tlaku. Sbornik konference "Automatizacia projektovania", Vysoke Tatry, 1978.

Metoda sprężysta według JGJ 120-2012

This method is used for analysis of sheeting structures and it´s based on the Chinese standard **JGJ 120-2012** (Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations). In principle, this theory is similar to calculation according to the method of dependent pressures, the difference is in consideration of earth pressures. The following figure shows that **behind the wall** (outside of the foundation pit) acts active earth pressure p_a or earth pressure at rest p_0 (it´s defined in the "Settings" frame).

In front of the wall there are considered springs (defined by using the modulus of subsoil reaction), which models reaction of the soil in a horizontal direction. In case of the attainment of ultimate pressures a limiting of the size of springs is the same as for method of dependent pressures.



Principle of spring method acording to JGJ 120-2012 for solution of sheeting structures - (a) non-anchored structure, (b) anchored or strutted structure

Literature:

JGJ 120-2012 (Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations).

Moduł reakcji podłoża

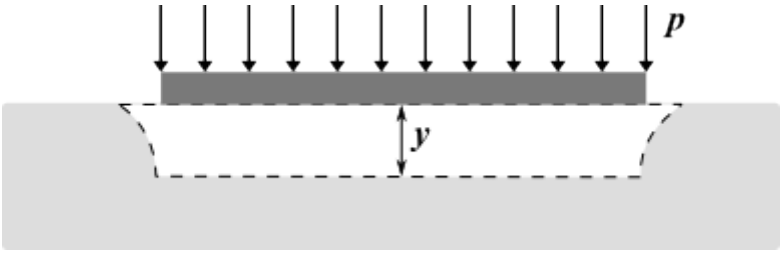
Następujące opcje dostępne są w programie w celu zdefiniowania modułu reakcji podłoża:

- **w postaci rozkładu** (definiowanie rozkładu modułu reakcji podłoża k_h z przodu i z tyłu konstrukcji)
- **jako parametr gruntu z odpowiednią wartością** (liniowy lub nieliniowy - krzywa)
- według Schmitt'a
- według Chadeisson'a
- według CUR166
- iteracjyjnie z wykorzystaniem parametrów odkształceniowych gruntów
- definiowanie wyników sondowań presjometrycznych (według NF P 94-282, według Menarda)
- definiowanie wyników sondowań dylatometrycznych (DMT)
- według norm Chińskich (metoda "c", "k" lub "m")

Moduł poziomej reakcji gruntu generalnie odpowiada sztywności sprężyny w modelu Winkler'a opisującej związek pomiędzy obciążeniem przyłożonym do sztywnej płyty a wynikowym odkształceniem gruntu w postaci:

$$p = k.y$$

gdzie:
- p - obciążenie działające wzdłuż kontaktu warstwy płyty i gruntu
- k - sztywność sprężyny Winkler'a
- y - przesunięcie płyty w stronę gruntyu



Definicja modułu reakcji podłoża

Moduł reakcji podłoża według Schmitt'a

Analiza ta modułu reakcji podłoża wykorzystuje związek pomiędzy modułem edometrycznym a sztywnością konstrukcji na zginanie opisany przez Schmitt'a w Revue Francaise de Géotechnique n^{o}71 i 74:

$$k_h = 2{,}1\left(\frac{E_{oed}^{4/3}}{(EI)^{1/3}}\right)$$

gdzie: EI - sztywność na zginanie konstrukcji [MNm^2/m]

E_{oed} - moduł edometryczny [MPa]

Metoda ta nie jest dostępna w przypadku analizy konstrukcji ścian wykonanych z grodzic plastikowych (winylowych).

Literatura:

Schmitt. P.(1995). "Estimating the coefficient of subgrade reaction for diaphragm wall and sheet pile wall design", in French. Revue Française de Géotechnique, N. 71, 2° trimestre 1995, 3-10

Moduł reakcji podłoża według Chadeisson'a

Na podstawie pomiarów konstrukcji ścianek w różnych gruntach i obliczeń przemieszczenia konstrukcji niezbędnego do mobilizacji wartości granicznej parcia biernego R. Chadeisson (1961) i A. Monnet (1994), wyprowadzili wyrażenie do wyznaczenia modułu reakcji podłoża w postaci:

$$k_h = \left[20\,E\,I\left(\frac{K_p\gamma\left(1-\frac{K_0}{K_p}\right)}{0{,}015}\right)^4\right]^{\frac{1}{5}} + A_p c' \frac{tgh\left(\frac{c'}{30}\right)}{0{,}015}$$

gdzie: EI - sztywność na zginanie konstrukcji [kNm^2/m]

γ - ciężar jednostkowy gruntu [kN/m^3]

K_p - współczynnik parcia biernego gruntu [-]

K_0 - współczynnik spoczynkowego parcia gruntu [-]

c' - efektywna spójność gruntu [kPa]

A_p - współczynnik wpływu spójności (1 - 15) [-]

Literatura:

Chadeisson, R. (1961) Parois continues moulées dans le sols. Proceedings of the 5th European Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering,Vol. 2. Dunod, Paris, 563-568".

K. J. Bakker, A. Bezuijen, W. Broere, E. A. Kwast: Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground: Proceedings of the 5th International Symposium TC28. Amsterdam, the Netherlands, 15-17 June 2005. CRC Press, 2013, pp. 616, ISBN: 0415889138, 9780415889131.

Monnet, A.: Module de réaction, coefficient de décompression, au sujet des paramètres utilisés dans la méthode de calcul élastoplastique, Revue française de Géotechnique, 65, 1994, pp. 67 - 72.

Mitew, M.: Numerical analysis of displacements of a diaphragm wall. Warsaw University of Technology, Poland.

N. M. ILIEŞ, T. A. HULPUŞ, A. POPA: Design of Anchored Walls: The Influence of Design Approaches and Design Methods. Technical University of Cluj Napoca, Faculty of Civil Engineering, Romania, 2010.

Moduł reakcji podłoża według CUR 166

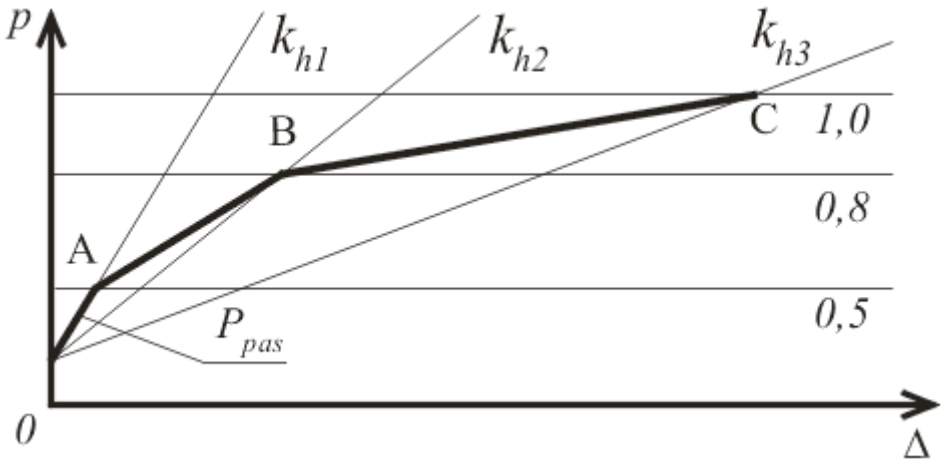
Następująca tabela zawiera wartości modułu reakcji podłoża uzyskane z pomiarów eksperymentalnych przeprowadzonych w Holandii (opisanych w CUR 166). Tabela podaje moduły sieczne, które w programie są bezpośrednio przekształcane do siecznych modułów reakcji podłoża - patrz nieliniowy moduł reakcji podłoża.

	$k_{h,1}$ [kN/m^3] $p_0 < p_h < 0,5p_{pas}$	$k_{h,2}$ [kN/m^3] $0,5p_{pas} \leq p_h \leq 0,8p_{pas}$	$k_{h,3}$ [kN/m^3] $0,8\ p_{pas} \leq p_h \leq 1,0p_{pas}$
Piasek			
luźny	*12000 - 27000*	*6000 - 13500*	*3000 - 6750*
średnio zagęszczony	*20000 - 45000*	*10000 - 22500*	*5000 - 11250*
zagęszczony	*40000 - 90000*	*20000 - 45000*	*10000 - 22500*
Ił			
miękkoplastyczny	*2000 - 4500*	*800 - 1800*	*500 - 1125*
twardoplastyczny	*4000 - 9000*	*2000 - 4500*	*800 - 1800*
zwarta	*6000 - 13500*	*4000 - 9000*	*2000 - 4500*
Torf			
miękkoplastyczny	*1000 - 2250*	*500 - 1125*	*250 - 560*
twardoplastyczny	*2000 - 4500*	*800 - 1800*	*500 - 1125*

gdzie: p_0 - wartość parcia spoczynkowego [kN/m^2]

p_{pas} - parcie bierne [kN/m^2]

p_h - parcie poziome odpowiadające danemu przemieszczeniu konstrukcji [kN/m^2]



Wykres wyznaczania modułu reakcji podłoża

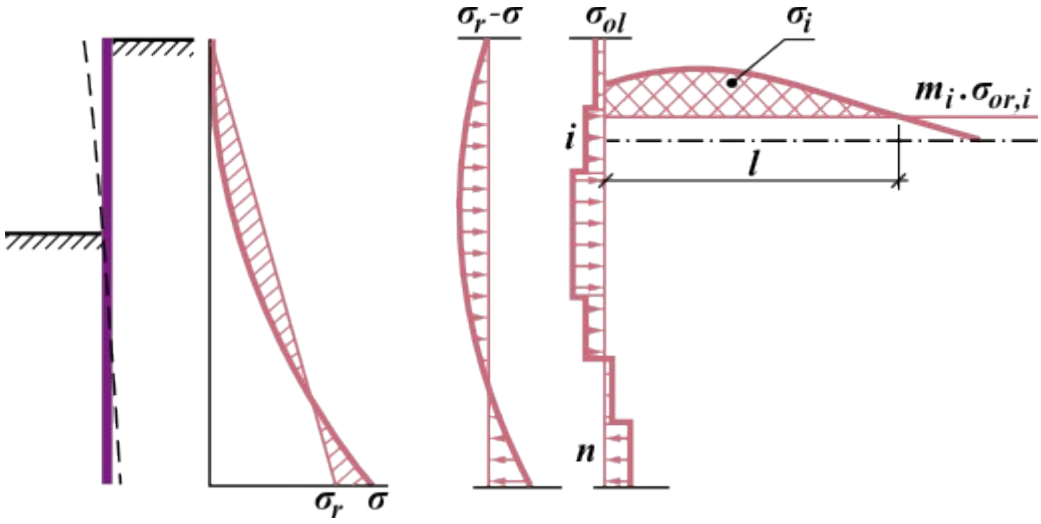
Literatura:

CUR 166 Damwandconstructies, available at Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving: P.O.Box 420, 2800 AK Gouda (NL).

Moduł reakcji podłoża wyznaczany iteracyjnie

Program umożliwia automatyczne obliczenie modułu reakcji podłoża na podstawie parametrów odkształceniowych gruntu z procesu iteracji. Procedura oparta jest na założeniu, że odkształcenie półprzestrzeni sprężystej charakteryzowane modułem odkształcenia E_{def} $[MPa]$ podczas zmiany stanu naprężenia powiązanego ze zmianą parć gruntu jest takie same, jak odkształcenie ściany w gruncie.

Zatem, celem jest znalezienie takich wartości k_h $[MN/m^3]$, aby ciągłość odkształceń ściany i przyległego gruntu została zachowana. **Odkształcenie plastyczne konstrukcji nie jest rozważane** w analizie z zastosowaniem **manualnej iteracji** k_h. W przypadku wyznaczania modułu reakcji podłoża k_h z zastosowaniem **iteracji automatycznej odkształcenie plastyczne ściany jest uwzględniane.** Zasada iteracji manualnej jest wyjaśniona na schemacie przy obliczeniu modułu reakcji podłoża i^{tego} odcinka ściany bez kotew, patrz rysunek:



Wyznaczenie reakcji podłoża in-tego odcinka

Dla zmiany naprężenia σ_r - σ program wyznacza jednolite obciążenie σ_{ol} $[MPa]$ poszczególnych odcinków konstrukcji. Następnie, ogólna zmiana naprężenia przechodzącego przez i^{ty} odcinek ($\bar{\sigma}_{il}$ $[MPa*m]$) jest obliczana. Zmiana ta spowodowana jest dodatkowym obciążeniem gruntu na skutek odcinków od 1 do n ($\sigma_{ol,1}$ - $\sigma_{ol,n}$). Ogólna zmiana naprężenia $\Delta\sigma_i$ jest redukowana wytrzymałością konstrukcji $m_i*\sigma_{or,i}$ $[MPa]$. Nowa wartość sztywności sprężyny wynika z:

$$k_{n,i} = \frac{E_{def,i} \cdot \sigma_{ol,i}}{\sigma_{il}}$$

gdzie: $E_{def,i}$ - moduł odkształcenia półprzestrzeni sprężystej

$\sigma_{ol,i}$ - jednolite obciążenie odcinków konstrukcji

$\bar{\sigma}_{il}$ - ogólna zmiana naprężenia za i^{tym} odcinkiem konstrukcji

Zmiana naprężenia wewnątrz gruntu wyznaczana jest zgodnie z teorią Boussinesque'a. Wprowadzenie nowej wartości k bezpośrednio do nowego obliczenia spowodowałoby niestateczną iterację - zatem, wartość k wprowadzana do nowej analizy ściany jest wyznaczana z pierwotnej wartości k_p i nowej wartości k_n modułu reakcji podłoża:

$$k = k_p + 0{,}25.(k_n - k_p)$$

gdzie: k_p - pierwotna wartość modułu reakcji podłoża [MN/m^3]

k_n - nowa wartość modułu reakcji podłoża [MN/m^3]

Maksymalny moduł reakcji podłoża i^{tej} warstwy jest ograniczana jest wartością:

$$k_{max,ip} = 10.E_{def,i}$$

gdzie: $E_{def,i}$ - moduł odkształcenia i^{tej} warstwy [MN/m^3]

Procedura **manualnej iteracji** obliczania modułu reakcji podłoża jest następująca:

1) Wyznaczyć macierz wartości wpływu w celu wyprowadzenia zmiany naprężenia na głębokości gruntu przechodzącej przez i^{ty} odcinek konstrukcji na skutek obciążenia spowodowanego zmianą naprężenia w innych odcinkach.

2) Pierwsza aproksymacja modułu k_h z przodu ściany jest wprowadzana - zakłada się trójkątny rozkład wartości z tyłu ściany k_h = 10 MN/m^3.

3) Wykonać analizę ściany (obudowy wykopu).

4) Obliczyć nowe wartości k_h i wyznaczyć nowe wartości dla następnej analizy.

5) Wyświetlane jest okno dialogowe do sprawdzenia iteracji, a program przechodzi do następnego polecenia. Jeżeli wybrane są następne n iteracje, wówczas kroki *3* i *4* są powtarzane n-razy, aby ponownie przejść do kroku nr 5. Analizę zatrzymuje się w tym oknie dialogowym przez naciśnięcie przycisku "**Stop**".

Ten proces **iteracji manualnej** kontrolowany jest przez użytkownika, który decyduje, czy wyniki są sensowne. Procedura **iteracji automatycznej** prowadzona jest bez dodawania dodatkowych iteracji wyznaczania modułu reakcji k_h przez użytkownika.

Literatura:

Bartak J.: Progresivni postupy navrhovani pazenych stavebnich jam, VUT Brno, 1991.

Moduł reakcji podłoża według Menarda

Na podstawie wyników badań doświadczalnych (presjometrem) odpowiedzi gruntu obciążonego sztywną płytą, Menard wyprowadził następujące wyrażenie opisujące moduł reakcji podłoża:

$$k_h = \frac{E_M}{\frac{\alpha.a}{2} + 0{,}133.(9.a)^{\alpha}}$$

gdzie: E_M - moduł presjometryczny (Menarda), w razie konieczności można zastąpić modułem edometrycznym gruntu [MPa]

a - długość charakterystyczna zależna od zagłębienia punktu utwierdzenia konstrukcji w gruncie, według Menarda założona na głębokości 2/3 długości konstrukcji utwierdzonej poniżej docelowej głębokości wykopu

α - współczynnik reologiczny gruntu

Szacunkowe wartości reologicznego współczynnika gruntu α:

	Glina	**Ił**	**Piasek**	**Żwir**
Przekonsolidowany	*1*	*2/3*	*1/2*	*1/3*
Normalnie skonsolidowany	*2/3*	*1/2*	*1/3*	*1/4*
Nieskonsolidowany	*1/2*	*1/2*	*1/3*	*1/4*

Literatura:

Menard L., 1975, "The Menard Pressuremeter: Interpretation and Application of the Pressuremeter Test Results to Foundations Design", Sols-Soils, No. 26, Paris, France.

Moduł reakcji podłoża według NF P 94-282

Moduł reakcji podłoza k_h według **NF P94-282:2009-03** zależy od sztywności na zginanie konstrukcji ściany $E_{str}\,I_{str}$ oraz modułu presjometrycznego (Menarda) E_M. Moduł reakcji podłoża opisany jest następującym wzorem:

$$k_h = 2\left(\frac{\left(\frac{E_M}{\alpha}\right)^{4/3}}{\left(\frac{E_{str}\,I_{str}}{B_0}\right)^{1/3}}\right) = 2\left(\frac{\left(\frac{E_M}{\alpha}\right)^{4/3}}{(E\,I)^{1/3}}\right)$$

$$E\,I = \frac{E_{str}\,I_{str}}{B_0} = \left[MNm^2/m\right]$$

gdzie:
- k_h - moduł reakcji podłoża $[MN/m^3]$
- E_M - moduł presjometryczny według Menarda $[MPa]$
- α - współczynnik empiryczny zależny od rodzaju gruntu lub skały [-]
- $E_{str}\,I_{str}$ - sztywność na zginanie konstrukcji ściany $[MNm^2]$
- B_0 - charakterystyczna (jednostkowa) długość konstrukcji ściany [1 mb]
- E - moduł sprężystości materiału, z którego zbudowana jest konstrukcja ściany $[MPa]$
- I - moment bezwładności $[m^4/m]$

Szacunkowe wartości współczynnika empirycznego α [-] ***dla różnych rodzajów gruntów***

Rodzaj gruntu	Torf	Ił		Pył		Piasek		Żwir	
	α	E_M/p_{LM}	α	E_M/p_{LM}	α	E_M/p_{LM}	α	E_M/p_{LM}	α
Przekonsolidowany	-	> 16	1	> 14	2/3	> 12	1/2	> 10	1/3
Normalnie skonsolidowany	1	9 - 16	2/3	8 -14	1/2	7 -12	1/3	6 -10	1/4
Nie skonsolidowany	-	7 - 9	1/2	5 - 8	1-2	5 -7	1-3	-	-

Szacunkowe wartości współczynnika empirycznego α [-] ***dla różnych rodzajów skał (według stopnia naruszenia)***

Rodzaj skały	α [-]
Nienaruszona, wytrzymała	2/3
Nieco osłabiona, niezwietrzała	1/2
Bardzo słaba, zwietrzała	1/3
Metamorficzna	2/3

Literatura:

NF P94-282: March 2009, pp. 142 – 146.

Moduł reakcji podłoża na podstawie badań dylatometrycznych (DMT)

Moduł reakcji podłoża k_h [MN/m^3] wyznaczany jest na podstawie następującego wzoru:

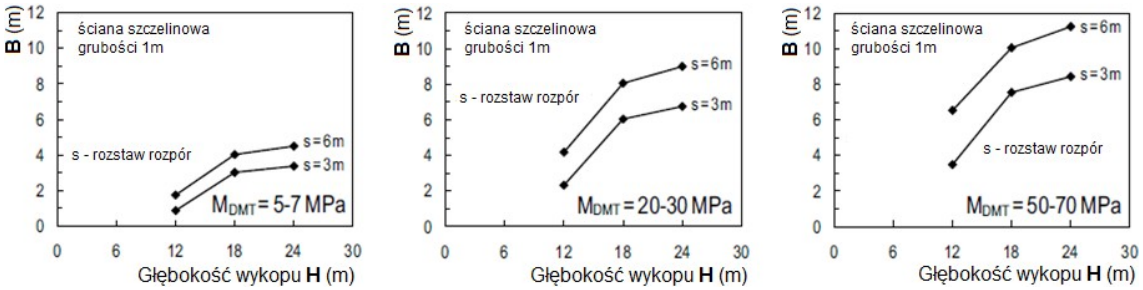
$$k_h = \frac{M_{DMT}}{B}$$

gdzie: k_h - moduł reakcji podłoża [MN/m^3]

M_{DMT} - moduł dylatometryczny wyznaczony z badań DMT [MPa]

B - charakterystyczna długość konstrukcji ściany (współczynnik redukcji) [1 mb]

Wartości współczynnika redukcji B zależą od głębokości wykopu H [m], wartości modułu dylatometrycznego gruntu M_{DMT} [MPa] oraz rozstawu rozpór (patrz rysunek poniżej).



Wykresy do wyznaczania współczynnika B (źródło: [2], Rysunek 7, str. 999)

Literatura:

Monaco, P. and Marchetti, S..: Evaluation of the coefficient of subgrade reaction for design of multi-propped diaphragm walls from DMT moduli. Millpress, Rotterdam, 2004, pp. 993 – 1002, ISBN 90 5966 009 9.

Moduł reakcji podłoża według norm chińskich

The calculation of modulus of subsoil reaction according to Chinese standards is based on the JGJ 120-2012 standard (Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations) for **"m" method**.

For **"m" method**, the modulus of subsoil reaction k_h is given by the following formula:

$$k_h = m(z - h)$$

where: m - proportional coefficient of modulus of subsoil reaction [kN/m^4]

z - depth of the calculation point from the original ground [m]

h - depth of the calculation point from the ditch bottom at current stage of construction [m]

From previous formula it's obvious that calculation of modulus k_h is linear with depth of point during the analysis.

Proportional coefficient m should be determined from pile test with horizontal load. If there are no test data, Chinese standard **JGJ 120-2012** suggest an empirical formula to estimate this coefficient:

$$m = \frac{0.2\,\varphi^2 - \varphi + c}{v_b}$$

where: c - cohesion (shear strength) of soil [kPa]

φ - angle of internal friction of soil [°]

v_b - horizontal displacement of sheeting structure at the ditch bottom [mm]; when the displacement is smaller than 10 mm, then v_b = 10 mm

Other methods (**"c" method** and **"k" method**) are not published in JGJ 120-2012 standard, but they are based on practical experience and they are used in China profusely. Then the modulus of subsoil reaction k_h is given by the following formula:

$$k_h = a\,(z - h)^n$$

If exponent n = 0,5, it´s "**c**" **method** and then $a = c$ ($kN/m^{3.5}$).

If exponent n = 0, it´s "**k**" **method** and then, $a = K$ (kN/m^3).

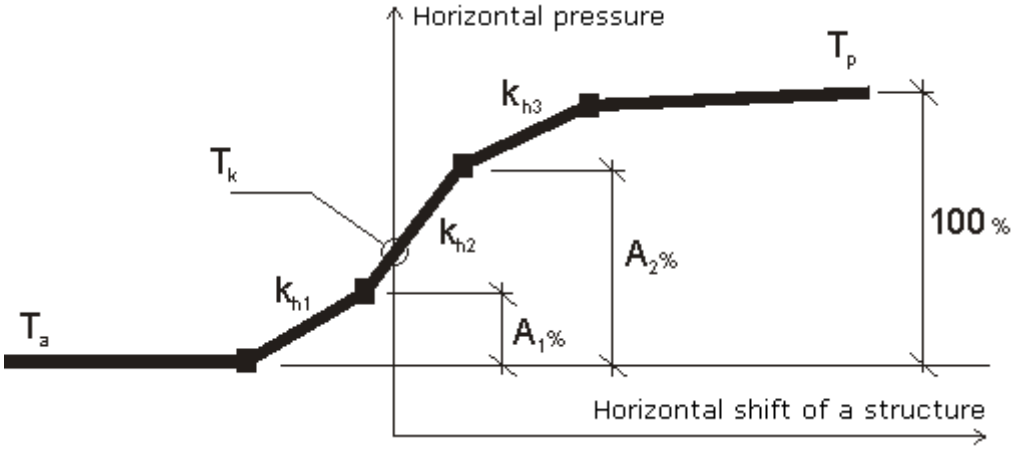
It's obvious that for "**m**" **method**, n = 1.

Literature:

JGJ 120-2012 (Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations).

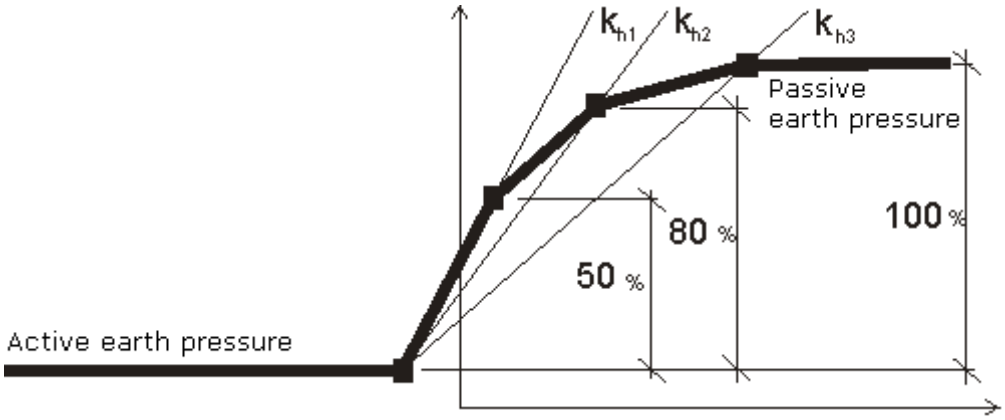
Nieliniowy moduł reakcji podłoża

Model nieliniowy opisuje zależność modułu reakcji podłoża k_h - tzn. zmianę k_h pomiędzy wartościami progowymi odpowiadającymi usterce na skutek biernego parcia gruntu T_p i czynnego parcia gruntu T_a - patrz rysunek (moduł reakcji podłoża dany jest przez nachylenie krzywej; dla spoczynkowego parcia porowego działającego na konstrukcję istnieje możliwość rozważenia wartości k_{h1}). Model ten uwzględnia również podpory sprężynowe oraz wymuszone ugięcie konstrukcji, różne warunki graniczne, zastosowanie rozpórek i kotew, itp.



Model oddziaływania w celu wyznaczenia k_h

Wartości modułu reakcji podłoża można wyprowadzić następnie z wartości modułu siecznych reakcji podłoża (CUR 166) - patrz rysunek:



Model oddziaływania w celu wyznaczenia k_h - CUR 166

Ściana berlińska

Podczas analizy konstrukcji ścian berlińskich (**palisad**, **ścian berlińskich** lub przekrojów **definiowanych przez użytkownika** A**,** I**,** E**,** G), następujące podejście zostało przyjęte do wyznaczania parć gruntu:

Do głębokości wykopu, parcia wyznaczane są w odniesieniu do 1 mb szerokości konstrukcji. Poniżej dna wykopu, parcia gruntu są mnożone przez współczynnik redukcji k ("**Współczynnik redukcji parcia poniżej dna wykopu**"). Współczynnik ten może być zdefiniowany przez użytkownika (w ramce "Geometria" jako parametr przekroju konstrukcji) lub wyznaczony automatycznie przez program.

Jeżeli zdefiniowany jest "**Nasyp gruntu**" nad dnem wykopu (ramka "Wykop"), wówczas parcia na tym odcinku obliczane są w odniesieniu do całej szerokości ściany ($k = 1$).

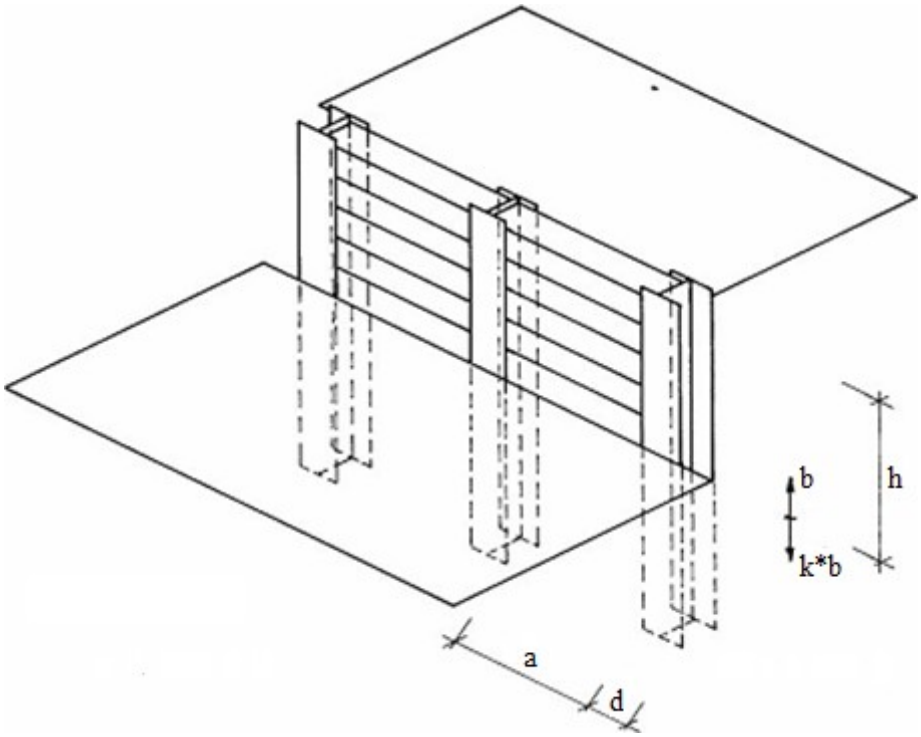
Współczynnik redukcji parcia poniżej dna wykopu k można wyznaczyć w przybliżeniu (w sposób bardzo konserwatywny) zgodnie ze wzorem:

$$k = \frac{d}{d + a}$$

gdzie: a - rozstaw pali lub profili stalowych wzdłuż ściany

d - szerokość profili lub średnica pali

Rzeczywista wartość współczynnika k zależy także od rodzaju gruntu i efektu przestrzennego parcia gruntu. Wartości rzeczywiste tego współczynnika są **dwu lub trzykrotnie wyższe** niż wartości wyznaczone za pomocą powyższego wzoru.

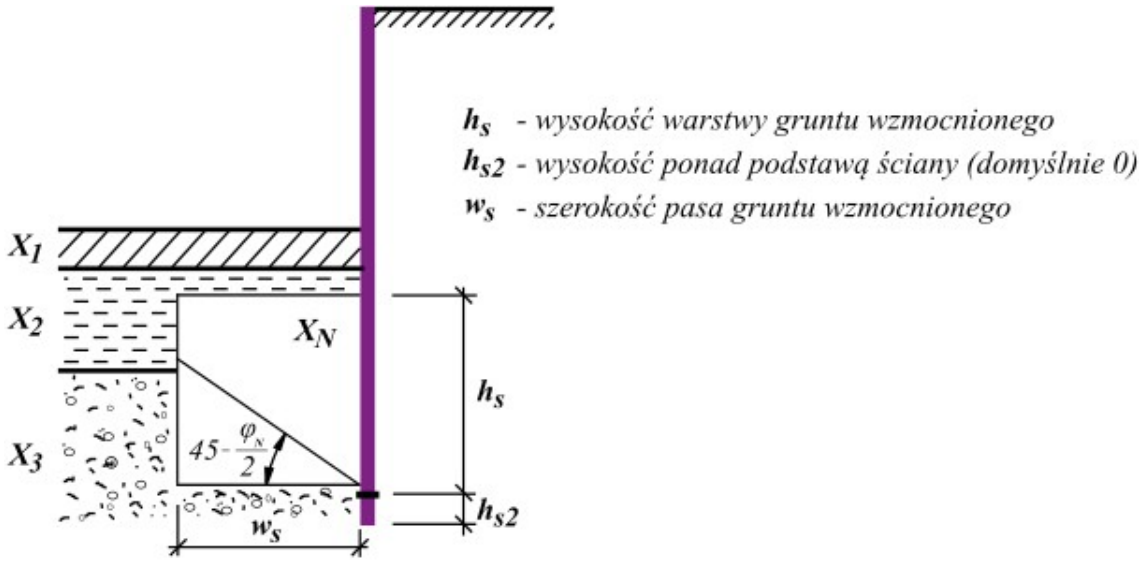


Ściana berlińska - schemat konstrukcji

Wzmocnienie gruntu

Program umożliwia modelowanie wzmocnienia gruntu w poziomie podstawy konstrukcji obudowy wykopu (poniżej dna wykopu). Wzmocnienie gruntu wykonywane jest po wykonaniu ściany lub palisady za pomocą iniekcji w podstawie ściany. Parametry decydujące o wzmocnieniu to **wysokość warstwy gruntu wzmocnionego** h_S, lub **szerokość pasa gruntu wzmocnionego** w_S **oraz parametry gruntu wzmocnionego** (φ, c).

Zasada rozwiązania pokazana jest na poniższym rysunku.



Wzmocnienie gruntu w podstawie konstrukcji obudowy wykopu - graficzna prezentacja rozwiązania

Sposób obliczania wzmocnienia gruntu w podstawie konstrukcji obudowy wykopu opisany jest poniżej:

$$\mu = Min\left(\frac{w_s \tan\left(45 - \frac{\varphi_N}{2}\right)}{h} ; 1 \right)$$

$$X_i = X_{oi}(1-\mu) + \mu X_N$$

gdzie:

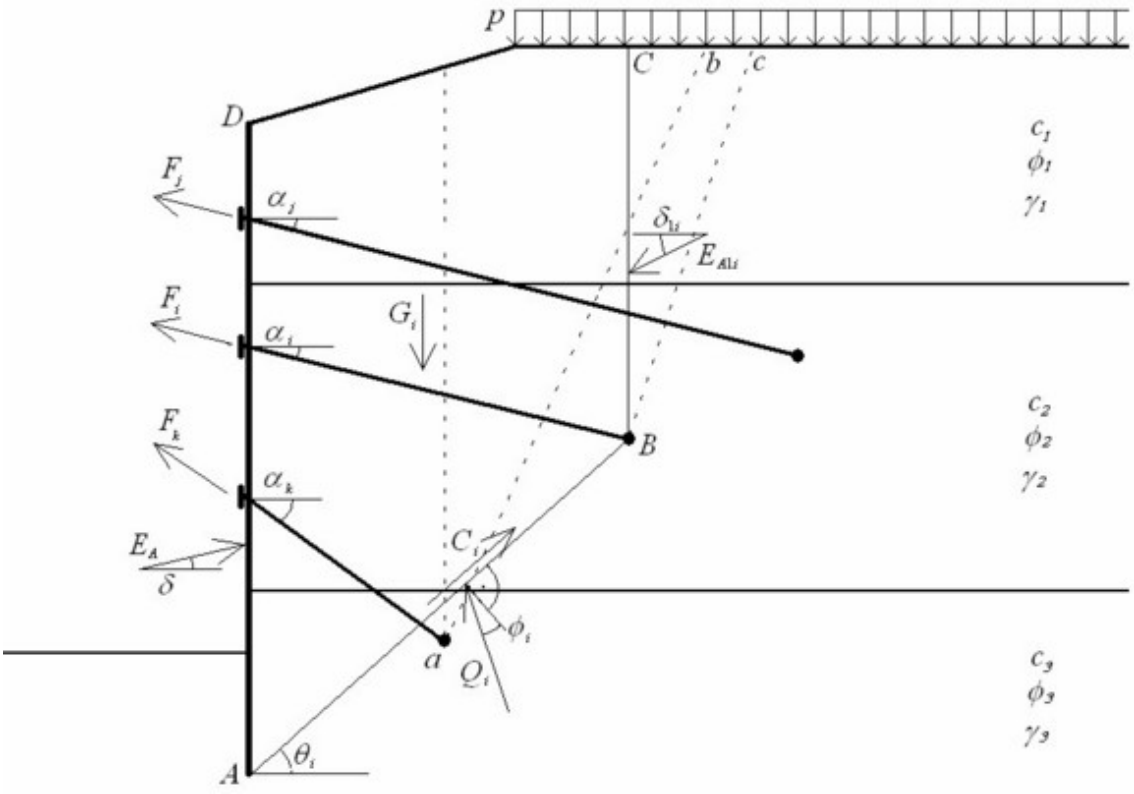
N	-	nowa warstwa gruntu wzmocnionego
μ	-	wskaźnik (parametr pomocniczy)
X_i	-	parametr bezwzględny w i^{tej} warstwie gruntu
X_{oi}	-	parametr wyjściowy w i^{tej} warstwie gruntu
X_N	-	nowy parametr gruntu wzmocnionego
w_S	-	szerokość pasa gruntu wzmocnionego [m]
h_S	-	wysokość warstwy gruntu wzmocnionego [m]

Wewnętrzna stateczność kotew

Wewnętrzna stateczność systemu kotwienia ściany, wyznaczana jest niezależnie dla każdej warstwy. Podczas analizy określana jest siła kotwienia, która równoważy system sił oddziaływujących na blok gruntu. Blok gruntu jest to obszar przestrzenny, wydzielony zarysem ściany, terenu, linii łączącej posadowienie ściany z buławą kotwy, oraz linią pionową przechodzącą przez środek buławy kotwy do terenu (*jak na rysunku poniżej).*

Teoretycznym fundamentem konstrukcji ściany jest punkt, w którym suma sił poziomych pod dnem wykopu równa jest zeru. Jeżeli taki punkt znajduje się poniżej podstawy obudowy, to teoretycznym fundamentem jest podstawa tej ściany.

Analiza wykonywana jest na metr bieżący konstrukcji ściany. Tak więc, siły kotwienia są wyliczane z uwzględnieniem rozstawu kotew w poszczególnych warstwach.



Analiza stateczności wewnętrznej

Na rysunku pokazano schemat dla weryfikacji warstwy i^{nr}. Wyznaczana jest równowaga sił dla bloku ***ABCD***. Do analizy zastosowanie mają podane niżej siły:

E_A - Wypadkowa czynnego parcia gruntu, działającego na ścianę (na linii ***AD***)

E_{Ai} - Wypadkowa czynnego parcia gruntu, powyżej buławy sprawdzanej kotwy (na linii ***BC***)

G_i - Ciężar i^{nr} - blok gruntu ***ABCD***; dodatkowo, wartość ta zawiera dodatkowe obciążenie ***p*** oddziałujące na powierzchni terenu, pod warunkiem, że nachylenie θ_i powierzchni poślizgu ***AB***, jest większe niż wartość średnia kąta tarcia wewnętrznego na tej powierzchni; w przypadku mniejszego nachylenia powierzchni poślizgu ***AB*** dodatkowe obciążenie gruntu nie jest uwzględniane.

C_i - Wypadkowa spójności gruntu na powierzchni poślizgu ***AB***.

F_j, F_k, … - Siły zmobilizowane w pozostałych kotwach, przy czym niektóre z nich nie są brane pod uwagę; tylko "**krótsze**" kotwy (w porównaniu do kotwy i^{nr}) włączone są do analizy równowagi bloku i^{nr} ;

W celu zdecydowania czy dana kotew (m^{nr}) ma być włączona, lub wyłączona w analizie równowagi bloku i^{nr} stosowana jest następująca zasada:

w pierwszej kolejności wybierana jest niższa kotew (m^{nr} lub i^{nr}); następnie umieszczana jest płaska powierzchnia poślizgu, od środka buławy wybranej kotwy; płaszczyzna ta nachylona jest pod kątem 45^{o} - $\varphi_n/2$ od linii pionowej (linia ***ab***, lub ***Bc*** na rysunku); φ_n jest wartością średnią kąta tarcia wewnętrznego ponad buławą niższej kotwy; jeśli buława i^{nr} jest powyżej buławy m^{nr}, a wyżej umieszczona buława (i^{nr}) znajduje się na zewnątrz obszaru wyznaczonego płaską powierzchnią poślizgu, to kotew m^{nr} jest włączana do analizy; takim samym przykładem włączenia kotwy m^{nr} do analizy, jest przypadek, gdy buława i^{nr} znajduje się pod buławą m^{nr}, i buława m^{nr} znajduje się wewnątrz obszaru odciętego powierzchnią poślizgu; dwie przeciwne sytuacje decydują o wyłączeniu kotew z analizy; pierwsza z nich to buława i^{nr} powyżej buławy m^{nr} oraz i^{nr} jest wewnątrz obszaru, a druga wtedy, gdy buława i^{nr} znajduje się pod buławą m^{nr} i m^{nr} jest na zewnątrz obszaru; na podstawie powyższych definicji wynika, że "krótsza" kotew F_k zostaje włączona do analizy, a kotew "dłuższa" F_j będzie z analizy wyłączona (zobacz rysunek).

Q_i - Rekcja na powierzchni poślizgu ***AB***

F_i Siła w analizowanej kotwie; maksymalna dopuszczalna wartość tej siły wynika z analizy równowagi przeprowadzonej dla bloku i^{nr}

Rozwiązanie problemu równowagi dla danego bloku wymaga zastosowania równań równowagi sił poziomych i pionowych. Jest to układ dwóch równań, które należy rozwiązać dla znalezienia niewiadomych Q_i (reakcja podłoża) , oraz F_i (maksymalna dopuszczalna wartość siły w kotwie).

Jako wynik programu podaje maksymalne dopuszczalne siły w kotwach, dla każdego rzędu kotew. Wartości te są następnie porównywane do sił rzeczywiście zmobilizowanych w poszczególnych kotwach.

Stateczność dna wykopu

Analiza zniszczenia spowodowanego wyparciem (wyporem wody)

Stateczność dna wykopu ze względu na zniszczenie spowodowane wyparciem (wyporem wody) (HYD) sprawdzane jest według teorii stanów granicznych ze wzoru:

$$u_{dst} \leq \frac{\sigma_{stb}}{\gamma_h}$$

gdzie: u_{dst} - destabilizujące parcie wody

σ_{stb} - stabilizujący ciężar gruntu

γ_h - współczynnik redukcyjny dla zniszczenia poprzez wyparcie

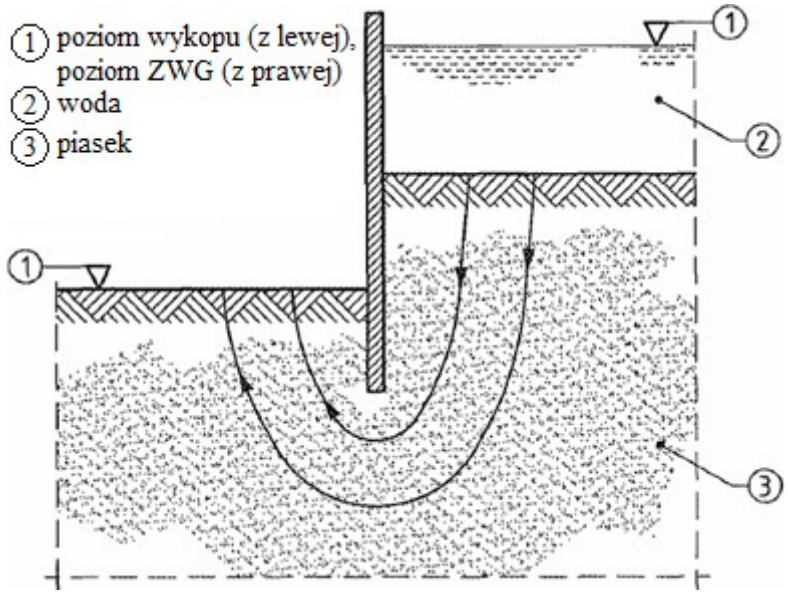
Stateczność dna wykopu ze względu na zniszczenie spowodowane wyparciem (wyporem wody) (HYD) sprawdzane jest według teorii współczynnika bezpieczeństwa ze wzoru:

$$\frac{\sigma_{stb}}{u_{dst}} \geq SF_h$$

gdzie: u_{dst} - destabilizujące parcie wody

σ_{stb} - stabilizujący ciężar gruntu

SF_h - swspółczynnik bezpieczeństwa dla zniszczenia poprzez wyparcie



Zniszczenie spowodowane wyparciem (wyporem wody)

Analiza hydraulicznego unoszenia cząstek gruntu

Zniszczenie poprzez hydrauliczne unoszenie cząstek gruntu sprawdzane jest według teorii stanów granicznych ze wzoru:

$$i \leq \frac{i_c}{\gamma_p}$$

gdzie: i - gradient hydrauliczny

i_c - krytyczny gradient hydrauliczny, gdzie $i_c = \gamma_{su}/\gamma_w$

γ_p - współczynnik redukcyjny wewnętrznej erozji gruntu

Zniszczenie poprzez hydrauliczne unoszenie cząstek gruntu sprawdzane jest według teorii współczynnika bezpieczeństwa ze wzoru:

$$\frac{i_c}{i} \geq SF_p$$

gdzie: i - gradient hydrauliczny

i_c - krytyczny gradient hydrauliczny, gdzie $i_c = \gamma_{su}/\gamma_w$

SF_p - współczynnik bezpieczeństwa dla wewnętrznej erozji gruntu

Literatura:

Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1:General rules.

Osiadanie terenu za obudową wykopu

Osiadanie terenu za obudową wykopu może być wyznaczane z wykorzystaniem następujących teorii:

- Metoda trójkątów
- Metoda wskaźnikowa
- Metoda paraboliczna
- DG/TJ08-61-2010

Metoda trójkątów

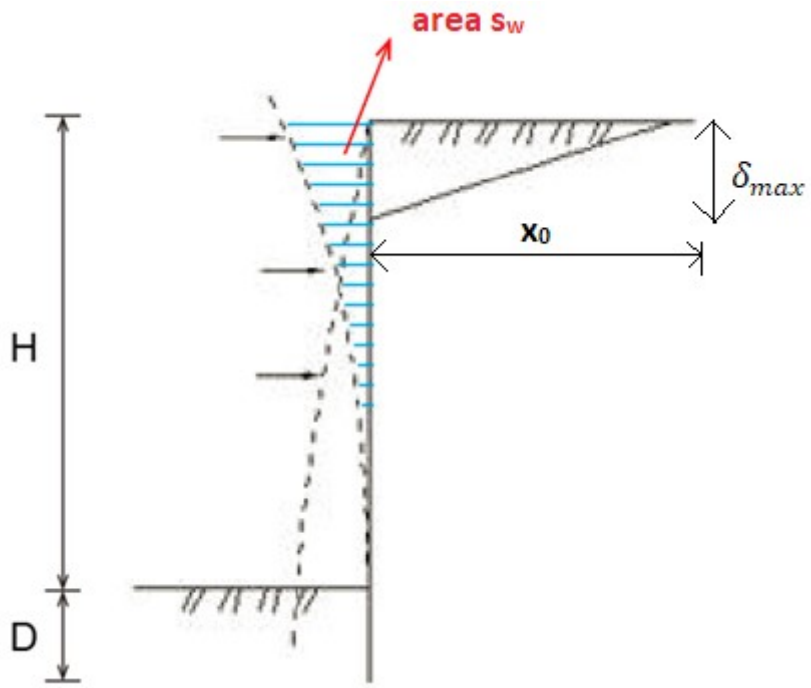
W przypadku zastosowania **metody trójkątów osiadanie za obudową wykopu** wyznaczane jest według następującego wzoru:

$$\delta_{max} = \frac{2 \cdot s_w}{x_0}$$

gdzie: δ_{max} - osiadanie maksymalne

s_w - powierzchnia pomiędzy konstrukcją odkształconą i nieodkształconą

x_0 - zasięg osiadań



Zasięg osiadania x_0 definiowany jest w sposób następujący:

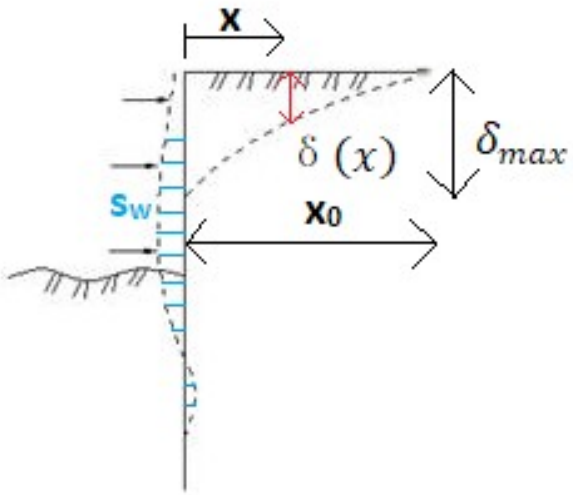
$$x_0 = (H + D) \cdot \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$$

gdzie:
- H - głębokość wykopu
- D - długość ściany poniżej dna wykopu
- φ - średnia ważona kątów tarcia wewnętrznego wszystkich gruntów, w których zagłębiona jest konstrukcja

Metoda wskaźnikowa

W przypadku zastosowania **metody wskaźnikowej osiadanie za obudową wykopu** wyznaczane jest według następującego wzoru:

$$\delta_{max} = \frac{3 \cdot s_w}{x_0}$$



$$\delta\,(x) = e^{c(x_0 - x)} - 1$$

$$c = \ln\left(\frac{3s_w}{x_0} + 1\right)/x_0$$

gdzie:

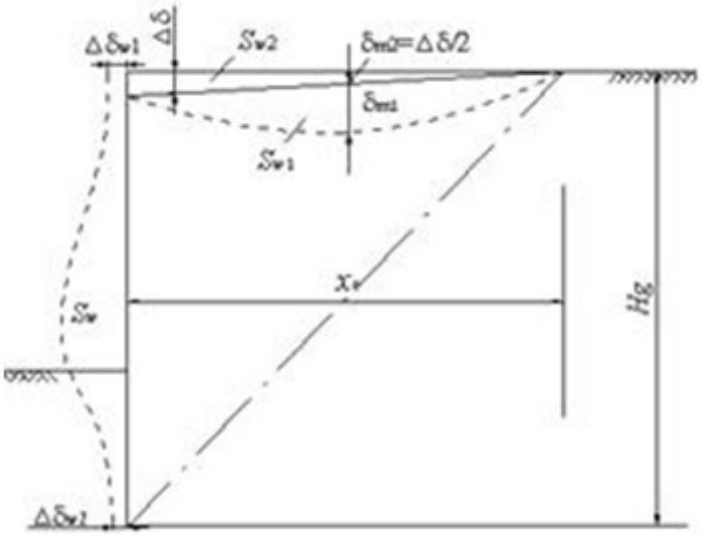
δ_{max}	-	osiadanie maksymalne
s_w	-	powierzchnia pomiędzy konstrukcją odkształconą i nieodkształconą
x_0	-	zasięg osiadań
$\delta(x)$	-	osiadanie w każdym punkcie w odległości x w zasięgu strefy osiadania x_0
x	-	odległość między punktem, w którym wyznaczane jest osiadanie i krawędzią wykopu

Uwaga: Metoda wyznaczania zasięgu osiadania x_0 jest taka sama jak w przypadku metody trójkątów.

Metoda paraboliczna

W przypadku zastosowania **metody parabolicznej osiadanie za obudową wykopu** wyznaczane jest według następującego wzoru:

$$\delta\,(x) = 4 \cdot \delta_{max} \cdot \frac{x \cdot (x_0 - x)}{x_0^2} + \Delta\delta \cdot \frac{x_0 - x}{x_0}$$



$$\Delta\delta = \frac{1}{2} \cdot (\delta_{w1} + \delta_{w2})$$

$$\delta_{max} = \frac{1.6 \cdot s_w}{x_0} - 0.3 \cdot \Delta\delta$$

gdzie:

- δ_{max} - osiadanie maksymalne
- x
- s_w - powierzchnia pomiędzy konstrukcją odkształconą i nieodkształconą
- x_0 - zasięg osiadań
- $\delta(x)$ - osiadanie w każdym punkcie w obrębie strefy zasięgu osiadań
- x - odleglość między punktem, w którym wyznaczane jest osiadanie i krawędzią wykopu
- δ_{w1} - przemieszczenie poziome szczytu konstrukcji obudowy
- δ_{w2} - przemieszczenie poziome dna (spodu) konstrukcji obudowy

Uwaga: δ_{max} wyznaczane jest na podstawie teorii Pecka, a $\delta(x)$ zakłada się jako krzywą paraboliczną. Oczywistym jest, że maksymalna wartość $\delta(x)$ nie jest równa δ_{max}, ale osiadanie maksymalne nadal jest uwzględniane jako δ_{max}.

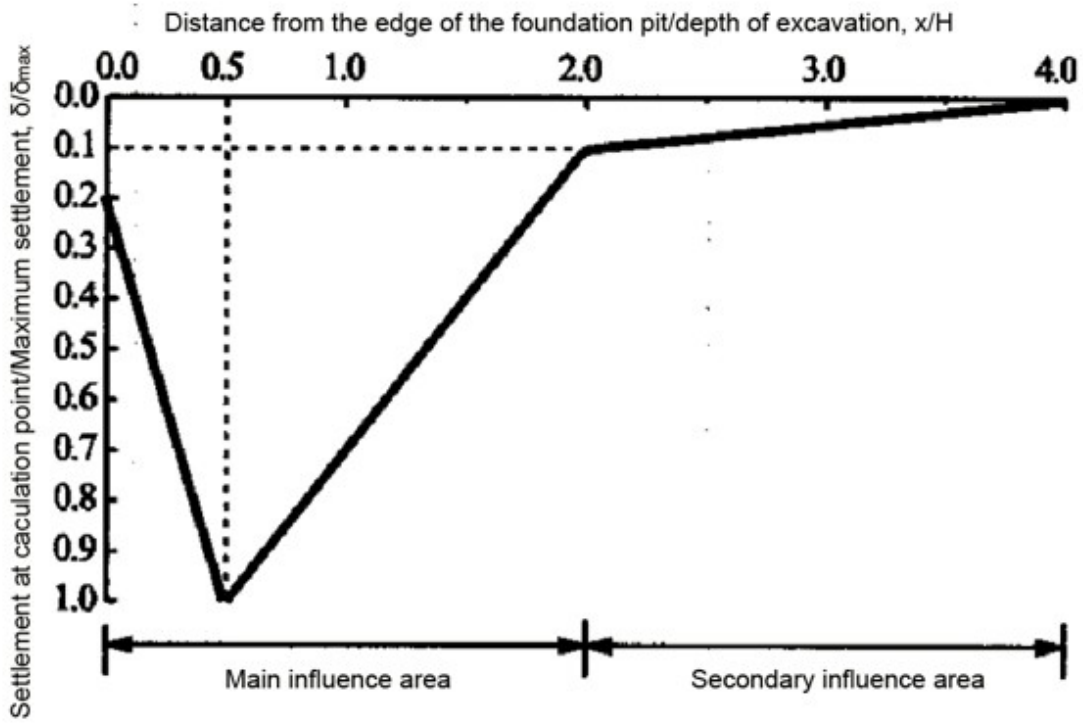
Uwaga: Metoda wyznaczania zasięgu osiadania x_0 jest taka sama jak w przypadku metody trójkątów.

DG/TJ08-61-2010

Settlement of terrain behind the shoring structure is calculated according to the **DG/TJ08-61-2010** (Technical code for excavation engineering in Shanghai) and it is suitable for using in soft soils.

Settlement behind the sheeting differs in two parts - **main influence area** and **secondary**

influenced area.



Maximum settlement δ_{max} is calculated as follows:

$$\delta_{max} = 0.8\delta_{hm}$$

where: δ_{max} - maximum settlement

δ_{hm} - maximum horizontal displacement of structure

The range of settlement x_0 is calculated as follows:

$$x_0 = 4H$$

where: x_0 - range of settlement

H - depth of excavation

Settlement at each point $\delta(x)$ in range of settlement x_0 is calculated as follows:

$$For\ x \leq 0.5H,\ \delta(x) = \frac{1.6\delta_{max}}{H}x + 0.2\delta_{max}$$

$$For\ 0.5H < x \leq 2H,\ \delta(x) = -\frac{0.6\delta_{max}}{H}x + 1.3\delta_{max}$$

$$For\ 2H < x \leq 4H,\ \delta(x) = -\frac{0.05\delta_{max}}{H}x + 0.2\delta_{max}$$

where: $\delta(x$ - Settlement at each point within the range of settlement or influenced

) area

x - Distance between the calculation point and the edge of the foundation pit

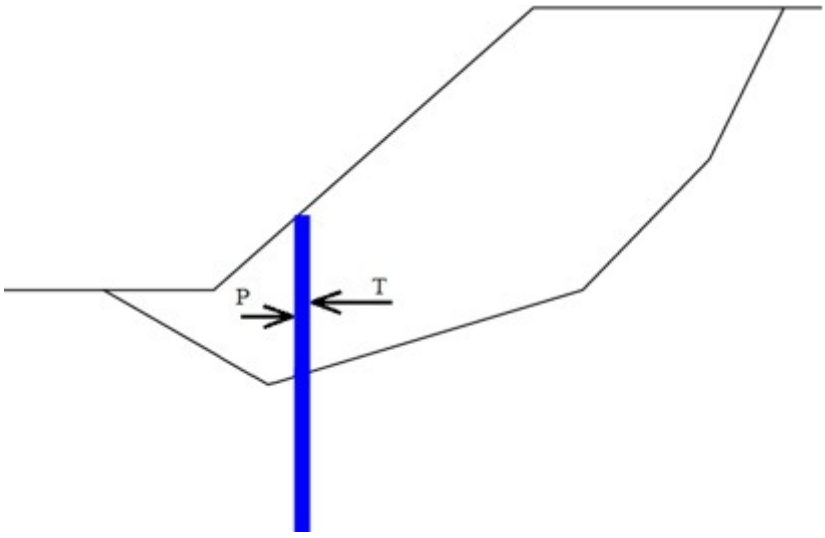
Literature:

DG/TJ08-61-2010 (Technical code for excavation engineering in Shanghai)

Pal stabilizujący

Program Pal stabilizujący przeprowadza analizę pali stabilizujących (wyznaczanie sił wewnętrznych + przemieszczeń, wymiarowanie przekroju pala). Analiza konstrukcji jest prawie identyczna jak w programie "**Ściana analiza**", różni się jedynie definiowaniem parcia powyżej powierzchni poślizgu oraz możliwością modelowania pali utwierdzonych w skale.

Jeśli w zdefiniowanym zboczu lub konstrukcji pojawia się nieakceptowalna powierzchnia poślizgu, wówczas istnieje możliwość zwiększenia stateczności zbocza na tej powierzchni poprzez wstawienia pala stabilizującego (ramka "Pale stabilizujące" służy do wykonania tego kroku w programie "Stateczność zbocza"). Pal należy umieścić w taki sposób aby przecinał powierzchnię poślizgu a jego podstawa była na znacznej głębokości poniżej powierzchni poślizgu. Powyżej powierzchni poślizgu pal obciążany jest siłą czynną T mającą tendencję do przesunięcia pala oraz siłą bierną (utrzymującą) P stabilizującą pal (patrz rysunek poniżej). Różnica pomiędzy siłą bierną i czynną określa siłę, która musi być przeniesiona przez pal aby zwiększyć stateczność na zdefiniowanej powierzchni poślizgu do wymaganej wartości SF_S.



Schemat sił czynnych i biernych oddziałujących na pal stabilizujący

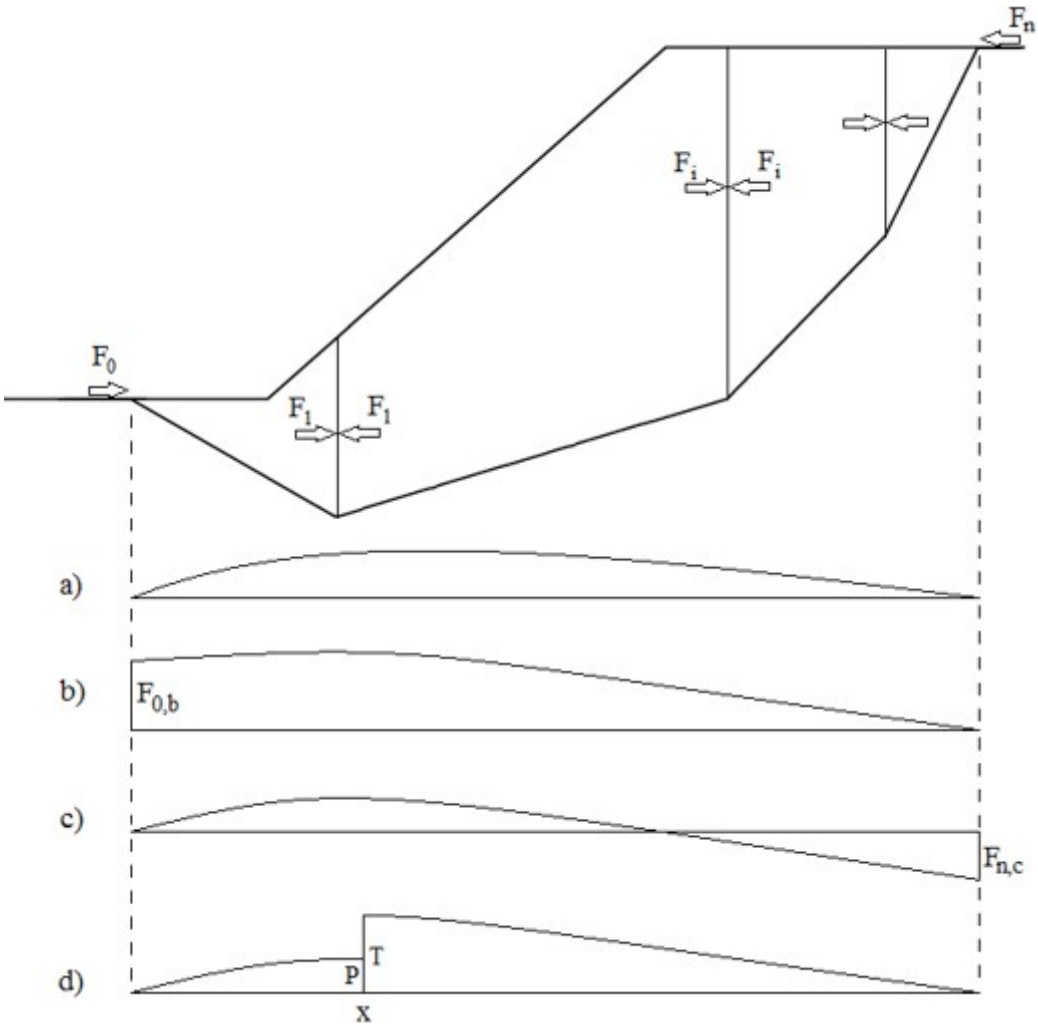
Jeśli współczynnik stateczności zbocza SF bez pala stabilizującego jest niewystarczający, siły czynne i bierne są w równowadze - pal nie jest obciążony i nie ma konieczności jego zastosowania. Dlatego też, do wyznaczania sił oddziałujących na pal istotne jest aby wymagany współczynnik bezpieczeństwa SF_S był większy niż ten wyznaczony dla danej powierzchni poślizgu SF bez pala, lub wymagany współczynnik stateczności był większy niż ten związany ze zdefiniowaną powierzchnią poślizgu bez obecności pala stabilizującego.

Wyznaczanie sił działających na pal stabilizujący

Siły oddziałujące na pal stabilizujący wyznaczane są w obliczeniach stateczności zbocza. Wyznaczanie współczynika stateczności zbocza SF jest oparte na analizie równowagi

sił działających na bloki gruntów powyżej powierzchni poślizgu. Powierzchnie pionowe poszczególnych bloków są poddane działaniu międzyblokowych sił F_i i ich określenie jest jednym z kroków analizy stateczności zbocza. Jeśli bloki gruntów są dokładnie w stanie równowagi granicznej, to siły międzyblokowe na początku i na końcu powierzchni poślizgu są równe zero. Graniczny współczynnik bezpieczeństwa SF_{lim}, dla którego osiągnięty jest stan równowagi granicznej, uważany jest jako rzeczywisty współczynnik bezpieczeństwa na zdefiniowanej powierzchni poślizgu. Rozkład sił międzyblokowych wzdłuż powierzchni poślizgu jest nazywany **linią parcia**. Siły działające na pal stabilizujący są wyznaczane na podstawie rozkładu linii parcia obliczonych dla wymaganego współczynnika bezpieczeństwa SF_S.

Poniższy rysunek przedstawia różne rozkłady sił międzyblokowych F_i (linii parcia). **Wykres a)** przedstawia rozkład sił F_i w stanie równowagi granicznej, gdzie wartości zerowe sił międzyblokowych znajdują się zarówno na początku jak i na końcu rozkładu. Oznacza to, że ten stan został określony dla wartości współczynnika bezpieczeństwa SF_{lim}, który dokładnie wyraża stopień bezpieczeństwa na zdefiniowanej powierzchni poślizgu. **Wykres b)** przedstawia linię parcia określoną dla wyższego współczynnika bezpieczeństwa niż odpowiadający SF_{lim}. Założenie zerowej siły F_n jest przyjęte na górze powierzchni poślizgu, w wyniku czego odnotowana została niezerowa siła $F_{0,b}$ na dole powierzchni poślizgu. Oznacza to, że w celu osiągnięcia współczynnika bezpieczeństwa SF, podstawa zbocza powinna być obciążona siłą parcia o wartości równej $F_{0,b}$. **Wykres c)** przedstawia linię parcia dla współczynnika bezpieczeństwa SF wyższego niż SF_{lim}. Wynika to z założenia o zerowej sile F_0 na dolnym końcu powierzchni poślizgu. Pojawia się wówczas na górze niezrównoważona siła $F_{n,c}$. Osiągnięcie stanu równowagi dla współczynnika bezpieczeństwa SF będzie wówczas teoretycznie wymagało przyłożenia siły rozciągającej o tej wartości w górnym końcu powierzchni poślizgu. **Wykres d)** prezentuje rozkład sił międzyblokowych w przypadku, gdy w punkcie x umieszczony jest pal stabilizujący. Dolna część rozkładu odpowiada wykresowi c) i służy do wyznaczenia wartości siły biernej P w punkcie x. Powyżej pala rozkład odpowiada wykresowi b) i jest uwzględniany oraz służy do wyznaczania siły czynnej T w punkcie x. Różnica pomiędzy siłami P i T jest więc siłą przenoszoną przez pal stabilizujący.



Rozkład sił międzyblokowych F_i

Podpis pod rysunkiem (wyjaśnienie):

a) rozkład dla współczynnika bezpieczeństwa $SF = SF_{lim}$ ($F_0 = 0$ i $F_n = 0$)

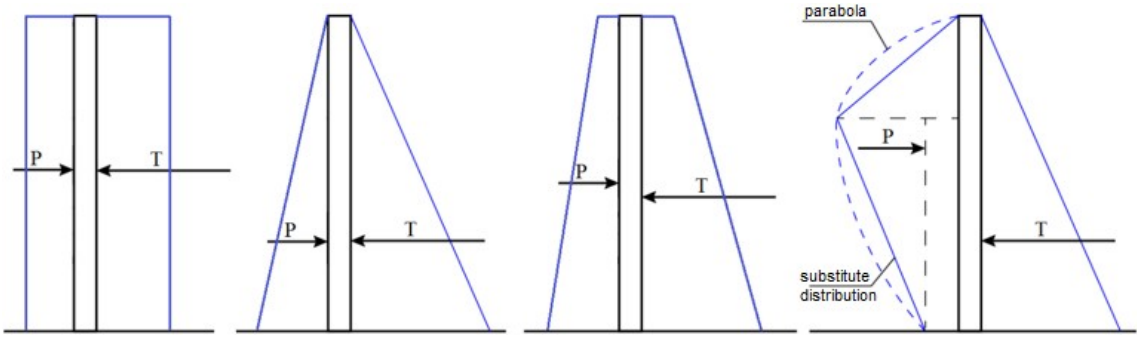
b) rozkład dla współczynnika bezpieczeństwa $SF > SF_{lim}$ z siłą o zerowej wartości na górnym końcu

c) rozkład dla współczynnika bezpieczeństwa $SF > SF_{lim}$ z siłą o zerowej wartości na dolnym końcu

d) rozkład dla współczynnika bezpieczeństwa SF z palem stabilizującym w punkcie x

Rozklad parć powyżej powierzchni poślizgu

Rozkład obciążenia, zastosowany do pala stabilizującego powyżej powierzchni poślizgu określany jest na podstawie wartości sił P i T. Rozważane są rozkłady **stały**, **trójkątny** lub **trapezowy** (dla programu "**Pal Stabilizujący**" rozkład sił czynnych i biernych jest wprowadzany w ramce"Definiowanie parcia"). Dla siły biernej (utrzymującej) P istnieje także możliwość uwzględnienia rozkładu **parabolicznego**, który jest aproksymowany dla uproszczenia przez połączenie części trójkątnej i trapezowej.



Typy rozkładów obciążeń powyżej powierzchni poślizgu zastosowane do pala stabilizującego

Zalecenia dla rozkładu sił czynnych

- Rozkład trójkątny - warstwy powyżej powierzchni poślizgu są wykonane ze żwiru lub piasku
- Rozkład prostokątny - warstwy powyżej powierzchni poślizgu są wykonane z gruntów drobnoziarnistych (Ił, pył)
- Rozkład trapezowy - warstwy powyżej powierzchni poślizgu są wykonane z różnych rodzajów gruntu.

Szyb

W programie Szyb, w ramce "Analiza", wyznaczane są obciążenia oddziałujące na szyb.

Wyznaczone w ten sposób obciążenia stanowią dane wejściowe do analizy sił wewnętrznych w ramce "Wymiarowanie".

Wyznaczanie obciążeń oddziałujących na szyb

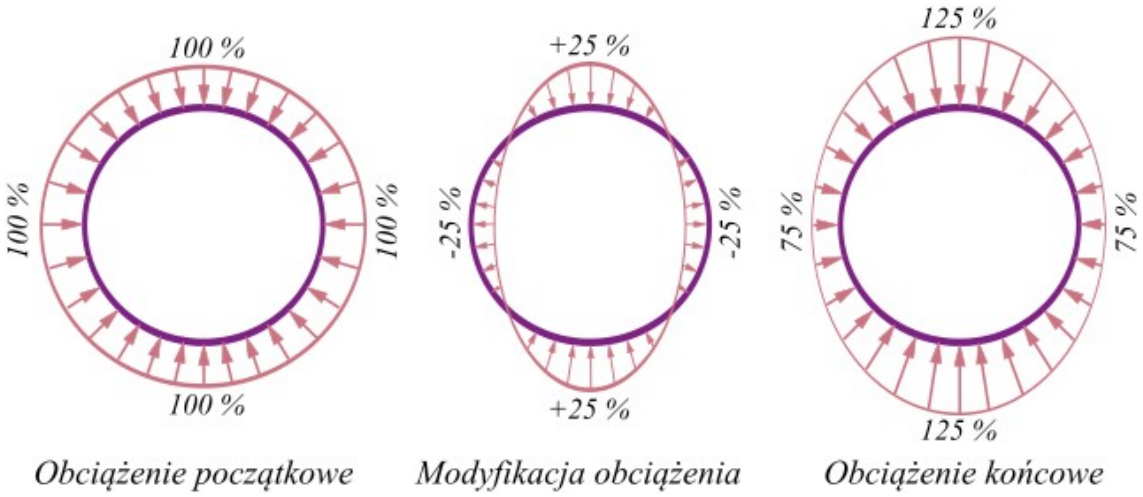
W ramce "Analiza" wyznaczane są obciążenia oddziałujące na szyb wynikające z parcia gruntu oraz innych zdefiniowanych przez użytkownika obciążeń. Sztywność szybu ma znaczący wpływ na parcie gruntu. Sztywna konstrukcja nie pozwala na deformację, tak więc parcie gruntu jest dużo większe niż w szybie podatnym.

W programie Szyb można zamodelować trzy rodzaje szybów:

- Podatne - w tym przypadku uwzględniane jest przestrzenne parcie czynne (parcie gruntu, obciążenie powierzchniowe oraz obciążenie lokalne/skupione)
- Półpodatne
- Sztywne - w tym przypadku uwzględniane jest przestrzenne parcie spoczynkowe (parcie gruntu, obciążenie powierzchniowe obciążenie lokalne/skupione)

Sposoby wyznaczania obciążenia.

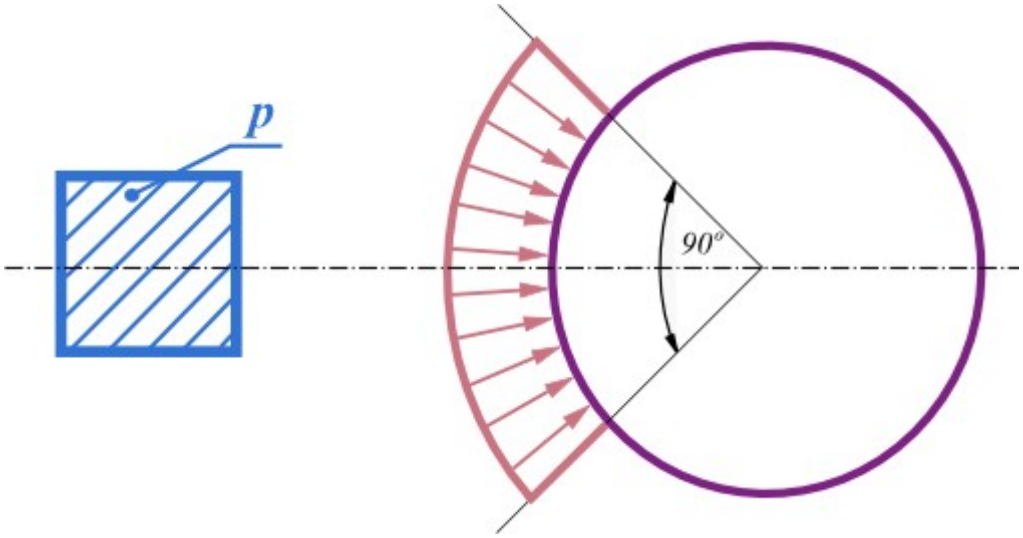
Obciążenie pochodzące od parcia gruntu i obciążenia powierzchniowego działa, jako obciążenie równomierne na całym obwodzie. Obciążenie to powoduje naprężenia w konstrukcji wywołane wyłącznie oddziaływaniem sił normalnych - momenty zginające w szybie są teoretycznie równe zero. W celu określenia realnego zachowania szybu, program wprowadza współczynnik redukcji, zgodnie z normą DIN V 4034-1 lub СНиП II-94-80. Zalecana wartość współczynnika redukcji wynosi 25 %.



Modyfikacja obciążenia równomiernego poprzez współczynnik redukcji

Load from local surcharge is considered as shown on the next picture. This load is not modified by reduction coefficient.

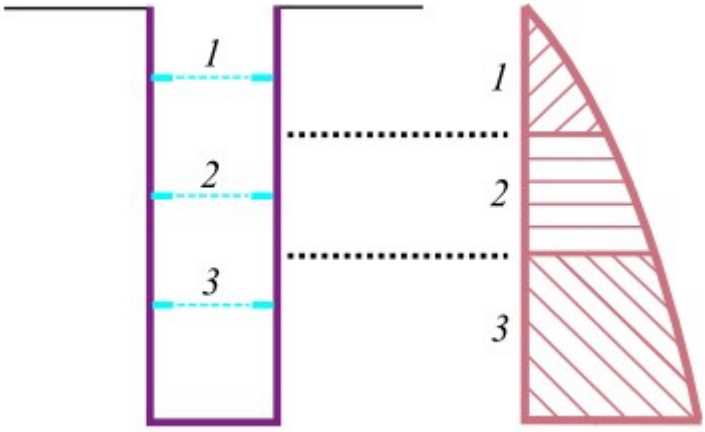
Obciążenie pochodzące od obciążeń lokalnych uwzględniane jest w sposób pokazany na następnym rysunku. Obciążenie tego typu nie jest modyfikowane przy pomocy współczynnika redukcji.



Obciążenie szybu wynikające z obciążeń lokalnych

Wyznaczanie obciążeń na pierścienie usztywniające

Jeśli w szybie zdefiniowane są pierścienie usztywiające, wówczas program oblicza obciążenie przypadające na każdy z nich. Obciążenie zależy od odległości osiowej pomiędzy pierścieniami usztywniającymi, w sposób pokazany na rysunku.



Wyznaczenie obciążenia na pierścień usztywniający

Jeśli pierścienie usztywiające nie są zdefiniowane, wówczas program oblicza obciążenie na głębokość jednostkową (1 m, 1 ft).

Po wyznaczeniu obciążeń program wyznacza obwiednie sił wewnętrznych w konstrukcji szybu.

Literatura:

Berezantzev, V. G.: Earth pressure on the cylindrical retaining walls, Brussels conference on Earth pressure problems, 1958.

ČSN 73 0037: Zemní tlak na stavební konstrukce, 1990.

DIN 4085: Berechnung des Erddrucks, 1987.

Exner, K.: Hloubení jam, VŠB v Ostravě, 1986.

Cheng, Y. M.; Hu, Y. Y.: Active earth pressure on circular shaft lining obtained by simplified slip line solution with general tangential stress coefficient. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 27 (1), 110-115, 2005.

Link, H.; Lutgendorf, H.; Stoss, K.: Richtlinien zur Berechnung von Schachtauskleidungen in nicht standfestem Gebirge, 1976.

Sedláček, M.: Zatížení kruhových šachet prostorovým zemním tlakem. Příspěvek ke konferenci Zakládání staveb, 2014.

Snášelová, K.: Hloubení a vyztužování jam v extrémních podmínkách, ODIS VTEI pro uhelný průmysl, 1987.

Tobar, T.; Meguid, M.: Distribution of active earth pressure on vertical shafts, Geo Halifax, 2009.

Valencia, T. T.: An experimental study of the earth pressure distribution on cylindrical shafts, McGill University, Montreal, 2009.

Walz, B.; Pulsfort, M.: Raumliche Erddruck auf Schachtbauwerke in Abhangigkeit von der Wandverformung, Bergische Universitat Wuppertal, 1999.

Podatna konstrukcja szybu

Metoda konwencjonalna wykonywania szybów jest typowym przykładem, w którym zastosowanie mają szyby o konstrukcji **podatnej**. W metodzie tej, w pierwszej kolejności urabia się skałę, a następnie pokrywa ją betonem natryskowym w celu wzmocnienia i

zabezpieczenia jej powierzchni. W metodzie konwencjonalnej przewiduje się specjalne przestoje technologiczne (wykop, beton natryskowy lub łukowa obudowa drewniana) umożliwiające powstanie nowego rozkładu naprężeń w otaczającym gruncie, a w konsekwencji wartość parcia gruntu oddziałującego na szyb równa jest czynnemu parciu gruntu. Temat ten został szczegółowo omówiony w metodzie V.G. Berezantsev'a (1958). Obciążenie oddziałujące na szyb podatny opisane jest za pomocą równania:

$$p_a = K_{a\gamma}\,\gamma\,h + K_{aq}q - K_{ac}c_{ef}$$

gdzie: γ - ciężar jednostkowy gruntu

h - głębokość przekroju

q - wartość obciążenia

c_{ef} - wytrzymałość na ścinanie gruntu

$$K_{a\gamma} = \frac{\tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right)}{\eta - 1}\left(\frac{r_0}{h} - \frac{r_0}{h R_b^{\eta-1}}\right)$$

$$K_{aq} = \frac{1}{R_b^{\eta}}\tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right)$$

$$K_{ac} = \left[\frac{1-\lambda+\eta}{\eta} - \frac{\xi}{R_b^{\eta}}\tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right)\right]\cot\varphi_{ef}$$

gdzie: r_0 - promień szybu

φ_{ef} - kąt tarcia wewnętrznego gruntu

$\xi = 1$

$\lambda = 1$

$$\eta = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_{ef}}{2}\right) - 1$$

$$R_b = 1 + \frac{h}{r_0}\tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right)$$

Literatura:

Berezantzev, V. G.: Earth pressure on the cylindrical retaining walls, Brussels conference on Earth pressure problems, 1958.

Półpodatna konstrukcja szybu

Obudowa wykonana z grodzic stalowych jest typowym przykładem **półpodatnej** obudowy szybu. W tym przypadku grodzice są wprowadzane w grunt w pierwszej fazie budowy, a następnie wykonywany jest wykop. Ze względu na niewielką sztywność konstrukcji, w gruncie otaczającym szyb ma miejsce częściowa redystrybucja naprężeń. Wynikowa wartość parcia gruntu oddziałującego na konstrukcję szybu mieści się wobec tego pomiędzy parciem czynnym

i parciem spoczynkowym gruntu. Obciążenie oddziałujące na szyb półpodatny uwzględniane jest w programie jako wartość średnia obciążenia wyznaczonego dla szybu sztywnego i podatnego.

Sztywna konstrukcja szybu

Obudowa szybu w postaci palisady (lub ściany szczelinowej) jest typowym przykładem szybu o sztywnej konstrukcji obudowy. W tym przypadku, w pierwszej fazie budowy wykonywana jest w gruncie betonowa konstrukcja obudowy, a następnie wykonywany jest wykop. Ze względu na znikomą deformację sztywnej konstrukcji szybu parcie gruntu oddziałujące na ściany szybu równe jest parciu spoczynkowemu gruntu. Teoretyczne podstawy tego zagadnienia zostały szczegółowo opisane przez Y. M. i Y. Y. Hu (2005). Obciążenie sztywnego szybu opisuje się za pomocą następującego równania:

$$p_a = K_{a\gamma}\,\gamma\,h + K_{aq}\,q - K_{ac}\,c_{ef}$$

gdzie: γ - ciężar jednostkowy gruntu

h - głębokość przekroju

q - wartość obciążenia

c_{ef} - wytrzymałość na ścinanie gruntu

$$K_{a\gamma} = \frac{\tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right)}{(1-\sin\varphi_{ef})\,Z}\left(\left[1 + Z\tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right)\right]^{1-\sin\varphi_{ef}} - 1\right)$$

$$K_{aq} = \frac{1}{\left[1 + Z\tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right)\right]^{\sin\varphi_{ef}}}\tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right)$$

$$K_{ac} = \left[2 - \frac{1}{\left[1 + Z\tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right)\right]^{\sin\varphi_{ef}}}\sec^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right)\right]\cot\varphi_{ef}$$

gd r_0 -promień szybu
zie
:

φ_{ef} -kąt tarcia wewnętrznego gruntu

$$\eta = \sin\varphi_{ef}$$

$$Z = \frac{h}{r_0}$$ stosunek zagłębienia szybu h do promienia szybu r_0

$$\xi = \sec^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_{ef}}{2}\right)$$

$$R_b = 1 + \frac{h}{r_0}\tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_{ef}}{2}\right)$$

$$\lambda = 1 - \sin\varphi_{ef}$$

Literatura:

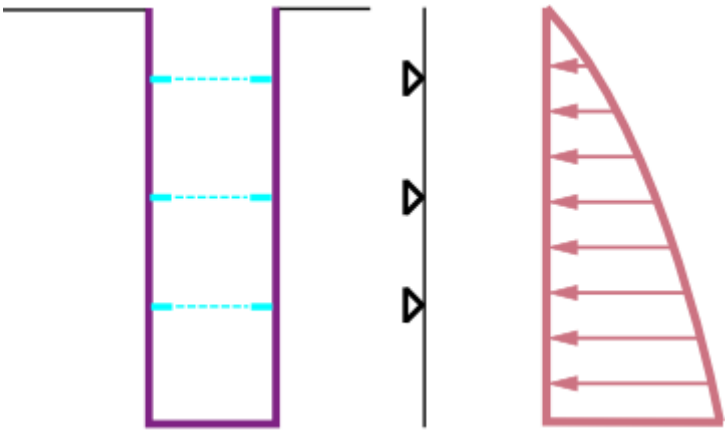
Cheng, Y. M.; Hu, Y. Y.: Active earth pressure on circular shaft lining obtained by simplified slip line solution with general tangential stress coefficient. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 27 (1), 110-115, 2005.

Wyznaczanie sił wewnętrznych w konstrukcji szybu (wymiarowanie)

Program umożliwia wyznaczenie sił wewnętrznych w konstrukcji szybu w kierunku pionowym i poziomym przy określonych obciążeniach oddziałujących na szyb.

Wyznaczanie sił wewnętrznych w kierunku pionowym

Model analityczny konstrukcji pokazano na rysunku poniżej. Wszystkie pierścienie usztywniające modelowane są jako podpory. Analiza prowadzona jest na jednostkę szerokości konstrukcji (1 m, 1 ft). Konstrukcje bez pierścieni usztywniających lub z jednym pierścieniem nie mogą yć analizowane w kierunku pionowym.

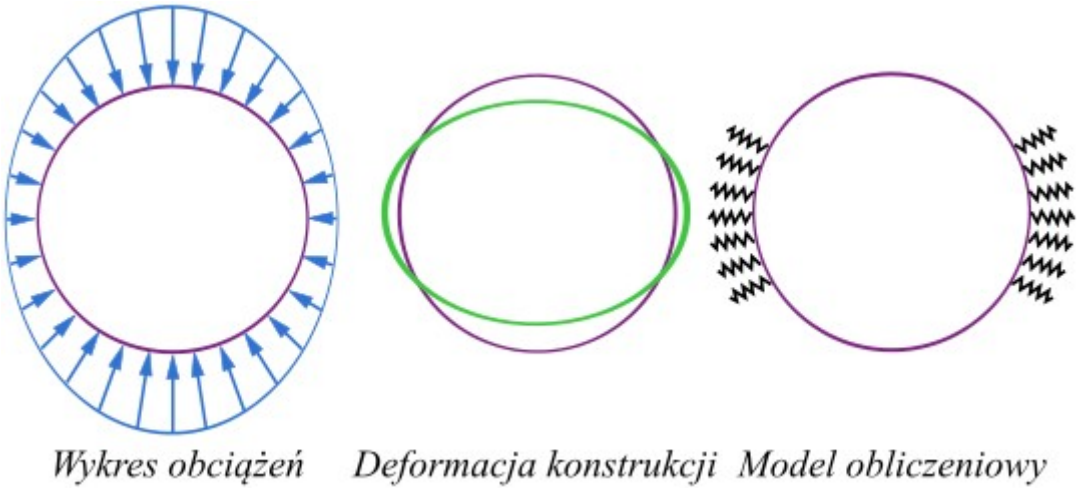


Model analityczny w kierunku pionowym

Analysis of internal forces in horizontal direction (polygonal method)

Siływ wewnętrzne w kierunku poziomym określane sę metodą poligonów, w której konstrukcja kołow dzielona jest na 72 segmenty. Każdy segment podparty jest sprężyście, nieliniowymi podporami sprężystymi, działającymi wyłącznie na ściskanie. Sztywność podpór sprężystych jest równa modułowi reakcji podłoża zdefiniowanemu przez użytkownika.

Metoda analizy przedstawiona jest na rysunku poniżej -w przypadku, gdy konstrukcja odkształca się (deformuje) w kierunku do wewnątrz szybu, podpory sprężyste zostają usunięte z analizy.



Model analityczny w kierunku poziomym

Stateczność zbocza

Program **Stateczność zbocza** oblicza stateczność zboczy, skarp czy nasypów z zastosowaniem kołowej lub łamanej powierzchni poślizgu.

Problem stateczności zbocza jest rozwiązywany w środowisku dwuwymiarowym. Grunt w masywie zbocza może znajdować się poniżej zwierciadła wody gruntowej, woda może również przecinać powierzchnię zbocza, które może być częściowo lub całkowicie zatopione. Zbocze może być obciążone dodatkowym obciążeniem dowolnego kształtu na powierzchni lub w obrębie masywu gruntowego. Analiza pozwala uwzględnić wpływ kotew, które mają za zadanie wzmocnienie zbocza. Można również wprowadzić elementy zbrojenia poziomego - geo-zbrojenia lub elementy pionowe - pale stabilizujące. Istnieje również możliwość uwzględnienia w analizie obciążeń sejsmicznych.

Do programu wprowadzono dwa typy podejść do analizy stateczności - klasyczna analiza zgodnie ze współczynnikiem bezpieczeństwa oraz analiza na podstawie teorii stanów granicznych.

Powierzchnia poślizgu może być modelowana na dwa różne sposoby. Powierzchnia poślizgu kołowa - wówczas użytkownik może wybrać jedną z metod: Felleniusa/Pettersona, Bishopa, Spencera, Janbu lub Morgensterna-Price'a, Shahunyants i ITF oraz powierzchnia poślizgu łamana, wówczas do wyboru są metody: Sarmy, Spencera, Janbu lub Morgensterna-Price'a, Shahunyants i ITF.

Grunt

Podłoże gruntowe modelowane jest w postaci **profilu warstwowego**. Istnieje możliwość zdefiniowania dowolnej liczby warstw. Dla każdej warstwy definiowana jest jej geometria i materiał. Materiał warstwy jest zazwyczaj reprezentowany **gruntem** o określonych parametrach. Naprężenie geostatyczne w gruncie wyznaczane jest podczas analizy.

Warstwa może być również zdefiniowana jako element sztywny. Taka warstwa reprezentuje podłoże skalne lub konstrukcję (ścianę oporową). Powierzchnia poślizgu nigdy nie może przechodzić przez element sztywny.

Wpływ wody

Woda gruntowa może być przypisana do przekroju płaszczyzny zbocza za pomocą jednej z pięciu opisanych poniżej opcji:

1) Zwierciadło wody gruntowej

Zwierciadło wody gruntowej określane jest jako wielobok, który może być dowolnie zakrzywiony, umieszczony całkowicie w gruncie lub wprowadzony częściowo **nad powierzchnią gruntu**.

Obecność wody gruntowej zmienia wartość ciśnienia porowego w masywie gruntowym oraz redukuje jego nośność na ścinanie. Ciśnienie porowe jest rozważane jako ciśnienie hydrostatyczne, tzn. ciężar właściwy wody przemnażany jest przez zredukowaną wysokość zwierciadła wody gruntowej:

$$u = \gamma_w . h_r$$

gdzie: γ_w - ciężar właściwy wody

h_r - zredukowana wysokość zwierciadła wody gruntowej

gdzie: $h_r = h.\cos^2 \alpha$

gdzie: h - pionowa odległość między punktem, w którym liczone jest ciśnienie porowe i punktem na powierzchni zwierciadła wody gruntowej

α - nachylenie zwierciadła wody gruntowej

Siła wypadkowa ciśnienia porowego w pewnym przekroju bloku stosowana w obliczeniach:

$$U = u.l$$

gdzie: u - ciśnienie porowe w punkcie

l - długość przekroju

Pod zwierciadłem wody gruntowej, analiza jest kontynuowana przez wykorzystanie ciężaru jednostkowego gruntu nasyconego $\boldsymbol{\gamma}_{sat}$ i wyporu; nad zwierciadłem wody gruntowej, analiza zakłada wprowadzony ciężar objętościowy gruntu $\boldsymbol{\gamma}$. Siły tnące wzdłuż powierzchni poślizgu wyznaczane są z:

$$T = (N - U) tg\varphi + c.d$$

gdzie: T - siła tnąca wzdłuż odcinka powierzchni poślizgu

N - siła normalna działająca wzdłuż odcinka powierzchni poślizgu

U - ciśnienie porowe powstałe wzdłuż odcinka powierzchni poślizgu

φ - kąt tarcia wewnętrznego

c - spójność

d - długość odcinka powierzchni poślizgu

W przypadku naprężeń całkowitych (wybieranych w ramce "Grunty") w obliczeniach uwzględniane są parametry całkowite a ciśnienie porowe jest równe zero.

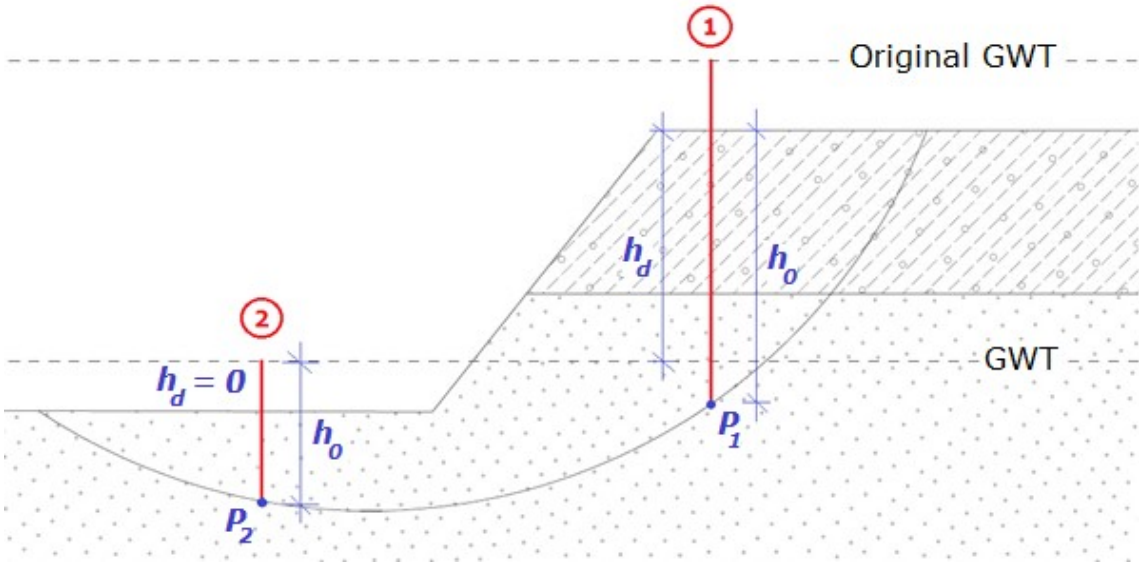
2) Zwierciadło wody gruntowej z ssaniem

Istnieje możliwość wprowadzenia zwierciadła ssania nad wprowadzonym zwierciadłem wody

gruntowej. Ujemna wartość ciśnienia porowego U jest wówczas zakładana w obszarze rozdzielonym przez te dwa zwierciadła. Ssanie zwiększa ujemne ciśnienie hydrostatyczne od zwierciadła wody gruntowej do zwierciadła ssania.

3) Gwałtowne obniżenie zwierciadła wody gruntowej

W programie istnieje możliwość wprowadzenia **początkowego** zwierciadła wody, powyżej zdefiniowanego poziomu zwierciadła wody gruntowej (ZWG). Takie początkowe zwierciadło poziomu wody symuluje stan sprzed gwałtownego obniżenia zwierciadła.



Analiza gwałtownego obniżenie zwierciadła wody gruntowej

Najpierw wyznaczane jest początkowe ciśnienie porowe u_0:

$$u_0 = \gamma_w . h_0$$

gdzie: h_0 - Wysokość od początkowego zwierciadła wody do punktu **P**

γ_w - Ciężar właściwy wody

Wysokość h_0 zwykle jest odległością od punktu **P** wyznaczanego ciśnienia porowego, do początkowego poziomu zwierciadła wody - ma to zastosowanie, w przypadku gdy początkowe zwierciadło znajduje się poniżej powierzchni terenu. W przypadku, gdy początkowe zwierciadło wody jest powyżej terenu, stosowana jest wysokość h_0 od punktu **P,** do poziomu powierzchni terenu (profil 1 na rysunku). Innym przypadkiem jest sytuacja, gdy zarówno początkowe zwierciadło wody, jak i zwierciadło wód gruntowych znajdują się powyżej terenu - wtedy wysokość h_0 jest odległością od poziomu zwierciadła wód gruntowych, do punktu **P** (profil 2 na rysunku).

Drugim krokiem jest wyliczenie zmiany ciśnienia porowego na obszarze między poziomem początkowym i zwierciadłem wody gruntowej (ZWG):

$$\Delta u = \gamma_w . h_d$$

gdzie: h_d - Wysokość od zwierciadła początkowego do poziomu zwierciadła wody gruntowej (ZWG)

γ_w - Ciężar właściwy wody

Tak jak przy uprzednich wyliczeniach ciśnienia, istnieją trzy możliwości uzyskania wysokości h_d.

Jeśli obydwa poziomy zwierciadła wody znajdują się poniżej terenu, h_d jest odległością między zwierciadłem początkowym i zwierciadłem wody gruntowej (ZWG). W przypadku, gdy początkowe zwierciadło wody jest ponad terenem, h_d jest mierzone od poziomu zwierciadła wody gruntowej do poziomu terenu (profil 1 na rysunku). Ostatnim przypadkiem jest sytuacja, gdy obydwa poziomy zwierciadeł wody znajdują się ponad terenem - wtedy wysokość h_d jest zerowa (profil 2 na rysunku).

Trzecim krokiem jest wyliczenie ostatecznej wartości ciśnienia porowego u. Zmiana $\boldsymbol{\Delta u}$ ciśnienia porowego jest mnożona przez współczynnik X redukcji początkowego ciśnienia porowego, który wymagany jest dla wszystkich gruntów (okno dialogowe "Grunty"). Stosowany jest współczynnik ***B*** dla gruntu w obszarze punktu **P** (NIE dla gruntu między zwierciadłem początkowym i zwierciadłem wody gruntowej). W przypadku gruntów przepuszczalnych $X = 1$, w innych przypadkach $X = 0$. Ostateczne ciśnienie porowe obliczane jest jako:

$$u = u_0 - X\,\Delta u$$

gdzie: u_0 - Początkowe ciśnienie porowe

X - Współczynnik redukcji początkowego ciśnienia porowego

Δu - Zmiana ciśnienia porowego

4) Współczynnik ciśnienia porowego R_u

Współczynnik ciśnienia porowego R_u reprezentuje stosunek pomiędzy ciśnieniem porowym a parciem geostatycznym w gruncie. W obszarze, gdzie wartość R_u jest dodatnia, uwzględniana jest zdefiniowana wartość ciężaru gruntu nawodnionego γ_{sat}; w przeciwnym razie uwzględnia się ciężar objętościowy gruntu γ.

Wartości R_u są wprowadzane za pomocą izolinii łączących punkty o tej samej wartości R_u. Zakłada się liniową interpolację w celu uzyskania wartości pośrednich. Ciśnienie porowe wyznacza się jako naprężenie geostatyczne pomniejszone współczynnikiem R_u:

$$u = R_u \cdot \sum h_i \cdot \gamma_i$$

gdzie: R_u - współczynnik ciśnienia porowego

h_i - miąższość *i-tej warstwy gruntu*

γ_i - ciężar *i-tej warstwy gruntu*

5) Wartości ciśnienia porowego

Wodę gruntową można wprowadzić bezpośrednio poprzez zdefiniowanie wartości ciśnienia porowego w płaskim przekroju masywu gruntowego. W obszarze, gdzie wartość u jest dodatnia, uwzględniana jest zdefiniowana wartość ciężaru gruntu nawodnionego γ_{sat}; w przeciwnym razie uwzględnia się ciężar objętościowy gruntu γ.

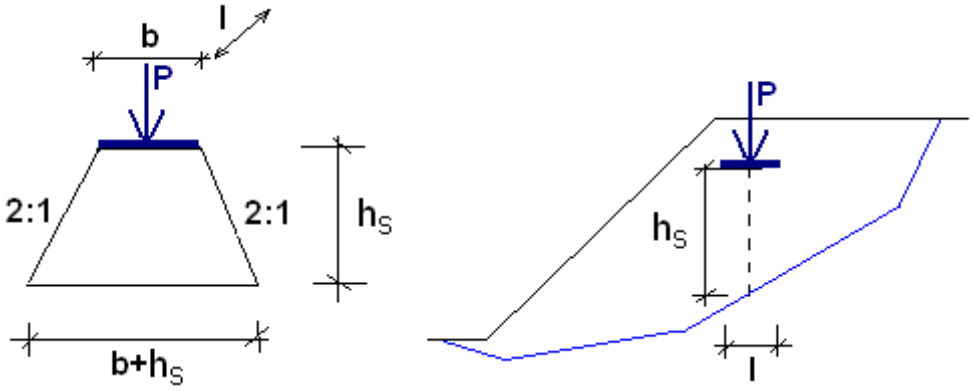
Wartości ciśnienia porowego są wprowadzane za pomocą izolinii łączących punkty o tej samej wartości ciśnienia porowego. Zakłada się liniową interpolację w celu uzyskania wartości pośrednich. Wartości ciśnienia porowego są wówczas wyprowadzane z wartości ciśnienia porowego uzyskanego z określonych punktów w przekroju zbocza.

Obciążenie

Analiza stateczności zbocza uwzględnia nawet obciążenie spowodowane sąsiadującymi konstrukcjami. Obciążenie można wprowadzić jako siłę skupioną lub jako obciążenie rozłożone na powierzchni lub wewnątrz gruntu.

Ponieważ zazwyczaj zakłada się, że obciążenie powodowane jest ciężarem obiektów znajdujących się na zboczu, dlatego pionowa składowa obciążenia posiadająca kierunek ciężaru (składowa materiałowa) dodawana jest do ciężaru bloków (segmentów). Oznacza to, że jeżeli wpływ obciążeń sejsmicznych jest uwzględniany, składowa ta jest również mnożona przez współczynnik przyspieszenia poziomego lub pionowego obciążenia sejsmicznego. Składowa materiałowa obciążenia wpływa także na lokalizację środka ciężkości bloku. Składowe, które nie działają w kierunku ciężaru, przyjmuje się w równaniach równowagi zapisanych dla danego bloku (segmentu) jako nieważkie, a zatem nie przyczyniają się do wpływu bezwładności obciążeń sejsmicznych oraz nie zmieniają położenia środka ciężkości bloku.

Obciążenie jest zawsze rozważane w analizie w odniesieniu do jednego metra bieżącego. Jeżeli obciążenie zasadniczo działające na pole $b*l$ zostało wprowadzone jako siła skupiona, wówczas obciążenie jest przekształcane przed przeprowadzeniem analizy do obciążenia powierzchniowego do głębokości powierzchni poślizgu wzdłuż zbocza $2:1$ według rysunku.



Schemat rozkładu obciążenia skupionego na powierzchni poślizgu

Analiza jest dalej kontynuowana z wypadkową obciążenia powierzchniowego p posiadającego wartość:

$$p = \frac{P}{(b + h_s)l}$$

Kotwy

Lokalizacja kotew określana jest za pomocą następujących parametrów: początek kotwy (lokalizacja głowicy), długość wolna l, długość buławy l_k oraz nachylenie α. Siła w kotwie definiowana jest jako siła wstępnego sprężenia działająca w kotwie. Głowica kotwy zawsze położona jest na powierzchni terenu; siła w kotwie zawsze oddziałuje w kierunku gruntu. W obliczeniach równowagi danego bloku (wycinka) siła kotwienia dodawana jest do nieważkiego obciążenia zbocza.

Do uwzględnienia kotew dostępne są dwie opcje:

- **Oblicz długość kotew** - analiza zakłada nieskończone długości kotew (kotwy są zawsze dołączane do analizy) i oblicza wymagane długości części wolnej kotew (odległość pomiędzy głowicą kotwy a przecięciem kotwy z powierzchnią poślizgu). Następnie, buława kotwy umieszczana jest za powierzchnią poślizgu. Podejście to jest stosowane, w przypadku gdy chcemy, aby kotew była zawsze aktywna i aby zawsze przyczyniała się do zwiększenia stateczności zbocza (dodatkowo znana jest jej minimalna długość).
- **Analiza z określonymi długościami kotew** - analiza uwzględnia tylko te kotwy, których koniec buławy znajduje się za powierzchnią poślizgu. Jeśli powierzchnia poślizgu przecina

długość wolną kotwy obliczenia są kontynuowane z uwzględnieniem całej wartości siły w kotwie. W przypadku gdy powierzchnia poślizgu przecina buławę kotwy, siła w kotwie jest redukowana liniowo, od wartości maksymalnej na początku buławy do zera na końcu buławy. Podejście takie jest stosowane w przypadku oceny aktualnego stanu zbocza z już istniejącymi kotwami, bowiem może się zdarzyć, że niektóre kotwy są zbyt krótkie, aby przeciąć krytyczną powierzchnię poślizgu, a zatem nie przyczyniają się do zwiększenia stateczności zbocza.

Gwoździe

Dla każdego gwoździa wprowadza się lub oblicza następujące nośności:

R_f - nośność głowicy gwoździa

R_t - wytrzymałość gwoździa na zginanie

T_p - nośność gwoździa na wyciąganie

Charakterystyki wytrzymałościowe gwoździa reprezentują podstawowe parametry do obliczenia całkowitej nośności gwoździ.

Wytrzymałość gwoździa na zerwanie wyznaczana jest z:

$$R_t = \frac{\pi d_s^2}{4} f_y$$

gdzie:

R_t - wytrzymałość na zerwanie

d_s - średnica gwoździa

f_y - swytrzymałość materiału gwoździa

Nośność gwoździ na wyciąganie wyznaczana jest jedną z następujących metod:

1. na podstawie tarcia na pobocznicy:

$$T_p = \pi d g_s$$

gdzie:

T_p - nośność gwoździa na wyciąganie [kN/m]

d - średnica odwiertu

g_s - nośność graniczna, definiowana jako parametr gwoździa lub jako parametr gruntu.

2. z naprężeń efektywnych

$$T_p = \pi d \left(K_a \sigma_z \tan \varphi + c \right)$$

gdzie:

$$K_a = \frac{1 + K_0}{2} = \frac{1 + \left(1 - \sin \varphi\right)}{2}$$

gdzie:

T_p - nośność gwoździa na wyciąganie [kN/m]

d - średnica odwiertu

σ_z - pionowe naprężenie geostatyczne

φ - efektywny kąt tarcia wewnętrznego gruntu

c - efektywna spójność gruntu

3. na podstawie HA 68/94

$$T_p = \pi\, d\left(\sigma_n \tan\varphi + c\right)$$

gdzie: T_p - nośność gwoździa na wyciąganie $[kN/m]$

d - średnica odwiertu

σ_n - średnie radialne naprężenie efektywne

φ - efektywny kąt tarcia wewnętrznego gruntu

c - efektywna spójność gruntu

Średnie radialne naprężenie efektywne σ_n wyznaczane jest z następującego wzoru:

$$\sigma_n = \frac{\left(1 + K_L\right)\sigma_z}{2}$$

gdzie: σ_z - pionowe naprężenie geostatyczne

$$K_L = \frac{1 + K_a}{2}$$

gdzie:

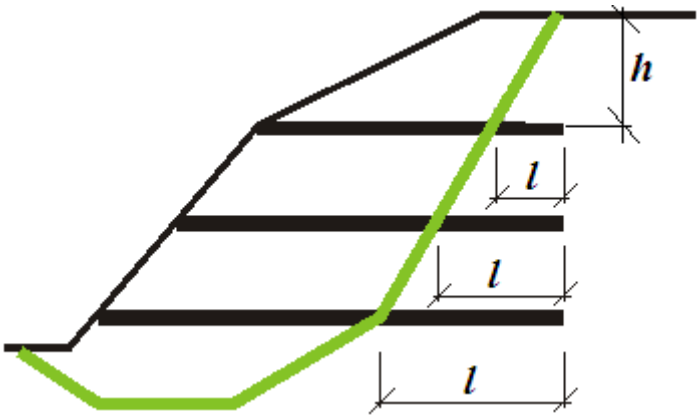
$$K_a = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi}$$

Wytrzymałość głowicy gwoździa należy zdefiniować. W przypadku, gdy głowica nie jest utwierdzona wówczas wytrzymałość głowicy wynosi zero.

Geo-zbrojenia

Geo-zbrojenia są poziomymi elementami wzmacniającymi umieszczonymi w gruncie, które przyczyniają się do zwiększenia stateczności zbocza poprzez ich wytrzymałość na rozciąganie. Geo-zbrojenia posiadają swoje dokładne położenie, długość i dopuszczalną siłę rozciągającą. Jeżeli geo-zbrojenie przecina powierzchnię poślizgu, równania równowagi zapisane dla danego segmentu są modyfikowane w celu dołączenia siły działającej w tym zbrojenia. W przeciwnym razie nie są podejmowane żadne działania.

Podstawowym parametrem zbrojenia jest **wytrzymałość na rozciąganie** R_t. W programie stosowana jest wartość obliczeniowa tego parametru, tj. wytrzymałość na rozciąganie zbrojenia zmniejszona współczynnikami uwzględniającymi trwałość, pełzanie, środowisko chemiczne czy uszkodzenia przy wykonaniu. Siła przkazywana przez zbrojenie **nigdy nie może przekroczyć zdefiniowanej wartości wytrzymałości na rozciąganie** R_t.



Schemat uwzględnienia geo-zbrojeń

Drugim parametrem zbrojenia jest **nośność na wyciąganie** T_p. Parametr ten determinuje długość zakotwienia, tj. wymaganą długość zbrojenia w gruncie, dla którego zbrojenie jest w pełni naprężone osiągając wartość R_t. Ponieważ realna wartość nośności na wyciąganie jest trudna do określenia, program oferuje trzy możliwości jej wyznaczania lub odpowiednio wyznaczania siły F przekazywanej przez zbrojenie.

1) Wyznaczanie nośności zbrojenia

Siła wyciągająca F wyznaczana jest ze wzoru:

$$F = 2.\sigma.tg\varphi.C$$

gdzie:
- σ - naprężenie normalne wynikające z ciężaru własnego w punkcie przecięcia zbrojenia i powierzchni poślizgu
- φ - kąt tarcia wewnętrznego gruntu
- C - współczynnik interakcji (domyślnie 0,8)
- l - długość zbrojenia w gruncie poza powierzchnią poślizgu

2) Definiowanie długości zakotwienia zbrojenia l_k

W programie istnieje możliwość zdefiniowania wartości długości zakotwienia l_k. Parametr ten zdeterminowany jest przez wytrzymałość na ścinanie mobilizującą się pomiędzy zbrojeniem a gruntem, narastającą stopniowo od zera do jej wartości granicznej (mierzona od końca zbrojenia zakotwionego w gruncie).

$$F = \frac{l}{l_k}.R_t$$

gdzie:
- l - długość zbrojenia w gruncie poza powierzchnią poślizgu
- l_k - długość zakotwienia
- R_t - wytrzymałość na rozciąganie

3) Definiowanie nośności na wyciąganie zbrojenia T_p

Siła wyciągająca F definiowana jest jako:

$$F = T_p.l$$

gdzie:
- l - długość zbrojenia w gruncie poza powierzchnią poślizgu

T_p - nośność zbrojenia na wyciąganie

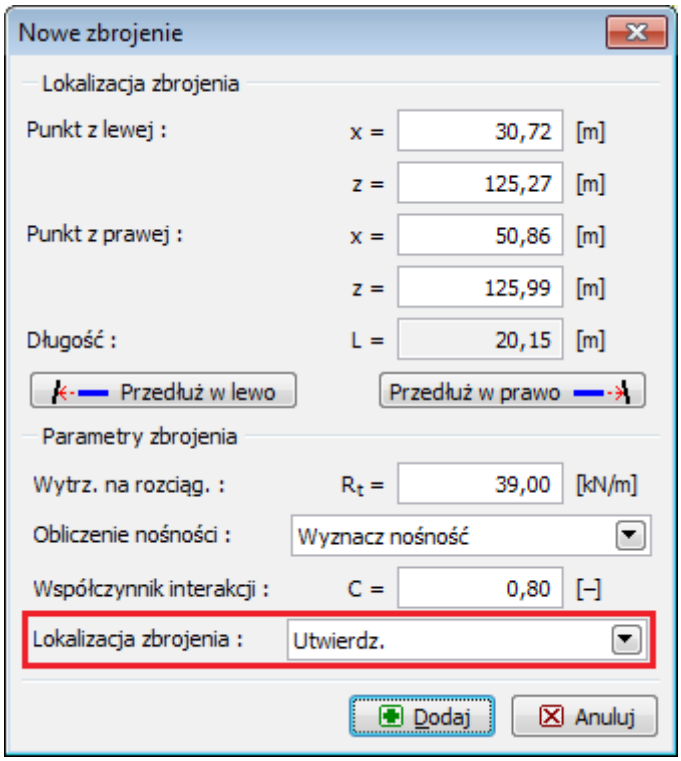
Siły w zbrojeniu określone na podstawie wytrzymałości zbrojenia mogą uzyskać stosunkowo duże wartości. Wprowadzenie tych sił w analizie daje wyższy współczynnik bezpieczeństwa dla danej powierzchni poślizgu. W przypadku metod rygorystycznych (Spencer, Janbu, Morgenstern-Price) wprowadzenie takich sił w zbrojeniu może spowodować utratę zbieżności. Taka sytuacja może mieć miejsce przede wszystkim w przypadku, gdy siły te są na tyle duże, że nie jest możliwe osiągnięcie równowagi sił oddziałujących na blokach z zachowaniem podstawowych założeń poszczególnych metod, np. założenie zerowego momentu na końcu powierzchni poślizgu. W takich przypadkach siły w zbrojeniu zostaną zredukowane w najmniejszym możliwym stopniu (do najwyższych wartości akceptowalnych) tak, aby osiągnięta była zbieżność rozwiązania oraz aby uzyskane wyniki były akceptowalne. Zredukowane wartości sił są wówczas wypisane łącznie z wynikami analizy stateczności. Należy podkreślić, że w przypadku gdy nie występuje konieczność redukcji sił w zbrojeniach (siły nie są redukowane) siły te nie są uwzględniane w zestawieniu wyników.

Zakończenie zbrojenia

W programie, zakończenie zbrojenia może być uwzględnione jako **utwierdzone** lub **swobodne**.

W przypadku zniszczenia zbocza zbrojonego może nastapić jeden z pokazanych poniżej schematów zniszczenia zbrojenia.

W przypadku, gdy zbrojenie w punkcie początkowym, przed powierzchnią poślizgu, jest utwierdzone (np. zakotwione w obudowie zbocza) 3. rodzaj zniszczenia jest wykluczony - wyciągnięcie zbrojenia przed powierzchnią poślizgu. Zniszczenia typu 1 oraz 2 są zawsze weryfikowane podczas analizy, typ 3. sprawdzany jest wyłącznie w przypadku zbrojeń o swobodnych końcach, które pozwalają na wystapienie tego typu zniszczenia.



Okno dialogowe "Nowe zbrojenie" - definiowanie końca zbrojenia



Zerwanie zbrojenia - typ zniszczenia 1



Wyciągnięcie zbrojenia poza powierzchnią poślizgu - typ zniszczenia 2

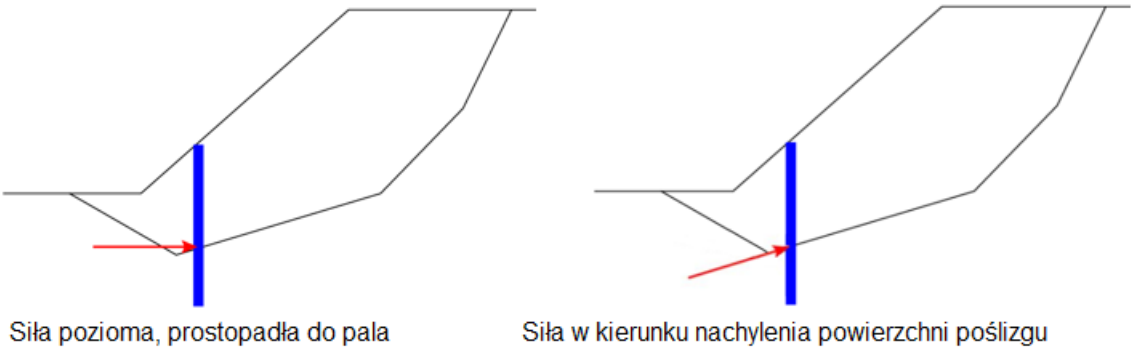


Wyciągnięcie zbrojenia przed powierzchnią poślizgu - typ zniszczenia 3

Pale stabilizujące

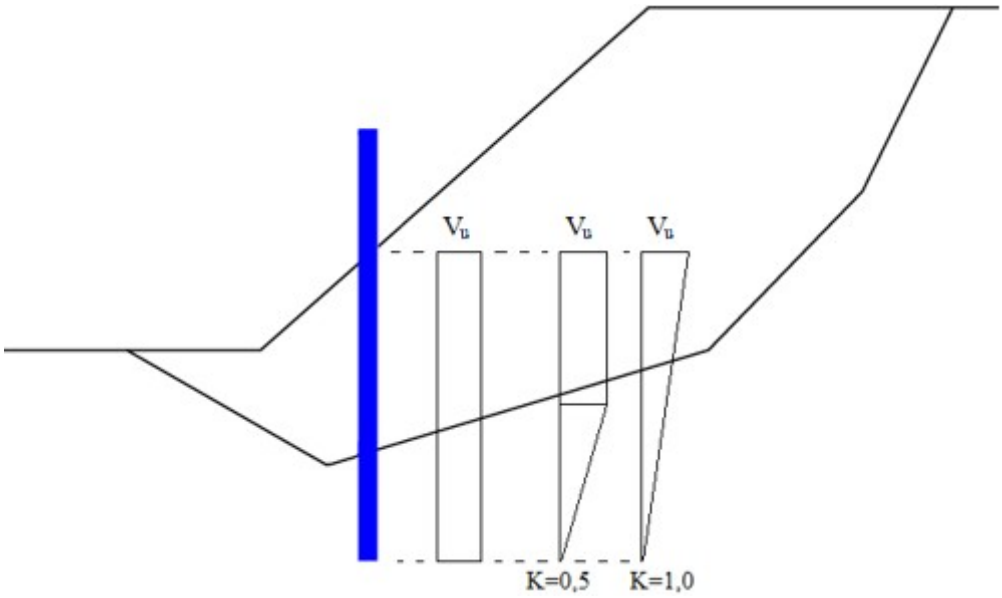
Pale stabilizujące są pionowymi elementami konstrukcyjnymi, które zwiększają stateczność zbocza. Jeśli pal stabilizujący przecina oszacowaną powierzchnię poślizgu, wówczas do obliczenia współczynnika bezpieczeństwa zostaje przyjęta siła bierna (utrzymująca) P, która odpowiada nośności pala V_u. Ten krok osiągany jest poprzez wyższą wartość współczynnika bezpieczeństwa SF.

Zakłada się, że **pal jest zawsze pionowy**. Siła bierna (utrzymująca) P, w punkcie przecięcia z powierzchnią poślizgu jest uwzględniona w kierunku poziomym lub w kierunku, który odpowiada nachyleniu powierzchni poślizgu w danym miejscu.



Prezentacja kierunku siły biernej (utrzymującej)

Wartość siły biernej (utrzymującej) P jest zawsze określana na 1 mb szerokości zbocza z uwzględnieniem rozstawu pali. Nośność pala V_u może być zdefiniowana zarówno jako **wartość stała** na długości pala lub **rosnąca liniowo** od podstawy pala w górę.



Stały i liniowy rozkład nośności pala V_u na długości

Liniowy wzrost nośności pala jest opisany przez **gradient** K, który jest stosunkiem długości pala, na którym została osiągnięta graniczna wartość nośności V_u wynikająca z długości pala poniżej powierzchni gruntuJeśli wartość gradientu K zbliża się do zera, to rozkład liniowy nośności V_u jest bliski rozkładowi stałemu.

Program wyznacza również siły czynne i bierne działające na pale stabilizujące powyżej powierzchni poślizgu i umożliwia wysłanie danych do programu Pal stabilizujący, w którym inne analizy mogą zostać przeprowadzone.

Wpływ obciążeń sejsmicznych

Program umożliwia przeprowadzenie obliczeń wpływu obciążeń sejsmicznych według następujących norm:

- Metodą klasyczną
- Analiza obciążeń sejsmicznych według normy chińskiej GB 50111-2006

- Analiza obciążeń sejsmicznych według normy chińskiej NB 35047-2015
- Analiza obciążeń sejsmicznych według normy chińskiej GB 50330-2013
- Analiza obciążeń sejsmicznych według normy chińskiej JTG B02-2013

W przypadku zastosowania norm chińskich po zdefiniowaniu intensywności trzęsienia ziemi (obciążeń sejsmicznych), program automatycznie przypisuje wartości współczynnika K_h wyznaczone według odpowiedniej normy.

Wpływ obciążeń sejsmicznych - metoda klasyczna

Pogram umożliwia obliczenie wpływu obciążeń sejsmicznych za pomocą dwóch zmiennych - współczynnika przyspieszenia poziomego K_h lub współczynnika poziomego obciążenia sejsmicznego K_v.

- **Współczynnik pionowego obciążenia sejsmicznego** K_v

Współczynnik pionowego obciążenia sejsmicznego zwiększa ($K_v > 0$) lub zmniejsza ($K_v < 0$) ciężar jednostkowy gruntu, wody w gruncie i materiał obciążenia poprzez pomnożenie odpowiednich wartości przez $1+K_v$. Warto zauważyć, że współczynnik K_v może przyjmować dodatnią i ujemną wartość, a w przypadku wystarczająco dużego współczynnika przyspieszenia poziomego, odciążenie zbocza ($K_v < 0$) jest bardziej niekorzystne aniżeli dodatkowe obciążenie.

- **Współczynnik przyspieszenia poziomego** K_h

W ogólnym przypadku, obliczenie przeprowadzane jest przy założeniu wartości zero współczynnika K_h. Ta stała, jednak, może być wykorzystana do symulacji skutków obciążenia sejsmicznego poprzez ustawienie wartości różnej od zera. Wartość ta reprezentuje stosunek pomiędzy przyspieszeniami poziomym a grawitacyjnym. Zwiększenie współczynnika K_h powoduje odpowiednie zmniejszenie współczynnika bezpieczeństwa SF.

Współczynnik przyspieszenia poziomego wprowadza do analizy dodatkową siłę poziomą działająca w środku ciężkości danego bloku o wartości K_h*W_i, gdzie W_i jest całkowitym ciężarem bloku, uwzględniającym składową materiałową obciążenia zbocza.

Następująca tabela przedstawia listę wartości współczynnika K_h, które odpowiadają różnym stopniom obciążeń sejsmicznych na podstawie skali M-C-S.

Stopień M-C-S	**Przyspieszenie poziome**			**Współczynnik przyspieszenia poziomego**		
$(MSK\text{-}64)$	$[mm/s^2]$			K_h		
1	0,0	-	2,5	0,0	-	0,00025
2	2,5	-	5,0	0,00025	-	0,0005
3	5,0	-	10,0	0,0005	-	0,001
4	10,0	-	25,0	0,001	-	0,0025
5	25,0	-	50,0	0,0025	-	0,005
6	50,0	-	100,0	0,005	-	0,01

7	100,0	-	250,0		0,01	-	0,025
8	250,0	-	500,0		0,025	-	0,05
9	500,0	-	1000,0		0,05	-	0,1
10	1000,0	-	2500,0		0,1	-	0,25
11	2500,0	-	5000,0		0,25	-	0,5
12		>	5000,0			>	0,5

Earthquake Analysis According to GB 50111-2006

Earthquake effects are in stability analysis represented by horizontal and vertical forces acting at the centers of gravity of individual soil blocks. Magnitude of these forces is related to the weight of soil blocks and is calculated using horizontal and vertical earthquake coefficients. Horizontal earthquake force is always oriented out form the slope massif. Vertical force can be directed upwards or downwards, the orientation is defined by the sign of the force.

Horizontal earthquake force E_{hs} is given by formula:

$$E_{hs} = C_i C_z K_h G_s$$

and vertical earthquake force E_{vs} is determined by:

$$E_{vs} = C_0 C_i C_z K_v G_s$$

kde: C_i - importance coefficient for seismic design

C_z - comprehensive influence factor

C_0 - meeting coefficient related to the influence of horizontal seismic effect

K_h - coefficient of horizontal seismic acceleration

K_v - coefficient of vertical seismic acceleration

G_s - weight of the soil block

Earthquake Analysis According to NB 35047-2015

Earthquake effects are in stability analysis represented by horizontal and vertical forces acting at the centers of gravity of individual soil blocks. Magnitude of these forces is related to the weight of soil blocks and is calculated using horizontal and vertical earthquake coefficients. Earthquake coefficients are depended on position gravity center of each block. Therefore the coefficients have individual and different values for each one of soil blocks. Horizontal earthquake force is always oriented out form the slope massif. Vertical force can be directed upwards or downwards, the orientation is defined by the sign of the force.

Horizontal earthquake force E_{hs} is given by formula:

$$E_{hs} = C_i C_z \alpha_i K_h G_s$$

and vertical earthquake force E_{vs} is determined by:

$$E_{vs} = C_0 \, C_i \, C_z \, \alpha_i \, K_v \, G_s$$

kde: C_i - importance coefficient for seismic design

C_z - comprehensive influence factor

C_0 - meeting coefficient related to the influence of horizontal seismic effect

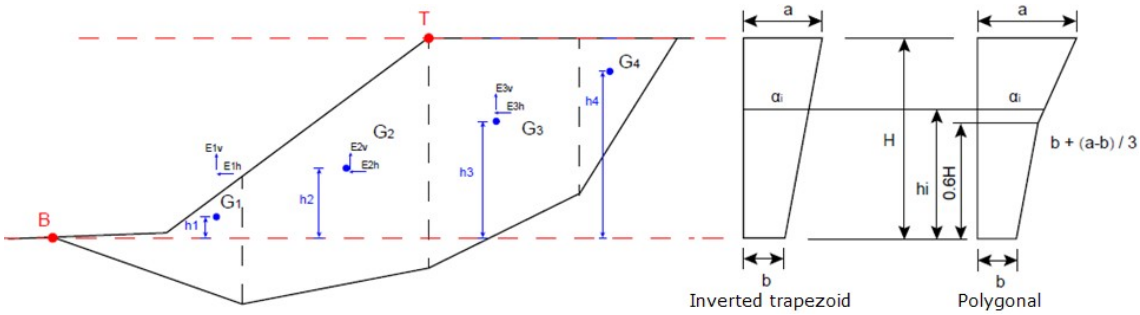
K_h - coefficient of horizontal seismic acceleration

K_v - coefficient of vertical seismic acceleration

G_s - weight of the soil block

α_i - dynamic distribution coefficient of block i

There are two types of dynamic distribution used for determining of α_i value: inverted trapezoid and polygonal. Method for setting α_i value could be seen at Figure.



Determination of dynamic distribution coefficient ai

Height H of the range of α_i is given by points **B** and **T**. The bottom point **B** is the lowest point of terrain above the slip surface and the top point **T** is the highest point of terrain above the slip surface. G_i denotes gravity center points of individual blocks and E_{ih}, E_{iv} are horizontal and vertical earthquake forces.

Earthquake Analysis According to GB 50330-2013

Earthquake effects are in stability analysis represented by horizontal and vertical forces acting at the centers of gravity of individual soil blocks. Magnitude of these forces is related to the weight of soil blocks and is calculated using horizontal and vertical earthquake coefficients. Horizontal earthquake force is always oriented out form the slope massif. Vertical force can be directed upwards or downwards, the orientation is defined by the sign of the force.

Horizontal earthquake force E_{hs} is given by formula:

$$E_{hs} = C_i a_w G_s$$

and vertical earthquake force E_{vs} is determined by:

$$E_{vs} = C_i a_g G_s$$

where: C_i - importance coefficient for seismic design

α_w - complex factor of horizontal acceleration

a_g - complex factor of vertical acceleration

G_s - weight of the soil block

Earthquake Analysis According to JTG B02-2013

Earthquake effects are in stability analysis represented by horizontal and vertical forces acting at the centers of gravity of individual soil blocks. Magnitude of these forces is related to the weight of soil blocks and is calculated using horizontal and vertical earthquake coefficients. Earthquake coefficients are depended on position gravity center of each block. Therefore the coefficients have individual and different values for each one of soil blocks. Horizontal earthquake force is always oriented out form the slope massif. Vertical force can be directed upwards or downwards, the orientation is defined by the sign of the force.

Horizontal earthquake force E_{hs} is given by formula:

$$E_{hs} = C_i C_z \psi_i K_h G_s$$

and vertical earthquake force E_{vs} is determined by:

$$E_{vs} = C_i C_z K_v G_s$$

kde: C_i - importance coefficient for seismic design

C_z - comprehensive influence factor

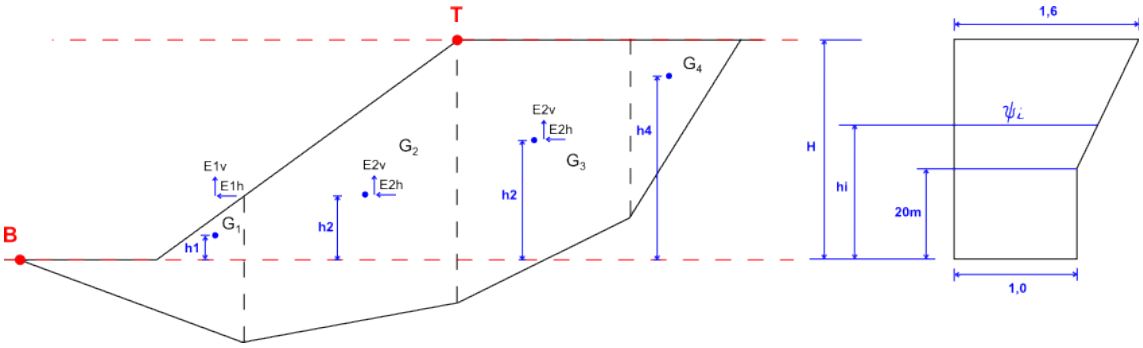
K_h - coefficient of horizontal seismic acceleration

K_v - coefficient of vertical seismic acceleration

G_s - weight of the soil block

ψ_i - dynamic distribution coefficient of block i

Method for setting ψ_i value could be seen at Figure.



Determination of dynamic distribution coefficient ψ_i

Height H of the range of ψ_i is given by points **B** and **T**. The bottom point **B** is the lowest point of terrain above the slip surface and the top point **T** is the highest point of terrain above the slip surface. G_i denotes gravity center points of individual blocks and E_{ih}, E_{iv} are horizontal and vertical earthquake forces.

Analiza według EN 1997

W przypadku prowadzenia obliczeń według EN 1997 istotną rolę odgrywa wybór danego Podejścia obliczeniowego oraz Współczynników częściowych. Siły i obciążenia są redukowane we wszystkich podejściach obliczeniowych.

Wartość wykorzystania nośności V_u jest wyznaczana a następnie porównywana do 100%. Wartość wykorzystania nośności wyznacza się jako:

$$V_u = \frac{M_a}{M_p} 100\% < 100\%$$

gdzie: M_a - moment przesuwający

M_p - moment utrzymujący

W przypadku podejścia obliczeniowego nr 2 moment utrzymujący M_p wyznaczany jest na podstawie nie redukowanych parametrów gruntów lecz z uwzględnieniem redukcji nośności na powierzchni poślizgu, z zastosowaniem współczynnika γ_{Rs}.

W przypadku podejścia obliczeniowego 1 oraz podejścia obliczeniowego 3, przy wyznaczaniu całkowitego momentu utrzymującego M_p, program redukuje **parametry wytrzymałościowe gruntów** (spójność i kąt tarcia wewnętrznego).

Analiza zgodnie z teorią stanów granicznych / współczynnika bezpieczeństwa

Parametry obliczeniowe definiowane są w zakładce "Analiza stateczności". Konstrukcja może być analizowana według współczynnika bezpieczeństwa lub według teorii stanów granicznych.

Analiza zgodnie z **teorią stanów granicznych**:

Parametry gruntu (kąt tarcia wewnętrznego, spójność) są w tym przypadku **redukowane za pomocą współczynników obliczeniowych** wprowadzanych w zakładce "Analiza stateczności".

Program oblicza wartość wykorzystania V_u, która jest następnie porównywana z wartością 100%. Wartość wykorzystania jest wyznaczana z:

$$V_u = \frac{M_a}{M_p} 100\% < 100\%$$

gdzie: M_a - moment przesuwający

M_p - moment utrzymujący

Moment utrzymujący M_p wyznaczany jest z uwzględnieniem redukcji całkowitej stateczności konstrukcji γ_s.

Analiza według **współczynnika bezpieczeństwa**:

$$\frac{M_p}{M_a} > SF_s$$

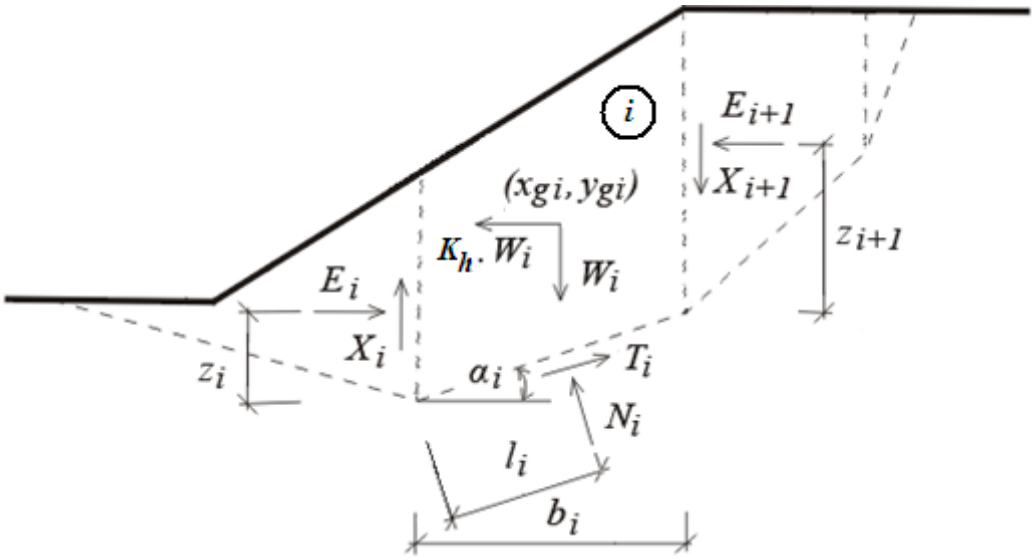
gdzie: M_a - moment przesuwający

M_p - moment utrzymujący

SF_s - współczynnik bezpieczeństwa

Łamana powierzchnia poślizgu

Rozwiązanie zagadnienia stateczności zbocza z zastosowaniem łamanej (wielokątnej) powierzchni poślizgu bazuje na określeniu stanu granicznego sił oddziałujących na masyw gruntowy powyżej powierzchni poślizgu. W celu wyznaczenia tych sił masyw gruntowy powyżej powierzchni poślizgu dzielony jest na bloki płaszczyznami podziału. Standardowo, powierzchnie te są przyjmowane jako pionowe, są jednak wyjątki, np. w metodzie Sarmy stosowane są zwykle powierzchnie ukośne.



Schemat statyczny

Na rysunku przedstawiono siły oddziałujące na poszczególne bloki masywu gruntowego. Jeśli obszar ponad powierzchnią poślizgu podzielony jest na bloki, wówczas w celu wyznaczenia niewiadomych mamy: n sił normalnych N_i oddziałujących na poszczególne bloki i odpowiadające im n sił tnących T_i; n-1 sił normalnych pomiędzy blokami E_i oraz odpowiadające im n-1 sił tnących X_i ; n-1 wartości z_i reprezentujących punkty przyłożenia sił E_i, n wartości l_i reprezentujących punkty przyłożenia sił N_i oraz jedną wartosć współczynnika bezpieczeństwa SF. W niektórych metodach siły X_i mogą byc zastąpione wartościami nachylenia sił E_i.

Następujący układ równań wykorzystywany jest do rozwiązania warunku równowagi: n poziomych i n pionowych równań dla poszczególnych bloków, n równań równowagi momentów dla poszczególnych bloków oraz n związków pomiędzy siłami N_i i T_i powstającymi na blokach według teorii Mohra-Coulomba. Łącznie do rozwiązania jest $4n$ równań dla $6n$-2 niewiadomych. Wynika z tego, że $2n$-2 niewiadomych należy wybrać a priori. Poszczególne metody paskowe różnią się między sobą metodą wyboru tych wartości.

Najczęściej wybierane są miejsca lokalizacji przyłożenia poszczególnych sił między blokami lub ich nachylenia. Rozwiązanie zagadnienia równowagi przebiega w sposób iteracyjny, gdzie wybrane wartości muszą pozwolić na spełnienie warunków równowagi, a otrzymane rozwiązanie musi być dopuszczalne kinematycznie.

Program pozwala na zastosowanie jednej z następujących metod:

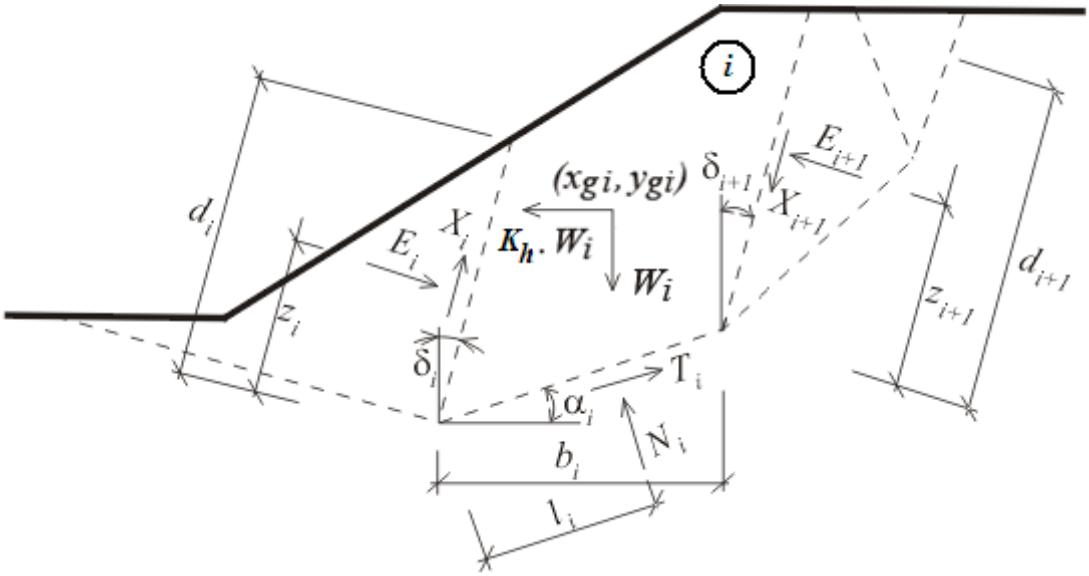
- Sarma
- Spencer
- Janbu

- Morgenstern-Price
- Shahunyants
- metoda ITF

W trakcie optymalizacji łamanej (wielokątnej) powierzchni poślizgu poszukiwana jest najbardziej krytyczna powierzchnia (najniższy współczynnik bezpieczeństwa).

Sarma

Metoda Sarmy zawiera się w kategorii ogólnych metod blokowych stanów granicznych. Metoda oparta jest na spełnieniu warunków siły i momentu równowagi na poszczególnych blokach. Bloki są tworzone przez podział obszaru gruntu nad potencjalną powierzchnią poślizgu na płaszczyzny, które mogą posiadać różne nachylenie. Siły działające na poszczególne bloki zostały przedstawione na rysunku.



Schemat statyczny - metoda Sarmy

Tutaj, E_i , X_i reprezentuje siły normalną i ścinającą pomiędzy blokami. N_i ,T_i są siłami normalną i ścinająca na blokach powierzchni poślizgu. W_i jest ciężarem bloku, a $K*W_i$ jest siłą poziomą stosowaną w metodzie Sarmy do uzyskania stanu granicznego. Istnieje możliwość wprowadzenia ogólnie nachylonego obciążenia w każdym bloku. Obciążenie to jest zawarte w analizie razem z obciążeniem na skutek wody ze zwierciadłem wody swobodnej nad terenem, oraz z siłami w kotwach. Wszystkie te siły są rzutowane wzdłuż kierunków poziomego i pionowego, które są następnie sumowane w składowych Fx_i i Fy_i.

K_h jest stałym współczynnikiem przyspieszenia poziomego wprowadzonym do analizy w celu spełnienia równowagi w poszczególnych blokach. Istnieje związek pomiędzy K a współczynnikiem stateczności zbocza SF umożliwiającym to obliczenie. W zwykłych przypadkach, analiza przeprowadzana jest z wartością K równą zero. Wartość K różna od zera stosowana jest do symulacji obciążenia poziomego, np. na skutek obciążeń sejsmicznych (patrz poniżej).

Proces analizy

Obliczenie równowagi granicznej

Obliczenie równowagi granicznej wymaga rozwiązania $6n-1$ niewiadomych, gdzie n oznacza

liczbę bloków dzielących obszar gruntu nad potencjalną powierzchnią poślizgu. Są to:

E_i - siły pomiędzy blokami

N_i - normalne siły działające na powierzchnię poślizgu

T_i - siły ścinające działające na powierzchnię poślizgu

X_i - siły ścinające pomiędzy blokami

z_i - położenie punktów przyłożenia sił

l_i - położenie punktów przyłożenia sił

K_h - współczynnik przyspieszenia poziomego

$5n\text{-}1$ równania dostępne są dla wymaganych niewiadomych. W szczególności, mamy:

a) równania siły poziomej równowagi na blokach:

$$T_i.\cos\alpha_i - N_i.\sin\alpha_i = K_h W_i - Fx_i + X_{i+1}.\sin\delta_i - X_i.\sin\delta_i + E_{i+1}.\cos\delta_i - E_i.\cos\delta_i$$

b) równania siły pionowej równowagi na blokach:

$$N_i.\cos\alpha_i - T_i.\sin\alpha_i = W_i - Fy_i + X_{i+1}.\cos\delta_{i+1} - X_i.\cos\delta_i - E_{i+1}.\sin\delta_{i+1} + E_i.\sin\delta_i$$

c) równania momentu równowagi na blokach:

$$N_i l_i - X_{i+1}.b_i.\sec\alpha_i.\cos(\alpha_i + \delta_{i+1}) + E_{i+1}\left[z_{i+1} + b_1.\sec\alpha_i.\sin(\alpha_i + \delta_{i+1})\right] - E_i.z_i - W_i(x_{gi} - x_i)$$

$$+K_h W_i(y_{gi} - y_i) - Fx_i.rx_i + Fy_i.ry_i = 0$$

gdzie rx_i i ry_i są ramionami sił Fx_i i Fy_i

d) związek pomiędzy siłami normalną a ścinającą zgodnie z teorią Mohr'a-Coulomb'a:

$$T_i = (N_i - U_i).\tan\varphi_i + c_1.b_i.\sec\alpha_i$$

$$X_i = (E_i - PW_i).\tan\overline{\varphi}_i + \overline{c}_i.d_i$$

gdzie: PW_i - wypadkowa siła ciśnienia porowego na płaszczyznach podziału

$\overline{\varphi}_i$ - średnia wartość kąta tarcia wewnętrznego na płaszczyznach podziału

$\overline{c}_i$ - średnia wartość spójności na płaszczyznach podziału

Oczywistym jest, że $n\text{-}1$ musi być wybrane (szacowane) a priori. Względnie niewielki błąd uzyskuje się przy szacowaniu punktów przyłożenia sił E_i. Problem ten staje się statycznie rozwiązywany. Rozwiązanie powstałego układu równań dostarcza wartości wszystkich pozostałych niewiadomych. Głównym rezultatem analizy jest wyznaczenie współczynnika przyspieszenia poziomego K_h.

Obliczanie współczynnika stateczności zbocza SF

Współczynnik stateczności zbocza SF wprowadzany jest do analizy w celu zredukowania parametrów wytrzymałości gruntu c i $tg\varphi$. Analiza równowagi jest wówczas przeprowadzana dla zredukowanych parametrów w celu uzyskania współczynnika przyspieszenia poziomego K_h właściwego dla danego współczynnika stateczności zbocza SF. Iteracja ta

powtarzana jest aż współczynnik K_h osiągnie zero lub określoną wartość.

Wpływ obciążenia zewnętrznego

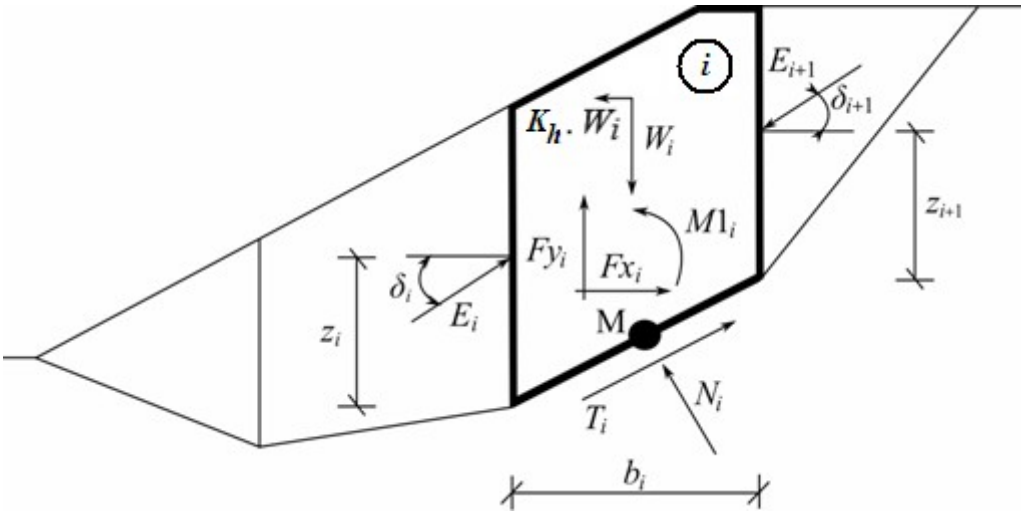
Analizowane zbocze może być obciążone na swym gruncie obciążeniem nachylonym posiadającym ogólny kształt trapezu. Obciążenie to jest uwzględniane w analizie w taki sposób, że jego pionowa składowa materiałowa (jeżeli posiada kierunek ciężaru) dodawana jest do ciężaru odpowiedniego bloku. Powoduje to zmianę ciężaru bloku oraz jego środka ciężkości. Jeżeli składowa pionowa działa przeciwnie do kierunku grawitacji, wówczas dodawana jest do siły Fy_i. Składowa pozioma dodawana jest do siły Fx_i. Środek ciężkości obciążenia jest zawsze zakładany na gruncie.

Literatura:

Sarma, S. K.: Stability analysis of embankments and slopes,Géotechnique 23, 423-433, 1973.

Spencer

Metoda Spencera jest metodą paskową utworzoną na bazie równowagi granicznej. Wymagane jest tu spełnienie równowagi sił i momentów oddziaływujących na poszczególne bloki. Bloki tworzone są poprzez dzielenie gruntu powyżej powierzchni poślizgu, za pomocą płaszczyzn podziałowych. Siły oddziaływujące na poszczególne bloki pokazane są na rysunku poniżej.



Schemat statyczny - metoda Spencera

Przyjmuje się, że dla każdego z bloków zastosowanie mają podane poniżej siły:

W_i - ciężar bloku , zawierający dodatkowe obciążenie materiałowe o charakterze ciężaru ujmujące wpływ współczynnika K_v pionowego trzęsienia ziemi

$K_h.W_i$ - pozioma siła inercji reprezentująca efekt trzęsienia ziemi; K_h jest współczynnikiem przyspieszenia poziomego podczas trzęsienia ziemi

N_i - siła normalna na powierzchni poślizgu

T_i - siła tnąca na powierzchni poślizgu

E_i , E_{i+1} - siły wywierane sąsiadującymi blokami, nachylone od płaszyzny poziomej pod kątem δ

Fx_i,Fy_i - inne siły poziome i pionowe oddziaływujące na blok

$M1_i$ - moment sił Fx_i Fy_i obracających się wokół punktu M, który jest środkiem segmentu i-

tego powierzchni poślizgu

U_i - wypadkowa ciśnienia porowego na segmencie i-tym powierzchni poślizgu

W metodzie Spencera, dla wyliczenia równowagi granicznej sił i momentów dla poszczególnych bloków, przyjmowane są podane poniżej założenia:

- Płaszczyzny podziału między blokami są zawsze pionowe
- Linia oddziaływania ciężaru bloku W_i przechodzi przez środek segmentu i-tego powierzchni poślizgu, reprezentowany jako punkt **M**
- Siła normalna N_i oddziaływuje w środku segmentu i-tego powierzchni poślizgu, w punkcie **M**
- Nachylenie sił Ei oddziaływujących między blokami jest stałe dla wszystkich bloków i wynosi δ; tylko na punktach końcowych powierzchni poślizgu $\delta = 0$

Dla uzyskania rozwiązania stosuje się następujące równania:

$$N_i = N_i' + U_i \quad (1)$$

$$T_i = (N_i - U_i)\tan\varphi_i + c_i\frac{b_i}{\cos\alpha_i} = N_i'\tan\varphi_i + c_i\frac{b_i}{\cos\alpha_i} \quad (2)$$

$$N_i' + U_i - W_i\cos\alpha_i + k_hW_i\sin\alpha_i + Fy_i\cos\alpha_i - Fx_i\sin\alpha_i + E_{i+1}\sin(\alpha_i - \delta_{i+1}) - E_i\sin(\alpha_i - \delta_i) = 0 \quad (3)$$

$$N_i'\frac{\tan\varphi_i}{SF} + \frac{c_i}{SF}\frac{b_i}{\cos\alpha_i} - W_i\sin\alpha_i - k_hW_i\cos\alpha_i + Fy_i\sin\alpha_i + Fx_i\cos\alpha_i - E_{i+1}\cos(\alpha_i - \delta_{i+1}) + E_i\cos(\alpha_i - \delta_i) = 0 \quad (4)$$

$$E_{i+1}\cos\delta_{i+1}\left(z_{i+1} - \frac{b_i}{2}\tan\alpha_i\right) - E_{i+1}\sin\delta_{i+1}\frac{b_i}{2} - E_i\cos\delta_i\left(z_i - \frac{b_i}{2}\tan\alpha_i\right) - E_i\sin\delta_i\frac{b_i}{2} + M1_i - k_hW_i(y_M - y_{gi}) = 0 \quad (5)$$

gdzie: φ_i - kąt tarcia wewnętrznego gruntu na odcinku powierzchni poślizgu

c_i - spójność gruntu na odcinku powierzchni poślizgu

α_i - nachylenie odcinka powierzchni poślizgu

Równanie (1) przedstawia zależność między efektywną i całkowitą wartością siły normalnej oddziaływującej na powierzchnię poślizgu. Równanie (2) odpowiada warunkom Mohr-Coulomba, przedstawiając zależność między siłami normalnymi i tnącymi dla danego segmentu powierzchni poślizgu. Równanie (3) jest to równanie równowagi sił, po kierunku normalnym do segmentu *i*-tego powierzchni poślizgu, a równanie (4) przedstawia równowagę wzdłuż segmentu *i*-tego powierzchni poślizgu. SF jest współczynnikiem bezpieczeństwa, stosowanym dla redukcji parametrów gruntu. Równanie (5) odpowiada równaniu równowagi momentów wokół punktu M, gdzie y_{gi} jest współrzędną pionową punktu przyłożenia wagi bloku, a y_M jest współrzędną pionową punktu M. Modyfikacja równań (3) i (4) daje nam podane poniżej wzory rekursywne:

$$E_{i+1} = \frac{\left[(W_i - Fy_i)\cos\alpha_i - (K_hW_i - Fx_i)\sin\alpha_i - U_i + E_i\sin(\alpha_i - \delta_i)\right]\frac{\tan\varphi_i}{SF} + \frac{c_i}{SF}\frac{b_i}{\cos\alpha_i} - (W_i - Fy_i)\sin\alpha_i - (K_hW_i - Fx_i)\cos\alpha_i + E_i\cos(\alpha_i - \delta_i)}{\sin(\alpha_i - \delta_{i+1})\frac{\tan\varphi_i}{SF} + \cos(\alpha_i - \delta_{i+1})}$$

Powyższy wzór pozwala na wyznaczenie wszystkich sił E_i oddziałujących pomiędzy blokami dla danych wartości δ_i oraz SF. Rozwiązanie to zakłada, że w punkcie początkowym powierzchni poślizgu wartość E jest znana i wynosi $E_1 = 0$.

Dodatkowy wzór rekursywny uzyskujemy z równania równowagi momentów (5), w postaci:

$$z_{i+1} = \frac{\frac{b_i}{2}\left[E_{i+1}\left(\sin\delta_{i+1} - \cos\delta_{i+1}\tan\alpha_i\right) + E_i\left(\sin\delta_i - \cos\delta_i\tan\alpha_i\right)\right] + E_i z_i \cos\delta_i - M1_i + K_h W_i\left(y_M - y_{gi}\right)}{E_{i+1}\cos\delta_{i+1}}$$

Ten wzór pozwala na obliczenie, przy danych wartościach δ, wszystkich ramion z sił oddziaływujących między blokami, znając wartość po lewej stronie na początku płaszczyzny poślizgu, gdzie $z_1 = 0$.

Współczynnik bezpieczeństwa SF wyznaczany jest za pomocą podanego poniżej procesu iteracyjnego:

1. Wartość początkowa δ ustawiona jest na zero, $\delta = 0$.
2. Współczynnik bezpieczeństwa SF dla danej wartości δ wynika z równania (6), jeśli przyjmiemy wartość $E_{n+1} = 0$ na końcu powierzchni poślizgu.
3. Wartość δ określana jest z równania (7), korzystając z wartości E wyznaczonych w uprzednim kroku, przy wymaganiu zerowego momentu na ostatnim bloku. Z równania (7) nie wyznacza się wartości z_{n+1} ponieważ jest ona równa zeru. Dla tej wartości musi być spełnione równanie równowagi momentów (5).
4. Następnie powtarzane są kroki 2 i 3, dopóki wartość δ nie przestanie się zmieniać.

Aby uzyskać stabilny proces iteracji, konieczne jest unikanie niestabilnych rozwiązań. Takie niestabilności pojawiają się w miejscach, gdy zachodzi dzielenie przez zero w równaniach (6) i (7). W równaniu (7) dzielenie przez zero występuje dla $\delta = \pi/2$ lub $\delta = -\pi/2$. Tak więc, wartość kąta δ musi się zawierać w przedziale $(-\pi/2\ ;\ \pi/2)$.

Dzielenie przez zero w wyrażeniu (6) pojawia się gdy:

$$SF = \tan\varphi_i\,\tan\left(\delta_{i+1} - \alpha_i\right)$$

Innym sprawdzeniem zapobiegającym niestabilności numerycznej jest weryfikacja parametru m_α - musi być spełniony podany poniżej warunek:

$$m_\alpha = \cos\alpha_i + \frac{\sin\alpha_i\tan\varphi_i}{SF} > 0{,}2$$

Tak więc, przed wykonaniem iteracji, wymagane jest znalezienie najwyższych wartości krytycznych (SF_{min}) spełniających wyżej podane warunki. Wartości poniżej wartości krytycznej SF_{min} znajdują się w obszarze niestabilnych rozwiązań, tak więc iterację rozpoczyna się od ustawienia wartości SF na wartość "tuż" powyżej SF_{min}, a wszystkie wartości wynikowe SF z iteracji są wyższe niż SF_{min}.

Należy zwrócic uwagę na fakt, że metody rygorystyczne konwergują znacznie gorzej niż metody prostsze (Bishop, Fellenius). Problemy z konwergencją mogą wystąpić, np. w przypadku wystąpienia zbyt stromych odcinków powierzchni poślizgu, skomplikowanej geometrii, czy znaczących, gwałtownych przyrostów obciążeń. Jeśli wynik nie zostanie uzyskany zaleca się drobną korektę wprowadzonych danych, np. zdefiniowanie mniej stromej powierzchni poślizgu, zdefiniowanie większej liczby punktów definiujących powierzchnię poślizgu. Innym rozwiązaniem może być zastosowanie prostszej metody obliczeniowej.

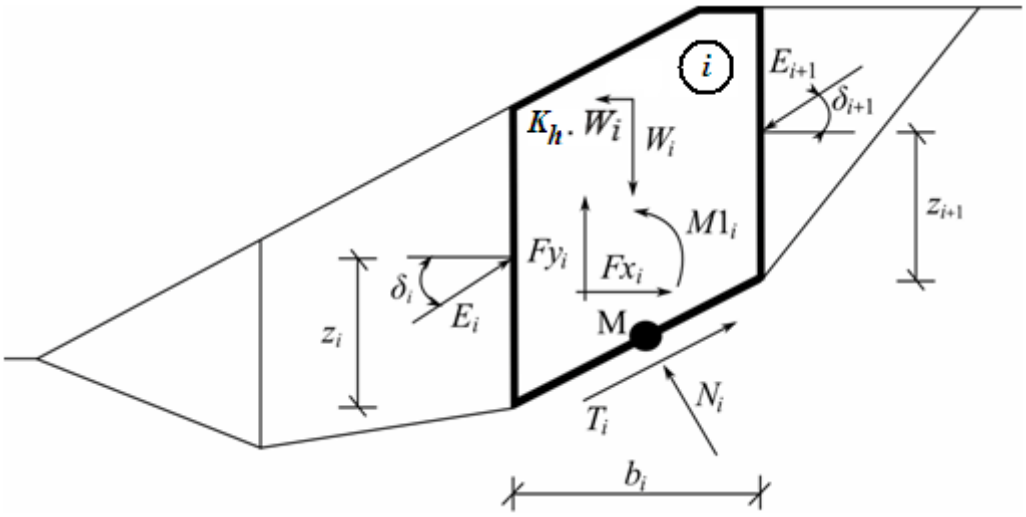
Literatura:

Spencer, E. 1967. A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel

interslice forces. Géotechnique, 17(1): 11-26.

Janbu

Metoda Janbu jest metodą paskową, opracowaną na bazie równowagi granicznej. Metoda ta wymaga spełnienia równowagi sił i momentów oddziaływujących na poszczególne bloki (tylko równowaga momentów na ostatnim, najwyższym bloku nie jest spełniona). Bloki tworzone są poprzez dzielenie gruntu powyżej powierzchni poślizgu, za pomocą płaszczyzn podziałowych. Siły oddziaływujące na poszczególne bloki pokazano na rysunku poniżej:



Static scheme - Janbu method

Przyjmuje się, że dla każdego z bloków zastosowanie mają podane poniżej siły:

W_i - ciężar bloku , zawierający dodatkowe obciążenie materiałowe o charakterze ciężaru ujmujące wpływ współczynnika K_v pionowego trzęsienia ziemi

$K_h * W_i$ - pozioma siła inercji reprezentująca efekt trzęsienia ziemi; K_h jest współczynnikiem przyspieszenia poziomego podczas trzęsienia ziemi

N_i - siła normalna na powierzchni poślizgu

T_i - siła tnąca na powierzchni poślizgu

E_i, E_{i+1} - siły wywierane sąsiadującymi blokami, nachylone od płaszyzny poziomej pod kątem δ_i, odpowiednio δ_{i+1}, znajdują się na wysokościach odpowiednio z_i lub z_{i+1} ponad powierzchnią poślizgu

Fx_i,Fy_i - inne siły poziome i pionowe oddziaływujące na blok

Ml_i - moment sił Fx_i Fy_i obracających się wokół punktu M, który jest środkiem segmentu i-tego powierzchni poślizgu

U_i - wypadkowa ciśnienia porowego na segmencie i-tym powierzchni poślizgu

W metodzie Janbu przyjmowane są podane poniżej założenia, dla wyliczenia równowagi granicznej sił i momentów dla poszczególnych bloków:

- Płaszczyzny podziału między blokami są zawsze pionowe.
- Linia oddziaływania ciężaru bloku W_i przechodzi przez środek segmentu i-tego spowierzchni poślizgu, reprezentowany jako punkt **M**.

- Siła normalna N_i oddziaływuje w środku segmentu i-tego powierzchni poślizgu, w punkcie **M**.
- Przyjmowana jest pozycja z_i sił E_i oddziaływujących miedzy blokami; na punktach końcowych powierzchni poślizgu $z = 0$.

Wybór pozycji z_i może mieć znaczący wpływ na konwergencję (zbieżność) w metodzie. Jeśli zrobimy złe założenie pozycji z_i dla danego zbocza, może stać się niemożliwe spełnienie warunków równowagi (algorytm nie będzie miał zbieżności). Wysokości z_i ponad powierzchnią poślizgu ustawiane są mniej więcej na jedną trzecią wysokości interfejsu między blokami. W przypadku nie spełniania warunków równowagi, algorytm zmienia wysokości na różne pozycje, na przykład nieco wyżej w strefie pasywnej, w pobliżu podstawy, i niżej w strefie aktywnej, w pobliżu szczytu zbocza.

Dla uzyskania rozwiązania stosuje się następujące równania:

$$N_i = N_i' + U_i \tag{1}$$

$$T_i = (N_i - U_i)\tan\varphi_i + c_i \frac{b_i}{\cos\alpha_i} = N_i' \tan\varphi_i + c_i \frac{b_i}{\cos\alpha_i} \tag{2}$$

$$N_i' + U_i - W_i.\cos\alpha_i + K_h.W_i.\sin\alpha_i + Fy_i.\cos\alpha_i - Fx_i.\sin\alpha_i + E_{i+1}.\sin(\alpha_i - \delta_{i+1}) - E_i.\sin(\alpha_i - \delta_i) = 0 \tag{3}$$

$$N_i'.\frac{\tan\varphi_i}{FS} + \frac{c_i}{FS}.\frac{b_i}{\cos\alpha_i} - W_i.\sin\alpha_i - K_h.W_i.\cos\alpha_i + Fy_i.\sin\alpha_i + Fx_i\cos\alpha_i - E_{i+1}.\cos(\alpha_i - \delta_{i+1}) + E_i.\cos(\alpha_i - \delta_i) = 0 \tag{4}$$

$$E_{i+1}.\cos\delta_{i+1}\left(z_{i+1} - \frac{b_i}{2}\tan\alpha_i\right) - E_{i+1}.\sin\delta_{i+1}.\frac{b_i}{2} - E_i.\cos\delta_i\left(z_i - \frac{b_i}{2}\tan\alpha_i\right) - E_i.\sin\delta_i.\frac{b_i}{2} + M1_i - K_h.W_i\left(y_M - y_{gi}\right) = 0 \tag{5}$$

gdzie: φ_i - kąt tarcia wewnętrznego gruntu na odcinku powierzchni poślizgu

c_i - spójność gruntu na odcinku powierzchni poślizgu

α_i - nachylenie odcinka powierzchni poślizgu

Równanie (1) przedstawia zależność między efektywną i całkowitą wartością siły normalnej oddziaływującej na powierzchnię poślizgu. Równanie (2) odpowiada warunkom Mohra-Coulomba, przedstawiającymi zależność między siłami normalnymi i ścinającymi dla danego segmentu powierzchni poślizgu. Równanie (3) przedstawia równanie równowagi sił, po kierunku normalnym do segmentu i-tego powierzchni poślizgu, a równanie (4) przedstawia

równowagę wzdłuż segmentu i-tego powierzchni poślizgu. SF jest współczynnikiem bezpieczeństwa, stosowanym dla redukcji parametrów gruntu. Równanie (5) odpowiada równaniu równowagi momentów wokół punktu **M**, gdzie y_{gi} jest współrzędną pionową punktu przyłożenia ciężaru bloku, a y_M jest współrzędną pionową punktu M. Modyfikacja równań (3) i (4) daje nam podany poniżej wzór rekursywny (6):

$$E_{i+1} = \frac{\left[\left(W_i - Fy_i\right).\cos\alpha_i - \left(K_h W_i - Fx_i\right).\sin\alpha_i - U_i + E_i.\sin\left(\alpha_i - \delta_i\right)\right].\frac{\tan\varphi_i}{FS} + \frac{c_i}{FS}.\frac{b_i}{\cos\alpha_i} - \left(W_i - Fy_i\right).\sin\alpha_i - \left(K_h W_i - Fx_i\right).\cos\alpha_i + E_i.\cos\left(\alpha_i - \delta_i\right)}{\sin\left(\alpha_i - \delta_{i+1}\right).\frac{\tan\varphi_i}{FS} + \cos\left(\alpha_i - \delta_{i+1}\right)} \quad (6)$$

Ten wzór pozwala na wyliczenie, przy danych wartościach δ_i i SF , wszystkich sił E_i oddziaływujących między blokami. Rozwiązanie przyjmuje, że na początku powierzchni poślizgu, znana jest wartość E i jest równa $E_1 = 0$.

Wzór dla wyliczenia kątów δ_i (7) wyprowadzony jest z równania równowagi momentów (5), w postaci:

$$\delta_{i+1} = \arctan\left(\frac{2.z_{i+1}}{b_i} + \tan\alpha_i\right) - \arcsin\frac{E_i\left(\cos\delta_i\left(z_i - \frac{b_i.\tan\alpha_i}{2}\right) + \sin\delta_i.\frac{b_i}{2}\right) - M1_i}{E_{i+1}\sqrt{\left(z_{i+1} + \frac{b_i.\tan\alpha_i}{2}\right)^2 + \left(\frac{b_i}{2}\right)^2}} \quad (7)$$

Ten wzór pozwala na obliczenie kątów δ dla danych wartości z_i, przy znanych wartościach na punktach końcowych powierzchni poślizgu, $z_i = 0$.

Współczynnik bezpieczeństwa SF wyznaczany jest za pomocą podanego poniżej procesu iteracyjnego:

1. Wartość początkowa kątów wynosi zero, $\delta_i = 0$, a pozycje z_i jest około jedną trzecią wysokości interfejsu.
2. Współczynnik bezpieczeństwa SF dla danej wartości δ_i wynika z równania (6), jeśli przyjmiemy wartość $E_{n+1} = 0$ na końcu powierzchni poślizgu.
3. Wartość δ_i otrzymuje się z równania (7), korzystając z wartości E_i wyznaczonych w uprzednim kroku.
4. Następnie powtarzane są kroki 2 i 3, dopóki wartość SF nie będzie się zmieniać.

Aby uzyskać pomyślny proces iteracji, konieczne jest unikanie rozwiązań niestabilnych. Takie niestabilności pojawiają się w miejscach, gdy zachodzi dzielenie przez zero w wyrażeniu (6), to znaczy:

$$FS = \tan\varphi_i.\tan\left(\delta_{i+1} - \alpha_i\right)$$

Innym sprawdzeniem zapobiegającym niestabilności liczbowej jest weryfikacja parametru m_α -

musi być spełniony podany poniżej warunek:

$$m_\alpha = \cos\alpha_i + \frac{\sin\alpha_i . \tan\varphi_i}{FS} > 0{,}2$$

Tak więc, przed wykonaniem iteracji, wymagane jest znalezienie najwyższych wartości krytycznych (SF_{min}) spełniających wyżej podane warunki. Wartości poniżej wartości krytycznej SF_{min} znajdują się w obszarze niestabilnych rozwiązań, tak więc iterację rozpoczyna się od ustawienia wartości SF na wartość "tuż" powyżej SF_{min}, a wszystkie wartości wynikowe SF z iteracji są wyższe niż SF_{min}.

Należy zwrócic uwagę na fakt, że metody rygorystyczne konwergują znacznie gorzej niż metody prostsze (Bishop, Fellenius). Problemy z konwergencją mogą wystąpić, np. w przypadku wystąpienia zbyt stromych odcinków powierzchni poślizgu, skomplikowanej geometrii, czy znaczących, gwałtownych przyrostów obciążeń. Jeśli wynik nie zostanie uzyskany zaleca się drobną korektę wprowadzonych danych, np. zdefiniowanie mniej stromej powierzchni poślizgu, zdefiniowanie większej liczby punktów definiujących powierzchnię poślizgu. Innym rozwiązaniem może być zastosowanie prostszej metody obliczeniowej.

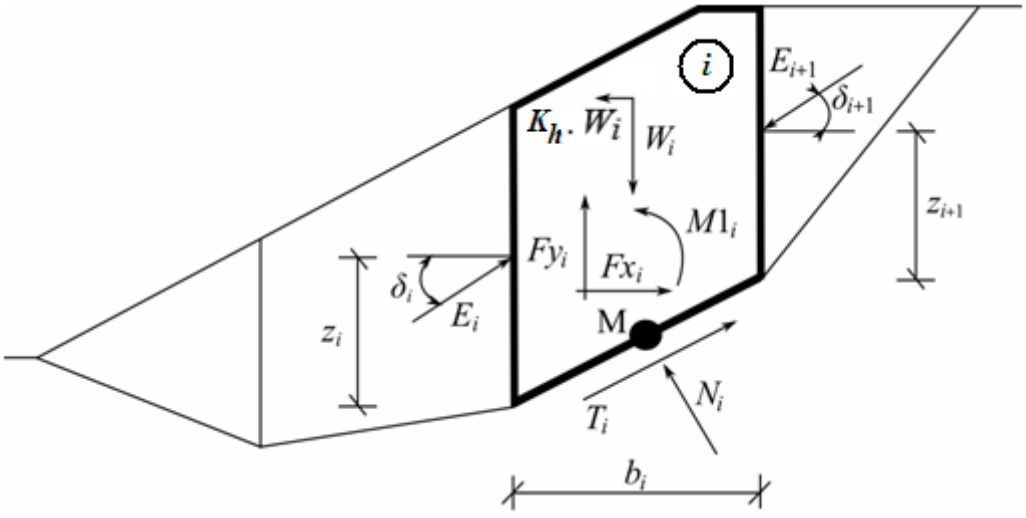
Literatura:

Janbu, N. 1954. Application of Composite Slip Surface for Stability Analysis. European Conference on Stability Analysis, Stockholm, Sweden.

Janbu, N. 1973. Slope Stability Computations. Embankment Dam Engineering - Casagrande Volume, R.C. Hirschfeld and S.J. Poulos, eds., John Wiley and Sons, New York, pp 47-86.

Morgenstern-Price

Metoda Morgenstern-Price jest metodą paskową, opracowaną na bazie równowagi granicznej. Metoda ta wymaga spełnienia równowagi sił i momentów oddziaływujących na poszczególne bloki. Bloki tworzone są poprzez dzielenie gruntu powyżej powierzchni poślizgu, za pomocą płaszczyzn podziałowych. Siły oddziaływujące na poszczególne bloki pokazano na rysunku poniżej:

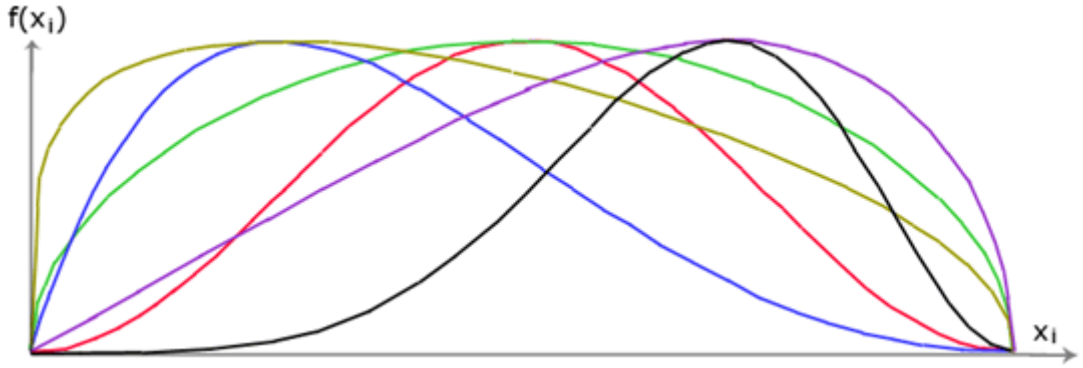


Schemat statyczny - metoda Morgenstern-Price'a

Dla każdego bloku zakłada się oddziaływanie tych samych sił, co w metodzie Spencer'a. W metodzie Morgenstern-Price'a przyjęto podane poniżej założenia, aby wyliczyć równowagę graniczną sił i momentów dla poszczególnych bloków:

- Płaszczyzny podziału między blokami są zawsze pionowe.
- Linia oddziaływania ciężaru bloku W_i przechodzi przez środek segmentu i-tego powierzchni poślizgu, reprezentowany jako punkt **M**.
- Normalna N_i oddziaływuje w środku segmentu i-tego powierzchni poślizgu, w punkcie **M**.
- Nachylenie sił E_i oddziaływujących między blokami różni się dla każdego bloku (δ_i), na punktach końcowych powierzchni poślizgu $\delta = 0$.

Jedyna różnica między metodą Spencera i metodą Morgenstern-Price'a podana jest na powyższej liście założeń. Wybór kątów nachylenia δ_i sił E_i działających między blokami realizowany jest za pomocą funkcji "pół-sinusoidy" - wybierana jest automatycznie jedna z funkcji na poniższym rysunku. Wybór kształtu funkcji ma niewielki wpływ na wyniki ostateczne, ale odpowiedni wybór może poprawić konwergencję metody. Wartość funkcji pół-sinusoidy $f(x_i)$, na punkcie granicznym x_i pomnożona przez parametr λ daje wartość kąta nachylenia δ_i.



Funkcja "pół-sinusoidy"

Rozwiązanie uwzględnia wyrażenia (1) - (5), podane w metodzie Spencera, tj.:

$$N_i = N_i' + U_i \tag{1}$$

$$T_i = (N_i - U_i)\tan\varphi_i + c_i\frac{b_i}{\cos\alpha_i} = N_i'\tan\varphi_i + c_i\frac{b_i}{\cos\alpha_i} \tag{2}$$

$$N_i' + U_i - W_i.\cos\alpha_i + K_h.W_i.\sin\alpha_i + Fy_i.\cos\alpha_i - Fx_i.\sin\alpha_i + E_{i+1}.\sin(\alpha_i - \delta_{i+1}) - E_i.\sin(\alpha_i - \delta_i) = 0 \tag{3}$$

$$N_i'.\frac{\tan\varphi_i}{FS} + \frac{c_i}{FS}.\frac{b_i}{\cos\alpha_i} - W_i.\sin\alpha_i - K_h.W_i.\cos\alpha_i + Fy_i.\sin\alpha_i + Fx_i\cos\alpha_i - E_{i+1}.\cos(\alpha_i - \delta_{i+1}) + E_i.\cos(\alpha_i - \delta_i) = 0 \tag{4}$$

$$E_{i+1}.\cos\delta_{i+1}\left(z_{i+1}-\frac{b_i}{2}\tan\alpha_i\right)-E_{i+1}.\sin\delta_{i+1}.\frac{b_i}{2}-$$
$$E_i.\cos\delta_i\left(z_i-\frac{b_i}{2}\tan\alpha_i\right)-E_i.\sin\delta_i.\frac{b_i}{2}+$$
$$M1_i-K_h.W_i\left(y_M-y_{gi}\right)=0 \quad (5)$$

gdzie: φ_i - kąt tarcia wewnętrznego gruntu na odcinku powierzchni poślizgu

c_i - spójność gruntu na odcinku powierzchni poślizgu

α_i - nachylenie odcinka powierzchni poślizgu

(1) zależność między efektywną a całkowitą wartością siły normalnej działającej na powierzchnię poślizgu.

(2) Warunek Mohra-Coulomb'a przedstawiający zależność między siłami normalnymi i tnącymi dla danego segmentu powierzchni poślizgu (N_i i T_i)

(3) równanie równowagi sił w kierunku normalnym do segmentu i-tego płaszczyzny poślizgu

(4) równanie równowagi sił wzdłuż segmentu i-tego płaszczyzny poślizgu

(5) równanie równowagi momentów wokół punktu **M**.

Modyfikacja równań sił (3) i (4) pozwala na uzyskanie podanego poniżej wzoru rekursywnego (6):

$$E_{i+1}=\frac{\left[\left(W_i-Fy_i\right).\cos\alpha_i-\left(K_h.W_i-Fx_i\right).\sin\alpha_i-U_i+E_i.\sin\left(\alpha_i-\delta_i\right)\right].\frac{\tan\varphi_i}{FS}+\frac{c_i}{FS}.\frac{b_i}{\cos\alpha_i}-\left(W_i-Fy_i\right).\sin\alpha_i-\left(K_h.W_i-Fx_i\right).\cos\alpha_i+E_i.\cos\left(\alpha_i-\delta_i\right)}{\sin\left(\alpha_i-\delta_{i+1}\right).\frac{\tan\varphi_i}{FS}+\cos\left(\alpha_i-\delta_{i+1}\right)} \quad (6)$$

Ten wzór umożliwia wyliczenie wszystkich sił E_i, przy danych wartościach δ_i i SF, oddziaływujących między blokami. Rozwiązanie przyjmuje, że na początku powierzchni poślizgu, znana jest wartość E i jest równa $E_1=0$.

Dodatkowy wzór rekursywny (7) wynika z równania równowagi momentów (5) i jest następujący:

$$z_{i+1}=\frac{\frac{b_i}{2}.\left[E_{i+1}\left(\sin\delta_{i+1}-\cos\delta_{i+1}.\tan\alpha_i\right)+E_i.\left(\sin\delta_i-\cos\delta_i.\tan\alpha_i\right)\right]+E_i.z_i.\cos\delta_i-M1_i+K_h.W_i.\left(y_M-y_{gi}\right)}{E_{i+1}.\cos\delta_{i+1}} \quad (7)$$

Ten wzór pozwala na obliczenie, przy danych wartościach δ_i, wszystkich ramion sił oddziaływujących między blokami, przy znanej wartości po lewej stronie na początku płaszczyzny poślizgu, gdzie $z_1 = 0$.

Współczynnik bezpieczeństwa SF wyznaczany jest za pomocą podanego poniżej procesu iteracyjnego:

1. Wartość początkowa kątów δ_i ustawiona jest zgodnie z funkcją półsinusoidy ($\delta i = \lambda * f(x_i)$).
2. Współczynnik bezpieczeństwa SF dla danej wartości δ_i wynika z równania (6), jeśli przyjmiemy wartość $E_{n+1} = 0$ na końcu powierzchni poślizgu.
3. Wartość δ_i otrzymuje się z równania (7), z wykorzystaniem wartości E_i wyznaczonych w uprzednim kroku, przy wymaganiu zerowego momentu na ostatnim bloku. Wartości funkcyjne $f(x_i)$ są takie same przez cały czas podczas iteracji, tylko parametr λ jest iterowany. Z równania (7) nie jest wyznaczana wartość z_{n+1} ponieważ jest równa zeru. Dla tej wartości musi być spełnione równanie równowagi momentów (5).
4. Następnie powtarzane są kroki 2 i 3, dopóki wartość δ_i (odpowiednio parameter λ) nie będzie się zmieniać.

Aby uzyskać stabilny proces iteracji, konieczne jest unikanie niestabilnych rozwiązań. Takie niestabilności pojawiają się w miejscach, gdy zachodzi dzielenie przez zero w równaniach (6) i (7). W równaniu (7) dzielenie przez zero występuje dla $\delta = \pi/2$ lub $\delta = -\pi/2$. Tak więc, wartość kąta $\delta_i$musi się zawierać w przedziale ($-\pi/2$; $\pi/2$).

Dzielenie przez zero w wyrażeniu (6) pojawia się gdy:

$$FS = \tan\varphi_i . \tan\left(\delta_{i+1} - \alpha_i\right)$$

Innym sprawdzeniem zapobiegającym niestabilności numerycznej jest weryfikacja parametru m_α - musi być spełniony podany poniżej warunek:

$$m_\alpha = \cos\alpha_i + \frac{\sin\alpha_i . \tan\varphi_i}{FS} > 0{,}2$$

Tak więc, przed wykonaniem iteracji, wymagane jest znalezienie najwyższych wartości krytycznych (SF_{min}) spełniających wyżej podane warunki. Wartości poniżej wartości krytycznej SF_{min} znajdują się w obszarze rozwiązań niestabilnych, tak więc iterację rozpoczyna się od ustawienia wartości SF na wartość "tuż" powyżej SF_{min}, a wszystkie wartości wynikowe SF z iteracji są wyższe niż SF_{min}.

Należy zwrócic uwagę na fakt, że metody rygorystyczne konwergują znacznie gorzej niż metody prostsze (Bishop, Fellenius). Problemy z konwergencją mogą wystąpić, np. w przypadku wystąpienia zbyt stromych odcinków powierzchni poślizgu, skomplikowanej geometrii, czy znaczących, gwałtownych przyrostów obciążeń. Jeśli wynik nie zostanie uzyskany zaleca się drobną korektę wprowadzonych danych, np. zdefiniowanie mniej stromej powierzchni poślizgu, zdefiniowanie większej liczby punktów definiujących powierzchnię poślizgu. Innym rozwiązaniem może być zastosowanie prostszej metody obliczeniowej.

Literatura:

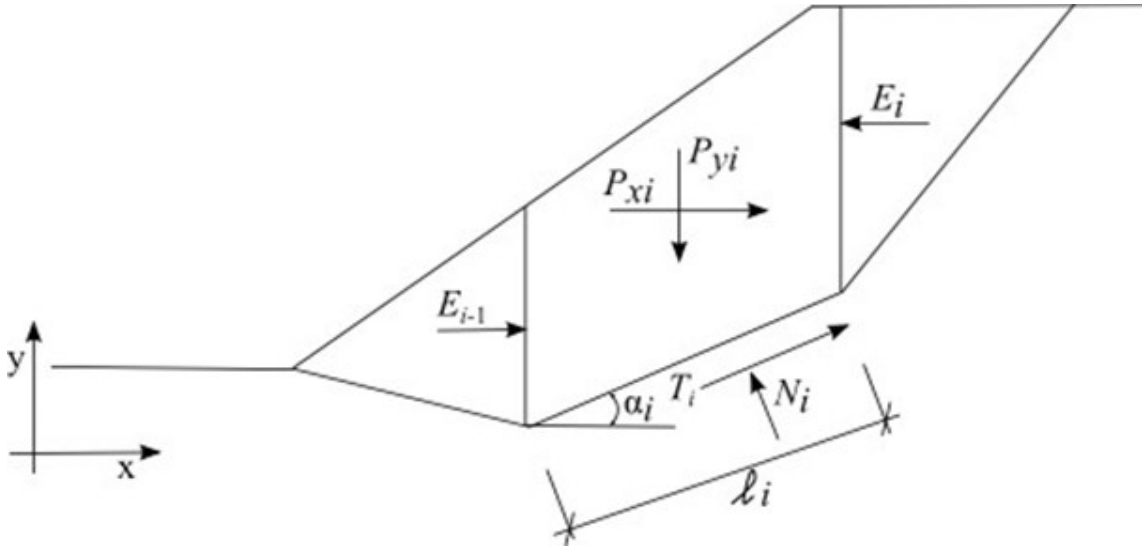
Morgenstern, N.R., and Price, V.E. 1965. The analysis of the stability of general slip surfaces. Géotechnique, 15(1): 79-93.

Morgenstern, N.R., and Price, V.E. 1967. A numerical method for solving the equations of stability of general slip surfaces. Computer Journal, 9: 388-393.

Zhu, D.Y., Lee, C.F., Qian, Q.H., and Chen, G.R. 2005. A concise algorithm for computing the factor of safety using the Morgenstern-Price method. Canadian Geotechnical Journal, 42(1): 272-278.

Shahunyants

Metoda Morgenstern-Price jest metodą paskową, opracowaną na bazie równowagi granicznej. Metoda ta wymaga spełnienia równowagi sił i momentów oddziaływujących na poszczególne bloki. Bloki tworzone są poprzez dzielenie gruntu powyżej powierzchni poślizgu, za pomocą płaszczyzn podziałowych. Siły oddziaływujące na poszczególne bloki pokazano na rysunku poniżej:



Schemat statyczny - metoda Shahunyants

Przyjmuje się, że dla każdego z bloków zastosowanie mają podane poniżej siły:

gdzie:

P_{yi}	-	wypadkowa sił pionowych oddziałujących na dany blok (ciężar bloku, obciążenie bloku, obciążenie sejsmiczne, siły w kotwach…)
P_{xi}	-	wypadkowa sił poziomych oddziałujących na dany blok (obciążenie bloku, obciążenie sejsmiczne, siły w kotwach siły w zbrojeniu…)
E_{i+1}, E_i	-	siły zmobilizowane pomiędzy blokami
N_i	-	reakcja pod blokiem normalna do segmentu powierzchni poślizgu
T_i	-	siła tarcia na segmencie powierzchni poślizgu
α_i	-	nachylenie segmentu powierzchni poślizgu
l_i	-	długość segmentu powierzchni poślizgu
φ_i		angle of internal friction of soil on the slip surface segment
c_i		soil cohesion on the slip surface segment

W metodzie Shahunyants przyjmowane są podane poniżej założenia, dla wyliczenia równowagi granicznej sił i momentów dla poszczególnych bloków:

- Płaszczyzny podziału między blokami są zawsze pionowe
- nachylenie sił E_i oddziałujących pomiędzy blokami wynosi zawsze zero, siły oddziałują zawsze poziomo

Procedura rozwiązania:

W pierwszej kolejności, siły P_{yi} oraz P_{xi} są transformowane z zastosowaniem wyrażeń (1) i (2) do kierunków sił T_i oraz N_i. Dla dodatniego kąta α_i (w taki sposób jak na pokazanym schemacie) siła P_{Ni} oddziałuje w kierunku przeciwnym do N_i, a siła P_{Qi} oddziałuje w kierunku przeciwnym do T_i.

$$P_{Ni} = P_{xi} \sin \alpha_i + P_{yi} \cos \alpha_i$$

(1)

$$P_{Qi} = P_{yi} \sin \alpha_i - P_{xi} \cos \alpha_i$$

(2)

Siły oddziałujące wzdłuż segmentu powierzchni poślizgu są powiązane następującą zależnością:

$$T_i = (N_i - U_i) \tan \varphi_i + c_i l_i$$

(3)

gdzie: U_i - ciśnienie porowe na segment powierzchni poślizgu

Dla uzyskania rozwiązania stosuje się następujące równania równowagi dla każdego bloku:

Warunek równowagi w kierunku normalnym do segmentu powierzchni poślizgu:

$$N_i = P_{Ni} + E_{i-1} \sin \alpha_i - E_i \sin \alpha_i$$

(4)

Warunek równowagi w kierunku równoległym do segmentu powierzchni poślizgu:

$$T_i = P_{Qi} + E_i \cos \alpha_i - E_{i-1} \cos \alpha_i$$

(5)

Wprowadzenie równania (3) do równania (5) daje:

$$(N_i - U_i) \tan \varphi_i + c_i l_i = P_{Qi} + E_i \cos \alpha_i - E_{i-1} \cos \alpha_i$$

(6)

Następnie, podstawienie równania (4) do równania (6) daje:

$$(P_{Ni} + E_{i-1} \sin \alpha_i - E_i \sin \alpha_i - U_i) \tan \varphi_i + c_i l_i = P_{Qi} + E_i \cos \alpha_i - E_{i-1} \cos \alpha_i$$

(7)

Po przekształceniu:

$$(P_{Ni} - U_i) \tan \varphi_i + (E_{i-1} - E_i) \sin \alpha_i \tan \varphi_i + c_i l_i = P_{Qi} + (E_i - E_{i-1}) \cos \alpha_i$$

$$(P_{Ni} - U_i) \tan \varphi_i + c_i l_i - P_{Qi} = (E_i - E_{i-1})(\cos \alpha_i + \sin \alpha_i \tan \varphi_i)$$

(8)

Wykorzystując następujące wyrażenie matematyczne:

$$\cos\alpha + \sin\alpha \tan\beta = \frac{\cos\alpha\cos\beta + \sin\alpha\sin\beta}{\cos\beta} = \frac{\cos(\alpha-\beta)}{\cos\beta}$$

(9)

doprowadza się równanie 8) do postaci:

$$(P_{Ni} - U_i)\tan\varphi_i + c_i l_i - P_{Qi} = (E_i - E_{i-1})\frac{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}{\cos\varphi_i}$$

(10)

Następnie może być ono zmodyfikowane w sposób następujący:

$$(P_{Ni} - U_i)\tan\varphi_i + c_i l_i - P_{Qi} + E_{i-1}\frac{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}{\cos\varphi_i} = E_i\frac{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}{\cos\varphi_i}$$

(11)

w celu otrzymania wyrażenia rekurencyjnego dla sił E_i oddziałujących pomiędzy blokami:

$$E_i = \frac{\left[(P_{Ni} - U_i)\tan\varphi_i + c_i l_i - P_{Qi}\right]\cos\varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)} + E_{i-1}$$

(12)

Na tym etapie analiza dochodzi do współczynnika bezpieczeństwa K_u. Współczynnik bezpieczeństwa jest wartością, która sprowadza siły oddziałujące na poszczególne bloki gruntu do stanu stanów granicznych. Stan taki można osiągnąć przemnażając siły aktywne, tj. siły powodujące przesunięcie masywu gruntowego po powierzchni poślizgu. W równaniu (12) siły aktywne są zawarte w określeniu P_{Qi}. Wyrażanie to zawiera jednocześnie siły aktywne powodujące przesuw oraz siły utrzymujące - przeciwstawiające się przesunięciu. Siły przesuwające będą opisane jako $P_{Qi,sd}$ a siły utrzymujące jako $P_{Qi,ud}$. Równanie (12) przybiera wówczas postać:

$$E_i = \frac{\left[(P_{Ni} - U_i)\tan\varphi_i + c_i l_i - K_u P_{Qi,sd} - P_{Qi,ud}\right]\cos\varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)} + E_{i-1}$$

(13)

Jeśli wartość P_{Qi} jest dodatnia wówczas przyczynia się do powstania przesunięcia i bedzie przyjmowana jako siła aktywna $P_{Qi,sd}$. Jeśli wartość P_{Qi} jest ujemna, czyli przeciwstawia się przesunięciu będzie przyjmowana jako siła $P_{Qi,ud}$. Dlatego odejmowanie wartości $P_{Qi,ud}$, która jest ujemna, w równaniu (13) oznacza dodanie wartości dodatniej, wobec czego można zapisać:

$$E_i = \frac{\left[(P_{Ni} - U_i)\tan\varphi_i + c_i l_i - K_u P_{Qi,sd} + \left|P_{Qi,ud}\right|\right]\cos\varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)} + E_{i-1}$$

(14)

Na początku powierzchni poślizgu $E_0 = 0$. Wartość E_1 opisana jest równaniem:

$$E_1 = \frac{\left[(P_{N1} - U_1)\tan\varphi_1 + c_1 l_1 - K_u P_{Q1,sd} + \left|P_{Q1,ud}\right|\right]\cos\varphi_1}{\cos(\alpha_1 - \varphi_1)}$$

(15)

Wartość E_2 natomiast można przedstawić następująco:

$$E_2 = \frac{\left[(P_{N2} - U_2)\tan\varphi_2 + c_2 l_2 - K_u P_{Q2,sd} + \left|P_{Q2,ud}\right|\right]\cos\varphi_2}{\cos(\alpha_2 - \varphi_2)} + \frac{\left[(P_{N1} - U_1)\tan\varphi_1 + c_1 l_1 - K_u P_{Q1,sd} + \left|P_{Q1,ud}\right|\right]\cos\varphi_1}{\cos(\alpha_1 - \varphi_1)}$$

(16)

Podobnie można wyznaczyć wartości wszystkich sił oddziałujących pomiędzy blokami. Ponadto w punkcie końcowym powierzchni poślizgu $E_n = 0$. Wykorzystując wcześniejsze zależności można zapisać:

$$E_n = \sum_{i=1}^{n}\left[(P_{Ni} - U_i)\tan\varphi_i + c_i l_i + \left|P_{Qi,ud}\right|\right]\frac{\cos\varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)} - K_u \sum_{i=1}^{n} P_{Qi,sd}\frac{\cos\varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)} = 0$$

(17)

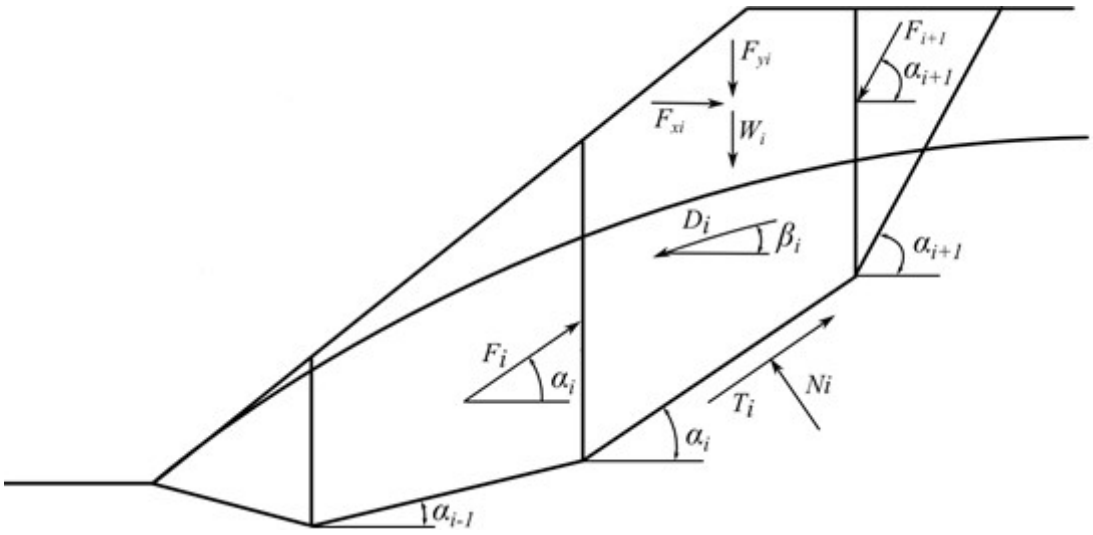
Powyższe równanie pozwala bezpośrednio podaje współczynnik stateczności K_u jako:

$$K_u = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[(P_{Ni} - U_i)\tan\varphi_i + c_i l_i + \left|P_{Qi,ud}\right|\right]\frac{\cos\varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}}{\sum_{i=1}^{n} P_{Qi,sd}\frac{\cos\varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}}$$

(18)

Metoda ITF (Imbalance Thrust Force Method)

Metoda ITF jest metodą stanów granicznych. W metodzie tej budowane jest równanie równowagi sił oddziałujących na poszczególne bloki, natomiast nie uwzględniane jest równanie równowagi momentów. Podstawoe zasady oraz założenia tej metody zaprezentowano na schemacie poniżej:



Rys. 1 Siły oddziałujące na blok - metoda ITF

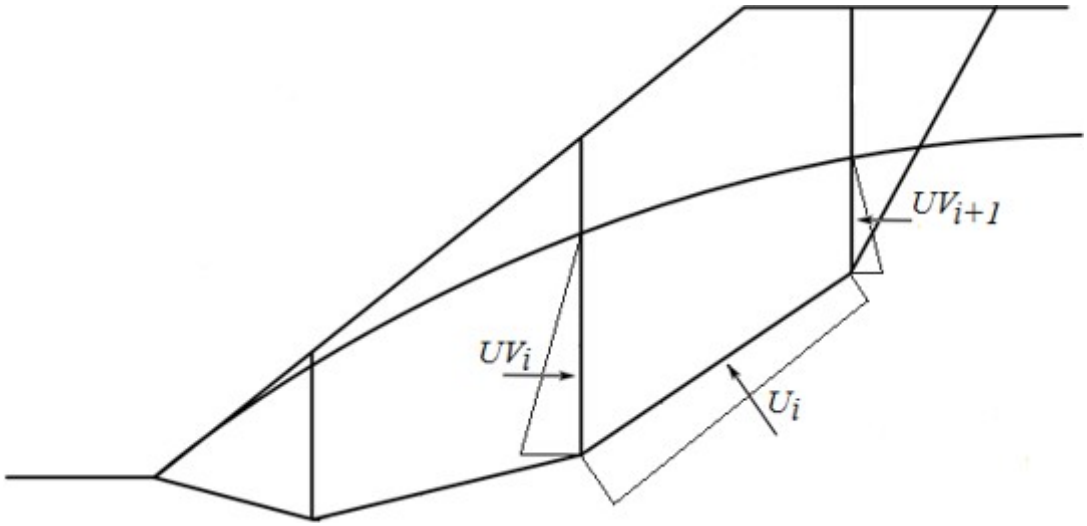
Poniższe założenia zostały przyjęte w odniesieniu do sił oddziałujących na blok:

gdzie: W_i - ciężar i^{tego} bloku, ciężar części bloku gruntu poniżej zwierciadła wody gruntowej wyznaczany jest na podstawie ciężaru gruntu nawodnionego γ_{sat}

F_{yi} - reprezentuje pozostałe obciążenie pionowe oddziałujące na blok

F_{xi} - reprezentuje pozostałe obciążenie poziome oddziałujące na blok

F_i, F_{i+1} - ssiły oddziałujące między blokami wzdłuż kierunków zdefiniowanych za pomocą kątów α_i oraz α_{i+1}



Rys. 2 Schemat oddziaływania ciśnienia porowego na blok

U_i - wypadkowa ciśnienia porowego na segment powierzchni poślizgu

UV_i,UV_{i+1} - wypadkowe ciśnienia porowego na płaszczyzny pomiędzy blokami

Siły UV_i i UV_{i+1} są zawarte w poziomych siłach Fx_i.

Równanie równowagi sił w kierunku normalnym do segmentu powierzchni poślizgu określa:

$$N_i = (W_i + Fy_i)\cos\alpha_i + Fx_i \sin\alpha + F_{i+1}\sin(\alpha_{i+1} - \alpha_i) - U_i \qquad (1)$$

Siły na segment powierzchni poślizgu są powiązane ze sobą poprzez

$$T_i = N_i \tan\varphi_i + c_i l_i \qquad (2)$$

gdzie: φ_i - kąt tarcia wewnętrznego gruntu

c_i - spójność gruntu

l_i - długość segmentu powierzchni poślizgu powiązana z i^{tym} blokiem

Równanie równowagi sił w kierunku i^{tego} segmentu powierzchni poślizgu (określonego przez kąt α_i) opisuje siłę F_i oddziałującą między blokami jako:

$$F_i = (W_i + Fy_i)\sin\alpha_i - Fx_i\cos\alpha_i - T_1 + F_{i+1}\cos(\alpha_{i+1} - \alpha_i) \qquad (3)$$

Wprowadzając równania (1) oraz (2) do równania (3) otrzymujemy:

$$F_i = (W_i + Fy_i)\sin\alpha_i - Fx_i\cos\alpha_i - \\ - \{[(W_i + Fy_i)\cos\alpha_i + Fx_i\sin\alpha_i + F_{i+1}\sin(\alpha_{i+1} - \alpha_i) - U_i]\tan\varphi_i + c_i l_i\} + \\ + F_{i+1}\cos(\alpha_{i+1} - \alpha_i)$$

oraz po pewnych przekształceniach algebraicznych uzyskuje się następującą formę równania równowagi sił:

$$F_i = (W_i + Fy_i)\sin\alpha_i - Fx_i\cos\alpha_i - \\ - \{[(W_i + Fy_i)\cos\alpha_i + Fx_i\sin\alpha_i - U_i]\tan\varphi_i + c_i l_i\} + \\ + F_{i+1}[\cos(\alpha_{i+1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i+1} - \alpha_i)\tan\varphi_i] \qquad (4)$$

Warunek równowagi będzie spełniony po wprowadzeniu do obliczeń współczynnika bezpieczeństwa SF takiego, że parametry wytrzymałościowe danego gruntu c oraz $tan\varphi$ są dzielone przez tę wartość. Równanie (4) otrzymuje wówczas formę:

$$F_i = (W_i + Fy_i)\sin\alpha_i - Fx_i\cos\alpha_i - \\ - \{[(W_i + Fy_i)\cos\alpha_i + Fx_i\sin\alpha_i - U_i]\tan\varphi_i + c_i l_i\}/SF + \\ + F_{i+1}[\cos(\alpha_{i+1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i+1} - \alpha_i)\tan\varphi_i / SF] \qquad (5)$$

Następnie, poprzez proces iteracji, z równania (5) uzyskuje się poszukiwany współczynnik bezpieczeństwa SF. Proces ten przeprowadzany jest w taki sposób, że siła F_n równa $0\ kN$ przykładana jest w najwyższym (końcowym) punkcie powierzchni poślizgu. Siły F_i oddziałujące pomiędzy blokami, wyznaczane są dla zadanej wartości współczynnika bezpieczeństwa SF z równania (5). Krok ten powtarzany jest dla wielu wartości współczynnika SF aż do momentu, gdy znaleziony zostanie taki współczynnik bezpieczeństwa SF, dla którego siła F_0 w podstawie zbocza staje się równa $0\ kN$. Nie zakłada się rozciągania wzdłuż powierzchni poślizgu. W przypadku, gdy warunek równowagi wymaga ujemnej wartości siły normalnej N_i, co oznacza, że grunt jest rozciągany, wówczas w następnym kroku iteracji wartość tej siły jest przyjmowana jako zero, a siła tnąca T_i oddziałująca na dany segment wyznaczana jest wyłącznie na podstawie spójności gruntu.

Metoda ITF jest stosunkowo wrażliwa na kształt powierzchni poślizgu. W przypadku, gdy powierzchnia poślizgu zawiera ostre nieciągłości segmentów wyznaczony z obliczeń współczynnik bezpieczeństwa jest wyższy od rzeczywistego. Zaleca się aby różnica pochyleń sąsiadujących ze sobą segmentów powierzchni poślizgu nie była większa niż 10°. Warunek ten jest automatycznie weryfikowany przez program. Jeśli różnica nachyleń segmentów jest znacznie większa od zalecanej pojawia się ostrzeżenie, że wyniki obliczeń mogą być przeszacowane. Zwykle problem ten nie dotyczy kołowej powierzchni poślizgu, powinien jednak być uwzględniany w przypadku powierzchni łamanych.

Metoda ITF - jednoznaczne rozwiązanie

Rozwiązanie jednoznaczne metody ITF zakłada odmienną metodę wprowadzania współczynnika bezpieczeństwa do obliczeń. Wówczas rozwiązanie matematyczne nie wymaga iteracji a wynikowy współczynnik bezpieczeństwa wyznaczany jest bezpośrednio w pojedynczym kroku obliczeniowym. Stosując takie podejście uzyskuje się zwykle wyższe współczynniki bezpieczeństwa. Obniża to znacząco wartość tego rozwiązania, szczególnie w przypadku zastosowania także łamanej powierzchni poślizgu ze znaczącymi różnicami nachylenia sąsiednich segmentów.

Rozwiązanie wykorzystuje równanie (4), do którego wprowadzany jest wsółczynnik bezpieczeństwa SF taki, który przemnaża aktywne składowe sił, tj. składowe oddziałujące w

kierunku przesuwającym. Warunek równowagi przyjmuje postać:

$$\begin{aligned} F_i = &\left[(W_i + Fy_i)\sin\alpha_i - Fx_i\cos\alpha_i\right]SF - \\ &- \left\{\left[(W_i + Fy_i)\cos\alpha_i + Fx_i\sin\alpha_i - U_i\right]\tan\varphi_i + c_i l_i\right\} + \\ &+ F_{i+1}\left[\cos(\alpha_{i+1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i+1} - \alpha_i)\tan\varphi_i\right] \end{aligned} \qquad (6)$$

Dla przejrzystości wprowadzamy składowe sił aktywnych w postaci:

$$A_i = (W_i + Fy_i)\sin\alpha_i - Fx_i\cos\alpha_i$$

a następnie składowe sił biernych jako:

$$P_i = \left[(W_i + Fy_i)\cos\alpha_i + Fx_i\sin\alpha_i - U_i\right]\tan\varphi_i + c_i l_i$$

oraz funkcję pomocniczą:

$$\psi_i = \cos(\alpha_{i+1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i+1} - \alpha_i)\tan\varphi_i$$

Równanie (6) może być zapisane w bardziej kompaktowej formie w postaci:

$$F_i = A_i\,SF - P_i + F_{i+1}\psi_{i+1} \qquad (7)$$

W następnym kroku zakłada się znaną siłę $F_n = 0$ w celu zapisania wyrażeń sił pomiędzy blokami F w postaci:

$$F_{n-1} = A_{n-1}\,SF - P_{n-1}$$

$$F_{n-2} = A_{n-2}\,SF - P_{n-2} + (A_{n-1}\,SF - P_{n-1})\,\psi_{n-1}$$

$$F_{n-3} = A_{n-3}\,SF - P_{n-3} + (A_{n-2}\,SF - P_{n-2})\,\psi_{n-2} + (A_{n-1}\,SF - P_{n-1})\,\psi_{n-1}\psi_{n-2}$$

itd.

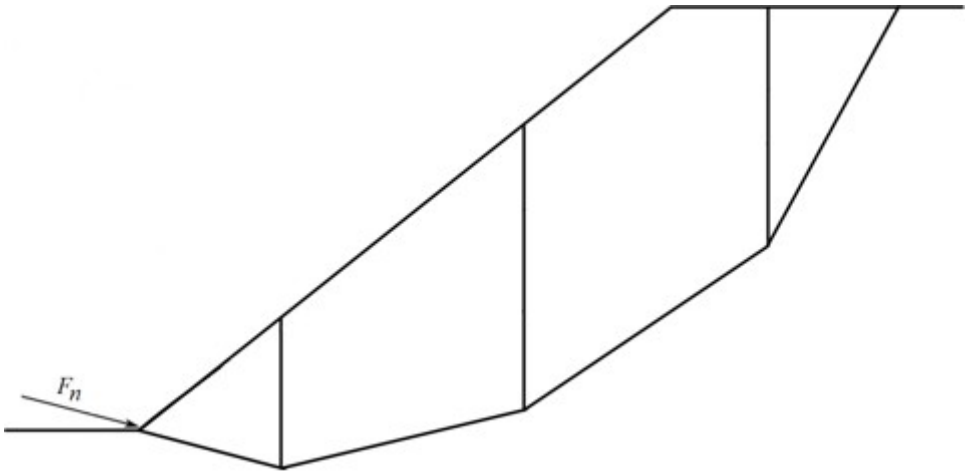
$$F_0 = \left[A_0 + \sum_{i=1}^{n-1}\left(A_i\prod_{j=1}^{i}\psi_j\right)\right]SF - P_0 - \sum_{i=1}^{n-1}\left(P_i\prod_{j=1}^{i}\psi_j\right) \qquad (8)$$

Ostatecznie, zakładając, że siła oddziałująca na dolny początek powierzchni poślizgu ma być równa $0\,kN$, otrzymuje się końcową postać współczynnika bezpieczeństwa SF:

$$SF = \frac{P_0 + \sum_{i=1}^{n-1}\left(P_i\prod_{j=1}^{i}\psi_j\right)}{A_0 + \sum_{i=1}^{n-1}\left(A_i\prod_{j=1}^{i}\psi_j\right)} \qquad (9)$$

Nadwyżka siły przesuwającej

Nadwyżka siły przesuwającej F_n jest wprowadzana jako siła oddziałująca w dolnym punkcie powierzchni poślizgu - patrz na rysunku poniżej. Z tą siłą, równowaga graniczna może być osiągnięta dla wymaganego współczynnika bezpieczeństwa F_{sd} i jej wartość może być przydatna przy projektowaniu ściany/obudowy wykopu. Nadwyżka siły przesuwającej ma sensowną wartość jeśli projektowany współczynnik bezpieczeństwa jest wyższy niż aktualny. Jeśli aktualny współczynnik bezpieczeństwa jest wystarczająco wysoki (stateczność zbocza jest akceptowalna), nadwyżka siły przesuwającej ma wartość równą zero.



Nadwyżka siły przesuwającej F_n

Nadwyżka siły przesuwającej może być także wykorzystana jako kryterium optymalizacji. W takim przypadku, proces optymalizacji poszukuje powierzchni poślizgu o maksymalnej wartości nadwyżki siły przesuwającej F_n zamiast powierzchni poślizgu o minimalnym współczynniku bezpieczeństwa FS. To kryterium optymalizacji może mieć zastosowanie jeśli aktualna powierzchnia poślizgu nie jest akceptowalna. Dla akceptowalnych powierzchni poślizgu proces optymalizacji wykorzystuje wyłącznie jako kryterium współczynnik stateczności FS.

Optymalizacja łamanej powierzchni poślizgu

Optymalizacja łamanej powierzchni poślizgu przeprowadzana jest w taki sposób, że program zmienia położenia poszczególnych punktów tej powierzchni i sprawdza, która zmiana położenia danego punktu powoduje maksymalną redukcję współczynnika stateczności zbocza SF. Punkty końcowe zoptymalizowanej powierzchni poślizgu są przesuwane na powierzchni gruntu, wewnętrzne punkty są przesuwane w kierunkach poziomym i pionowym. Wielkość kroku wybiera się na początku jako jedną dziesiąta najmniejszej odległości sąsiadujących punktów wzdłuż powierzchni poślizgu. Z każdym nowym przebiegiem, wielkość kroku jest redukowana w połowę. Położenie punktów powierzchni poślizgu jest optymalizowane od lewej do prawej, a jest zakończone, kiedy w ostatnim przebiegu nie zostanie przesunięty żaden punkt.

Podczas optymalizacji łamanej powierzchni poślizgu, proces iteracji może wypadać w **lokalnym minimum** (w odniesieniu do stopniowej zmiany położenia punktów węzłowych), a zatem proces nie zawsze jest kończony poprzez zlokalizowanie krytycznej powierzchni poślizgu. Szczególnie w przypadku złożonego profilu zbocza, korzystnie jest wprowadzić kilka położeń początkowej powierzchni poślizgu. Zaleca się również połączenie podejścia dla kołowych powierzchni poślizgu. Dlatego, krytyczna powierzchnia poślizgu przyjmująca kształt kołowy jest najpierw wyznaczana, a wynik jest następnie używany do zdefiniowania początkowej, łamanej powierzchni poślizgu.

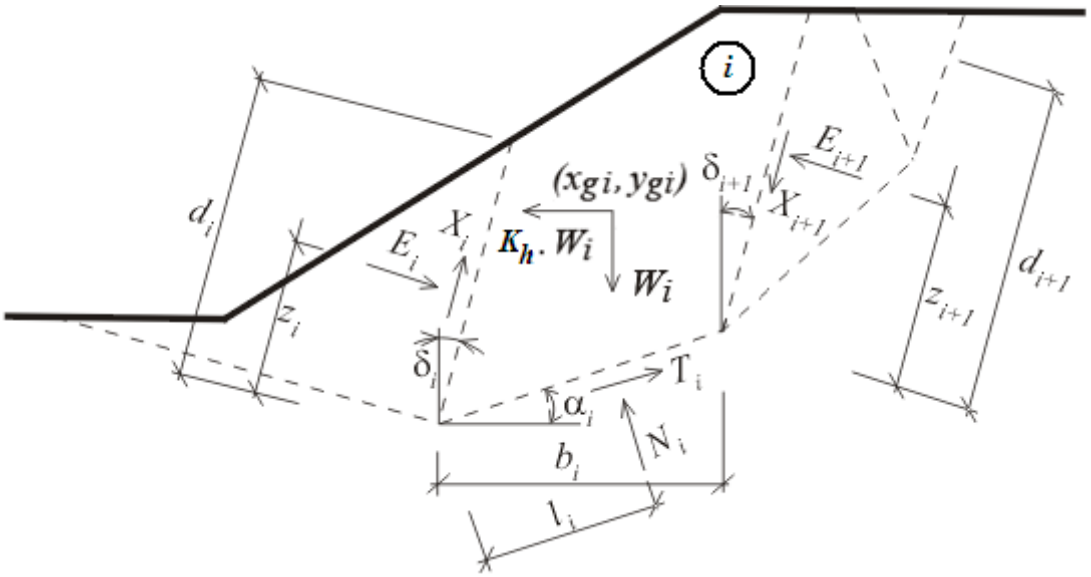
Proces optymalizacji można ograniczyć w różny sposób. Jest to szczególnie przydatne, jeżeli wyszukiwana powierzchnia ma przechodzić przez pewien obszar lub go pomijać. Ograniczenie dla procesu optymalizacji można wprowadzić na dwa różne sposoby:

1. Ograniczenia optymalizacji są określane jako zbiór segmentów w gruncie. Następnie, wymusza się obejście tych segmentów przez zoptymalizowaną powierzchnię poślizgu.
2. Innym sposobem ograniczenia procesu optymalizacji jest ustalenie położenia wybranych punktów wzdłuż zoptymalizowanej powierzchni poślizgu lub umożliwienie przesunięcia tych punktów jedynie w dwóch kierunkach, poziomo lub pionowo.

W metodzie ITF, nadwyżka sily przesuwającej może być wykorzystana jako kryterium optymalizacji. W takim przypadku, proces optymalizacji poszukuje powierzchni poślizgu o maksymalnej wartości nadwyżki siły przesuwającej F_n zamiast powierzchni poślizgu o minimalnym współczynniku bezpieczeństwa FS. To kryterium optymalizacji może mieć zastosowanie jeśli aktualna powierzchnia poślizgu nie jest akceptowalna. Dla akceptowalnych powierzchni poślizgu proces optymalizacji wykorzystuje wyłącznie jako kryterium współczynnik stateczności FS.

Zmiana nachylenia płaszczyzn dzielących

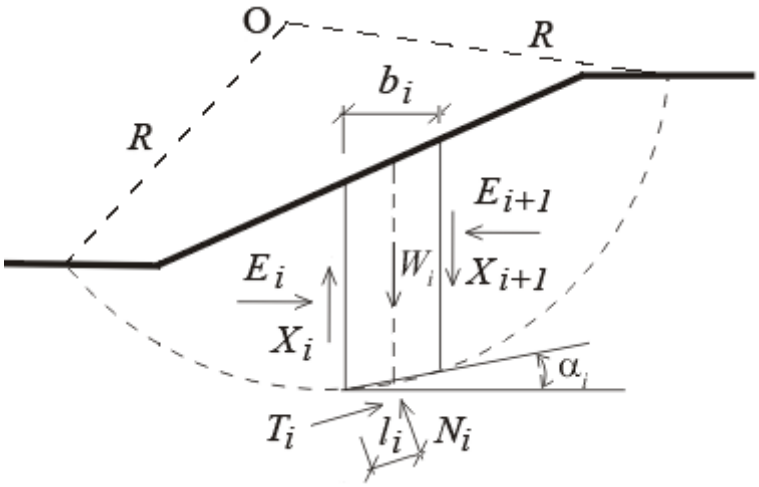
Zmiana nachylenia płaszczyzn dzielących dotyczy wyłącznie metody Sarmy. Z rysunku jasno wynika, że płaszczyzny dzielące poszczególne segmenty nie muszą być pionowe, ani nawet wzajemnie równoległe. W pierwszym etapie analizy, kiedy procedura optymalizacji przesuwa punkty, płaszczyzna poślizgu zakłada pionowy układ płaszczyzn dzielących. W celu uzyskania nawet mniejszej wartości stateczności zbocza, istnieje możliwość zmiany wzajemnego ustawienia płaszczyzn dzielących. Proces ten jest ponownie wykonywany w kilku przebiegach przy ograniczonej wartości kroku obrotu, a sam krok jest ponownie redukowany w trakcie optymalizacji. Ten etap optymalizacji jest kończony, kiedy krok obrotu spada poniżej wartości 1^o i nie występuje zmiana obrotu w ostatnim przebiegu optymalizacji.



Schemat statyczny - metoda Sarmy

Kołowa powierzchnia poślizgu

We wszystkich metodach wykorzystujących teorię stanów granicznych zakłada sie, że masyw gruntowy powyżej powierzchni poślizgu dzielony jest na bloki (płaszczyzny podziału pomiędzy blokami są zawsze pionowe). Siły oddziałujące na poszczególne bloki zostały pokazane na rysunku.



Schemat statyczny - metoda Bishop'a

Tutaj, X_i i E_i są siłami - ścinającą i normalną oddziałującymi pomiędzy poszczególnymi blokami, T_i oraz N_i są siłami - ścinającą i normalną oddziałującymi na poszczególnych segmentach powierzchni poślizgu. W_i są ciężarami poszczególnych bloków.

Poszczególne metody "paskowe" liczenia stateczności różnią się w swoich założeniach dotyczących spełniania równań równowagi sił i momentów w odniesieniu do środka **O**.

Program pozwala na zastosowanie jednej z następujących metod:

- Fellenius / Petterson
- Bishop
- Spencer
- Janbu
- Morgenstern-Price
- Shahunyants
- metoda ITF

Woda gruntowa określona w zboczu (za pomocą jednej z pięciu opcji) wpływa dwojako na analizę. Najpierw przy obliczaniu ciężaru bloku gruntu, a następnie przy wyznaczaniu sił ścinających. Należy zwrócić uwagę, że efektywne parametry gruntu są stosowane w celu odniesienia do sił normalnych i ścinających.

Wprowadzenie do analizy sił kotew i wody ponad powierzchnią gruntu

Siły kotew rozważane są jako obciążenie zewnętrzne zbocza na jeden metr bieżący [kN/m] i wprowadzane do równania momentu równowagi. Siły te mogą przyczynić się do dodatkowej stateczności, jeżeli nie można ich uzyskać w inny sposób. Nie ma ograniczeń co do wielkości sił kotew, a zatem należy pracować z realistycznymi wartościami.

Wpływ wody ponad powierzchnią gruntu rozważany jest jako zbiór sił działających prostopadle na powierzchnię gruntu razem z ciśnieniem porowym wzdłuż powierzchni poślizgu, które jest wyprowadzane w zależności od głębokości powierzchni poślizgu mierzonej od zwierciadła wody gruntowej. Siły działające na powierzchnię gruntu uwzględniane są w równaniu momentu równowagi jako siły działające na ramionach mierzonych w kierunku środka powierzchni poślizgu.

Optymalizacja kołowej powierzchni poślizgu oznacza wyszukiwanie najbardziej krytycznej powierzchni (tj. najniższego współczynnika bezpieczeństwa SF).

Fellenius / Petterson

Ta najprostsza metoda paskowa przyjmuje tylko ogólne równanie równowagi momentów, w odniesieniu do środka powierzchni poślizgu. Siły tnące i normalne pomiędzy blokami X_i i E_i nie są uwzględniane. Współczynnik bezpieczeństwa SF wynika bezpośrednio z podanego niżej wzoru:

$$FS = \frac{1}{\sum_i W_i.\sin\alpha_i} \sum_i \left[c_i.l_i + \left(N_i - u_i.l_i \right) \tan\varphi_i \right]$$

gdzie:

- u_i - Ciśnienie porowe w bloku
- c_i,φ_i - Efektywne wartości parametrów gruntu
- W_i - ciężar bloku
- N_i - Siła normalna na segmencie powierzchni poślizgu
- α_i - Nachylenie segmentu powierzchni poślizgu
- l_i - Długość segmentu powierzchni poślizgu

Literatura:

Petterson KE (1955) The early history of circular sliding surfaces. Geotechnique 5:275-296.

Bishop

Uproszczona metoda Bishop'a przyjmuje zerowe siły X_i między blokami. Metoda oparta jest na spełnieniu równania równowagi momentów i równania równowagi sił pionowych.

Współczynnik bezpieczeństwa SF znajdowany jest poprzez kolejne iteracje podanego poniżej wyrażenia:

$$FS = \frac{1}{\sum_i W_i.\sin\alpha_i} \sum_i \frac{c_i.b_i + \left(W_i - u_i.b_i \right) \tan\varphi_i}{\cos\alpha_i + \frac{\tan\varphi_i.\sin\alpha_i}{FS}}$$

where:

- u_i - ciśnienie porowe w bloku
- c_i,φ_i - efektywne wartości parametrów gruntu
- W_i - ciężar bloku
- α_i - nachylenie segmentu powierzchni poślizgu
- b_i - pozioma szerokość bloku

Literatura:

Bishop, A.W. (1955) "The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes", Geotechnique, Great Britain, Vol. 5, No. 1, Mar., pp. 7-17

Spencer

Metoda ta przyjmuje nie-zerowe siły między blokami. Wypadkowe sił tnących i normalnych, oddziaływujących między blokami, mają stałe nachylenie. Metoda Spencera jest metodą rygorystyczną, w tym sensie, że spełnione są wszystkie trzy równania równowagi - równania równowagi sił w kierunkach poziomym i pionowym, oraz równanie równowagi momentów. Współczynnik bezpieczeństwa SF znajdowany jest poprzez iterację nachylenia sił działających między blokami i współczynnika SF. Dalsze szczegóły można znaleźć w rozdziale opisującym analizę wielokątnej powierzchni poślizgu.

Janbu

Metoda Janbu przyjmuje nie-zerowe siły między blokami. W metodzie tej spełnione są równania równowagi sił w kierunkach poziomych i pionowych, dla wszystkich bloków, oraz równanie równowagi momentów dla wszystkich pasków, oprócz ostatniego (szczytowego). Założeniem w tej metodzie jest wybór pozycji sił działających między blokami. Współczynnik bezpieczeństwa SF znajdowany jest poprzez iterację sił działających między blokami i wyliczanie nachylenia tych sił. Dalsze szczegóły można znaleźć w rozdziale opisującym analizę wielokątnej powierzchni poślizgu.

Morgenstern-Price

Metoda ta przyjmuje nie-zerowe siły między blokami. Wypadkowe sił tnących i normalnych działających między blokami mają różne nachylenie dla każdego bloku (kształt funkcji półsinusoidalnej). Metoda Morgenstern-Price'a jest metodą rygorystyczną, w tym sensie, że spełnione są wszystkie trzy równania równowagi - równania równowagi sił w kierunkach poziomym i pionowym, oraz równanie równowagi momentów. Współczynnik bezpieczeństwa SF znajdowany jest poprzez iterację nachylenia sił działających między blokami i współczynnika SF. Dalsze szczegóły można znaleźć w rozdziale opisującym analizę wielokątnej powierzchni poślizgu.

Shahunyants

Szczegółowy opis tej metody można znaleźć w analogicznym rozdziale dotyczącym analizy łamanej powierzchni poślizgu.

Metoda ITF (Imbalance Thrust Force Method)

Szczegółowy opis tej metody można znaleźć w analogicznym rozdziale dotyczącym analizy łamanej powierzchni poślizgu.

Optymalizacja kołowej powierzchni poślizgu

Celem procesu optymalizacji jest zlokalizowanie powierzchni poślizgu z najmniejszym współczynnikiem stateczności zbocza SF. Kołowa powierzchnia poślizgu określana jest za pomocą 3 punktów: dwa punkty na powierzchni gruntu oraz jeden wewnątrz gruntu. Każdy punkt na powierzchni posiada jeden stopień wolności, natomiast punkt wewnętrzny posiada dwa stopnie wolności. Powierzchnia poślizgu definiowana jest za pomocą czterech niezależnych parametrów. Wyszukanie takiego zbioru parametrów, który daje maksymalne wyniki, wymaga analizy wrażliwości zapewniającej macierz zmian parametrów, które umożliwiają szybką i niezawodną procedurę optymalizacji. Powierzchnia poślizgu, która daje najmniejszy

współczynnik stateczności zbocza, jest uważana za krytyczną. Za pomocą tego podejścia zazwyczaj udaje się znaleźć krytyczną powierzchnię poślizgu bez napotkania problemu wpadnięcia w lokalne minimum podczas iteracji. Wydaje się zatem być odpowiednim punktem początkowym przy optymalizacji ogólnych powierzchni poślizgu, takich jak łamane powierzchnie poślizgu.

Proces optymalizacji można ograniczyć w różny sposób. Jest to szczególnie przydatne, jeżeli wyszukiwana powierzchnia ma przechodzić przez pewien obszar lub go pomijać. Ograniczenie dla procesu optymalizacji można określić jako zbiór segmentów w gruncie. Następnie, wymusza się obejście tych segmentów przez zoptymalizowaną powierzchnię poślizgu:

1. Ograniczenia optymalizacji są określane jako zbiór segmentów w gruncie. Następnie, wymusza się obejście tych segmentów przez zoptymalizowaną powierzchnię poślizgu.
2. Innym sposobem ograniczenia procesu optymalizacji jest ustalenie położenia lewego lub prawego końcowego punktu optymalizowanej powierzchni poślizgu (uniemożliwienie przesunięcia jednego z tych punktów)

W metodzie ITF, nadwyżka sily przesuwającej może być wykorzystana jako kryterium optymalizacji. W takim przypadku, proces optymalizacji poszukuje powierzchni poślizgu o maksymalnej wartości nadwyżki siły przesuwającej F_n zamiast powierzchni poślizgu o minimalnym współczynniku bezpieczeństwa FS. To kryterium optymalizacji może mieć zastosowanie jeśli aktualna powierzchnia poślizgu nie jest akceptowalna. Dla akceptowalnych powierzchni poślizgu proces optymalizacji wykorzystuje wyłącznie jako kryterium współczynnik stateczności FS.

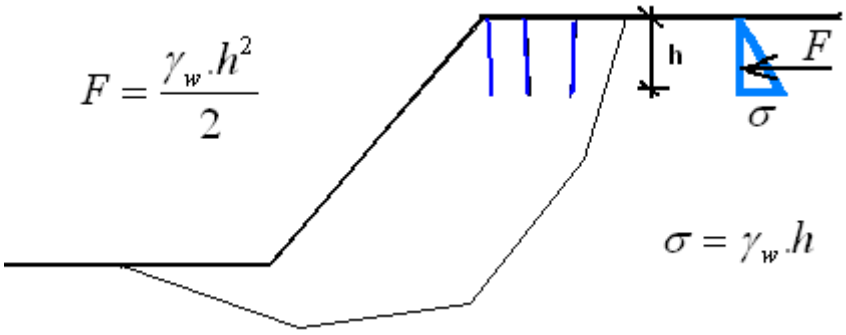
Foliacja

Istnieje możliwość wprowadzenia gruntów z foliacją. Oznacza to, że wzdłuż kąta określonego jako pewien przedział, który z kolei wprowadzany jest jako jeden z parametrów gruntu <***Zbocze początkowe***; ***Zbocze końcowe***> grunt posiada znacznie różne (zazwyczaj gorsze) parametry (c i φ).

Jeżeli zbocze segmentu powierzchni poślizgu lub zbocze warstwy pomiędzy blokami jest zawarte w przedziale <***Zbocze początkowe***; ***Zbocze końcowe***>, wówczas analiza kontynuowana jest ze zmodyfikowanymi parametrami c i φ.

Wpływ rys rozciąganych

Program umożliwia uwzględnienie wpływu rys rozciąganych, które występują na powierzchni gruntu i są wypełnione wodą h. Jedynym parametrem wejściowym jest głębokość rys rozciąganych. Wpływ rys jest uwzględniany przy obliczaniu sił normalnych i ścinających w przekrojach powierzchni poślizgu zawierającej rysy - w przekroju z rysami rozciąganymi, parametry wytrzymałości na ścinanie są ustawione na zero ($c = 0$, $\varphi = 0$). Następnie, siła pozioma F na skutek obecności wody w rysie rozciąganej wprowadzana jest do analizy (patrz rysunek):

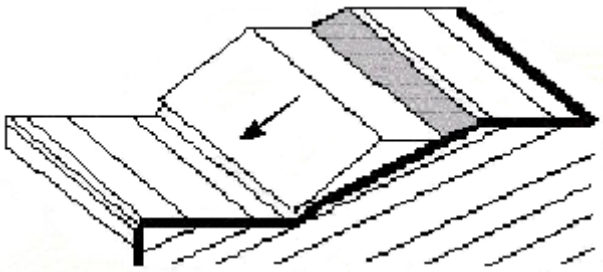


Wpływ rys rozciąganych

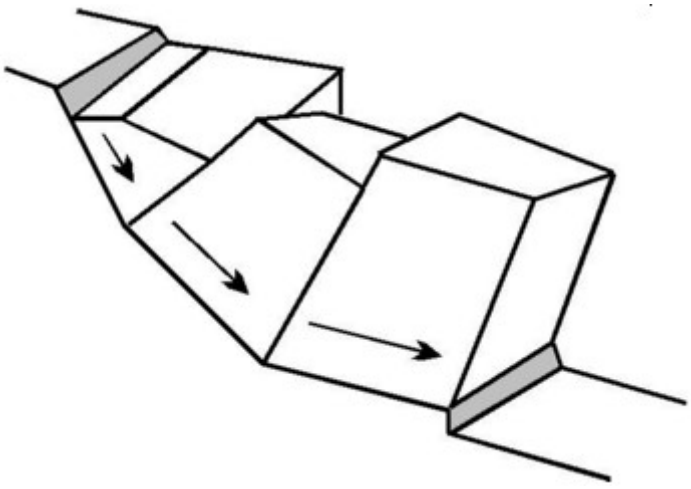
Stateczność zbocza skalnego

Program do analizy zbocza skalnego obejmuje następujące rodzaje uszkodzeń lica skały:

- Poślizg na płaskiej powierzchni poślizgu
- Przemieszczenie na łamanej powierzchni poślizgu
- Oderwanie klina skalnego



Uszkodzenie lica skały na skutek przesunięcia po płaskiej powierzchni poślizgu



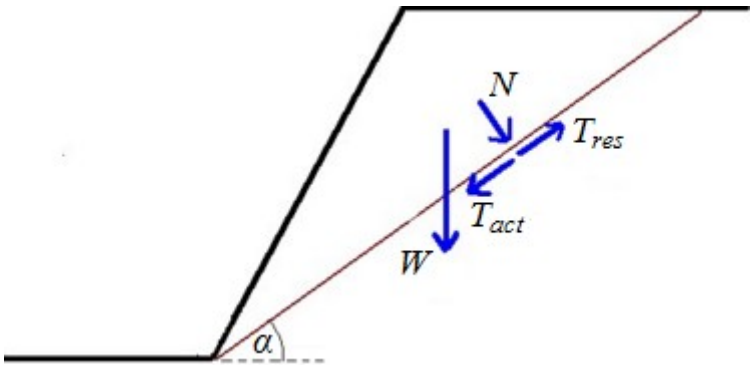
Przesunięcie po łamanej powierzchni poślizgu



Oderwanie klina skalnego

Płaska powierzchnia poślizgu

Uszkodzenie płaskiej powierzchni poślizgu objawia się w postaci bloku skalnego przesuwającego się w dół tej powierzchni. Klin skalny można zdefiniować z uwzględnieniem rys rozciąganych. Procedura rozwiązania stateczności wymaga wyznaczenia **siły normalnej** N działającej na powierzchnię poślizgu, **siły ścinającej** T_{act} (**aktywnej**) i **siły utrzymującej** T_{res} (**biernej**).



Siły na powierzchni poślizgu

Parametry wytrzymałości na ścinanie i siła normalna N działająca na powierzchnię poślizgu są głównymi danymi wejściowymi do wyznaczenia sił oporu na ścinanie T_{res}. Na obliczenie **aktywnej siły ścinającej** T_{act} oraz siły normalnej N wpływa dalej ciężar własny bloku (zależy od geometrii i ciężaru objętościowego skały), kotwienia, obciążenia, wpływu wody i obciążeń sejsmicznych. Siły aktywna i normalna są wyznaczane jako suma wszystkich sił uwzględnionych w analizie.

Program oferuje kilka rodzajów płaskiej powierzchni poślizgu:

- gładka
- szorstka
- schodkowa

Powierzchnia poślizgu może być określona spękaniem tensyjnym.

Ostateczną weryfikację można przeprowadzić zgodnie z metodą analizy wybraną w ramce "Ustawienia".

Schodkowa powierzchnia poślizgu

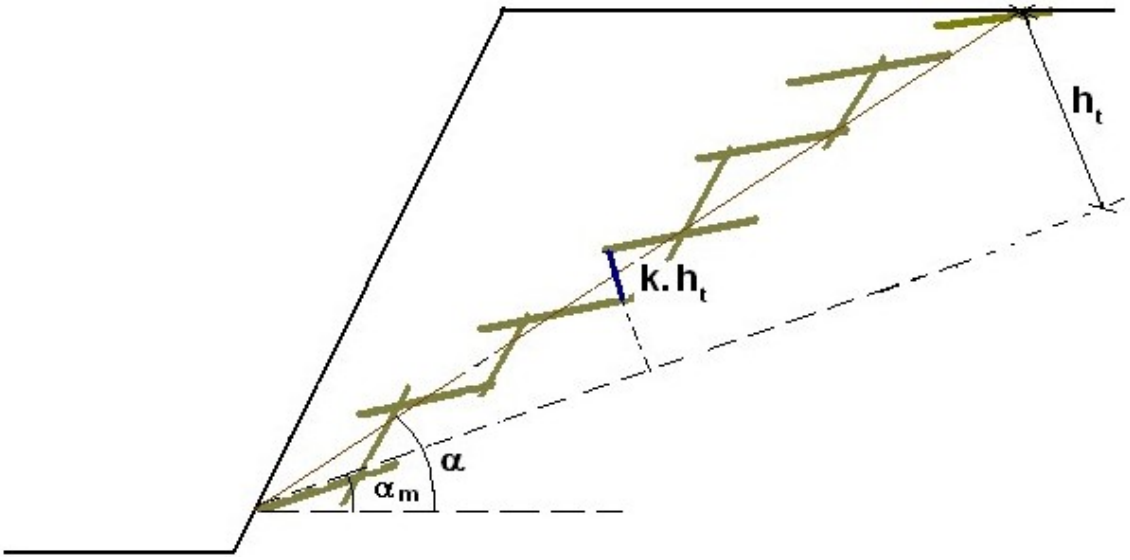
Jeżeli bryła skalna zawiera układ równoległych nieciągłych pęknięć nachylonych do górnego lica

skały, a drugi układ jest niewyróżniony, wówczas istnieje możliwość rozważenia formacji schodkowej (poszarpanej) powierzchni poślizgu w bryle skały. Powierzchnię tą można wprowadzić do programu za pomocą teorii Calla i Nicholas'a, która zwiększa opór na schodkowej powierzchni poślizgu o $\Delta\tau$.

$$\Delta\tau = \sigma_n \cdot tg(\nu) + T$$

$$T = \sum k \cdot h_t \cdot T_0$$

gdzie:
- σ_n - normalne naprężenie działające w kierunku normalnym do powierzchni poślizgu
- ν - kąt falistości
- T - efektywna wytrzymałość na ścinanie stopni w nienaruszonej skale
- k - część wysokości h_t powiązana ze schodkami nienaruszonej skały (nie utworzone przez drugorzędny układ płaszczyzn) $\sum k \in \langle 0,1 \rangle$
- h_t - normalna wysokość schodkowego klina spoczywającego na nachylonej powierzchni głównego układu nieciągłych płaszczyzn
- T_0 - wytrzymałość na rozciąganie nienaruszonej skały



Schodkowa powierzchnia poślizgu

Literatura:

W.S. Dershowitz, H.H. Einstein - Characterizing rock joint geometry with joint system models Journal Rock Mechanics and Rock Engineering, Springer Wien ISSN 0723-2632 , Issue Volume 21, Number 1 / January, 1988 Pages 21-51.

Wytrzymałość na rozciąganie skały

Wytrzymałość na rozciąganie T_e jest 20 do 30x mniejsza niż wytrzymałość skały na proste ściskanie σ_c.

Wytrzymałość na proste rozciąganie T_0 dla wybranych skał nienaruszonych [MPa]

Bazalt	*3 - 18*
Gnejs	*7 - 16*
Granit	*11 - 21*
Wapień	*3 - 5*
Marmur	*7 - 12*
Kwarcyt	*4 - 23*
Piaskowiec	*5 - 11*
Łupek	*5 - 12*
Łupek	*2 - 17*
Tuf	*2 - 4*

Szorstka powierzchnia poślizgu

Jeżeli rozważana jest powierzchnia szorstka (w skali 1 do $10\ m$) - istnieje możliwość uwzględnienia falistości powierzchni poślizgu poprzez kąt v:

$$v = \alpha - \min(\alpha_i)$$

gdzie: α - gradient powierzchni poślizgu

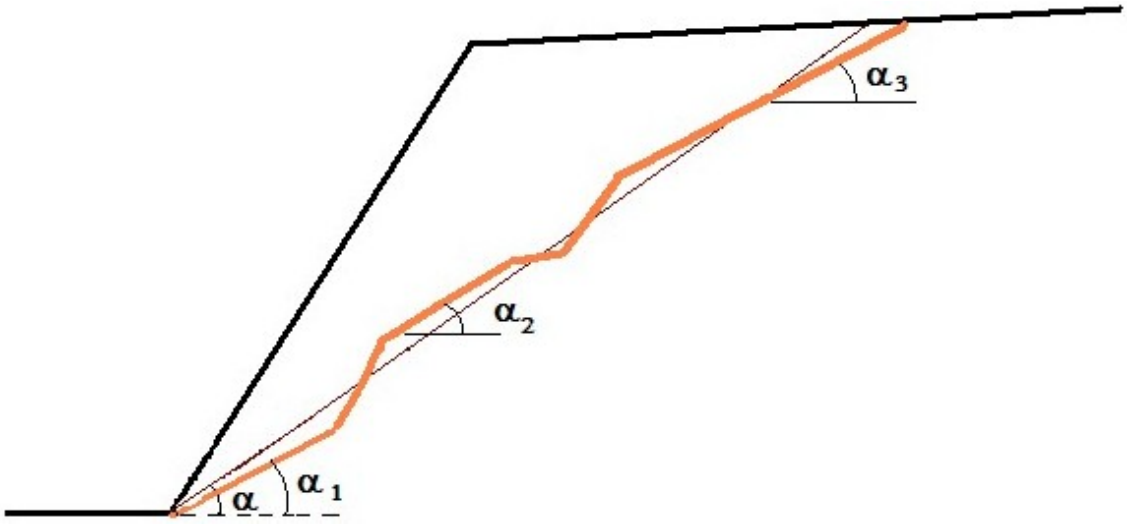
α_i - gradient n-tego uskoku powierzchni poślizgu

Nierówność zwiększa wytrzymałość na rozciąganie τ na powierzchni poślizgu o $\Delta\tau$:

$$\Delta\tau = \sigma_n \cdot tg(\upsilon)$$

gdzie: σn - normalne naprężenie działająca w kierunek normalnym do powierzchni poślizgu

v - kąt falistości



Szorstka powierzchnia poślizgu

Literatura:

Miller, S.M. (1988). Modeling Shear Strength at Low Normal Stresses for Enhanced Rock Slope Engineering, Proc. Of 39th Highway Geology Symp, 346-356.

Kotwienie zbocza skalnego

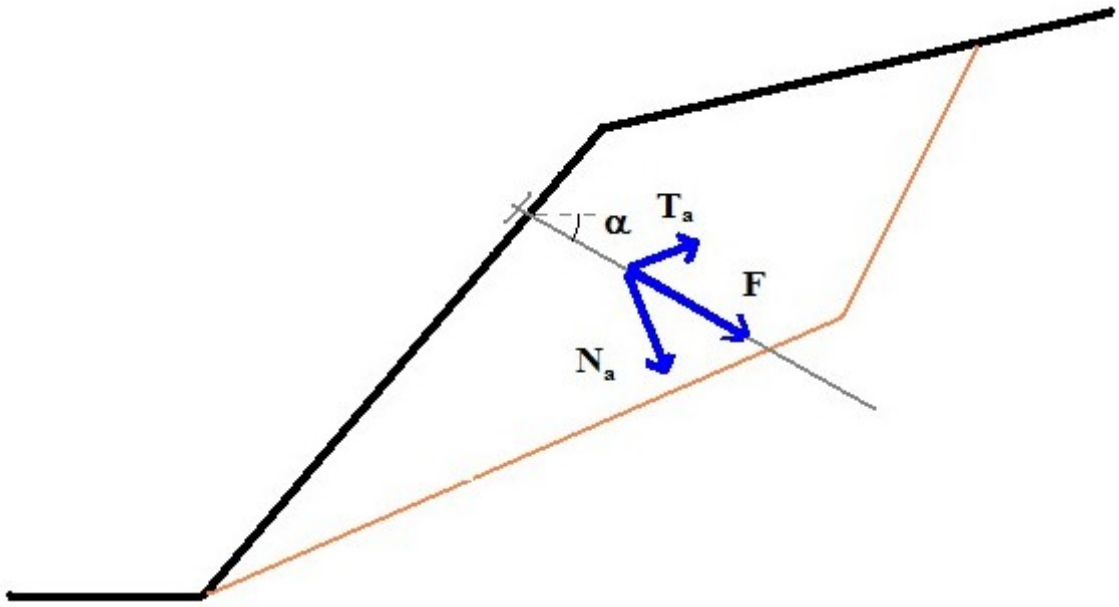
Istnieje możliwość zdefiniowania dwóch rodzajów kotew podczas przeprowadzania analizy stateczności zbocza na gładkiej powierzchni poślizgu:

Aktywne

Kotwy aktywne są reprezentowane przez kotwy sprężone, w przypadku których siły są aktywowane zanim poślizg bloku skalnego ma miejsce. Siła normalna zwiększa sprężenie normalne na powierzchni poślizgu, i jako taka również siły utrzymujące; styczna składowa siły normalnej jest dodawana albo odejmowana od sił (aktywnych) ścinających.

Pasywne

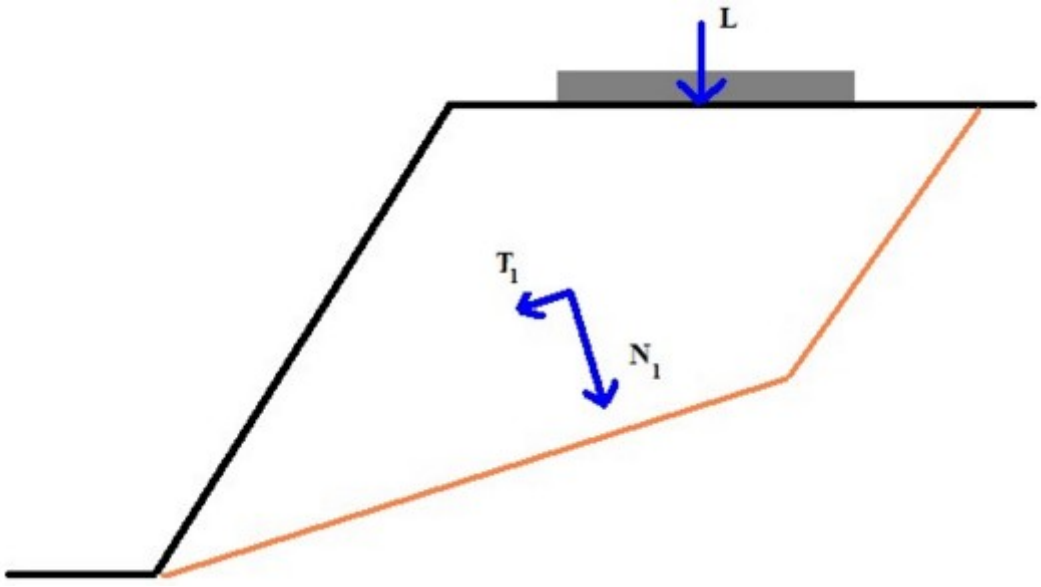
Kotwy pasywne są aktywowane przez przesuwający się blok skalny (tzn. kotwy niesprężone). Siła normalna zwiększa normalne sprężenie na powierzchni poślizgu i jako taka również siły utrzymujące; styczna składowa siły normalnej jest dodawana do sił utrzymujących.



Rozkład sił kotwy

Obciążenie zbocza skalnego

Najpierw wyznaczane jest wynikowe obciążenie. Normalna składowa siły wypadkowej zwiększa normalne naprężenie na powierzchni poślizgu, jak również siły utrzymujące T_{res}, styczna składowa jest dodawana lub odejmowana od sił (aktywnych) ścinających T_{act}.



Rozkład dodatkowego obciążenia

Wpływ wody działającej na powierzchnię poślizgu

Następujące opcje pozwalające uwzględnić wpływy wody dostępne są w programie:


Brak wody gruntowej, woda nie jest uwzględniana


Ciśnienie hydrostatyczne, ZWG nad podstawą skarpy


Ciśnienie hydrostatyczne, ZWG na spękaniu tensyjnym


Ciśnienie hydrostatyczne, ZWG na spękaniu tensyjnym


Ciśnienie hydrostatyczne, ciśnienie porowe tylko na spękaniu tensyjnym

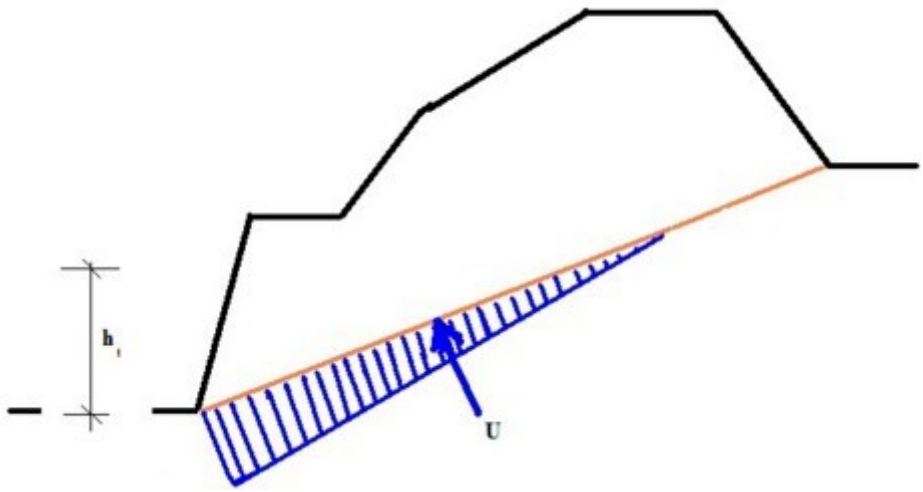

Własne definiowanie oddziaływania wody tylko na powierzchni poślizgu


Własne definiowanie ciśnienia porowego

Zwierciadło wody gruntowej nad podstawą skarpy


Cieśnienie hydrostatyczne, zwierciadło wody gruntowej nad podstawą skarpy

Powierzchnia poślizgu znajduje się całkowicie lub częściowo poniżej zwierciadła wody gruntowej (woda nie może wypływać z powierzchni poślizgu), maksymalne ciśnienie porowe jest u podstawy lica.



Ciśnienie hydrostatyczne na powierzchni poślizgu

Wartość ciśnienia porowego u nasady skarpy jest podana przez:

$$u = \gamma_w h_t$$

gdzie: γ_w - ciężar objętościowy wody

h_t - wysokość zwierciadła wody gruntowej nad podstawą skarpy

Wypadkowa siła ściskająca wody działająca w kierunku normalnym do powierzchni poślizgu jest dana przez:

$$U = \frac{1}{2}\gamma_w h_t \left(\frac{h_t}{sin\alpha} \right)$$

gdzie: γ_w - ciężar objętościowy wody

h_t - wysokość zwierciadła wody gruntowej nad podstawą skarpy

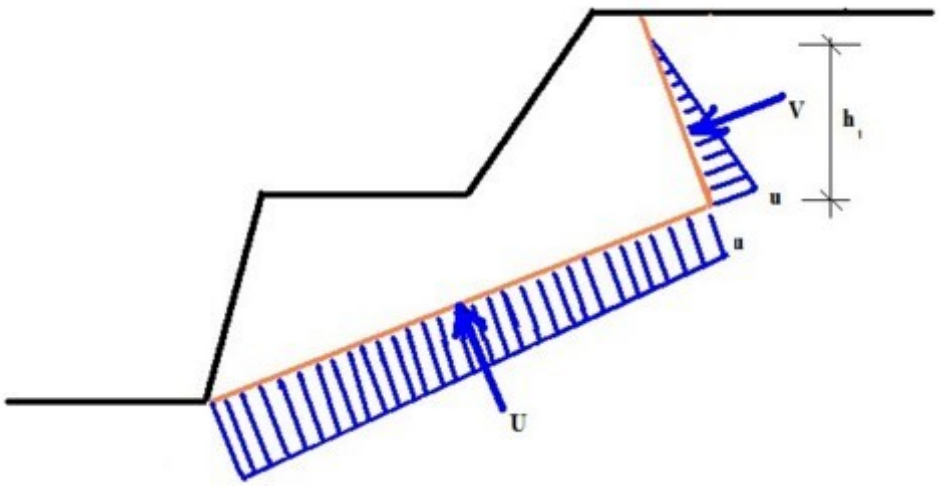
α - ugięcie powierzchni poślizgu od poziomu

Zwierciadło wody gruntowej na spękaniu tensyjnym



Zwierciadło wody gruntowej na spękaniu tensyjnym

Powierzchnia poślizgu znajduje się całkowicie poniżej zwierciadła wody gruntowej, które albo przecina spękanie tensyjne lub jest wyrównane z terenem, maksymalna wartość ciśnienia porowego znajduje się u nasady lica.



Ciśnienie hydrostatyczne na powierzchni poślizgu i na spękaniu tensyjnym, maks wartość u nasady skarpy

Wartość ciśnienia porowego u na przecięciu powierzchni poślizgu i spękania tensyjnego jest wyznaczana z:

$$u = \gamma_w h_t$$

gdzie: γ_w - ciężar jednostkowy wody

h_t - wysokość zwierciadła wody gruntowej na linią przecięcia powierzchni poślizgu i spękania tensyjnego

Wypadkowa siła ściskającą wody V działająca w kierunku normalnym do spękania tensyjnego jest wyznaczana z:

$$V = \frac{1}{2}\gamma_w h_t \left(\frac{h_t}{cos\varphi} \right)$$

gdzie:
- γ_w - ciężar jednostkowy wody
- h_t - wysokość zwierciadła wody gruntowej na linią przecięcia powierzchni poślizgu i spękania tensyjnego
- φ - ugięcie spękania tensyjnego po pionu

Wartość ciśnienia hydrostatycznego u_1 u podstawy skarpy jest wyznaczana z:

$$u_1 = \gamma_w H_w$$

gdzie:
- γ_w - ciężar jednostkowy wody
- H_w - wysokość zwierciadła wody gruntowej nad podstawą skarpy

Wypadkowa siła ściskająca wody U działająca w kierunku normalnym do powierzchni poślizgu jest wyznaczana z:

$$U = \frac{1}{2}\left(u + u_1\right)\left(\frac{H_w - h_t}{sin\alpha} \right)$$

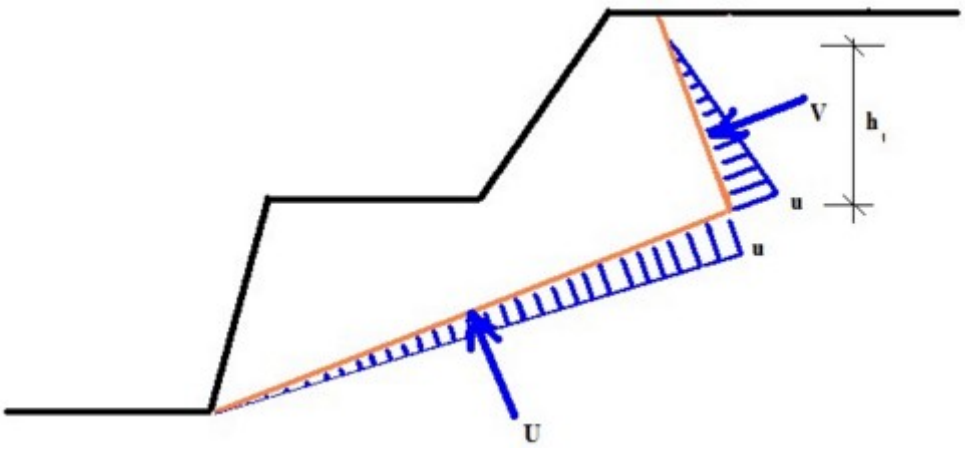
gdzie:
- u - ciśnienie porowe działające na linię przecięcia powierzchni poślizgu i spękania tensyjnego
- u_1 - ciśnienie porowe u podstawy skarpy
- h_t - wysokość zwierciadła wody gruntowej nad linią przecięcia powierzchni poślizgu i spękania tensyjnego
- α - nachylenie powierzchni poślizgu od poziomu
- H_w - wysokość zwierciadła wody gruntowej nad podstawą skarpy

Zwierciadło wody gruntowej na spękaniu tensyjnym



Zwierciadło wody gruntowej na spękaniu tensyjnym

Powierzchnia poślizgu znajduje się całkowicie poniżej zwierciadła wody gruntowej, które przecina spękanie tensyjne lub jest wyrównane z terenem (woda może wypływać u podstawy zbocza). Maksymalna wartość wyporu znajduje się na przecięciu spękania tensyjnego i powierzchni poślizgu.



Ciśnienie hydrostatyczne na powierzchni poślizgu i na spękaniu tensyjnym

Wartość ciśnienia porowego u na przecięciu powierzchni poślizgu i spękania tensyjnego jest wyznaczana z:

$$u = \gamma_w h_t$$

gdzie: γ_w - ciężar objętościowy wody

h_t - wysokość zwierciadła wody gruntowej nad linią przecięcia powierzchni poślizgu i spękania tensyjnego

Wypadkowa siła ściskająca wody V działająca w kierunku normalnym do spękania tensyjnego jest wyznaczana z:

$$V = \frac{1}{2}\gamma_w h_t \left(\frac{h_t}{cos\varphi} \right)$$

gdzie: γ_w - ciężar objętościowy wody

h_t - wysokość zwierciadła wody gruntowej nad linią przecięcia powierzchni poślizgu i spękania tensyjnego

φ - ugięcie spękania tensyjnego od pionu

Wypadkowa wartość ciśnienia porowego u_1 u podstawy skarpy wynosi zero.

Wypadkowa siła ściskająca wody V działająca w kierunku normalnym do spękania tensyjnego jest wyznaczana z:

$$U = \frac{1}{2}u_1 \left(\frac{H_w - h_t}{sin\alpha} \right)$$

gdzie: u - ciśnienie porowe na linię przecięcia powierzchni poślizgu i spękania tensyjnego

h_t - wysokość zwierciadła wody gruntowej nad linią przecięcia powierzchni poślizgu i spękania tensyjnego

α - ugięcie spękania tensyjnego od poziomu

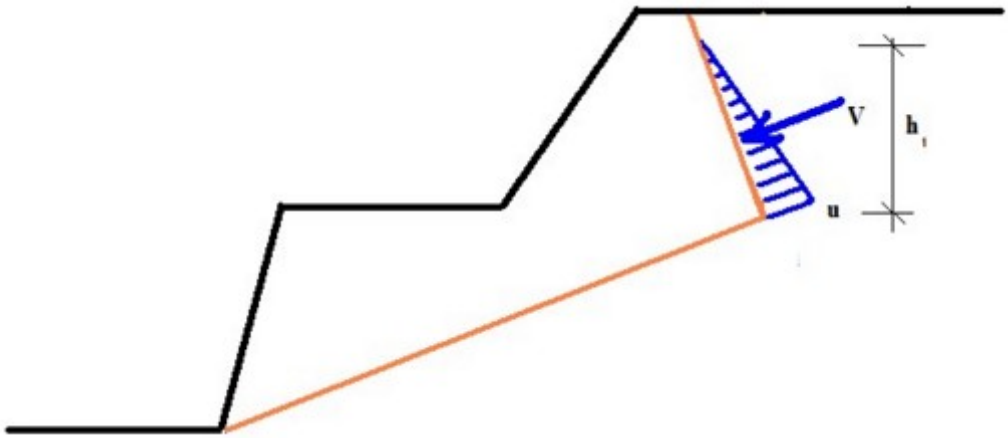
H_w - wysokość zwierciadła wody gruntowej nad podstawą skarpy

Ciśnienie porowe tylko na spękaniu tensyjnym



Ciśnienie porowe tylko na spękaniu tensyjnym

Powierzchnia poślizgu jest całkowicie sucha (infiltracja nie jest możliwa); zwierciadło wody gruntowej przecina spękanie tensyjne albo jest wyrównane z terenem, maksymalna wartość ciśnienia porowego znajduje się na przecięciu powierzchni poślizgu i spękania tensyjnego.



Woda działająca tylko na spękanie tensyjne

Wartość ciśnienia porowego u na przecięciu powierzchni poślizgu i spękania tensyjnego jest wyznaczana z:

$$u = \gamma_w h_t$$

gdzie: γ_w - ciężar objętościowy wody

h_t - wysokość zwierciadła wody gruntowej nad linią przecięcia powierzchni poślizgu i spękania tensyjnego

Wypadkowa siła ściskająca wody V działająca w kierunku normalnym do spękania tensyjnego jest wyznaczana z:

$$V = \frac{1}{2}\gamma_w h_t \left(\frac{h_t}{cos\varphi} \right)$$

gdzie: γ_w - ciężar objętościowy wody

h_t - wysokość zwierciadła wody gruntowej nad linią przecięcia powierzchni poślizgu i spękania tensyjnego

φ - nachylenie spękania tensyjnego od pionu

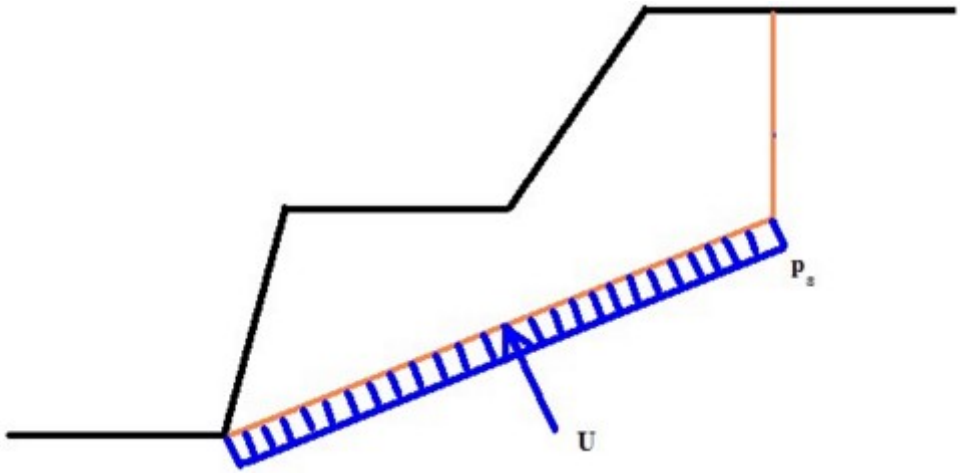
Wartość parcia wody działającej na powierzchnię poślizgu równa się zero.

Własne definiowanie oddziaływania wody tylko na powierzchni poślizgu



Własne definiowanie oddziaływania wody tylko na powierzchni poślizgu

Program umożliwia ręczne wprowadzenie wartości ciśnienia porowego p_S w $[kPa]$ działającego na powierzchnię poślizgu pod warunkiem, że rozkład ciśnienia jest stały.



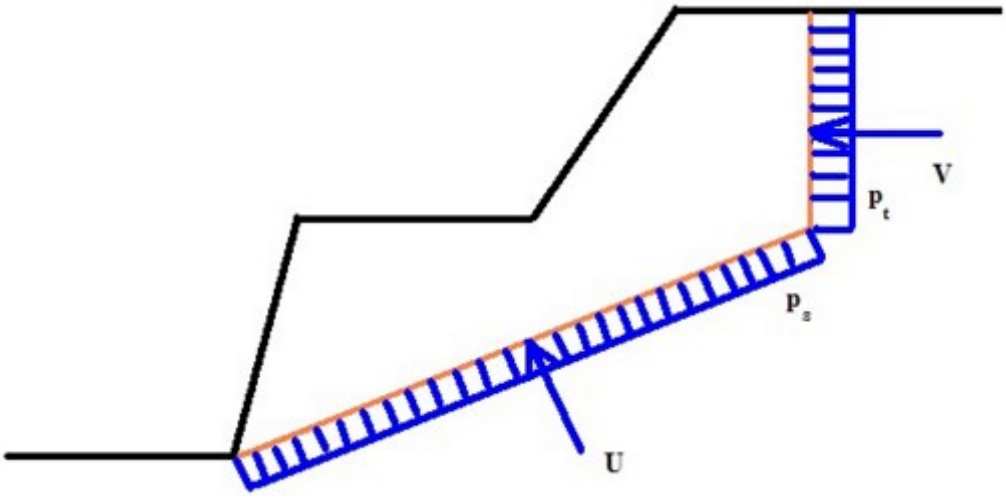
Wartość ciśnienia porowego działającego na powierzchni poślizgu

Własne definiowanie ciśnienia porowego



Własne definiowanie ciśnienia porowego

Program umożliwia ręczne definiowanie wartości ciśnienia porowego p_t w $[kPa]$ działającego na powierzchni poślizgu oraz p_t w $[kPa]$ działającego na spękaniu tensyjnym.



Wartości ciśnienia porowego działającego na powierzchnię poślizgu i na spękanie tensyjne

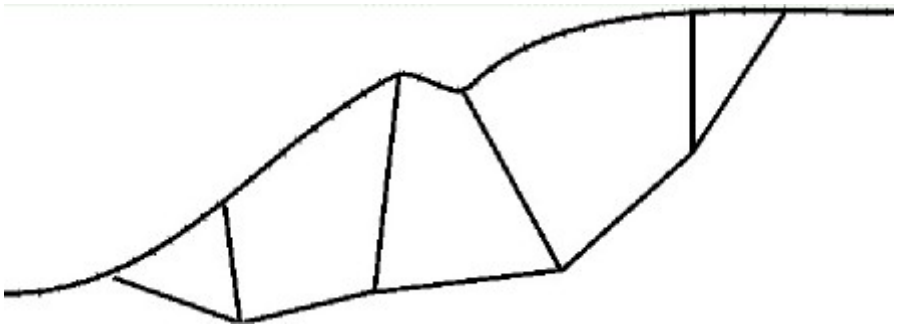
Łamana powierzchnia poślizgu

Program przeprowadza obliczenia stateczności bloku skalnego przemieszczającego się wzdłuż łamanej powierzchni poślizgu. Ze względu na złożoność ogólnego rozwiązania, program dopuszcza następujące założenia:

- ruch bloków skalnych jest tylko przesuwny
- bloki przesuwają się wzdłuż łamanej powierzchni poślizgu utworzonej przez płaskie powierzchnie lub powierzchnie o umiarkowanej falistości,
- bloki skał są podzielone ciosami o znanych kierunkach,
- rzeczywiste odkształcenie masywu skalnego wewnątrz bloków jest pomijalne,
- zniszczenie na łamanej powierzchni poślizgu oraz wzdłuż ciosów opisane jest za pomocą kryterium Mohr'a-Coulomb'a,
- ten sam współczynnik bezpieczeństwa jest zakładany dla całej łamanej powierzchni poślizgu,
- wszystkie bloki skalne stykają się (nie dopuszcza się otwarcia ciosów),
- wytrzymałości na ścinanie na łamanej powierzchni poślizgu mają ten sam znak.

Parametry wytrzymałości na ścinanie Mohr'a-Coulomb'a na powierzchni poślizgu oraz na ciosach rozdzielających poszczególne bloki są głównymi danymi wejściowymi do wyznaczania stateczności bloków skalnych. Na rozwiązanie wpływa ponadto ciężar bloku (zależny od geometrii bloku i ciężaru objętościowego skały), kotwienie, obciążenie działające na blok, wpływ wody oraz obciążenia sejsmiczne.

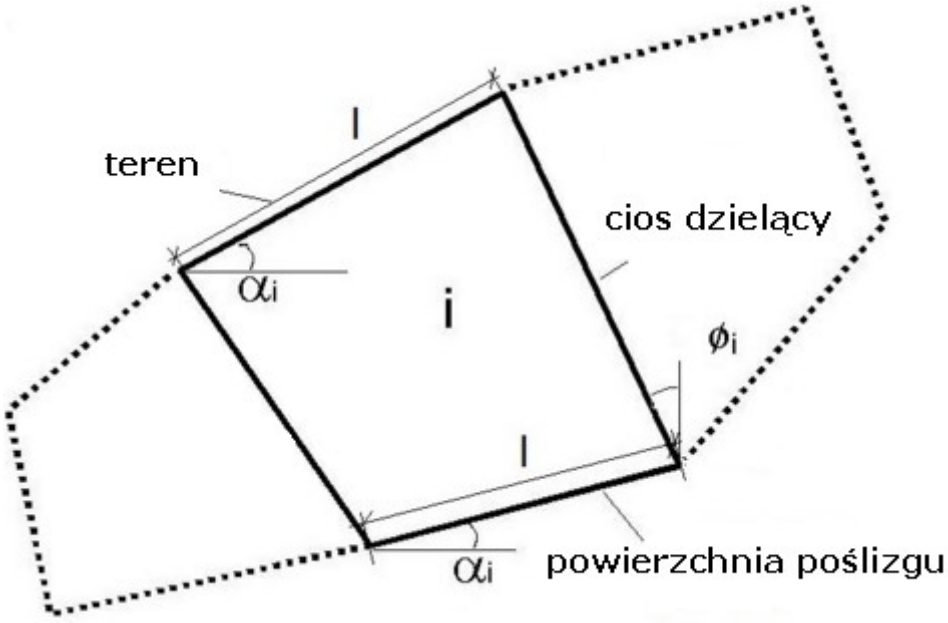
Podstawowe dane teoretyczne rozwiązania zostały opisane poniżej.



Łamana powierzchnia poślizgu

Geometria bloku skalnego

Geometria bloku wyznaczana jest gradientem α, długością danej powierzchni poślizgu l oraz gradientem rozdzielających ciosów φ oddzielających kolejny blok, jak również gradientem α i długością l górnego lica zewnętrznej powierzchni zbocza skalnego (profil naturalny). Długości płaszczyzn można zdefiniować całkowitą długością bądź długościami ich pionowych i poziomych rzutów. Należy zapewnić warunek, że wszystkie bloki skalne stykają się (otwarcie pomiędzy ciosami jest niedopuszczalne).



Geometria n-tego elementu

Siły w kotwach, obciążenie

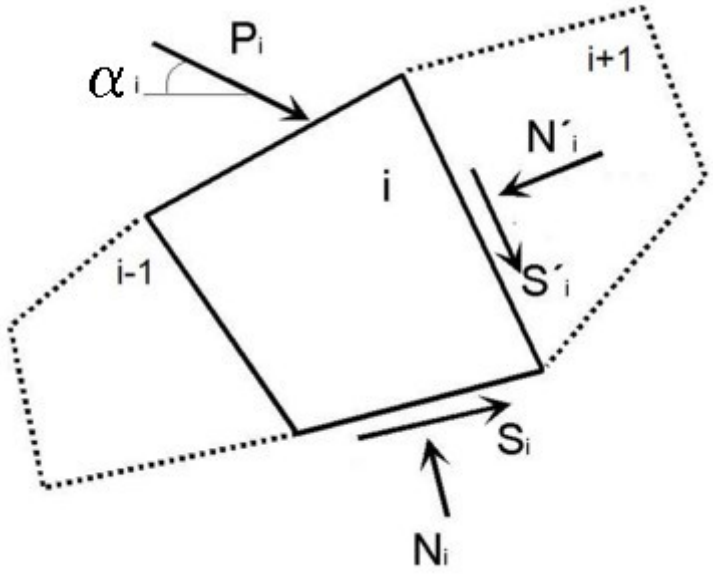
Istnieje możliwość zdefiniowania sił w kotwach i obciążeń bloków skalnych. Następnie, wyznaczana jest wypadkowa sił P_i $[kN/m]$ działająca na i-ty blok. Wszystkie siły działające na blok, łącznie z parciem wody na powierzchnię poślizgu oraz na ciosy, są uwzględniane.

Obciążenie działające na blok

Istnieje możliwość wprowadzenia powierzchniowego, pasmowego i trapezowego obciążenia terenu. Program następnie wyznacza ich wpływ na poszczególne bloki skalne.

Siły w kotwach

Zastosowana siła w kotwach jest ustawiana na 1 m bieżący na podstawie określonego poziomego rozmieszczenia kotew.



Zewnętrzne siły działające na n-ty element

Wpływ wody

Wpływ wody przy łamanej powierzchni poślizgu można modelować z wykorzystaniem następujących opcji: **dowolny kształt ZWG** (Zwierciadło Wody Gruntowej), **poziome ZWG** lub bezpośrednio **oddziaływanie wody na bloki** skalne.

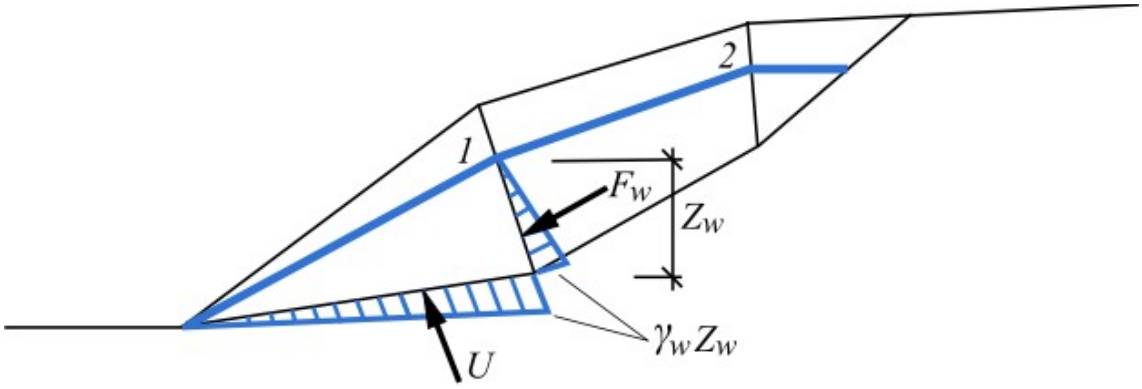
Dowolny kształt ZWG

Dowolny kształt ZWG definiuje się w postaci wieloboku. Ciśnienie porowe (naprężenie) na powierzchnię poślizgu uwzględniane jest liniowo zgodnie z równaniem: $u = \gamma_w * z_w$.

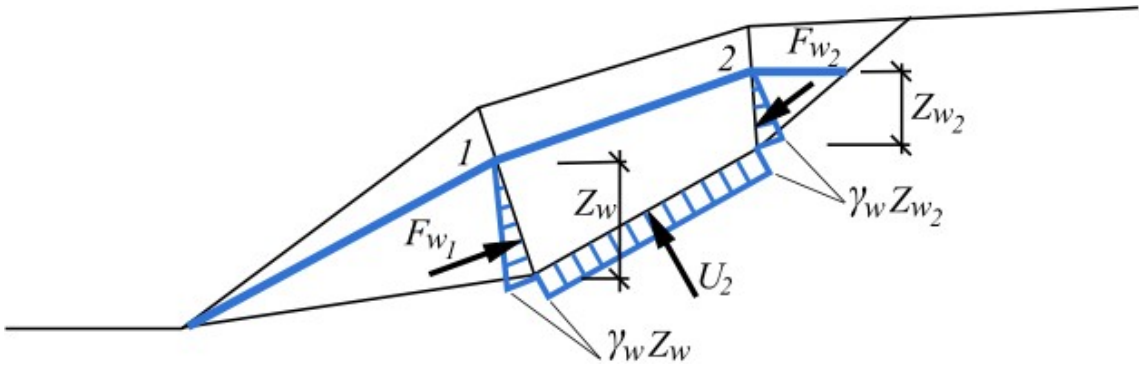
gdzie: γ_w - ciężar objętościowy wody

z_w - linia łącząca punkty (w węzłach), w których jest poziom wody

Siły wypadkowe U (siła oddziaływania wody gruntowej na powierzchnię poślizgu) lub F_v (siła oddziaływania wody gruntowej na wewnętrzną powierzchnię poślizgu w węzłach znajdujących się pod wodą, na metr bieżący szerokości) wyznaczane są z wykresów ciśnień porowych.



Siły oddziaływania wody gruntowej na blok - woda może swobodnie wypływać ze szczelin (ciosów)



Siły oddziaływania wody gruntowej na blok - woda nie może swobodnie wypływać ze szczelin (ciosów)

Poziome ZWG

Poziome ZWG definiuje się podając stałą wysokość h_w powyżej podstawy zbocza skalnego (od początku układu współrzędnych). Wpływ wody uwzględniany jest od poziomu wody gruntowej (ZWG) do wybranego punktu na linii pionowej.

Oddziaływanie wody bezpośrednio na bloki

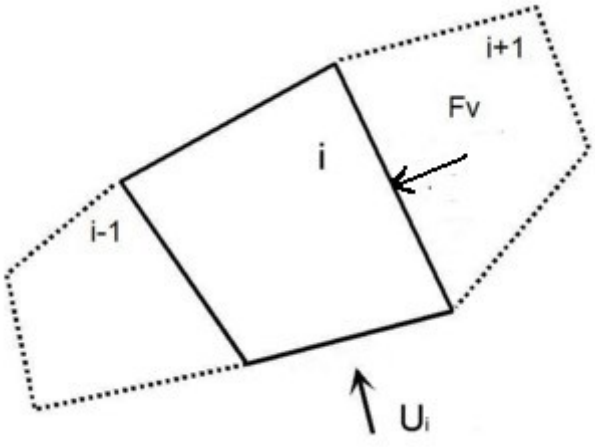
Parcie wody może być również definiowane bezpośrednio wzdłuż ciosów lub na powierzchnię poślizgu. Definiowane jest wówczas jako obciążenie zewnętrzne:

Oddziaływanie wody na wewnętrznej powierzchni poślizgu (woda pomiędzy blokami) *Fv*

Parcie wody na ciosach (woda między blokami) musi być wprowadzone do obliczeń, kiedykolwiek oczekuje się obecności wody w ciosach pomiędzy blokami. Stosuje się je, jako siłę wypadkową F_v w kN (uwzględniane jet parcie działające na zanurzoną część ciosu na 1 m bieżący).

Oddziaływanie wody na zewnętrznej powierzchni poślizgu (wypór) *U*

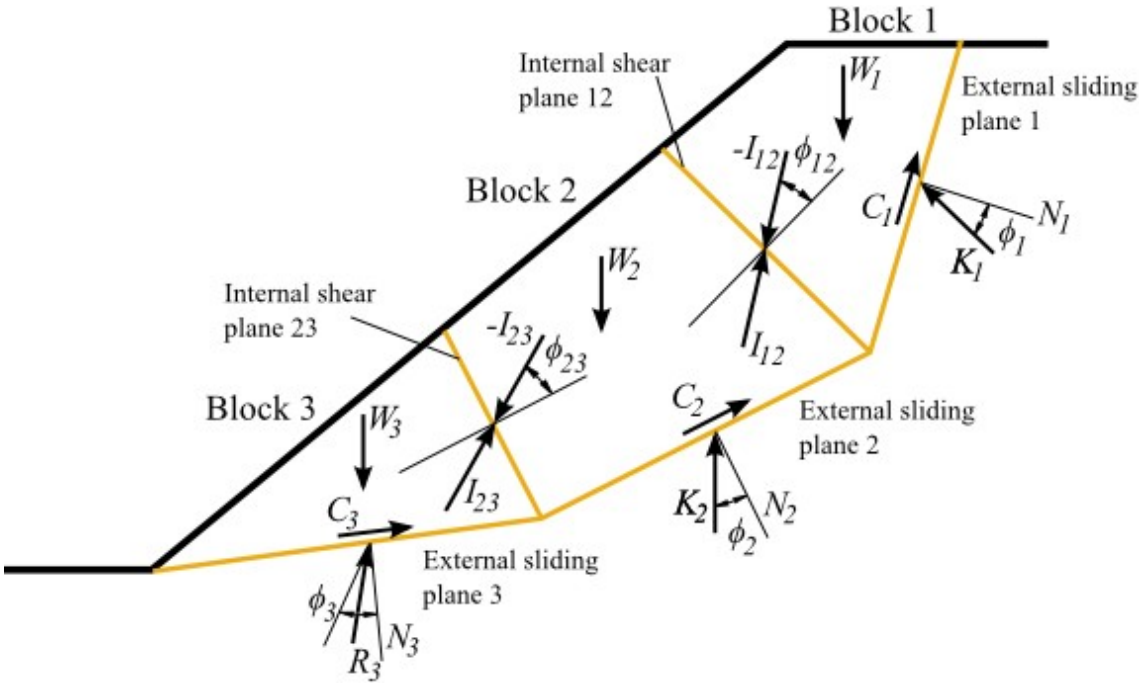
Parcie wody na zewnętrznej powierzchni poślizgu (wypór) definiowane jest jako ciśnienie hydrostatyczne na każdej powierzchni poślizgu wieloboku (zewnętrzna powierzchnia poślizgu) oddzielnie i wprowadzane jako obciążenie zewnętrzne (wypór) U w kN, które można zredukować w zależności od przepuszczalności powierzchni poślizgu (uwzględniane jest parcie działające na zanurzoną część ciosu na 1 m bieżący).



Siły wody działającej na blok skalny

Procedura rozwiązania

Zasada rozwiązania stateczności zbocza skalnego dla łamanej powierzchni poślizgu przedstawiona jest na poniższym rysunku.



Siły oddziałujące na wielo-blokowej powierzchni poślizgu

Przyjmując, że D_1 jest wektorem reprezentującym wypadkową wszystkich sił zaburzających oddziałujących na blok nr 1. Wektor ten opisany jest w sposób następujący:

$$D_1 = W_1 + E_1 + U_1 + V_1$$

gdzie: W_1 - wektor wynikający z ciężaru własnego bloku oddziałujący pionowo w dół

E_1 - wektor sił zewnętrznych pochodzących od trzęsień ziemi

U_1 - wektor sił wynikających z siły wyporu wody oddziałujący w kierunku normalnym do powierzchni poślizgu

V_1 - wektor sił wody w spękaniach tensyjnych

Jeśli N_1 oznacza wektor jednostkowy dla N_1 oraz kąt tarcia wewnętrznego dla płaszczyzny nr 1 wynosi ϕ_1, blok 1 będzie blokiem **aktywnym i niestatecznym** jeśli wypadkowa wypadnie poza stożkiem tarcia płaszczyzny nr 1, takiej że:

$$N_1 R_1 > \cos \phi_{m1}$$

gdzie: R_1 - wypadkowa siła jednostkowa netto sił zaburzających i utrzymujących oddziałujących na blok nr 1

N_1 - wektor jednostkowy reprezentujący normalną do płaszczyzny nr 1, skierowaną do góry

ϕ_{m1} - mobilized angle of internal friction

Dla bloku aktywnego, nastąpi przekazanie netto siły interakcji z bloku nr 1 do kolejnego,

niższego, bloku nr 2. Siła interakcji opisana jest wektorem I_{12} w postaci:

$$I_{12} = K_1 - R_1$$

gdzie: K_1 - siła reakcji dla bloku nr 1, która oddziałuje pod kątem ϕ_1 poza normalną do płaszczyzny poślizgu nr 1, dla warunku równowagi według rysunku 1.

Podobna analiza może być przeprowadzona dla bloku nr 2, z uwzględnieniem dodatkowo przeciwnej siły interakcji I_{12}. Wypadkowa siła netto R_2 zapisana jest w sposób następujący:

$$R_2 = D_2 + C_{m2} + B_2 - I_{12}$$

gdzie: D_2 - wypadkowa siła wszystkich sił zaburzających oddziałujących na blok nr 2

C_{m2} - wektor określający zmobilizowaną siłę tnącą

B_2 - wektor określający wypadkową sił zewnętrznych utrzymujących oddziałujacych na blok 1 wynikających z zastosowania kotew skalnych lub betonu natryskowego

I_{12} - wektor sily interakcji z bloku 1 na poniższy blok 2

Analiza stateczności prowadzona jest w sposób sekwencyjny dla wszystkich bloków, począwszy od bloku 1, położonego najwyżej do bloku najniższego n. Cały system bloków powinien być stateczny jeśli wypadkowa siła najniższego bloku leży wewnątrz stożka tarcia powierzchni poślizgu. Przykładowo, na rysunku nr 1, gdzie najniższy blok ma nr 3, cały system bloków będzie stateczny, przy blokach biernych podpierających bloki aktywne, przy założeniu że:

$$N_3 \, R_3 \leq \cos \phi_{m3}$$

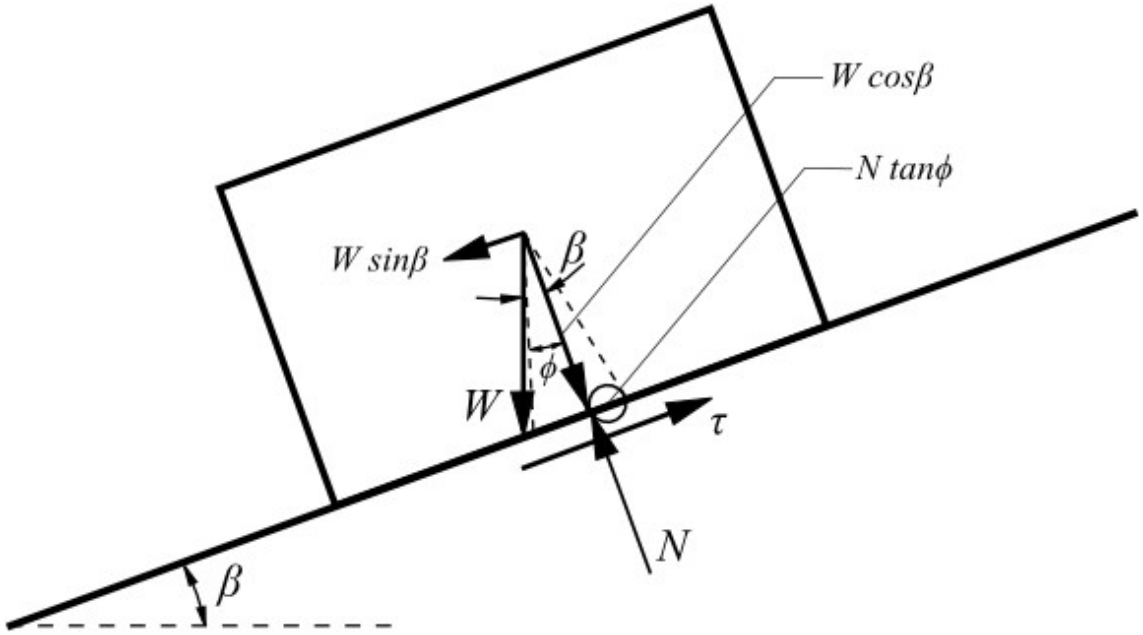
gdzie: R_3 - wypadkowa siła jednostkowa netto sił zaburzających i utrzymujących oddziałujących na blok nr 3

N_3 - wektor jednostkowy reprezentujący normalną do płaszczyzny nr 3, skierowaną do góry

ϕ_{m3} - zmobilizowany kąt tarcia wewnętrznego

Koncepcja stożka tarcia

Koncepcja stożka tarcia jest kombinacją metod kinematycznej i kinetycznej reprezentujących konwencjonalne rozwiązanie zagadnienia, wykorzystywane do wyszukania potencjalnej powierzchni poślizgu przy zniszczeniu. Podstawowa zasada zastosowanego rozwiązania przedstawiona jest na poniższym rysunku.



Koncepcja stożka tarcia dla bloku spoczywającego na pochylonej płaszczyźnie (łamana powierzchni poślizgu)

Siły utrzymujące opisane są za pomoca następującego wyrażenia:

$$N\,tg\,\phi = c\,A + W\,\cos\beta\,tg\,\phi$$

gdzie:
- A - powierzchnia bloku spoczywającego na powierzchni poślizgu
- c - spójność powierzchni poślizgu
- W - wektor wynikający z ciężaru własnego bloku (wypadkowa ciężaru własnego bloku skalnego))
- N normalna do powierzchni poślizgu
- ϕ - kąt tarcia wewnętrznego

Literatura:

Goodman, R. E.: Introduction to Rock Mechanics: John Wiley & Sons, New York, 1989, 562 p.

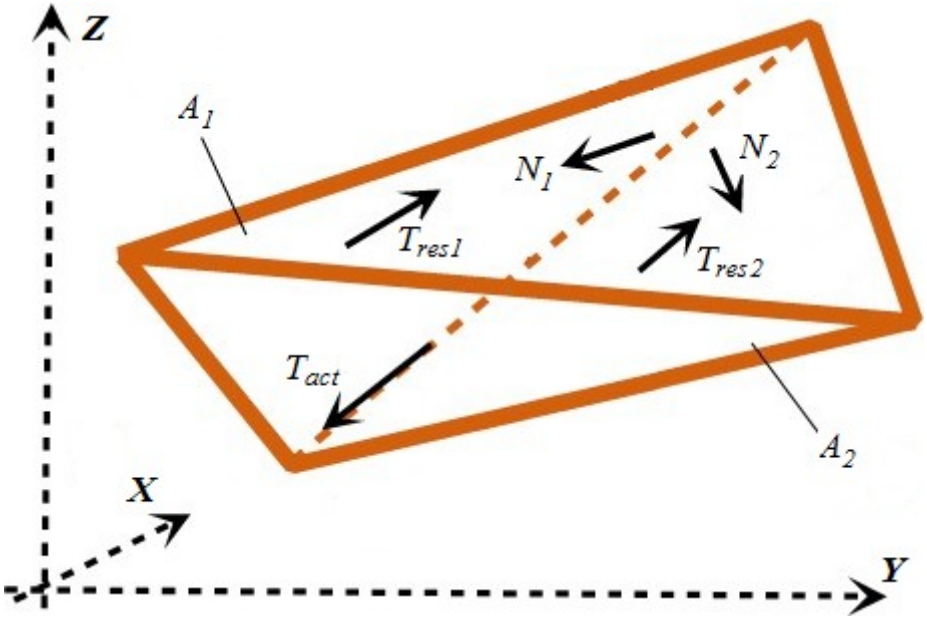
Klin skalny

Program przeprowadza analizę stateczności klina skalnego, który znajduje się pomiędzy dwoma powierzchniami (płaszczyzny) i przesuwa się w kierunku linii oddziaływania (podstawa) tych płaszczyzn. Klin skalny może być zdefiniowany ze spękaniem tensyjnym. Nachylenie tego przecięcia musi być znacznie większe niż kąt tarcia wewnętrznego wzdłuż płaszczyzn rozdzielających, podczas gdy linia opadająca obu płaszczyzn dzielących musi być skierowana do linii przecięcia. Zakłada się dalej, że podstawa znajduje się w statecznej bryle skalnej.

Rozwiązanie wymaga wyznaczenia **siły normalnej** N, **siły ścinającej** T_{act} (aktywna) oraz **siły utrzymującej (pasywna)** T_{res} działających na powierzchnie poślizgu A_1 i A_2. Siłę aktywną T_{act} i siłę normalną N uzyskuje się jako sumę wszystkich sił uwzględnionych w analizie po przeprowadzeniu rozkładu przestrzennego tych sił.

Parametry wytrzymałości na ścinanie Mohr'a-Coulomb'a oraz **siła normalna** N działająca na powierzchnię poślizgu są głównymi danymi wejściowymi do wyznaczania **sił utrzymujących** T_{res}. Na obliczenie aktywnej siły ścinającej T_{act} oraz siły normalnej N wpływa również ciężar klina skalnego (zależy od geometrii klina i ciężaru jednostkowego skały), kotwienie klina, obciążenie działające na klin, wpływ wody i obciążenia sejsmiczne.

Ostateczna weryfikacja może być przeprowadzona zgodnie z metodą analizy, której wyboru dokonuje się w ramce "Ustawienia".

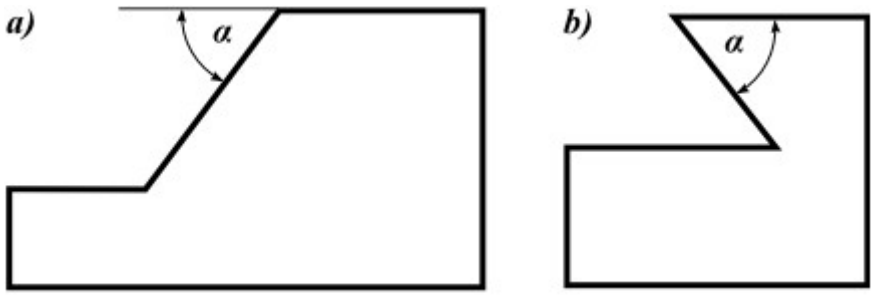


Składowe siły działające na klin skalny

Geometria klina skalnego

Wprowadzenie geometrii klina skalnego za pomocą nachylenia lub kierunku nachylenia ściany górnej wymaga zdefiniowania przestrzennego położenia lica skały, terenu (ściana górna), powierzchni poślizgu N_1 oraz N_2 i/lub spękania tensyjnego, takiego że:

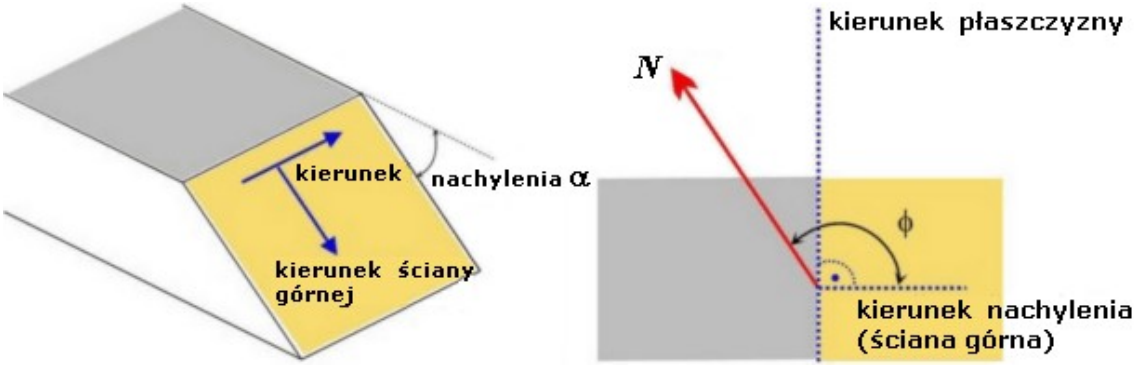
- **Nachylenie/gradient powierzchni** (gradient kąta) jest kątem nachylenia α przedstawiającym nachylenie powierzchni od poziomu (może osiągać wartości od 0° do 90°). W przypadku zbocza skalnego z przewieszeniem (krawędź skarpy jest wysunięta przed podstawę skarpy), należy wybrać opcję "**Przewieszona ściana skalna**" a gradient powierzchni ściany φ uwzględniany jest w półpłaszczyźnie masywu skalnego. Program sprawdza możliwość zniszczenia poprzez przewrócenie masywu skalnego z przewieszoną ścianą skalną. Jeśli oszacowanie warunku na przewrócenie klina skalnego jest realistyczne, program podaje taką informację w zestawieniu wyników. Należy jednak podkreślić, że program nie przeprowadza właściwego sprawdzenia klina skalnego na przewrócenie czy obrót.



a) Pochylona ściana skalna b) Przewieszona ściana skalna

- **Kierunek nachylenia** (ściana górna) jest kątem *φ* pomiędzy rzutem poziomym linii normalnej do kierunku uderzenia zmierzonym jako kąt okresowy (od północy w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara) (ścina górna odpowiada nachyleniu płaszczyzny), może przyjmować wartości od 0° do 360°.

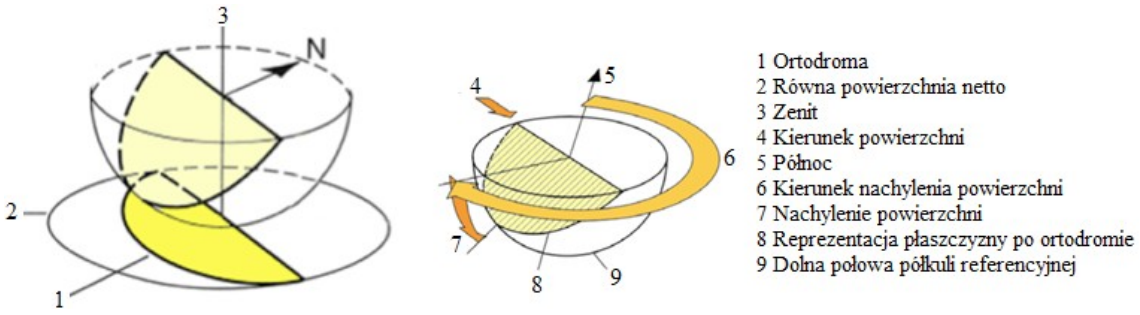
Przy definiowaniu położenia przestrzeni, program wyświetla te przestrzenie za poocą rzutu stereograficznego.



Opis położenia powierzchni (pionowe cięcie przez masyw skalny i rzut płaszczyzny)

Rzut stereograficzny

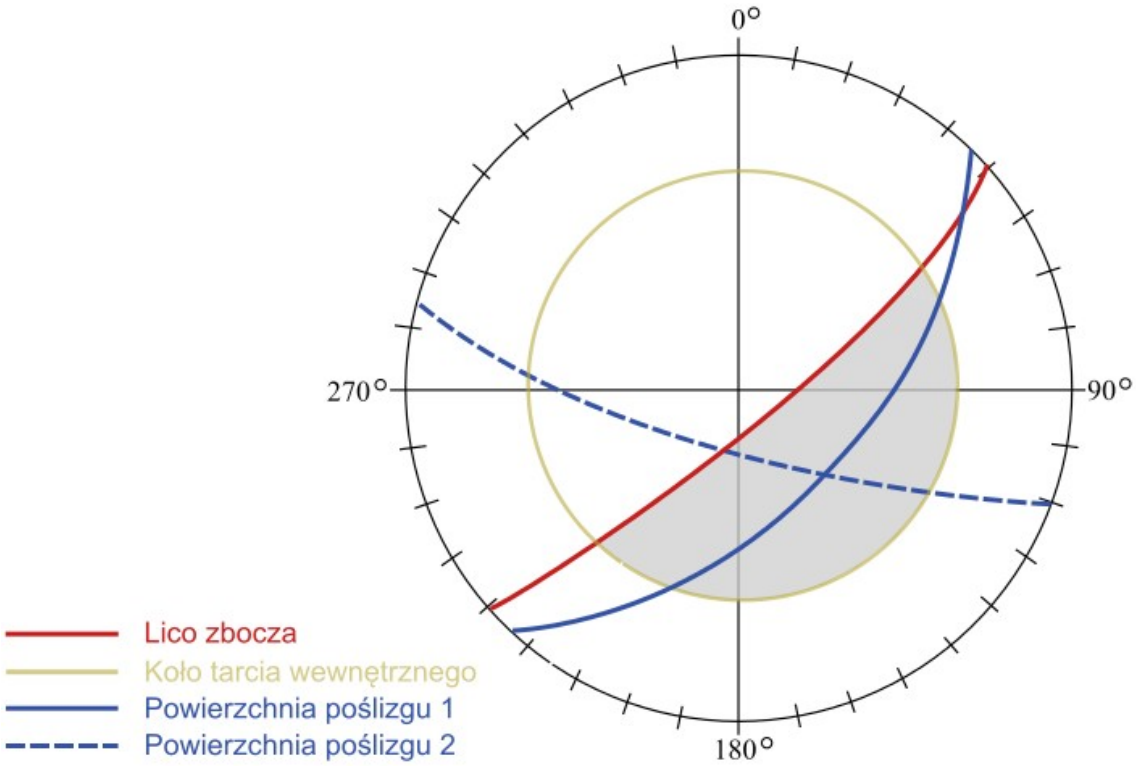
Podczas definiowania geometrii klina i powierzchni poślizgu za pomocą rzutu stereograficznego, program wyświetla poszczególne powierzchnie za pomocą ortodrom (o równej powierzchni netto) półkulistego rzutu Lamberta.



Schemat rzutu stereograficznego (Lamberta)

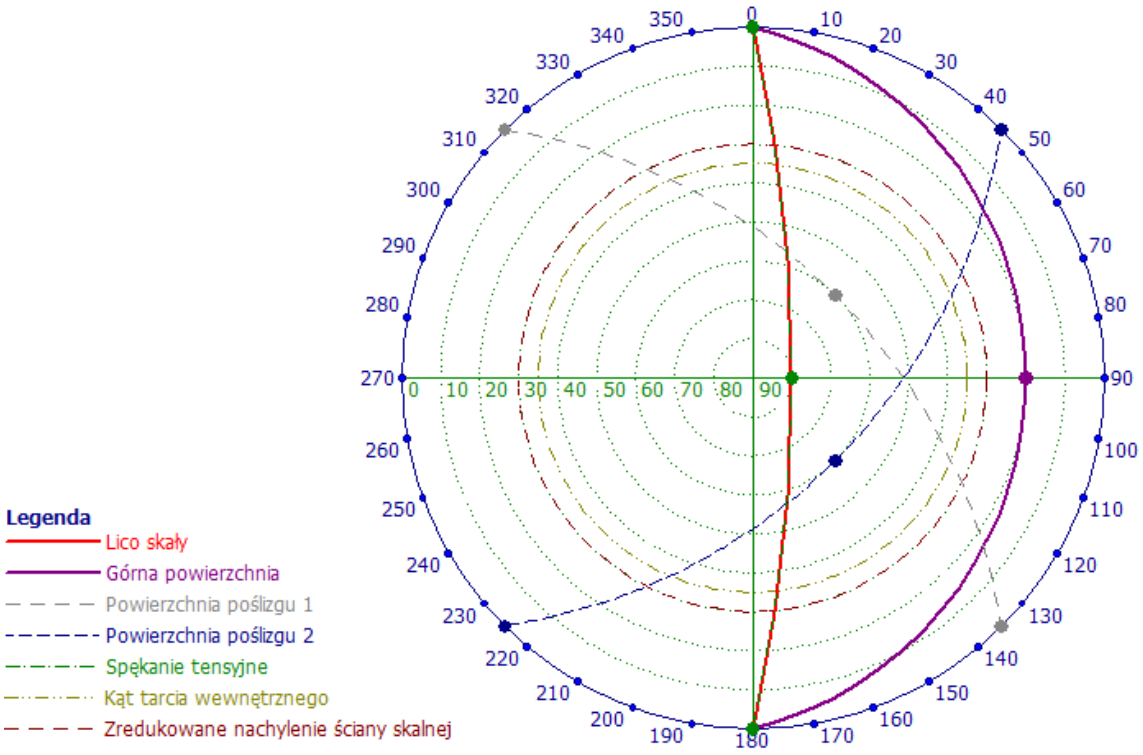
Test Marklanda wykorzystuje rzut stereograficzny ortodromy do wykreślenia kinematycznej możliwości zniszczenia klina skalnego. Geometria Klina skalnego jest rysowana na rzucie stereograficznym z wykorzystaniem ortodromy reprezentującej lico zbocza oraz nieciągłości powierzchni poślizgu 1 i 2 (patrz rysunek). Koło tarcia jest także rysowane na rzucie, kąt tarcia

na nieciągłościach mierzony jest od północy a środek koła jest jest środkiem rzutu stereograficznego. Szary obszar na rysunku to strefa pomiędzy ortodromą reprezentującą lico zbocza i kołem tarcia. Gdy miejsce przecięcia dwóch nieciągłości (1 i 2) znajduje się w szarym obszarze, wówczas zniszczenie jest kinematycznie możliwe.



Kinematyczna możliwość klina skalnego (wykres testu Marklanda w rzucie stereograficznym)

Widok geometrii klina sklanego jest wspomagany elementami wykresu testu Marklanda. Umożliwia to określenie rzutu stereograficznego kinematyki klina skalnego.



Rysunek testu Marklanda

Wpływ wody gruntowej

Domyślnie, program przeprowadza analizę stateczności klina skalnego bez uwzględnienia wody gruntowej. W przypadku zainteresowania wpływem wody gruntowej, na klin skalny, należy wprowadzić wysokość zwierciadła wody gruntowej od linii przecięcia powierzchni poślizgu i lica skały (zwierciadło wody gruntowej przyjmuje dowolne położenie w całej wysokości klina skalnego). Program przyjmuje, że woda może przepływać swobodnie w nieciągłościach znajdujących się poniżej zwierciadła wody gruntowej (żadne ograniczenia np. na skutek bloków lodowych nie są uwzględniane).

Ciśnienie porowe działa w kierunku normalnym do powierzchni poślizgu przeciw normalnym składowym sił pasywnych. Jeżeli wysokość y_w nad punktem maksymalnego ciśnienia porowego P_{max} jest równa lub większa niż $Z/2$ i jest całkowicie objęta przez blok skalny, zakłada się wówczas, że jej wartość jest równa $Z/2$ (przypadek A). Natomiast, jeżeli wysokość y_w nad punktem maksymalnego ciśnienia porowego P_{max} jest mniejsza niż $Z/2$ (przypadek B), wówczas jej wartość jest redukowana przez:

$$y_w = \left(\frac{1}{2}.L^*.\sin\delta\right).\left(\frac{tg\alpha_1}{tg\delta} - 1\right)$$

gdzie: L^* - długość linii przecięcia powierzchni poślizgu $A1, A2$

α_1 - nachylenie lica skały

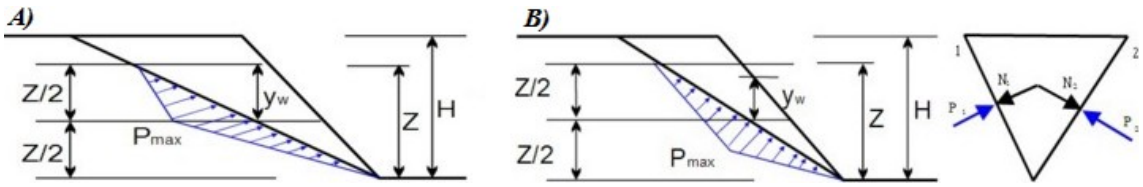
δ - nachylenie linii przecięcia powierzchni poślizgu

Wypadkowe ciśnienie porowe na powierzchnie poślizgu 1 i 2 jest wyznaczane z:

$$P_1 = \frac{1}{3}.P_{max}.A_1^w = \frac{1}{3}.\gamma_w.y_w A_1^w$$

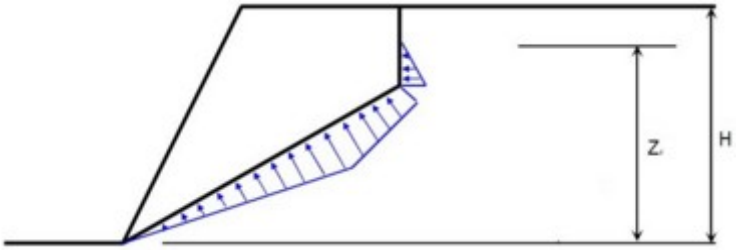
$$P_2 = \frac{1}{3}.P_{max}.A_2^w = \frac{1}{3}.\gamma_w.y_w A_2^w$$

gdzie:
- Z - wysokość zwierciadła wody gruntowej na linią przecięcia powierzchni poślizgu i lica skały
- P_{max} - maksymalne ciśnienie porowe na przecięcie powierzchni poślizgu
- γ_w - ciężar objętościowy wody (≈ 10 kN/m^3)
- A_1^w - mokra część powierzchni poślizgu 1
- A_2^w - mokra część powierzchni poślizgu 2



Rozkład ciśnienia porowego na linię przecięcia powierzchni poślizgu

Jeżeli spękanie tensyjne znajduje się całkowicie lub częściowo poniżej zwierciadła wody gruntowej, wówczas wpływ ciśnienia porowego jest odzwierciedlony na powierzchni poślizgu 1 i 2 poprzez siły P_1 i P_2 działające na przecięcie tych powierzchni oraz na spękanie tensyjne poprzez siłę P_3 działającą w kierunku normalnym do spękania tensyjnego.



Rozkład ciśnienia porowego przy uwzględnieniu zwierciadła wody gruntowej w spękaniu tensyjnym

Rozkład działających sił

Siły działające na klin skalny (ciężar klina skalnego, obciążenie zewnętrzne, siła kotwy) rozkładają się w kierunkach normalnych do płaszczyzn A_1 i A_2 (blok znajduje się pomiędzy tymi powierzchniami) oraz w kierunku do ich przecięcia. Rozkład sił powoduje siły normalne N_1, N_2 działające na powierzchnie A_1 i A_2, siły utrzymujące (bierne) T_{res1}, T_{res2} działające wzdłuż płaszczyzn $A1$ i $A2$.

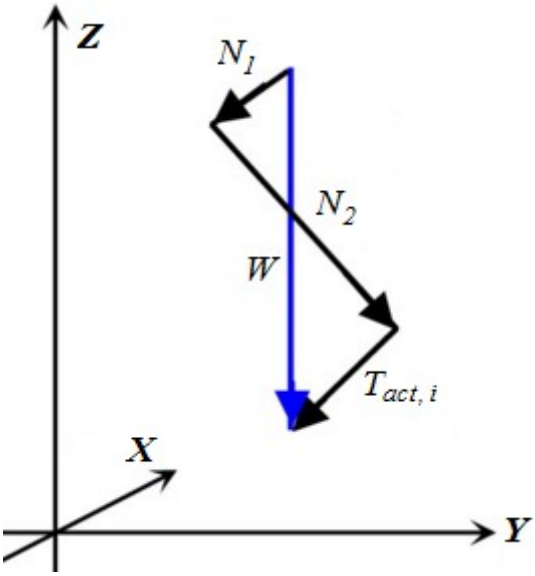
Krok ten dalej generuje **siłę ścinającą (czynną)** T_{act} działającą w kierunku linii przecięcia powierzchni poślizgu. Wynikowa **siła ścinająca (czynna)** T_{act} uzyskiwana jest jako suma poszczególnych sił ścinających $T_{act,i}$.

Siłę utrzymującą (bierną) T_{res} znajduje się poprzez zsumowanie składowych T_{res1}, T_{res2} (np.

na skutek obciążenia zewnętrznego) oraz sił tarcia na płaszczyznach A_1 i A_2 na skutek sił normalnych:

$$T_{res} = \sum T_{res,1} + \sum T_{res,2} + \sum \left(N_1 tg\varphi_1 + c_1 A_1 \right) + \sum \left(N_2 tg\varphi_2 + c_2 A_2 \right)$$

where:
- c_1 - spoistość na powierzchni poślizgu A_1
- c_2 - spoistość na powierzchni poślizgu A_2
- φ_1 - kąt tarcia wewnętrznego na powierzchni poślizgu A_1
- φ_2 - kąt tarcia wewnętrznego na powierzchni poślizgu A_2
- T_{vzd1} - siły utrzymujące na powierzchni poślizgu A_1
- T_{vzd2} - siły utrzymujące na powierzchni poślizgu A_2



Rozkład przestrzeni ciężaru własnego klina skalnego W

Weryfikacja

Weryfikację można przeprowadzić zgodnie z metodologią obliczeń wybraną/zdefiniowaną w ramce "Ustawienia".

Weryfikacja według współczynnika bezpieczeństwa

Podczas przeprowadzania weryfikacji według współczynnika bezpieczeństwa, program bezpośrednio wyznacza wartość współczynnika bezpieczeństwa SF. Warunek weryfikacji posiada postać:

$$SF = \frac{T_{res}}{T_{act}} > SF_s$$

gdzie:
- T_{act} - siły ścinające wzdłuż powierzchni poślizgu
- T_{res} - siły bierne wzdłuż powierzchni poślizgu
- SF - współczynnik bezpieczeństwa

SF_S - wymagany współczynnik bezpieczeństwa (definiowany w zakładce "Analiza stateczności")

Typowe wartości wynoszą, np. - dla ścian wyrobisk fundamentowych SF_S = 1,1 do 1,25, dla wciosów skalnych autostrad SF_S = 1,2 do 1,5, itp.

Weryfikacja zgodnie z teorią stanów granicznych

Podczas przeprowadzania weryfikacji zgodnie z teorią stanów granicznych, program redukuje parametry materiałowe skał (kąt tarcia wewnętrznego lub tangens kąta tarcia wewnętrznego, spójność) za pomocą współczynników częściowych wprowadzonych w zakładce "Analiza stateczności". Warunek weryfikacji ma postać:

$$T_{act} < \frac{T_{res}}{\gamma_s}$$

gdzie:
T_{act} - siły ścinające wzdłuż powierzchni poślizgu (czynne)
T_{res} - siły bierne wzdłuż powierzchni poślizgu
γ_S - współczynnik redukcji do ogólnej stateczności konstrukcji (definiowany w zakładce "Analiza stateczności")

Podczas analizowania łamanej powierzchni poślizgu, program porównuje obliczoną wartość z wartością odpowiadającą całkowicie naprężonej konstrukcji (stan równowagi z zerowym zapasem bezpieczeństwa). Warunek weryfikacji ma postać:

$$SF > SF_s$$

gdzie:
SF - współczynnik bezpieczeństwa obliczony ze zredukowanymi parametrami materiału
SF_S - współczynnik ogólnej stateczności konstrukcji

Skała - kryteria wytrzymałości na ścinanie

Wytrzymałość na ścinanie jest podstawowym kryterium do wyznaczania pasywnych sił utrzymujących. Siła utrzymująca jest wyznaczana następującym wyrażeniem:

$$T_{res} = \tau\, l$$

gdzie:
τ - wytrzymałość na ścinanie na powierzchni poślizgu
l - length of the slip surface

Wytrzymałość na ścinanie płaskiej powierzchni poślizgu można zapisać jako:

- Mohr - Coulomb
- Hoek - Brown
- Barton - Bandis

Mohr - Coulomb

Wytrzymałość na ścinanie τ [kPa] według Mohr-Coulomb'a jest dana przez:

$$\tau = c + \frac{N}{l} tg\varphi$$

gdzie:
- N - siła normalna działająca na powierzchnię poślizgu
- l - długość powierzchni poślizgu
- c - spójność gruntu/skały na powierzchni poślizgu
- φ - kąt tarcia wewnętrznego na powierzchni poślizgu

Przybliżone zakresy parametrów kryterium wytrzymałości Mohra-Coulomba dla wybranych gruntów zostały podane tutaj.

Parametry modelu Mohra - Coulomba

W miarę możliwości, parametry wytrzymałości powinny być wyznaczane na miejscu. Wyniki doświadczeń laboratoryjnych i pomiarów na miejscu wykazują, że kąt tarcia wewnętrznego znajduje się, dla większości nieciągłości w masie skalnej w zakresie od $27°$ do $47°$. Przybliżone wartości kąta tarcia wewnętrznego φ i spójności c dla skał na podstawie klasyfikacji RMR zostały zapisane w następującej tabeli:

Masa skalna	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**
RMR	*100 - 81*	*80 - 61*	*60 - 41*	*40 - 21*	*< 20*
kąt tarcia wewnętrznego φ [°]	*> 45*	*35 - 45*	*25 - 45*	*15 - 25*	*< 15*
spójność c [kPa]	*> 400*	*300 - 400*	*200 - 300*	*100 - 200*	*< 100*

Hoek - Brown

Kryterium wytrzymałości Hoek'a-Brown'a opisuje zniszczenie masywu skalnego (na podstawie przeprowadzonych analiz setek konstrukcji podziemnych i zboczy skalnych) jako:

$$\sigma_{1,ef} = \sigma_{3,ef} + \sigma_c \left(\frac{m_b . \sigma_{3,ef}}{\sigma_c} + s \right)^a$$

gdzie:
- $\sigma 1ef$ - naprężenie główne podczas zniszczenia skały
- $\sigma 3ef$ - naprężenie drugorzędne podczas zniszczenia skały
- σ_c - wytrzymałość skały nienaruszonej na proste ściskanie
- σ_{ci} - jednoosiowa wytrzymałość na ściskanie nienaruszonych fragmentów skały
- $m_{b,s}$ - nieliniowa stała materiałowa zależna od jakości skały
- a - współczynnik zależny od spękania skały

Podstawowe parametry zmodyfikowanego modelu Hoek'a-Brown'a powinny być wyznaczone na podstawie badań laboratoryjnych i terenowych. W celu przybliżenia tego modelu, przedstawiamy krótką listę zakresów poszczególnych parametrów. Jeżeli znana jest **klasyfikacja skał z wykorzystaniem GSI**, istnieje wówczas możliwość wyznaczenia

parametrów H-B przez program.

W rzeczywistej analizie, parametry H-B są przekształcane do parametrów M-C. Procedura rozwiązania jest wówczas identyczna z kryterium Mohr'a-Coulomb'a.

Do przekształcenia parametrów Hoeka-Browna wykorzystywane jest rozwiązanie według Hoeka, Carranza-Torresa i Corkuma (2002) w przypadku analizy stateczności zbocza skalnego:

Kąt tarcia wewnętrznego φ:

$$\varphi' = \arcsin\left[\frac{6\,a\,m_b\,(s + m_b\,\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6\,a\,m_b\,(s + m_b\,\sigma'_{3n})^{a-1}}\right]$$

Spójność (wytrzymałość na ścinanie) c:

$$c' = \frac{\sigma_{ci}\left[(1+2a)s + (1-a)m_b\,\sigma'_{3n}\right](s + m_b\,\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)\sqrt{1 + \left(6\,a\,m_b\,(s + m_b\,\sigma'_{3n})^{a-1}\right)/((1+a)(2+a))}}$$

gdzie:

$$\sigma'_{3n} = \frac{\sigma'_{3\max}}{\sigma_{ci}}$$

Maksymalna wartość mniejszego naprężenia głównego σ'_{3max} jest sformułowana w postaci:

$$\frac{\sigma'_{3\max}}{\sigma'_c} = 0{,}72\left(\frac{\sigma'_c}{\gamma H}\right)^{-0{,}91}$$

gdzie:
- γ - ciężar jednostkowy gruntu
- H - wysokość zbocza skalnego
- σ_c - wytrzymałość skały nienaruszonej na proste ściskanie, lub jednoosiowa wytrzymałość na ściskanie nienaruszonego masywu skalnego

Literature:

Stability analysis of rock slopes with a modified Hoek-Brown failure criterion, ANG Xiao-Li ; LIANG LI ; YIN Jian-Hua International journal for numerical and analytical methods in geomechanics. ISSN 0363-9061, 2004, vol. 28, no2, pp. 181-190.

Hoek E, Carranza-Torres CT, Corkum B.: Hoek–Brown failure criterion—2002 edition. Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium, Toronto, Canada, vol. 1, 2002, pp. 267 – 273.

Parametry modelu Hoek - Brown

Parametr naruszenia skały a

Parametr jest wykładnikiem przyjmującym wartości od 0,5 do 0,65 (dla oryginalnego warunku Hoek'a-Brown'a równa się 0,5) i zależy od stopnia naruszenia skały.

Parametry nieliniowe $m_b = m,\ s$ **dla** ***a*** **=** 0,5

(Wskaźnik r określa wartości resztkowe).

	Skały węglanowe z dobrze rozwiniętą łupliwością- dolomit, wapień, marmur	Skały glinkowe - iłowiec, piaskowiec drobnoziarnisty , łupek	Skały piaszczyste - piaskowiec, kwarcyt	Drobnoziarniste, magmowe skały krystaliczne - andezyt, doleryt, bazalt, riolit	Gruboziarniste metamorficzne skały magmowe - gabro, gnejs, granit
Nienaruszony materiał skalny Próbki laboratoryjne nie posiadają nieciągłości $RMR = 100$ $Q = 500$	$m = 7.00$ $s = 1.00$ $mr = 7.00$ $sr = 1,00$	$m = 10.00$ $s = 1.00$ $mr = 10.00$ $sr = 1.00$	$m = 15.00$ $s = 1.00$ $mr = 15.00$ $s = 1.00$	$m = 17.00$ $s = 1.00$ $mr = 17.00$ $s = 1.00$	$m = 25.00$ $s = 1.00$ $mr = 25.00$ $s = 1.00$
Bardzo dobra jakość masy skalnej, skały bez wyizolowanych bloków, z nieciągłościami nie wskutek wietrzenia $RMR = 85$ $Q = 100$	$m = 2.40$ $s = 0.082$ $mr = 4.10$ $sr = 0.189$	$m = 3.43$ $s = 0.082$ $mr = 5.85$ $sr = 0.189$	$m = 5.14$ $s = 0.082$ $mr = 8.78$ $sr = 0.189$	$m = 5.82$ $s = 0.082$ $mr = 9.95$ $sr = 0.189$	$m = 8.56$ $s = 0.082$ $mr = 14.63$ $sr = 0.189$
Dobrej jakości masa skalna, lekko uszkodzone skały bez nieciągłości wskutek wietrzenia rozmieszczone od 1 do 3 m $RMR = 65$ $Q = 10$	$m = 0.575$ $s = 0.00293$ $mr = 2.006$ $sr = 0.0205$	$m = 0.821$ $s = 0.00293$ $mr = 2.865$ $sr = 0.0205$	$m = 1.231$ $s = 0.00293$ $mr = 4.298$ $sr = 0.0205$	$m = 1.395$ $s = 0.00293$ $mr = 4.871$ $sr = 0.0205$	$m = 2.052$ $s = 0.00293$ $mr = 7.163$ $sr = 0.0205$
Przeciętnej jakości masa skalna, częściowo zwietrzałe nieciągłości, rozmieszczone od 0,3 do 1 m $RMR = 44$ $Q = 1$	$m = 0.128$ $s = 0.00009$ $mr = 0.947$ $sr = 0.00198$	$m = 0.183$ $s = 0.00009$ $mr = 1.353$ $sr = 0.00198$	$m = 0.275$ $s = 0.00009$ $mr = 2.030$ $sr = 0.00198$	$m = 0.311$ $s = 0.00009$ $mr = 2.301$ $sr = 0.00198$	$m = 0.458$ $s = 0.00009$ $mr = 3.383$ $sr = 0.00198$
Słabej jakości masa	$m = 0.029$	$m = 0.041$	$m = 0.061$	$m = 0.069$	$m = 0.102$

skalna, liczne nieciągłości wskutek wietrzenia, rozmieszczone od 30 do 500 mm $RMR = 23$ $Q = 0{,}1$	$s = 0.000003$ $mr = 0.447$ $sr = 0.00019$	$s = 0.000003$ $mr = 0.639$ $sr = 0.00019$	$s = 0.000003$ $mr = 0.959$ $sr = 0.00019$	$s = 0.000003$ $mr = 1.087$ $sr = 0.00019$	$s = 0.000003$ $mr = 1.598$ $sr = 0.00019$
Bardzo słabej jakości masa skalna, liczne silnie zwietrzałe nieciągłości wypełniające przestrzeń o mniej niż 50 mm, drobnoziarnista skała płonna $RMR = 3$ $Q = 0{,}01$	$m = 0.007$ $s = 0.0000001$ $mr = 0.219$ $sr = 0.00002$	$m = 0.010$ $s = 0.0000001$ $mr = 0.313$ $sr = 0.00002$	$m = 0.015$ $s = 0.0000001$ $mr = 0.469$ $sr = 0.00002$	$m = 0.017$ $s = 0.0000001$ $mr = 0.532$ $sr = 0.00002$	$m = 0.025$ $s = 0.0000001$ $mr = 0.782$ $sr = 0.00002$

Wytrzymałość skał na proste ściskanie σ_c, Współczynnik Poisson'a v i ciężar objętościowy skały γ

Wytrzymałość skały	*Rodzaj skały (przykłady)*	*Wytrzymałość* σ_c $[MPa]$	*Współczynnik Poisson'a* ν	*Ciężar objętościowy skały* γ $[kN/m^3]$
Skała zwięzła	twarda skała zwięzła, nienaruszona zwarta skała kwarcowa i bazaltowa, inne niezwykle twarde skały	>150	0,1	28,00 - 30,00
Bardzo twarda skała	bardzo twarda skała granitowa, porfir kwarcowy, bardzo twardy granit, twardy łupek krzemieniowy. kwarcyt, bardzo twardy piaskowiec i kalcyt	100 - 150	0,15	26,00 - 27,00
Twarda skała	granit, bardzo twardy piaskowiec i kalcyt, kwarcyt, magnetyt, twardy zlepieniec, bardzo twardy kruszec, twardy wapień, marmur, dolomit, piryt	80 - 100	0,20	25,00 - 26,00
Skała	piaskowiec, kruszec, średnio-piaszczysty łupek, płyty kamienne	50 - 80	0,25	24,00
Skała średnia	twardy iłowiec, miększa skała piaskowa i kalcyt, glina kredowa	20 - 50	0,25 - 0,30	23 - 24,00
Skała miękka	łupek, miękki wapień, talk, skała solna, zamarznięty grunt, antracyt, margiel, reformowany piaskowiec, miękki zlepieniec, grunt z felzytem	5 - 20	0,3 - 0,35	22,00 - 26,00
Chuda gleba	zwarta glina, eluwium glebowe, czarny węgiel	0,5 - 5	0,35 - 0,40	20,00 - 22,0 18,00 - 20,00

Obliczanie parametrów modelu Hoeka-Browna

Jeżeli znana jest klasyfikacja masywu skalnego według GSI (Geological Structure Index), wówczas istnieje możliwość wyznaczenia parametrów H-B w programie w następujący sposób:

$$m_b = m_i . e^{(GSI-100/28-14.D)}$$

$$s = e^{(GSI-100/9-3.D)}$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{(-GSI/15)} - e^{(-20/3)}\right)$$

gdzie: GSI - Geological Structure Index

D - współczynnik zniszczenia masywu skalnego

m_i - stała wytrzymałości materiałowej skały nienaruszonej dla warunków szczytowych

Wartości współczynnika zniszczenia D dla zbocza skalnego

Opis masywu skalnego	**Sugerowana wartość współczynnika** D
Roboty odstrzałowe na małą skalę na zboczach inzynierskich powodują nieznaczne uszkodzenia masywu skalnego, szczególnie jeżeli stosowane są kontrolowane roboty odstrzałowe. Jednak, odprężenie powoduje niewielkie zaburzenia. (Dobre roboty odstrzałowe).	0,7
Roboty odstrzałowe na małą skalę na zboczach inżynierskich powodują nieznaczne uszkodzenia masywu skalnego, szczególnie jeżeli stosowane są kontrolowane roboty odstrzałowe. Jednak, odprężenie powoduje niewielkie zaburzenia. (Słabe roboty odstrzałowe).	1
Znaczne zaburzenia zboczy bardzo dużych kopalni odkrywkowych na skutek silnych robót odstrzałowych oraz odprężenia na skutek usuwania nadkładu. (Produkcyjne roboty odstrzałowe).	1
W niektórych miękkich skałach, wyrobiska można przeprowadzać przez obrywkę i spychanie, a stopień uszkodzenia zbocza jest mniejszy. (Wyrobisko mechaniczne).	0,7

Przybliżone wartości stałej wytrzymałości materiału skały nienaruszonej m_i (według Hoeka)

Rodzaj skały	Skały reprezentatywne	m_i [-]
Skały wapienne z dobrze rozwiniętą łupliwością krystaliczną	Dolomit, kalcyt, marmur	≈ 7
Skonsolidowane skały ilaste	Łupek ilasty, piaskowiec drobnoziarnisty, łupek ilasty, łupek	≈ 10
Skały piaszczyste z litymi kryształami i słabo rozwiniętą łupliwością krystaliczną	Piaskowiec, kwarcyt	≈ 15
Drobnoziarniste magmowe skały krystaliczne	Andezyt, doleryt, diabaz, riolit	≈ 17
Skały gruboziarniste i metamorficzne	Amfibolit, gabro, gnejs, granit, dioryt	≈ 25

Barton - Bandis

Kryterium wytrzymałości na ścinanie Barton'a-Bandis'a dla masy skalnej przyjmuje następującą postać:

$$\tau = \sigma_n . tg\left[\varphi_b + JRC . log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right)\right]$$

gdzie: JRC - współczynnik chropowatości ciosu

σ_n - normalne naprężenie działające na powierzchnię ciosu skalnego

JCS - wytrzymałość na ściskanie ciosu

φ_b - podstawowy kąt tarcia wewnętrznego powierzchni poślizgu

W miarę możliwości, parametry wytrzymałości na ścinanie powinny być wyznaczane na podstawie pomiarów na miejscu. Przybliżone zakresy kryterium wytrzymałości Barton'a-Bandis'a zostały podane poniżej.

Parametry modelu Bartona - Bandisa

Współczynnik chropowatości ciosu JRC

Jeżeli wartości JRC nie można wyznaczyć poprzez bezpośrednie pomiary na powierzchni ciosu, istnieje wówczas możliwość uzyskania tej wartości z wykresu Barton'a (patrz rysunek) pokazującego zmianę współczynnika JRC jako funkcji długości profilu i głębokości chropowatości.

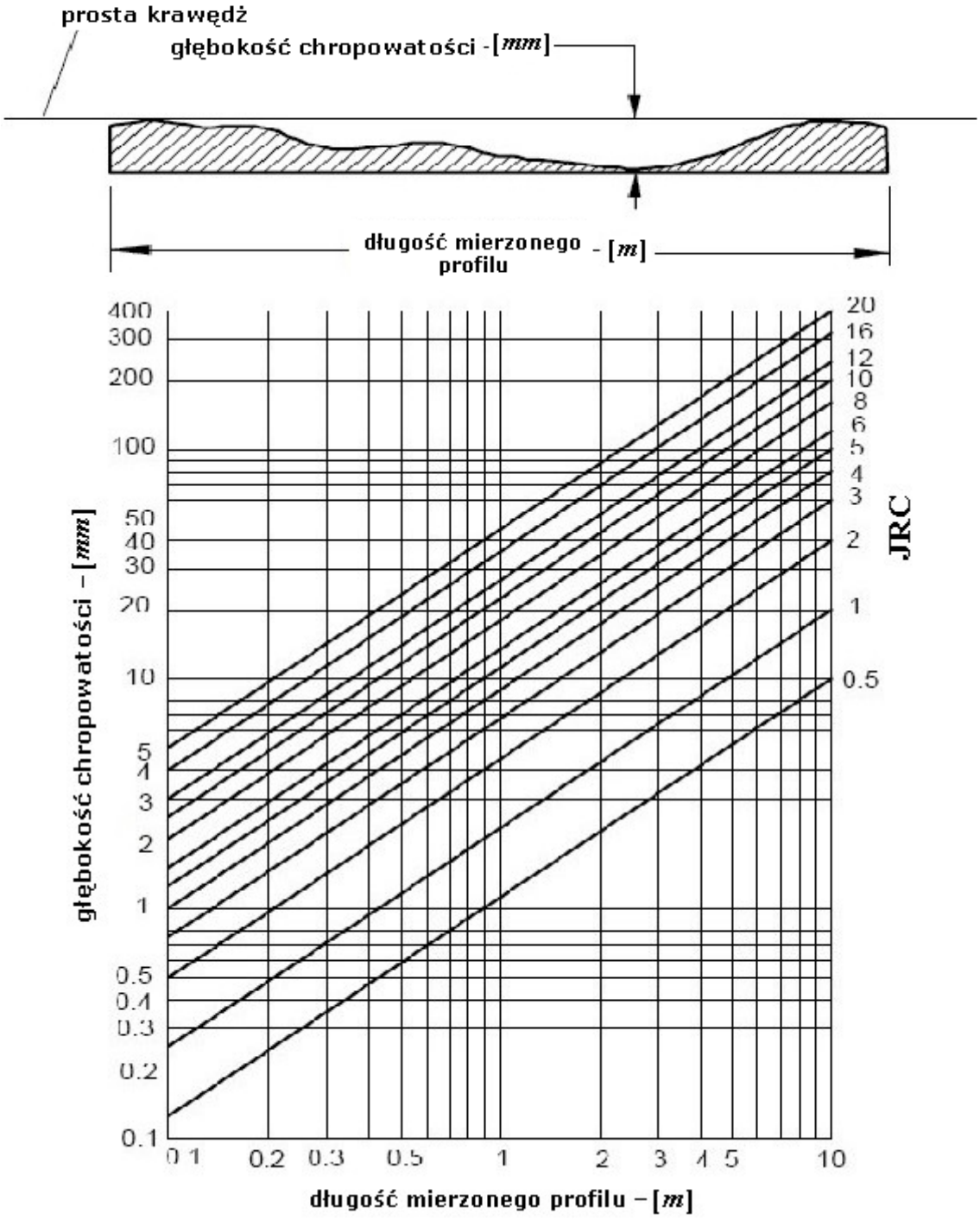
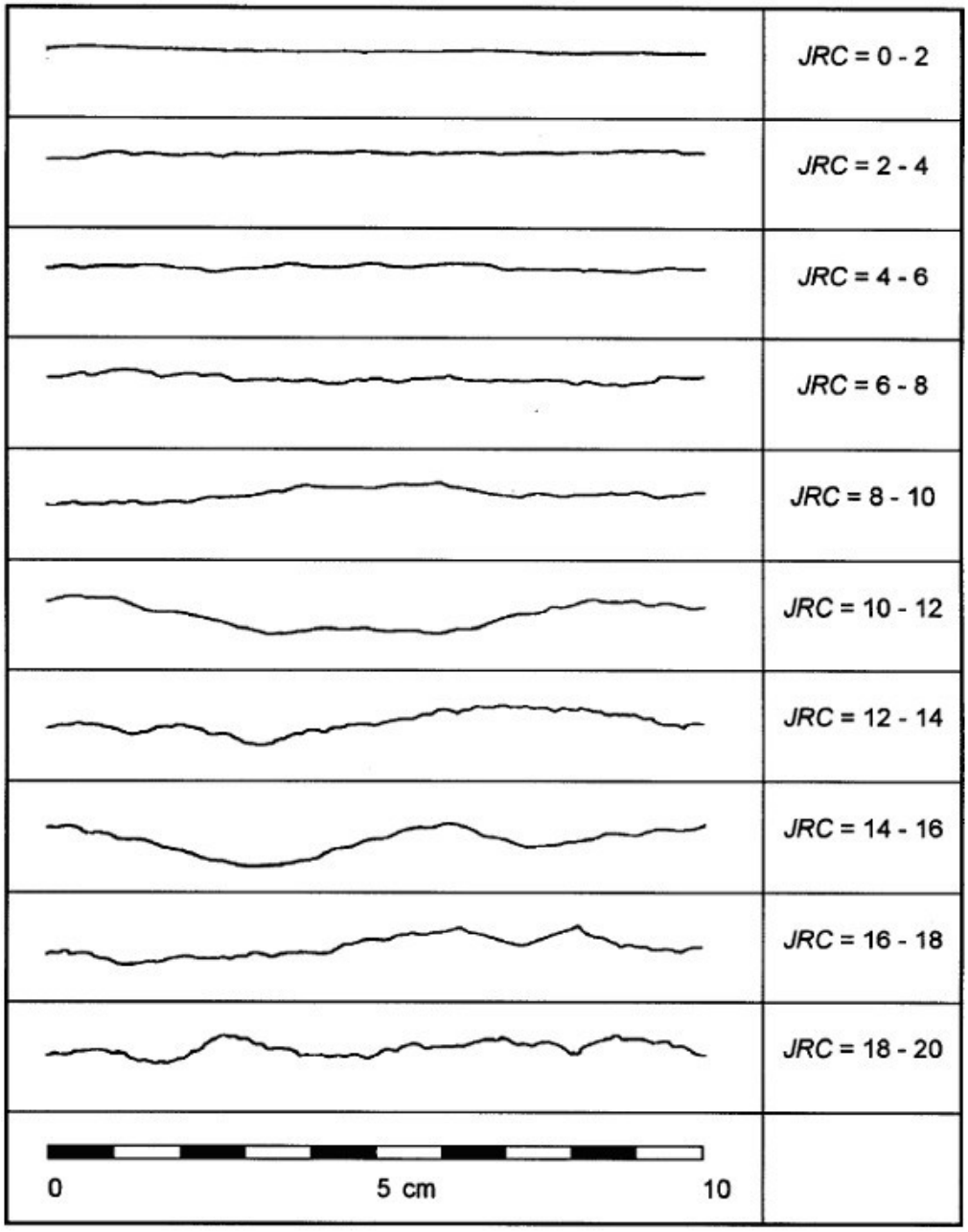


Diagram do wyznaczania JRC (za Barton'em)

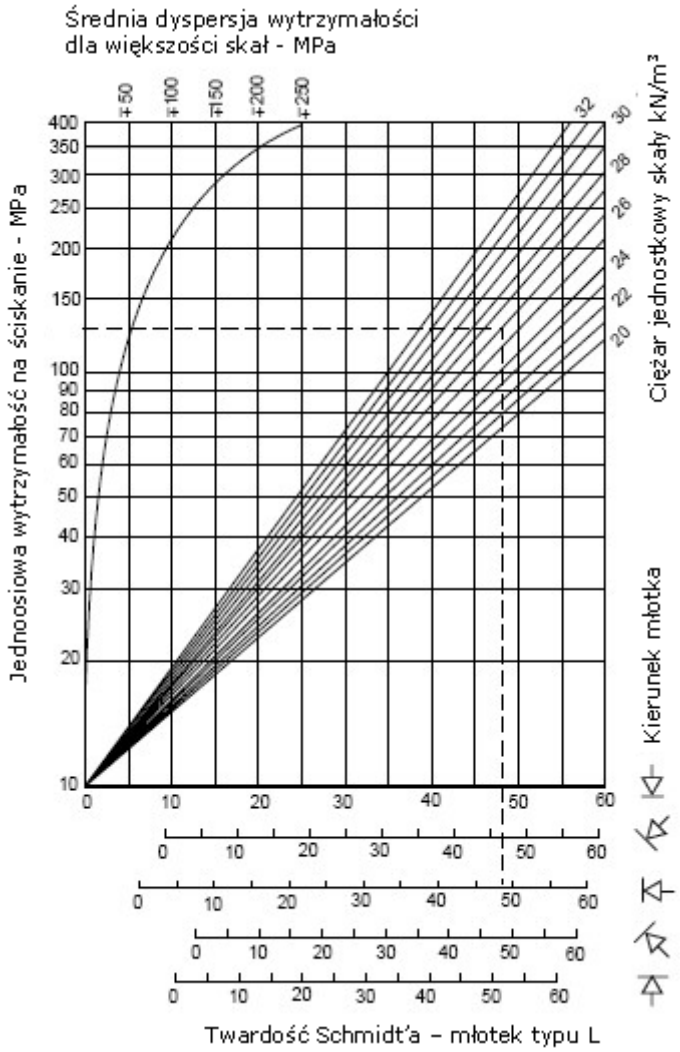
Profile chropowatości ciosu skalnego pokazujące typowy zakres JRC zostały podane poniżej.



Profile chropowatości ciosu skalnego pokazujące typowy zakres JRC (Barton i Chubey 1977)

Wytrzymałość na ściskanie nieciągłości JCS

Metody pozwalające na wyznaczenie wytrzymałości na ściskanie nieciągłości (powierzchnia poślizgu) JCS są generalnie zalecane przez ISRM. Wartość JCS można uzyskać z wykresu Deer-Miller'a pokazującego jego zależność od wytrzymałości skały z pomiarów młotkowych Schmidt'a, patrz poniższy rysunek.



Podstawowy kąt tarcia wewnętrznego na powierzchni poślizgu φ_b

Podstawowa wartość kąta tarcia wewnętrznego na powierzchni jest w przybliżeniu równa wartości resztkowej φ_r. Niemniej jednak, wartość można zmierzyć w laboratoriach za pomocą urządzeń do pomiaru wytrzymałości na ścinanie (typowe pole próbki wynosi 50 x 50 mm). Typowe zakresy podstawowego kąta tarcia wewnętrznego dla zwietrzałych powierzchni skał wynoszą od 25° do 35°.

Ciężar objętościowy skał

Ciężar objętościowy skały γ

Wytrzymałość skały	**Rodzaj skały (przykłady)**	**Ciężar objętościowy skały** γ $[kN/m^3]$
Skała zwięzła	twarda skała zwięzła, nienaruszona zwarta skała kwarcowa i bazaltowa, inne niezwykle twarde skały	*28,00 - 30,00*
Bardzo twarda skała	bardzo twarda skała granitowa, porfir kwarcowy, bardzo twardy granit, twardy łupek krzemieniowy. kwarcyt, bardzo twardy piaskowiec i kacyt	*26,00 - 27,00*
Twarda skała	granit, bardzo twardy piaskowiec i kalcyt, kwarcyt, magnetyt, twardy zlepieniec, bardzo twardy kruszec, twardy wapień, marmur, dolomit, piryt	*25,00 - 26,00*
Skała	piaskowiec, kruszec, średnio-piaszczysty łupek, płyty kamienne	*24,00*
Skała średnia	twardy iłłowiec, miększa skała piaskowa i kalcyt, glina kredowa	*23,00 - 24,00*
Skała miękka	łupek, miękki wapień, kalk, skała solna, zamarznięty grunt, antracyt, margiel, reformowany piaskowiec, miękki zlepieniec, ziemia z felzytem	*22,00 - 26,00*
Chuda gleba	zwarta glina, eluwium glebowe, czarny węgiel	*20,00 - 22,00* *18,00 - 20,00*

Wpływ obciążeń sejsmicznych

Program umożliwia uwzględnienie obciążeń sejsmicznych za pomocą dwóch zmiennych - współczynnika przyspieszenia poziomego K_h współczynnika przyspieszenia pionowego K_v.

Współczynnik przyspieszenia jest liczbą bezwymiarową, które reprezentuje przyspieszenie sejsmiczne jako ułamek przyspieszenia grawitacyjnego. Obciążenia sejsmiczne wprowadza się przez siłę sejsmiczną S, która jest wyznaczana poprzez pomnożenie ciężaru skały podlegającego obciążeniu sejsmicznemu (np. blok skalny) przez współczynnik przyspieszenia. Przy założeniu efektów sejsmicznych tylko w kierunku poziomym, wówczas siła sejsmiczna jest wyznaczana przez:

$$S = K_h.W$$

gdzie: K_h - współczynnik przyspieszenia poziomego

W - ciężar masywu skalnego

Siła sejsmiczna zawsze działa do środka ciężkości bryły skalnej. Zazwyczaj, rozważane są jedynie obciążenia sejsmiczne w kierunku poziomym. Niemniej jednak, program umożliwia

także uwzględnienie kierunku pionowego (za pomocą współczynnika przyspieszenia pionowego K_v). Obciążenia sejsmiczne w obydwu kierunkach są wówczas łączone.

stopień M_C_S	**Przyspieszenie poziome**	**Współczynnik przyspieszenia poziomego**
(MSK-64)	$[mm/s^2]$	Kh
1	0,0 - 2,5	0,0 - 0,00025
2	2,5 - 5,0	0,00025 - 0,0005
3	5,0 - 10,0	0,0005 - 0,001
4	10,0 - 25,0	0,001 - 0,0025
5	25,0 - 50,0	0,0025 - 0,005
6	50,0 - 100,0	0,005 - 0,01
7	100,0 - 250,0	0,01 - 0,025
8	250,0 - 500,0	0,025 - 0,05
9	500,0 - 1000,0	0,05 - 0,1
10	1000,0 - 2500,0	0,1 - 0,25
11	2500,0 - 5000,0	0,25 - 0,5
12	> 5000,0	> 0,5

Wartości współczynnika Kh odpowiadają poszczególnym stopniom trzęsienia ziemi według skali M-C-S

Nasypy zbrojone

Program przeprowadza następujace sprawdzenia:

Analiza

Program przeprowadza analizę stateczności zewnętrznej, tzw. **konstrukcji fikcyjnej**, tj. bryły ograniczonej przez lico konstrukcji rzeczywistej i krzywą przebiegającą przez końce zbrojenia. Konstrukcja fikcyjna obciążona jest wyznaczonymi siłami przyłożonymi na konstrukcję i sprawdzana na **obrót** i **przesunięcie** - podobnie jak przy analizie ścian oporowych.

Wymiarowanie

Na podstawie sił oddziałujących na konstrukcję program wyznacza siły w wymiarowanym przekroju. Do wymiarowania przyjmowane są jedynie siły oddziałujące powyżej sprawdzanego przekroju (por. rysunek). Zbrojenie uwzględniane jest poprzez przyłożenie sił stabilizujących o wartości równej mniejszej z dwóch wyznaczanych nośności (na zerwanie i na wyciąganie). Natępnie wykonywane jest sprawdzenie na **obrót** i **przesunięcie**. Program umożliwia także automatyczne sprawdzenie najbardziej wytężonego przekroju.

Nośność

Program przeprowadza sprawdzenie nośności podłoża pod **konstrukcją fikcyjną**. Naprężenie (stałe) pod podstawą konstrukcji fikcyjnej wyznaczane jest z uwzględnieniem wszystkich sił oddziałujących na konstrukcję wyznaczonych w ramce "Analiza". W przypadku obliczeń konstrukcji ze zdefiniowanym fundamentem nośność wyznaczana jest z uwzględnieniem wszystkich sił oddziałujących na konstrukcję wyznaczonych w ramce "Wymiarowanie" (opcja "**Cała ściana**" musi być aktywowana).

Poślizg po zbrojeniu

W ramce tej sprawdzany jest poślizg **zbrojonego bloku gruntu** po zbrojeniu. Blok gruntu zbrojonego wydzielony jest poprzez lico ściany, zbrojenie podlegające weryfikacji oraz linię pionową poprowadzoną od punktu końcowego zbrojenia do powierzchni terenu. Blok ten obciążany jest parciem czynnym gruntu, siłami stabilizującymi pochodzącymi od zbrojenia wykraczającego poza obrys bloku oraz innymi siłami. Program umożliwia automatyczne sprawdzenie poślizgu po poszczególnych zbrojeniach i znalezienie najbardziej niekorzystnego wyniku.

Stateczność wewnętrzna

Poszczególne zbrojenia weryfikowane są na **zerwanie** i **wyciąganie** z masywu gruntowego.

Stateczność globalna

Program umożliwia przeprowadzenie analizy stateczności globalnej z uwzględnieniem kolowej powierzchni poślizu. Powierzchnia poślizgu może być automatycznie optymalizowana, tzn. program automatycznie wyszukuje najbardziej krytyczną powierzchnię poślizgu.
Analiza stateczności może być wykonana z zastosowaniem jednej z dwóch metod paskowych: Spencera (rygorystyczna, bardziej dokładna metoda) oraz Bishopa (bardziej konserwatywna, prostsza, łatwiej wyszukuje rozwiązanie spełniające warunki równowagi).

Stateczność zbocza

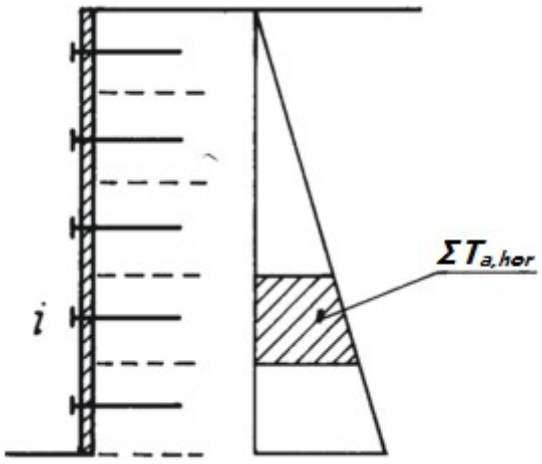
Analiza stateczności ogólnej (globalnej) zbocza za pomocą programu "**Stateczność zbocza**".

Stateczność wewnętrzna

Siła w zbrojeniu

Obliczenie sił w zbrojeniu wykonywane jest przez dekompozycję i przyporządkowanie

wyznaczonych parć gruntu do poszczególnych warstw. Każde zbrojenie przejmuje część parcia czynnego, oddziałującego w **odpowiedniej warstwie,** tj. siłę zmobilizowaną w zbrojeniu $F_x = \Sigma T_{a,hor}$.



Siły przekazywane przez poszczególne zbrojenia

Kształt powierzchni poślizgu zależy od wybranej normy obliczeniowej.

Analiza stateczności wewnętrznej ma zróżnicowany przebieg w zależności od stosowanego rodzaju zbrojenia:

- zbrojenie podatne (Standardowo - prosta powierzchnia poslizgu, AASHTO - Podatne, FHWA NHI-10-024)
- zbrojenie niepodatne (AASHTO - Niepodatne, JTGD30 - 2004 Highway China Code, TB 10025 Railway China Code, BS 8006 - Coherent Gravity Method)

Parcie gruntu uwzględniane jest jako czynne w przypadku zbrojenia podatnego, lub jako kombinacja parć w przypadku zbrojenia niepodatnego.

Sprawdzenie wytrzymałości zbrojenia

Długoterminowa, obliczeniowa wytrzymałość zbrojenia R_t wyznaczana jest na podstawie zdefiniowanych parametrów zbrojenia w sposób następujący:

$$R_t = \frac{T_{ult}}{RF_{CR} \cdot RF_D \cdot RF_{ID} \cdot FS_{UNC}}$$

gdzie:
- R_t - długoterminowa wytrzymałość zbrojenia
- T_{ult} - krótkoterminowa wytrzymałość charakterystyczna zbrojenia
- RF_{CR} - współczynnik redukcji uwzględniający długoterminową deformację zbrojenia (wyznaczana na podstawie żywotności zbrojenia)
- RF_D - współczynnik redukcji ze względu na trwałość zbrojenia (wyznaczany na podstawie pH gruntu)
- RF_{ID} - współczynnik redukcji uwzględniający uszkodzenie zbrojenia przy instalacji w gruncie (wyznaczany na podstawie uziarnienia gruntu)
- FS_{UN} - całkowity współczynnik niepewności modelu
- C

Nośność zbrojenia na wyciąganie

Wytrzymałość zbrojenia na wyciąganie z masywu gruntowego wyznaczana jest na podstawie zdefiniowanych parametrów zbrojenia oraz siły normalnej oddziałującej w kierunku normalnym do jego powierzchni przekroju:

$$T_p = 2 \cdot L \cdot C_i \cdot \sigma_z \cdot \tan \varphi$$

gdzie: T_p - nośność na wyciąganie

L - długość zbrojenia (od lica do końca zbrojenia)

C_i - współczynnik interakcji gruntu i zbrojenia

σ_z - pionowe naprężenie geostatyczne

φ - kąt tarcia wewnętrznego gruntu

Sprawdzenie nośności zbrojenia na wyciąganie może być przeprowadzone zgodnie z teorią stanów granicznych lub z uwzględnieniem ogólnego współczynnika bezpieczeństwa.

Analiza - współczynnik bezpieczeństwa

Głownymi zaletami tej metody są jej przejrzystość i jednoznaczność, ponieważ ani parametry gruntu ani oddziałujące siły nie są redukowane.

Sprawdzenie na zerwanie:

$$\frac{R_t}{F_x} > SF_{st}$$

gdzie: F_x - siła zmobilizowana w zbrojeniu

R_t - długoterminowa obliczeniowa wytrzymałość zbrojenia

SF_{st} - współczynnik bezpieczeństwa dla wytrzymalości zbrojenia (definiowany w zakładce "Konstrukcje oporowe")

Sprawdzenie na wyciąganie:

$$\frac{T_p}{F_x} > SF_{po}$$

gdzie: F_x - siła zmobilizowana w zbrojeniu

T_p - nośność zbrojenia na wyciąganie

SF_{po} - współczynnik bezpieczeństwa dla wytrzymałości zbrojenia na wyciąganie (definiowany w zakładce "Konstrukcje oporowe")

Analiza - stany graniczne

Parametry gruntu **redukowane** są zgodnie z ustawieniami wybranymi w zakładce "Konstrukcje oporowe". W wyniku otrzymujemy wykorzystanie zbrojenia w odniesieniu do 100 %.

Sprawdzenie na zerwanie:

$$\frac{F_x}{R_t} \cdot 100 < 100\%$$

gdzie: F_x - siła zmobilizowana w zbrojeniu

R_t - długoterminowa obliczeniowa wytrzymałość zbrojenia na zerwanie

Sprawdzenie na wyciąganie:

$$\frac{F_x}{T_p} \cdot 100 < 100\%$$

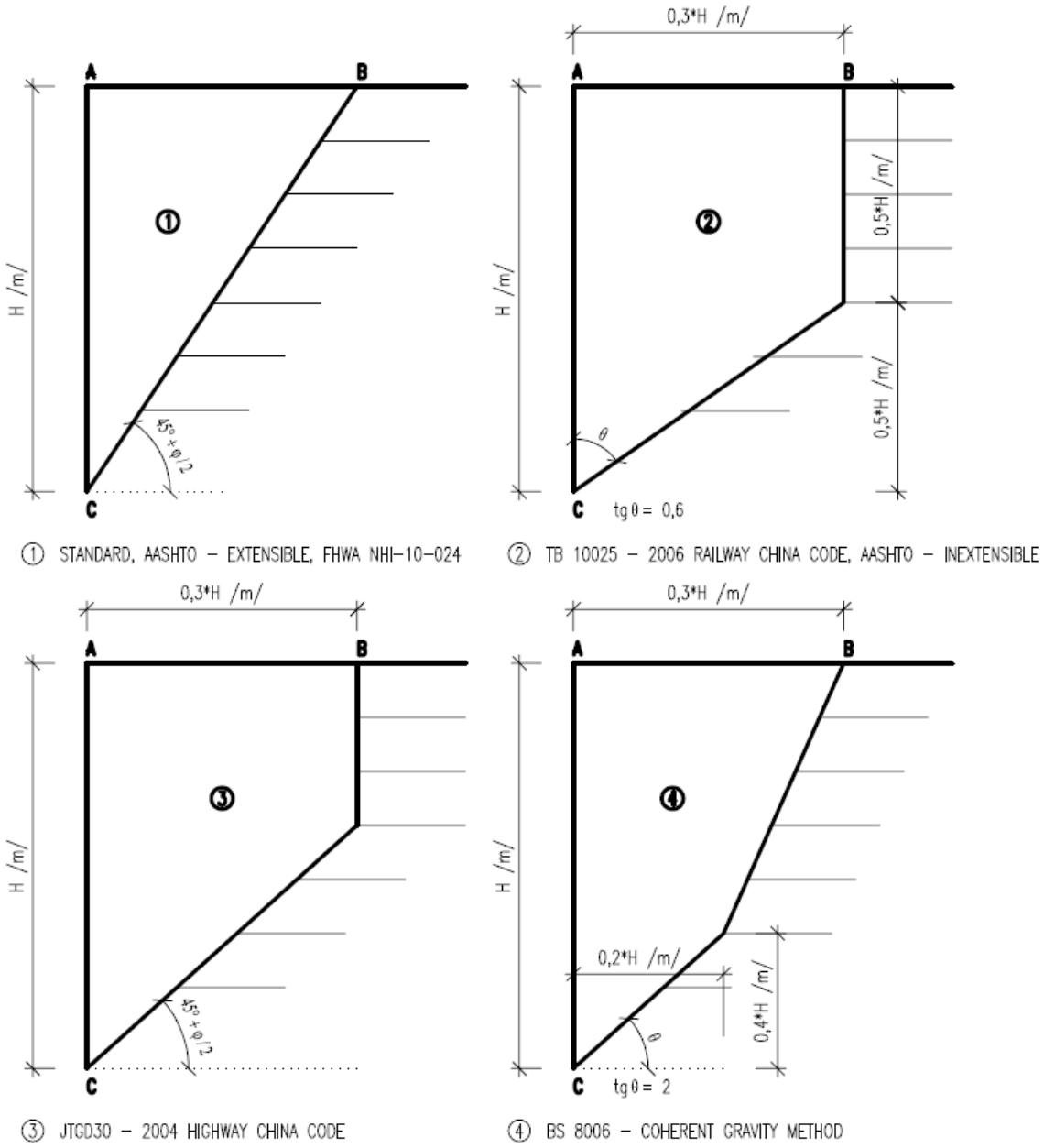
gdzie: F_x - siła zmobilizowana w zbrojeniu

T_p - nośność zbrojenia na wyciąganie

Kształty powierzchni poślizgu

Powierzchnia poślizgu będzie miała różny kształt w zależności od wybranej normy obliczeniowej:

- **Prosta powierzchnia poślizgu** - Standard, AASHTO - Podatne, FHWA NHI-10-024
- **Załamana powierzchnia poślizgu** - AASHTO - Niepodatne, JTGD30 - 2004 Highway China Code, TB 10025 Railway China Code, BS 8006 - Coherent Gravity Method.

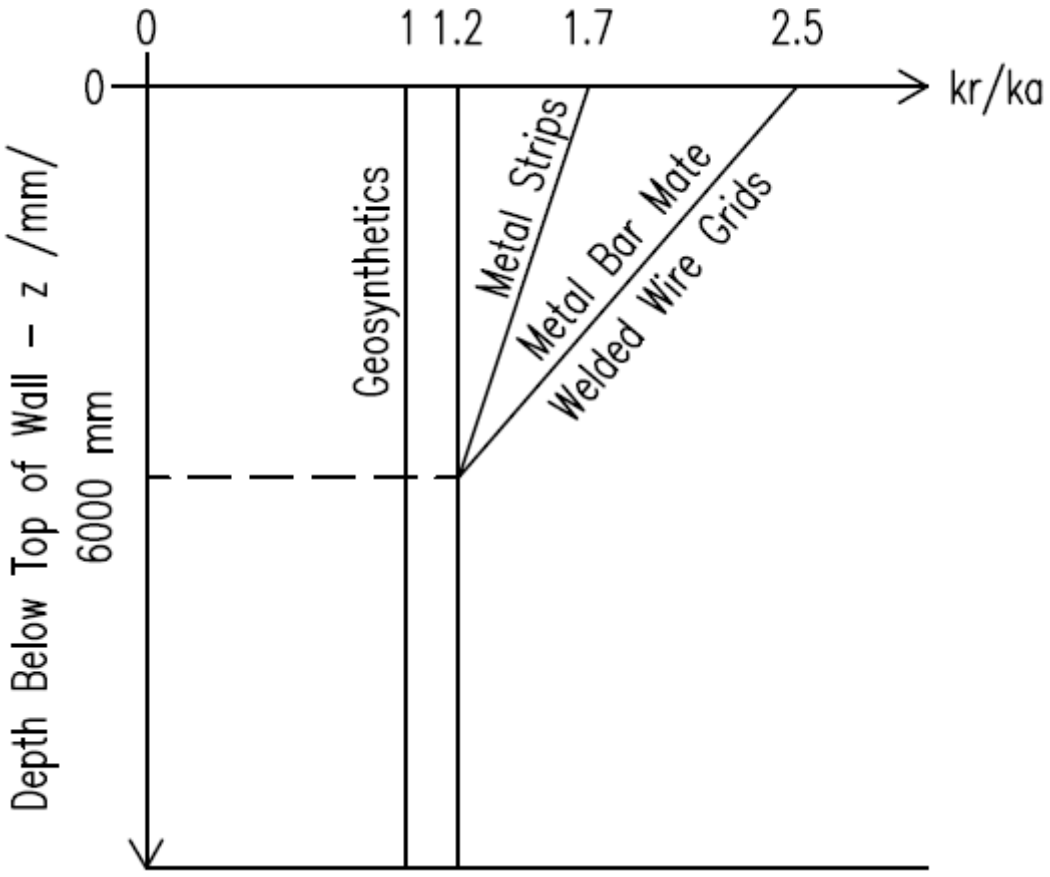


Kształty powierzchni poślizgu według poszczególnych norm obliczeniowych

Zbrojenie podatne - parcie czynne gruntu

Dla zbrojenia podatnego (Standard - prosta powierzchnia poślizgu, AASHTO - Podatne, FHWA NHI-10-024) w obliczeniach stateczności wewnętrznej uwzględniane jest parcie czynne.

Program umożliwia także przemnożenie wyznaczonego parcia gruntu przez współczynnik k_r/k_a (według norm AASHTO). Wartości zalecane przedstawiono na poniższym rysunku.



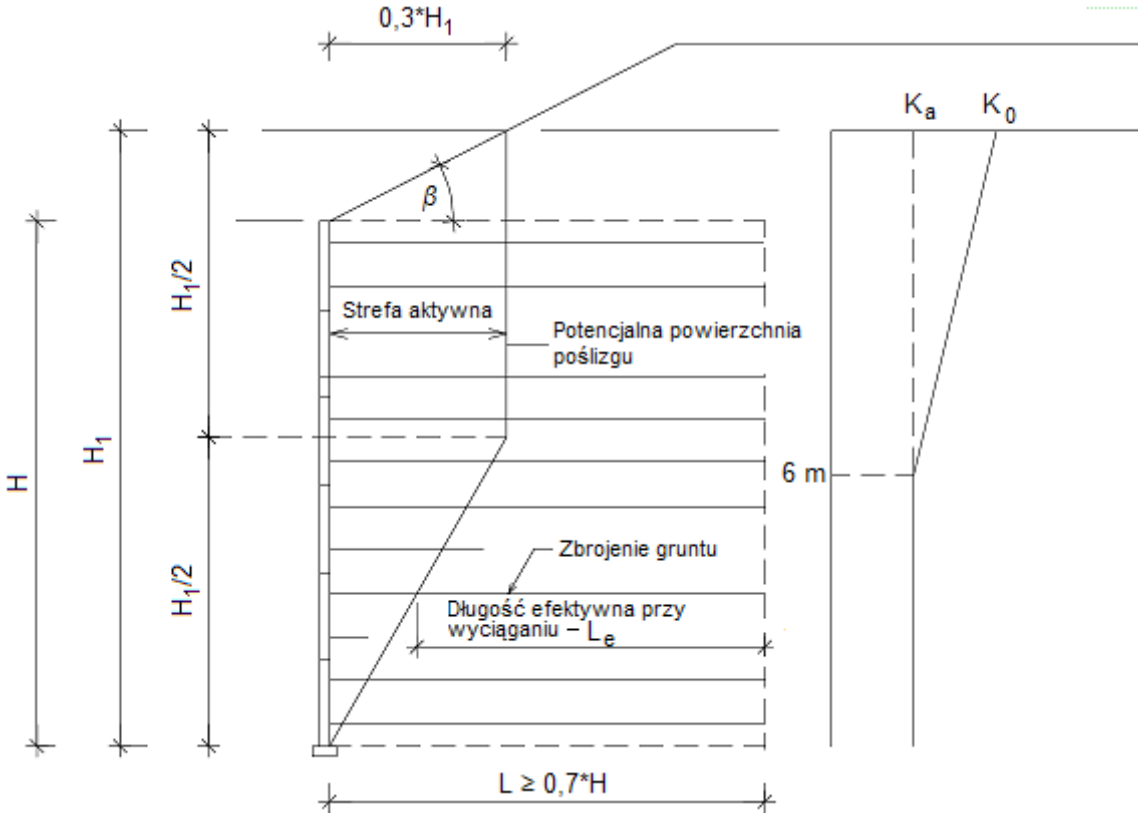
Zmienność współczynnika parcia poziomego kr/ka na głębokości dla zbrojenia podatnego

Literatura:

AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 2004 (SI).

Zbrojenie niepodatne - kombinacja parć gruntu

Dla zbrojenia niepodatnego (AASHTO - Niepodatne, JTGD30 - 2004 Highway China Code, TB 10025 Railway China Code, BS 8006 - Coherent Gravity Method) w obliczeniach stateczności wewnętrznej uwzględnia się kombinację czynnego parcia gruntu oraz parcia spoczynkowego gruntu.



Wyznaczanie lokalizacji płaszczyzny poślizgu oraz zmienność współczynników parć gruntu K_a, K_o z głębokością dla zbrojenia niepodatnego

Literatura:

AASHTO Highway Bridges.

Analiza nośności fundamentu

Pionowa nośność gruntu fundamentowego sprawdzana jest zgodnie z teorią stanów granicznych za pomocą następującej nierówności:

$$\sigma \leq \frac{R_d}{\gamma_{RV}}$$

lub na postawie współczynnika bezpieczeństwa jako:

$$\frac{R_d}{\sigma} \geq SF_v$$

gdzie:
- σ - maksymalne obliczeniowe naprężenie kontaktowe pod fundamentem
- R_d - nośność obliczeniowa gruntu fundamentowego
- γ_{RV} - współczynnik nośności pionowej fundamentu (wprowadzany w zakładce "Fundamenty bezpośrednie")
- SF_v - współczynnik bezpieczeństwa do nośności pionowej

Maksymalne, obliczeniowe naprężenie kontaktowe pod fundamentem przyjmuje postać:

$$\sigma = \frac{V}{A_{ef}}$$

gdzie: V - maksymalna obliczeniowa siła pionowa

A_{ef} - efektywne pole fundamentu

Pionowa nośność podłoża gruntowego R_d wyznaczana jest dla trzech podstawowych typów podłoża:

- podłoże z odpływem
- podłoże bez odpływu
- podłoże skalne

Powyższe obliczenia mają zastosowanie wyłącznie dla gruntu jednorodnego. Jeżeli pod podstawą fundamentu znajduje się grunt niejednorodny (lub obecna jest woda gruntowa), wówczas wstawiony profil przekształcany jest do jednorodnego.

Nośność podłoża z odpływem

Jedno z następujących podejść jest dostępne do oceny poziomej nośności gruntu przy założeniu warunku z odpływem:

- analiza standardowa
- zgodnie z CSN 731001 "Podłoże fundamentowe pod fundamentami bezpośrednimi" zatwierdzone 8.6. 1987
- zgodnie z polską normą PN-81 B - 03020 "Grunty budowlane, Bezpośrednie posadowienie budowli, Obliczenia statyczne i projektowanie" od roku 1982
- zgodnie z normą indyjską IS:6403-1981 "Przepisy techniczne do wyznaczania nośności fundamentów płytkich " od roku 1981
- zgodnie z EC 7-1 (EN 1997-1:2003) "Projektowanie konstrukcji geotechnicznych - Część 1: Zasady ogólne"
- zgodnie z NCMA Segmentowe ściany oporowe - instrukcja, drugie wydanie
- zgodnie z normą chińską GB 50007-2002
- zgodnie z normą rosyjską SNiP 2.02.01-83
- zgodnie z normą duńską DS/EN 1997-1 DK NA:2013.
- według normy DPWH "Wytyczne projektowe, kryteria i normy: Tom 2C – Rozpoznanie geologiczne i geotechniczne - Załącznik G: Wzory geotechniczne"

Wszystkie podejścia wykorzystują współczynniki według Brinch'a - Hansen'a (patrz analiza standardowa) w celu uwzględnienia nachylonej powierzchni gruntu i nachylonego dna fundamentu.

Zakładając warunek z odwodnieniem podczas budowy, grunt pod fundamentem bezpośrednim deformuje się, łącznie z odkształceniem pod wpływem naprężeń ścinających i objętościowych. W takim przypadku, wytrzymałość gruntu przyjmuje się w efektywnych wartościach kąta tarcia wewnętrznego φ_{ef} oraz efektywnej spoistości c_{ef}. Zakłada się również, że istnieje naprężenie efektywne w gruncie równe naprężeniu całkowitemu (stan skonsolidowany). Efektywne parametry φ_{ef}, c_{ef} reprezentują szczytowe parametry wytrzymałości.

Za względu na fakt, że wybór warunków z odpływem zależy od kilku czynników (stopień obciążenia, przepuszczalność gruntu, stopień nasycenia oraz stopień przekonsolidowania), obowiązkiem projektanta jest zadecydowanie, czy parametry efektywne powinny być używane w zależności od rozwiązywanego problemu.

Podczas **analiz sejsmicznych**, program przeprowadza obliczenia nośności z uwzględnieniem i bez uwzględnienia oddziaływań sejsmicznych. Wynikająca z tych obliczeń nośność fundamentu jest mniejszą z dwóch wyznaczonych wartości.

Analiza nośności sejsmicznej

Nośność sejsmiczna fundamentów bezpośrednich wyznaczana jest na podstawie następującego wzoru:

$$p_{LE} = c.N_{cE} + \gamma.d.N_{qE} + \frac{1}{2}.\gamma.B.N_{\gamma E}$$

gdzie:
- p_{LE} - nośność sejsmiczna
- c - spójność gruntu
- γ ciężar jednostkowy gruntu
- d głębokość podstawy fundamentu
- B szerokość fundamentu
- N_{CE}, N_{qE}, $N_{\gamma E}$ - sejsmiczne współczynniki nośności

$$N_{cE} = (N_{qE} - 1).\cot\varphi$$

$$N_{qE} = \frac{K_{PE}}{K_{AE}}$$

$$N_{\gamma E} = \tan\rho_{AE}.(\frac{K_{PE}}{K_{AE}} - 1)$$

gdzie:
- K_{AE}, K_{PE} - współczynniki sejsmiczne do parć gruntu
- ρ_{AE} - kąt zniszczenia
- φ kąt tarcia wewnętrznego

$$K_{AE} = \frac{(\cos\alpha)^2}{\cos\theta.\cos(\delta+\theta).(1+\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta).\sin\alpha}{\cos(\delta+\theta)}})^2}$$

$$K_{PE} = \frac{(\cos\alpha)^2}{\cos\theta.\cos(\delta+\theta).(1-\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta).\sin\alpha}{\cos(\delta+\theta)}})^2}$$

$$\rho_{AE} = \alpha + \tan^{-1}(\frac{\sqrt{[1+(\tan\alpha)^2].[1+\tan(\delta+\theta).\cot\alpha]}-\tan\alpha}{1+\tan(\delta+\theta).(\tan\alpha+\cot\alpha)})$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{k_h}{1-k_v}$$

$$\alpha = \varphi - \theta$$

gdzie: k_h - współczynnik sesjmiczny przyspieszenia poziomego

k_v - współczynnik sesjmiczny przyspieszenia pionowego

Uwaga: Jeśli kąt α jest ujemny, czyli $\varphi < \theta$, wówczas nośność sejsmiczna wynosi $p_{LE} = 0$.

Referencje:

Richards Jr., R.; et al. SEISMIC BEARING CAPACITY AND SETTLEMENTS OF FOUNDATION. J.Geotech. Engrg. 1993, 4 (119)

Das, B. M. Principles of Soil Dynamics, 3rd ed.; California State University: Sacramento, 2016.

Analiza standardowa

Domyślnie, stosuje się rozwiązanie zaproponowane przez J. Brinch'a - Hansen'a, gdzie nośność gruntu fundamentowego wynika z:

$$R_d = c.N_e.s_e.d_e.i_e.b_e.g_e + q_0.N_d.s_d.d_d.i_d.b_d.g_d + \frac{b}{2}.\gamma.N_b.s_b.d_b.i_b.b_b.g_b$$

gdzie:

$$q_0 = \gamma_1.d$$

współczynniki nośności:

$$N_e = (N_d - 1).\cot g\varphi \quad \text{dla: } \varphi > 0$$

$$N_e = 2 + \pi \quad \text{dla: } \varphi = 0$$

$$N_d = tg^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right).e^{\pi tg\varphi}$$

$$N_b = 1{,}5(N_d - 1)tg\varphi$$

$$s_e = 1 + 0{,}2.\frac{b}{l}$$

$$s_d = 1 + \frac{b}{l}.\sin\varphi$$

$$s_b = 1 - 0{,}3.\frac{b}{l}$$

współczynniki wpływu głębokości fundamentu:

$$d_e = 1 + 0{,}1.\sqrt{\frac{d}{b}}$$

$$d_d = 1 + 0{,}1.\sqrt{\frac{d}{b}.\sin 2\varphi}$$

$$d_b = 1$$

$$i_e = i_d = i_b = (1 - tg\delta)^2$$

współczynniki zbocza dna fundamentu:

$$b_e = b_d - \frac{(1 - b_d)}{N_e}.\tan\varphi$$

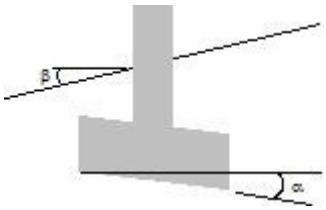
$$b_d = (1 - \alpha.\tan\varphi)^2$$

$$b_b = b_d$$

współczynniki wpływu zbocza terenu:

$$g_e = 1 - \frac{2.\beta}{\pi + 2}$$

$$g_d = g_b = (1 - 0{,}5.tg\beta)^5$$



Oznaczenia kątów i współczynników b, g

gdzie:

	c	-	spójność gruntu
	q_0	-	równoważne obciążenie jednolite uwzględniające wpływ głębokości fundamentu
	d	-	głębokość dna fundamentu
	γ_1	-	ciężar jednostkowy gruntu nad podstawą fundamentu
	b	-	szerokość fundamentu
	γ	-	ciężar jednostkowy gruntu
	N_c, N_d, N_b	-	współczynniki nośności

s_c, s_d, s_b	-	współczynniki kształtu fundamentu
d_c, d_d, d_b	-	współczynniki wpływu głębokości fundamentu
i_c, i_d, i_b	-	współczynniki wpływu zbocza obciążenia
g_c, g_d, g_b	-	współczynniki wpływu zbocza terenu
φ	-	kąt wewnętrznego tarcia gruntu
l	-	długość fundamentu
δ	-	kąt odchylenia wypadkowej siły od kierunku pionowego
β	-	zbocze terenu
α	-	zbocze dna fundamentu

Nośność gruntu bez odpływu

Jedno z następujących podejść jest dostępne do oceny poziomej nośności gruntu przy założeniu warunku bez odpływu:

- analiza standardowa
- zgodnie z CSN 731001 "Základová půda pod plošnými základy" zatwierdzone 8.6. 1987
- zgodnie z normą indyjską IS:6403-1981 "Przepisy techniczne do wyznaczania nośności fundamentów płytkich " od roku 1981
- zgodnie z EC 7-1 (EN 1997-1:2003) "Projektowanie konstrukcji geotechnicznych - Część 1: Zasady ogólne"
- zgodnie z normą duńską DS/EN 1997-1 DK NA:2013

Ponadto, współczynniki według Brinch'a - Hansen'a stosowane są w celu uwzględnienia nachylonego dna fundamentu (patrz analiza standardowa).

W przypadku warunków bez odpływu, zakłada się, że podczas budowy fundament bezpośredni przechodzi chwilowe osiadanie, czemu towarzyszą odkształcenia gruntu w obecności zmian objętościowych. Po zakończeniu budowy, grunt doświadcza podstawowej i drugorzędnej konsolidacji ze zmianami objętościowymi. Wpływ naprężenia neutralnego objawia się w redukcji wytrzymałości gruntu. Wytrzymałość gruntu jest następnie prezentowana w postaci wartości całkowitych kąta tarcia wewnętrznego φ_u i całkowitej spoistości c_u (parametry te można rozważać jako minimalne). W zależności od stopnia konsolidacji, wartość całkowitego kąta tarcia wewnętrznego φ_u zawiera się w zakresie od 0 do φ_{ef}, całkowita spójność c_u jest większa od c_{ef}. Za względu na fakt, że wybór warunków bez odpływu zależy od kilku czynników (stopień obciążenia, przepuszczalność gruntu, stopień nasycenia oraz stopień przekonsolidowania), obowiązkiem projektanta jest zadecydowanie, czy parametry efektywne powinny być używane w zależności od rozwiązywanego problemu. Niemniej jednak, parametry całkowite stosuje się zazwyczaj dla gruntów drobnoziarnistych.

Analiza standardowa

Domyślnie, stosowany jest następujący wzór:

$$R_d = (\pi + 2).c_u.s_c.d_c.i_c.b_c + q$$

z współczynnikami bezwymiarowymi:

$$s_c = 1 + 0{,}2.\frac{b}{l}$$

$$d_c = 1 + 0{,}1.\sqrt{\frac{d}{b}}$$

$$i_c = \left(1 - tg\delta\right)^2$$

$$b_c = 1 - \frac{2.\alpha}{\pi + 2}$$

gdzie:

- c_u - całkowita spójność gruntu
- b - szerokość fundamentu
- l - długość fundamentu
- d - głębokość fundamentu
- δ - kąt odchylenia wypadkowej siły od pionu
- α - nachylenie dna fundamentu od poziomu
- q - overburden pressure at the level of foundation base

Nośność fundamentu na podłożu skalnym

Następujące metody można zastosować do obliczenia nośności R_d fundamentu z poziomym dnem fundamentu przy założeniu masy skalnej składającej się ze skał lub miękkich skał:

- Standardowe podejście
- Rozwiązanie zgodne z CSN 73 1001
- Rozwiązanie zgodne z EC7

Analiza standardowa

Nośność gruntu fundamentowego składającego się ze skład lub miękkich skal wyznacza się z wyrażenia zaproponowanego przez Xiao-Li Yang i Jian-Hua Yin[1]:

$$R_d = s^{0,5}\sigma_c.N_s + q_0.N_q + \frac{b}{2}.\gamma_2.N_\gamma$$

gdzie:

$$s = e^{\frac{GSI-100}{9-3.D}}$$

$$N_q = \frac{1}{2}.\sec^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right).e^{\left[\left(\frac{2}{3}.\pi - \varphi\right)tg\varphi\right]}$$

$$N_\gamma = (N_q - 1)\frac{e^{\left[\left(\frac{\pi}{2}-\varphi\right)tg\varphi\right]}}{2.\cos\varphi}$$

gdzie:

s	-	parametr nieliniowy zależny od właściwości skały (według Hoek i Brown)
GSI	-	Wskaźnik wytrzymałości geologicznej
D	-	współczynnik odzwierciedlający uszkodzenie masy skalnej
N_s, N_q, N_γ	-	współczynniki nośności zależne od kąta tarcia wewnętrznego
N_s	-	współczynnik wytrzymałości skały w zależności od GSI i parametru wytrzymałości m_i
φ	-	kąt tarcia wewnętrznego skały
σ_c	-	nieosiowa wytrzymałość skały na ściskanie > 0,5 MPa
$q0$	-	równoważne obciążenie jednolite uwzględniające wpływ głębokości fundamentu
$\gamma 2$	-	ciężar jednostkowy gruntu nad dnem fundamentu
b	-	szerokość fundamentu

[1] Xiao-Li Yang, Jian-Hua Yin: Rozwiązanie z ograniczeniem górnym dla nośności granicznej ze zmodyfikowanym kryterium wytrzymałości Hoek-Brown, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 42 (2005), str. 550-560

Analiza nośności fundamentu według CSN 73 1001

Nośność gruntu fundamentowego składającego się ze skał lub miękkich skał wynika z artykułów 97 - 99 normy CSN 73 1001 "**Grunt fundamentowy pod fundamentem bezpośrednim**" zatwierdzonych 8.6. 1987.

Jako parametry wejściowe, analiza wymaga ciężaru jednostkowego gruntu γ, nieosiowej wytrzymałości na ściskanie σ_c, współczynnika Poisson'a v oraz modułu odkształcenia E_{def}.

Analiza nośności fundamentu według EC 7-1 (EN 1997-1:2003)

Nośność fundamentu R_d na poziomym dnie wyznaczana jest zgodnie z metodą obliczeniową wyprowadzenia oczekiwanej nośności fundamentów bezpośrednich na podłożu skalnym przedstawioną do dodatku G (w celach informacyjnych) EC 7-1 (EN 1997-1:2003) "Projektowanie konstrukcji geotechnicznych - Część 1: Zasady ogólne". W przypadku niskiej wytrzymałości lub uszkodzonych skał z zamkniętymi nieciągłościami zawierającymi kredę o niskiej porowatości mniejszej niż 35%, wyprowadzenie oczekiwanej nośności wynika z klasyfikacji skał w grupy przedstawione w poniższej tabeli. Analiza wymaga wprowadzenia rozmieszczenia nieciągłości S_d, ciężaru jednostkowego skały γ, stosunku Poisson'a v i nieosiowej wytrzymałości na ściskanie σ_c. Zakłada się, że konstrukcja jest w stanie przenosić osiadanie równe 0,5 % szerokości fundamentu. Oczekiwane wartości nośności dla innych osiadań można oszacować za pomocą bezpośrednich proporcji. Dla skał słabych spękanych z

otwartymi lub wypełnionymi nieciągłościami, zaleca się zastosowanie niższych wartości niż oczekiwane.

Grupy skał

Grupa	Typ skały
1	Czyste wapienie i dolomity Piaskowce węglanowe o niskiej porowatości
2	Magmowe Wapienie oolitowe i marglowe Dobrze spiekane piaskowce Stwardniałe, węglanowe łupki osadowe Skały metamorficzne, łącznie z łupkami (płaska łupliwość / foliacja)
3	Wapienie bardzo marglowe Słabo spiekane piaskowce Łupki (stroma łupliwość / foliacja))
4	Niestwardniałe łupki osadowe i łupki

Literature:

Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules.

Parametry do obliczania nośności fundamentu

Parametry do obliczania nośności fundamentu na podłożu skalnym.

Następujące parametry stosowane są w programie GEO5 do obliczania pionowej nośności fundamentu:

- wartości współczynnika D odzwierciedlające stan uszkodzenia masywu skalnego
- wartości parametru wytrzymałości m_i
- wytrzymałość skały na proste ściskanie σ_c
- współczynnik Poisson'a ν
- ciężar objętościowy skały γ

Szacowanie współczynnika zaburzeń D

Opis masywu skalnego	**Sugerowana wartość** D
Masyw skalny, nienaruszona silna skała, wykop przez strzelanie lub tunelową maszynę wiertniczą	*0*
Masyw skalny, słaba jakość skał, wykop mechaniczny z finalnymi zaburzeniami	*0*
Masyw skalny, słaba skała, wykop mechaniczny, znaczne pęcznienie spągu, czasowe odwrócenie geometrii poziomej kolejności wykopu	*0,5*
Masyw skalny, bardzo słaba skała często bardzo zmieniona, skała bardzo , lokalne uszkodzenia sąsiadującej skały (ok. 3 m)	*0,8*
Zbocze skalne lub wychodnia skalna, modyfikacja przez kontrolowane strzelanie	*0,7*
Zbocze skalne lub wychodnia skalna, modyfikacja przez kontrolowane strzelanie powoduje niewielkie zaburzenia	*1,0*
Otwory kopalniane, wykop przez strzelanie	*1,0*
Otwory kopalniane, wykop mechaniczny	*0,7*

Wartości parametru wytrzymałości strukturalnej m_i

Typ skały	**Przykładowe skały**	m_i [-]
Skały węglanowe z dobrze rozwiniętą łupliwością	Dolomit, wapienie i margle	*≈ 7*
Skamieniałe skały ilaste	Łupek osadowy, piaskowiec drobnoziarnisty, łupek	*≈ 10*
Skała ilasta z mocno i słabo krystalicznie rozwiniętą łupliwością	Piaskowiec i kwarcyt	*≈ 15*
Drobnoziarniste polimineralne, krystaliczne skały magmowe	Andezyt, doleryt, diabaz, ryolit	*≈ 17*
Gruboziarniste polimineralne, krystaliczne skały magmowe i metamorficzne	Amfibolit, gabro, gnejs, granit i dioryt kwarcowy	*≈ 25*

Nieosiowa wytrzymałość na ściskanie σ_c, współczynnik Poissona ν oraz Ciężar jednostkowy skały γ

Wytrzymałość skał	**Typ skały (przykłady)**	**Nieosiowa wytrzymałość na ściskanie** σ_c $[MPa]$	**Wsp. Poisson'a** v	**Ciężar jednostkowy skały** γ $[kN/m^3]$
Niezwykle twarda skała	Bardzo twarda, nienaruszona skała, mocny i lity kwarcyt, bazalt i inna niezwykle twarda skała	*>150*	*0,1*	*28,00 - 30,00*
Bardzo twarda skała	Bardzo twardy granit, porfir kwarcowy, łupek kwarcowy, bardzo twarde piaskowce i wapienie	*100 - 150*	*0,15*	*26,00 - 27,00*
Twarda skała	Lity i zwarty granit, bardzo twardy piaskowiec i wapień, krzemionkowe rudy żelaza, twarde zlepieńce, bardzo twarde rudy żelaza, twardy kalcyt, nie bardzo twardy granit, twardy piaskowiec, marmur, dolomit, piryt	*80 - 100*	*0,20*	*25,00 - 26,00*
Dość twarda skała	Normalny piaskowiec, średnio twarda ruda żelaza, piaskowy łupek, płyty kamienne	*50 - 80*	*0,25*	*24,00*
Średnio twarda skała	Twarde łupki ilaste, niezbyt twarde piaskowce kalcyty, miękkie płyty kamienne, niezbyt twarde łupki, spoisty margiel	*20 - 50*	*0,25 - 0,30*	*23,00 - 24,00*
Dość słaba skała	Miękki łupek, miękkie wapienie, kreda, sól kamienna, gleby mrozowe, antracyt, normalny margiel, naruszone piaskowce, miękkie płyty kamienne i gleby z kruszywem	*5 - 20*	*0,30 - 0,35*	*22,00 - 26,00*
Słaba skała	Zwarta glina, twarda	*0,5 - 5*	*0,35 -*	*22,00 - 18,00*

	gleba (eluwium z teksturą gruntu)		*0,40*	

Nośność pozioma fundamentu

Nośność pozioma fundamentu sprawdzana jest zgodnie z teorią stanów granicznych za pomocą następującej nierówności:

$$H \leq \frac{R_{dh}}{\gamma_{RH}}$$

lub na podstawie współczynnika bezpieczeństwa jako:

$$\frac{R_{dh}}{H} \leq SF$$

gdzie:

$$R_{dh} = Q.tan\psi_d + a_d.A_{ef} + S_{pd}$$

$$H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2}$$

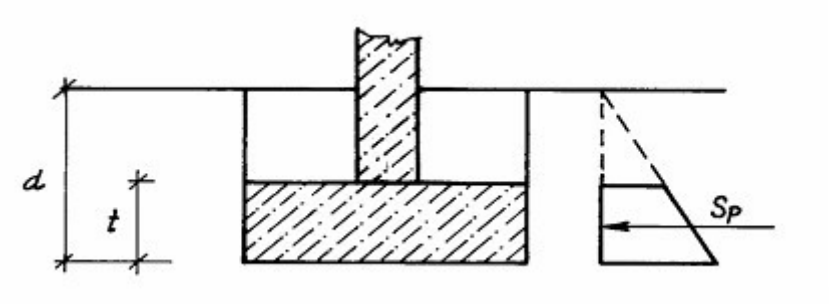
gdzie:

- ψ_d - kąt tarcia wewnętrznego pomiędzy fundamentem a gruntem
- a_d - spójność pomiędzy fundamentem a gruntem
- A_{ef} - efektywne pole powierzchni fundamentu
- S_{pd} - opór gruntu
- H_x, H_y - składowe siły poziomej
- Q - skrajna, obliczeniowa siła pionowa
- γ_{RH} - współczynnik nośności poziomej fundamentu (wprowadzany w zakładce "Fundamenty bezpośrednie"
- SF - współczynnik bezpieczeństwa

W przypadku wyboru metodologii obliczeń według EN 1997, przy zastosowaniu warunków z odpływem człon powyższego wyrażenia zawierający spójność ($a_d * A_{ef}$) jest pomijany w obliczeniach, natomiast w warunkach bez odpływu pomijany jest człon wyrażenia zawierający kąt tarcia pomiędzy fundamentem i gruntem ($Q * tan\psi_d$).

Analiza zależy od obliczeniowego kąta tarcia wewnętrznego pod podstawą fundamentu φ_d, wartości obliczeniowej spójności pod podstawą fundamentu c_d oraz wartości obliczeniowej oporu gruntu S_{pd}. Jeżeli kąt tarcia grunt - fundament oraz spójność grunt - fundament są mniejsze niż wartości parametrów gruntu pod podstawą fundamentu, istnieje wówczas konieczność zastosowania tych wartości.

Opór gruntu zakłada się według następującego rysunku:



Opór gruntu

Opór gruntu S_{pd} wyznacza się za pomocą redukcji biernego parcia gruntu lub parcia spoczynkowego, stosując współczynniki wpływu:

$$S_{pd} = \frac{S_p}{\gamma_{mR}}$$

gdzie: S_p - Bierne parcie gruntu, parcie spoczynkowe lub zredukowane parcie bierne

γ_{mR} - współczynnik redukcji oporu gruntu (wprowadzany w zakladce "Fundamenty bezpośrednie") - w analizie zgodnie z CSN przyjmuje wartość γ_{mR} = 1,5 dla parcia biernego, γ_{mR} = 1,3 dla parcia spoczynkowego

Współczynniki parcia gruntu wyznacza się z następujących wzorów:

dla parcia biernego:

$$K_p = \tan\left(45 + 0{,}5.\varphi_d\right)$$

dla parcia spoczynkowego w gruntach z odpływem:

$$K_0 = 1 - \sin\,\varphi_d$$

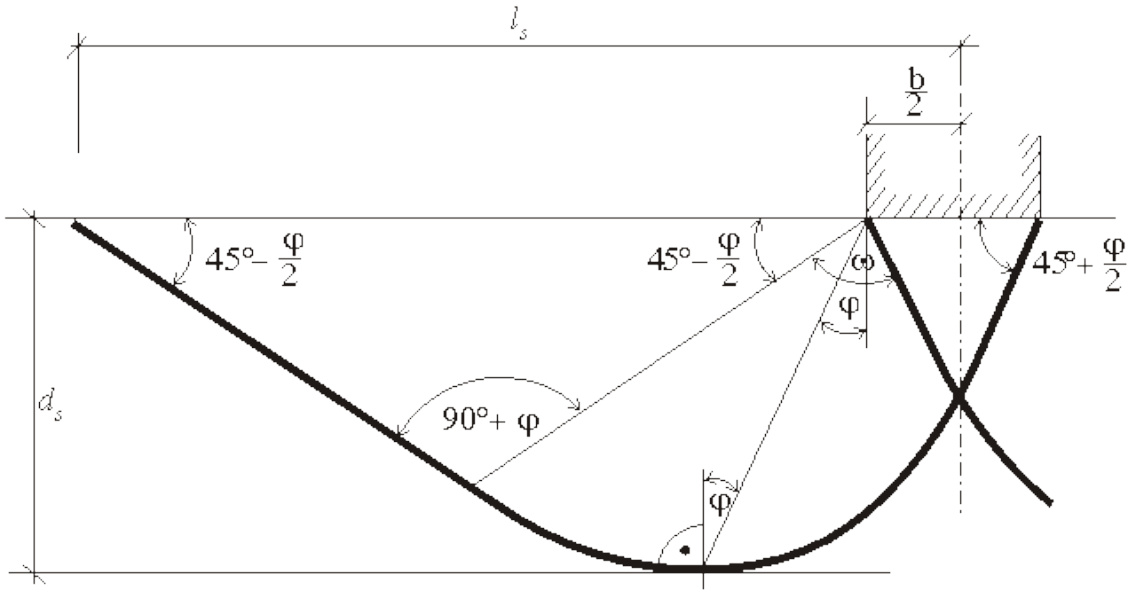
dla parcia spoczynkowego w pozostałych gruntach:

$$K_0 = \frac{\nu}{1-\nu}$$

Podczas wyznaczania **zredukowanego parcia biernego,** siła wypadkowa zawiera udział na skutek parcia biernego lub parcia spoczynkowego. Istnieje możliwość rozważenia parcia biernego, jeżeli deformacja niezbędna do jego aktywacji nie powoduje niedopuszczalnych naprężeń lub deformacji w górnej konstrukcji.

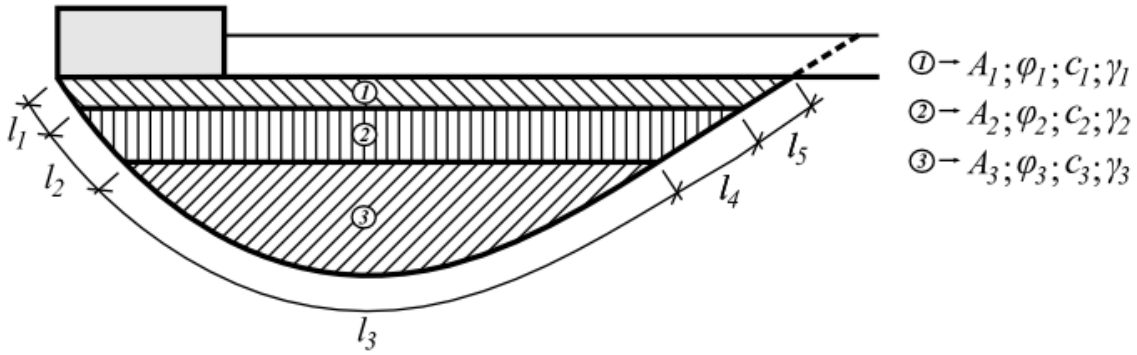
Homogenizacja podłoża uwarstwionego

Jeżeli grunt pod dnem fundamentu nie jest jednorodny (lub obecna jest woda), wówczas wprowadzony profil przekształcany jest do gruntu jednorodnego na podstawie powierzchni poślizgu Prandtl'a (patrz Rys.), która reprezentuje typ i położenia uszkodzenia fundamentu.



Powierzchnia poślizgu Prandtl'a

Wyznaczanie wartości równoważnych φ (kąt tarcia wewnętrznego), c (spójność gruntu) γ (ciężar jednostkowy gruntu pod dnem fundamentu) zostało przedstawione na następujących wzorach. Ciężar jednostkowy gruntu nad fundamentem wyprowadzany jest w ten sam sposób.



Procedura obliczania wartości dodatkowych

$$\varphi = \frac{\varphi_1.(l_1+l_5)+\varphi_2.(l_2+l_4)+\varphi_3.l_3}{\sum_{i=1}^{5} l_i}$$

$$c = \frac{c_1.(l_1+l_5)+c_2.(l_2+l_4)+c_3.l_3}{\sum_{i=1}^{5} l_i}$$

$$\gamma = \frac{\gamma_1.A_1+\gamma_2.A_2+\gamma_3.A_3}{\sum_{i=1}^{3} A_i}$$

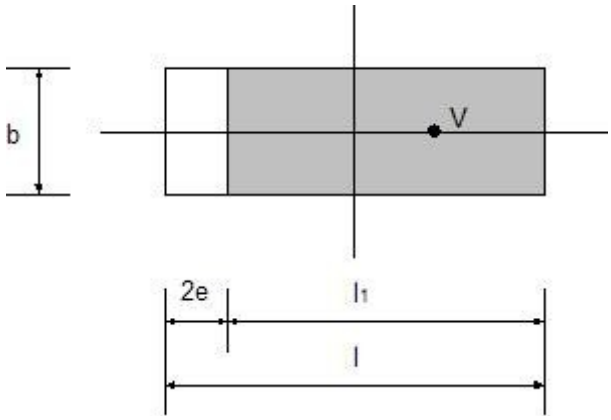
Powierzchnia efektywna

Przy rozwiązywaniu problemu mimośrodowo obciążonych fundamentów, program GEO5 oferuje dwie opcje analizy z efektywnej powierzchni fundamentu:

- założenie prostokątnego kształtu powierzchni efektywnej,
- założenie ogólnego (dodowlnego) kształtu powierchni efektywnej,

Kształt prostokątny

W takich przypadkach stosuje się uproszczone rozwiązanie. W przypadku osiowej mimośrodowości (moment zginający działa tylko w jednej płaszczyźnie), analiza zakłada jednolity rozkład naprężenia kontaktowego $\boldsymbol{\sigma}$ przyłożonego tylko do jednej części fundamentu l_1, które jest dwukrotnie mniejsze od mimośrodowości e w porównaniu z całkowitą długością l.



Wyznaczanie powierzchni efektywnej w przypadku osiowej mimośrodowości

Powierzchnię efektywną ($b * l_1$) zakłada się do obliczenia naprężenia stykowego, a zatem mamy:

$$\sigma = \frac{V}{b.(l-2.e)}$$

W przypadku ogólnego obciążenia mimośrodowego (fundament obciążany jest siła pionową V i momentami zginającymi M_1 i M_2), obciążenie jest zastępowane jedną siłą z danymi mimośrodowościami:

$$e_1 = \frac{M_1}{V}$$

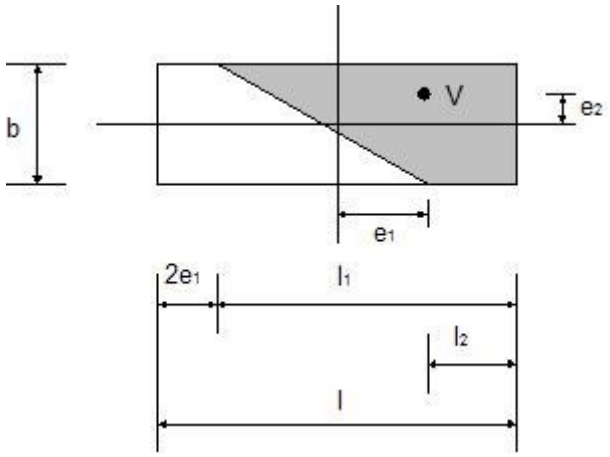
$$e_2 = \frac{M_2}{V}$$

Rozmiar powierzchni efektywnej wynika z warunku, że siła V musi działać mimośrodowo:

$$A_{ef} = b_{ef}.l_{ef} = (b-2.e_2).(l-2.e_1)$$

Ogólny kształt naprężenia kontaktowego

W przypadku obciążenia mimośrodowego, powierzchnia efektywna wyznaczana jest z założenia, że wypadkowa siła V musi działać w środku ciężkości ściskanego obszaru. To teoretycznie poprawne rozwiązanie zostało przedstawione na rysunku.



Wyznaczanie naprężenia kontaktowego dla ogólnej mimośrodowości - ogólny kształt

Ze względu na znaczną złożoność wyznaczania dokładnego położenia osi neutralnej, która z kolei jest decydująca przy obliczaniu powierzchni efektywnej, GEO5 wykorzystuje rozwiązanie zaproponowane przez Highter'a i Anders'a[1)], gdzie powierzchnie efektywne wyprowadzane są za pomocą wykresów.

Literatura:

[1)] Highter, W.H. - Anders, J.C.: Wymiarowanie Fundamentów Poddawanych Obciążeniom Mimośrodowym, Journal of Geotechnical Engineering. ASCE, Vol. 111, No GT5, str. 659 - 665.

Wyznaczanie sił wewnętrznych przekroju poprzecznego

Podłużne zbrojenie fundamentu sprawdzane jest ze względu na obciążenie momentem zginającym i siłą ścinającą. Zakłada się, że naprężenie pod fundamentem jest **jednolite** (CSN) lub **liniowe** (EC). Naprężenia w poszczególnych kierunkach x, y są wyznaczane niezależnie.

W przypadku rozważania **liniowego rozkładu naprężenia** pod fundamentem, wówczas rozkład naprężenia w przekroju poprzecznym wyznaczany jest z:

$$\sigma_1 = \frac{N}{d^2}.\left(4.d - 6.\left(\frac{d}{2} - e\right)\right)$$

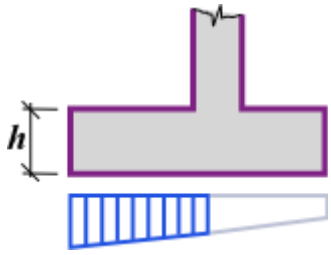
$$\sigma_2 = \frac{N}{d^2}.\left(-2.d + 6.\left(\frac{d}{2} - e\right)\right)$$

lub przy wykluczeniu rozciągania:

$$\sigma = \frac{2.N}{3.\left(\frac{d}{2} - e\right)}$$

gdzie:
- e - mimośrodowość siły normalnej N
- d - szerokość fundamentu
- N - siła normalna działająca pod fundamentem

Moment zginający i siła ścinająca wyznaczane są jako reakcja na belkę oporową pokazana na rysunku:



Siły wewnętrzne działające na odsadzkę ściany

Siły wewnętrzne w przekroju poprzecznym odpowiadające **stałemu rozkładowi naprężenia** wyznaczane są z:

$$M = d_v^2.\sigma$$

$$Q = d_v.\sigma$$

$$\sigma = \frac{N}{d - 2.e}$$

gdzie: σ - maksymalne naprężenie pod fundamentem

d_v - długość odsadzki

e - mimośrodowość siły normalnej N

d - szerokość fundamentu ściany

N - siła normalna działająca pod fundamentem

Sprawdzenie mimośrodowości fundamentu

Sprawdzenie mimośrodowości fundamentu przeprowadzane jest dla analizy *1.* SG (nośność fundamentu) oraz *2.* SG (osiadania fundamentu).

W trakcie analizy program przeprowadza sprawdzenie następujących przypadków:

- maksymalna mimośrodowość w kierunku długości podstawy: $e_x \leq e_{alw}$
- maksymalna mimośrodowość w kierunku szerokości podstawy: $e_y \leq e_{alw}$
- maksymalna całkowita mimośrodowość: $e_t \leq e_{alw}$

Wartość maksymalnej całkowitej mimośrodowości e_{alw} definiowana jest w ramce "**Ustawienia**", zakładce "Fundamenty bezpośrednie".

Wartość całkowitej mimośrodowości e_t wyznaczana jest ze wzoru:

$$e_t = \sqrt{e_x^2 + e_y^2}$$

gdzie: e_x - maksymalna mimośrodowość w kierunku długości podstawy

e_y - maksymalna mimośrodowość w kierunku szerokości podstawy

Procedura wyznaczania mimośrodowości niezbędnych do określenia efektywnej powierzchni fundamentu obciążonego mimośrodowo opisana jest tutaj.

Dla fundamentów bezpośrednich posadowionych na podłożu skalnym lub dla fundamentów typu płytowego, w niektórych przypadkach konieczne jest przyjęcie innych wartości mimośrodowości granicznych (maksymalnych).

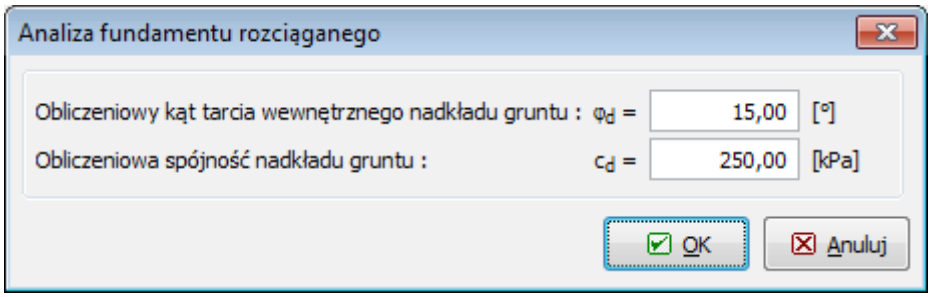
Analiza fundamentu rozciąganego

Analiza fundamentu bezpośredniego podlegającego rozciąganiu przeprowadzana jest w przypadku przyłożenia do konstrukcji obciążenia ujemną siłą normalną N (siła działająca do góry). Analiza takiego fundamentu wykonywana jest z zastosowaniem odpowiedniej metody analizy. Podczas obliczeń program porównuje maksymalną siłę rozciągającą $N_{t,max}$ wytrzymałością na unoszenie R_t. Program uwzględnia trzy następujące metody wyznaczania nośności (wytrzymałości na unoszenie R_t) fundamentu:

- podejście klasyczne
- metoda stożka
- DL/T 5219-2005

Podejście klasyczne

Wytrzymałość na unoszenie R_t łączy ciężar własny nadkładu gruntu oraz ciężar fundamentu + tarcie na ścianach fundamentu + fikcyjny (zastępczy) blok gruntu nad fundamentem. W zakładce "**1. SG**" okno dialogowe "**Analiza fundamentu rozciąganego**" służy do definiowania obliczeniowego kąta tarcia wewnętrznego nadkładu gruntu φ_d oraz obliczeniowej spójności nadkładu gruntu c_d.

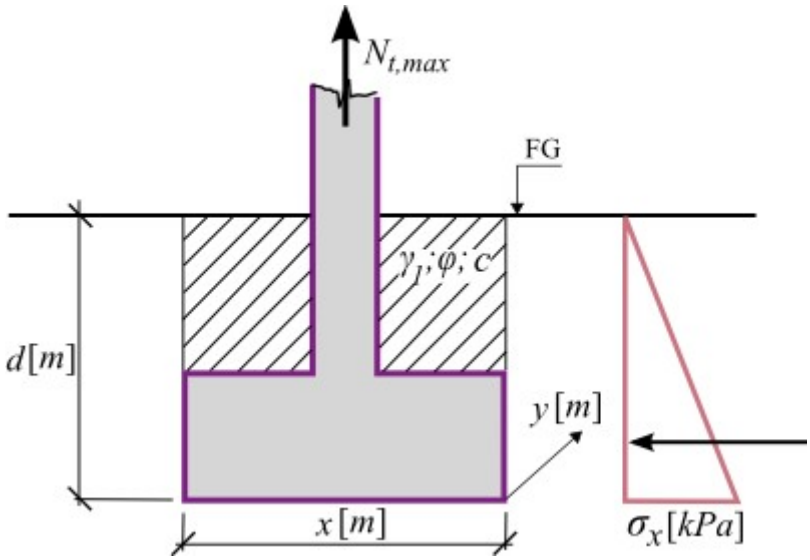


Okno dialogowe "Analiza fundamentu rozciąganego" - podejście klasyczne

Sprawdzenie nośności pionowej fundamentu rozciąganego (wytrzymałość na unoszenie) wykonywane jest z wykorzystaniem wzoru:

$$R_t = \left(\sigma_x \, tg\varphi_d + c_d\right) d \, p + G_p$$

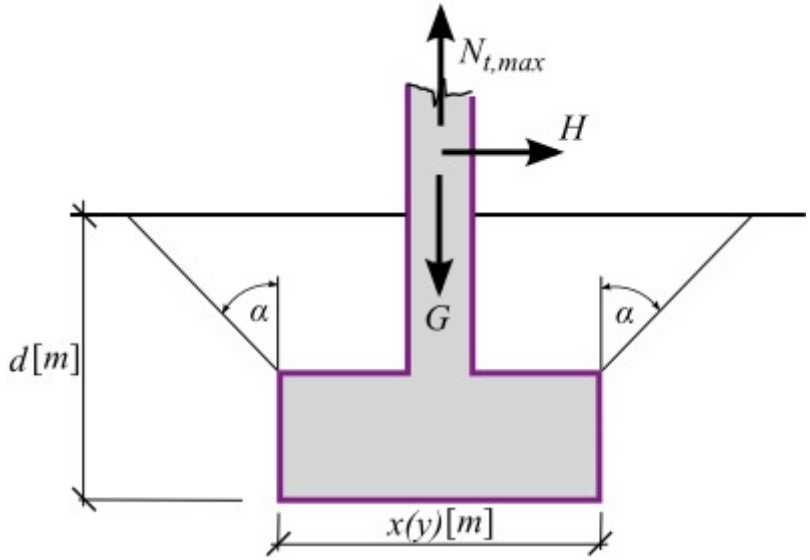
gdzie:
- σ_x - parcie spoczynkowe gruntu wynikające z nadkładu gruntu
- φ_d - obliczeniowy kąt tarcia wewnętrznego nadkładu gruntu
- c_d - obliczeniowa spójność nadkładu gruntu
- d - zagłębienie podstawy fundamentu
- p - obwód fundamentu
- G_p - ciężar własny fundamentu



Sprawdzenie fundamentu rozciąganego - podejście klasyczne

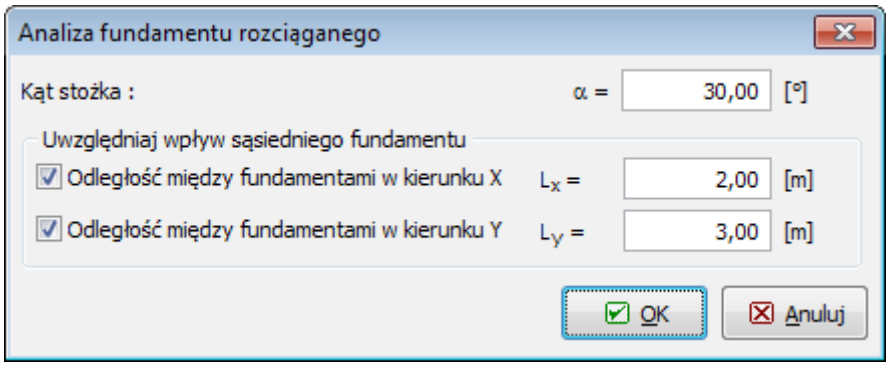
Metoda stożka

Wytrzymałość na unoszenie R_t łączy ciężar własny fundamentu oraz ciężar nadkładu gruntu w kształcie stożka, jak pokazano na rysunku poniżej.

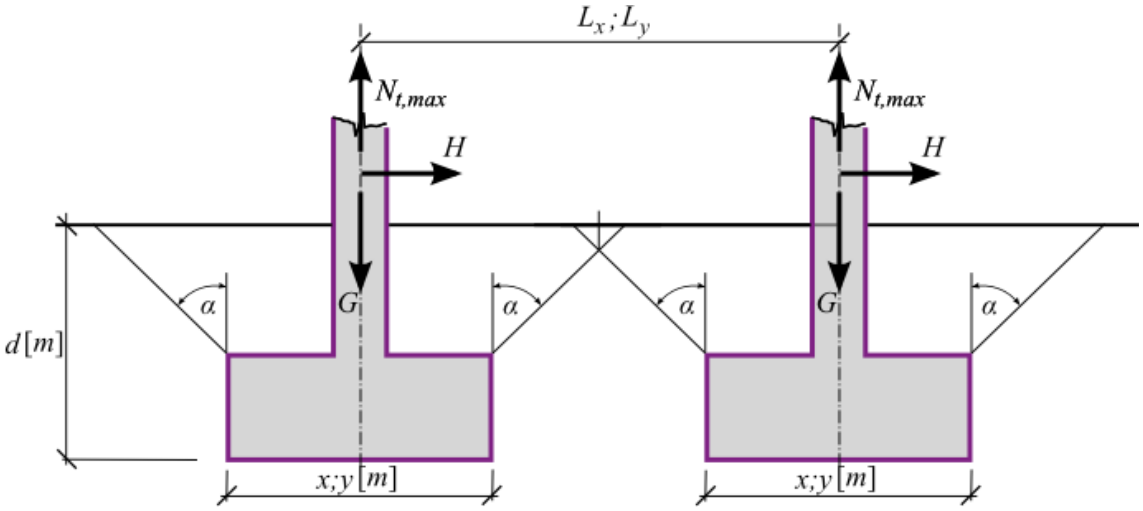


Basis of the cone method

W zakładce "**1. SG**" okno dialogowe "**Analiza fundamentu rozciąganego**" służy do definiowania kąta stożka α. W analizie wytrzymałości na unoszenie R_t istnieje również możliwość uwzględnienia wpływu fundamentów sąsiednich zarówno w jednym jak i w dwóch kierunkach, co redukuje objętość stożka gruntu.



Okno dialogowe "Analiza fundamentu rozciąganego" - metoda stożka



Wpływ fundamentów sąsiednich

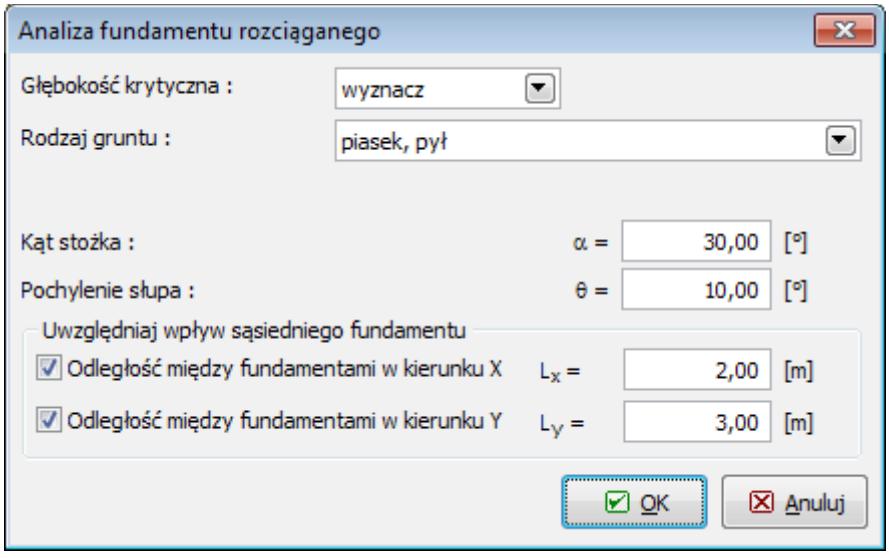
DL/T 5219 - 2005

Omawiana w tym rozdziale metoda obliczeniowa pochodzi z normy chińskiej **DL/T 5219 - 2005**. W przeciwieństwie do metody stożka oraz podejścia klasycznego wprowadza ona do obliczeń głębokość krytyczną h_c, która zależy od rodzaju gruntu i kształtu fundamentu. Okno dialogowe "**Analiza fundamentu rozciąganego**" pozwala zdefiniować bezpośrednio wartość h_c lub wybrać opcję wyznaczenia tej wielkości przez program na podstawie zdefiniowanego rodzaju gruntu i kształtu analizowanego fundamentu zgodnie z tabelą **6.3.1-1 - Głębokość krytyczna** h_c.

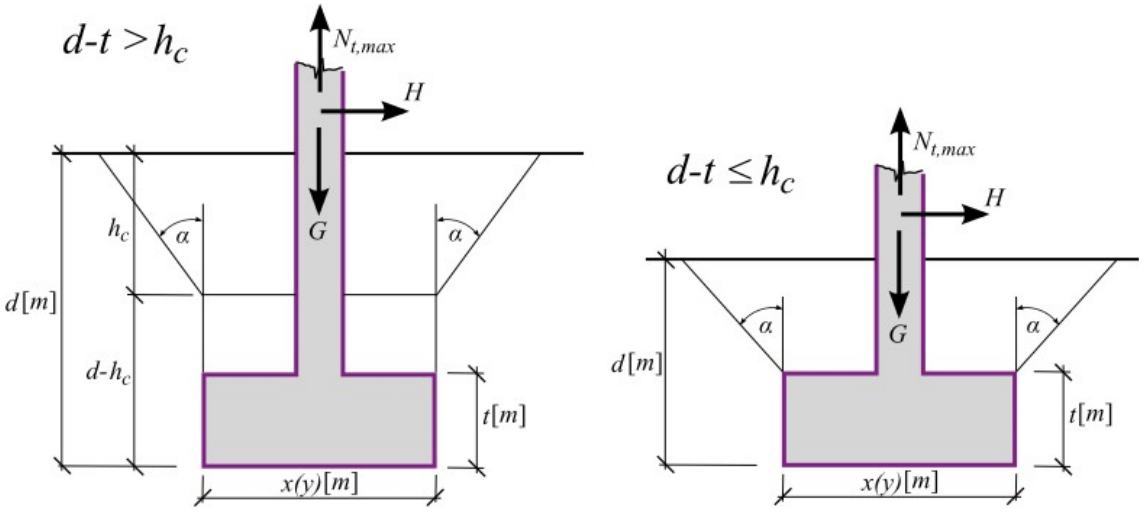
Table 6.3.1-1 wartości głębokości krytycznej h_c określone na podstawie normy chińskiej DL/T 5219-2005

Rodzaj gruntu	Stan gruntu	Głębokość krytyczna h_c dla fundamentów rozciąganych	
		Fundament kołowy	Fundament prostokątny
Piasek lub Pył	bardzo zagęszczony ~ zagęszczony	2,5D	3,0B
Ił / Glina	Zwarty ~ Twardoplastyczny	2,0D	2,5B
	Plastyczny	1,5D	2,0B
	Miękkoplastyczny - plastyczny	1,2D	1,5B
Uwaga 1: Dla fundamentów prostokątnych, jeśli stosunek pomiędzy długością L' i szerokością B jest mniejszy od 3, należy obliczać h_c jak dla fundamentu kołowego oraz D=0,6*$(B+L')$. Uwaga 2: Grunt musi być w stanie naturalnym.			

Ramka "**Nośność**" w oknie dialogowym "**Analiza fundamentu rozciąganego**" służy do definiowania kolejnego parametru wejściowego tej metody, tj. kąta stożka α. Sposób uwzględniania wpływu sąsiednich fundamentów opisano w rozdziale dotyczącym metody stożka. Pochylenie kolumny θ nie ma wpływu na wyznaczoną nośność fundamentu rozciąganego (wytrzymałość na unoszenie).



Okno dialogowe "Analiza fundamentu rozciąganego" - DL/T 5219-2005



Analiza fundamentu rozciąganego według DL/T 5219-2005

Analiza Pali

Rodzaje analiz dostępnych w programie **Pal** można podzielić na trzy główne grupy:

- Analiza nośności pionowej
- Osiadanie pala
- Analiza nośności poziomej

Nośność pionowa

Analizę nośności pionowej pala można przeprowadzić przy zastosowaniu:

- Rozwiązania analitycznego
- Metody sprężystej

Rozwiązanie analityczne

W rozwiązaniu analitycznym zakłada się, że całkowita nośność pala R_c jest sumą oporu pod podstawą pala R_b i oporu wzdłuż pobocznicy pala R_s (wynikającej z tarcia otaczającego gruntu na pobocznicy). W programie zastosowano następujące, ogólnie przyjęte metody:

- NAVFAC DM 7.2
- Tomlinson
- Metoda naprężeń efektywnych
- CSN 73 1002

Dla tych metod, istnieje możliwość wyboru metodologii analizy:

- Metoda klasyczna
- EN 1997-1

Podczas prowadzenia analizy **pala wciskanego**, wprowadzany jest ciężar własny pala zależnie od ustawienia w oknie "Obciążenie". W przypadku pala wyciąganego, ciężar własny pala jest

zawsze uwzględniany automatycznie. Na podstawie wprowadzonego obciążenia, program samodzielnie wykonuje analizę **pala wciskanego albo wyciąganego**.

NAVFAC DM 7.2

Obliczenia pionowej nośności pala wykonywane są wg publikacji: NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures, U.S. Department of the Navy 1984, w której podano szczegółowy opis wszystkich rodzajów podejść. Analiza uwzględnia opór pod podstawą pala R_b i opór pobocznicy pala R_s.

Dla gruntów niespoistych, program uwzględnia głębokość krytyczną.

Nośność podstawy pala

Nośność podstawy pala w **gruntach niespoistych** wyraża następujący wzór:

$$R_b = \sigma_{efb}.N_q.A_b$$

gdzie: σ_{efb} - naprężenie efektywne w podstawie pala

N_q - współczynnik nośności

A_b - powierzchnia podstawy pala

Współczynnik nośności N_q jest obliczany wstecznie przez program, jednakże jego wartości można modyfikować ręcznie.

Dla **gruntów spoistych** obowiązuje następujący wzór:

$$R_b = 9.c_u.A_b$$

gdzie: c_u - wytrzymałość na ścinanie w podstawie w warunkach bez odpływu

A_b - powierzchnia podstawy pala

Opór pobocznicy pala

Opór pobocznicy pala w **gruntach niespoistych** wyraża następujący wzór:

$$R_s = \sum_{j=1}^{n} K_j.\sigma_{ef,j}.tg\,\delta_j.A_{sj}$$

gdzie: K_j - współczynnik bocznego parcia gruntu w j-tej warstwie

$\sigma_{ef,j}$ - efektywna nośność gruntu w j-tej warstwie

δ_j - kąt tarcia na powierzchni pala (między materiałem pala i otaczającym gruntem w j-tej warstwie)

A_{sj} - powierzchnia pobocznicy pala w j-tej warstwie

Współczynnik bocznego parcia gruntu K jest obliczany wstecznie przez program, jednakże, jego wartości można modyfikować ręcznie w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

Dla **gruntów spoistych** obowiązuje następujący wzór:

$$R_s = \sum_{j=1}^{n} \alpha_j . c_{u,j} . A_{sj}$$

gdzie: α_j - współczynnik tarcia na pobocznicy w j-tej warstwie

$c_{u,j}$ - spójność w j-tej warstwie w warunkach bez odpływu

A_{sj} - powierzchnia pobocznicy pala w j-tej warstwie

Współczynnik nośności Nq

Wartości referencyjne dotyczące współczynnika nośności N_q przedstawiono w tabeli. Jeżeli do wykonania pala stosowany jest iniekcja strumieniowa (jet-grouting), to maksymalny kąt tarcia wewnętrznego φ ma wartość 28°.

Współczynnik nośności N_q

Kąt tarcia wewnętrznego φ[°]	26	28	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Współczynnik nośności N_q dla pali wbijanych	10	15	21	24	29	35	42	50	62	77	86	120	145
Współczynnik nośności N_q dla pali wierconych	5	8	10	12	14	17	21	25	30	38	43	60	72

Literatura:

NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures, U.S. Department of the Navy, 1984.

Współczynnik parcia bocznego gruntu K

Grunt wokół pala wbijanego podlega w trakcie wykonywania ściskaniu, a poziome parcie gruntu oddziałujące na powierzchnię pala jest większe niż spoczynkowe parcie gruntu (wyrażone współczynnikiem K_0) i mniejsze niż maksymalne parcie gruntu (bierne parcie gruntu wyrażone za pomocą współczynnika K_p):

$$K_0 < K < K_p$$

Wartości referencyjne współczynnika bocznego parcia gruntu K przedstawiono w tabeli. Współczynnik parcia bocznego gruntu K obliczany jest w następujący sposób:

$$K = \frac{K_a + K_p + K_0}{3}$$

gdzie: K_0 - współczynnik parcia spoczynkowego gruntu

$$K_0 = 1 - sin\varphi$$

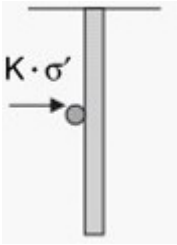
φ - kąt tarcia wewnętrznego gruntu

K_p - współczynnik parcia biernego gruntu

$$K_p = tg^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)$$

K_a - współczynnik parcia czynnego gruntu

$$K_a = tg^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$$



Parcie na pal

Wartości odniesienia współczynnika parcia bocznego gruntu K *podano w tablicy*

Rodzaj pala	K **dla pali wciskanych**	K **dla pali wyciąganych**
Pale wbijane o przekroju **H**	0,5 - 1,0	0,3 - 0,5
Pale wbijane przemieszczeniowe (o przekroju kołowym i kwadratowym)	1,0 - 1,5	0,6 - 1,0
Pale wbijane przemieszczeniowe, stożkowe	1,5 - 2,0	1,0 - 1,3
Pale wbijane - podpłukiwane	0,4 - 0,9	0,3 - 0,6
Pale wiercone (mniejsze niż 70 cm)	0,7	0,4

Literatura:

NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures, U.S. Department of the Navy, 1984.

Kąt tarcia na pobocznicy pala

Wartości referencyjne dotyczące kąta tarcia miedzy materiałem powierzchni pala i otaczającym gruntem niespoistym podano w tablicy:

Kąt tarcia na powierzchni pala $\delta[^\circ]$

Materiał pala	δ [°]
Pale stalowe	20
Pale drewniane	0,75 φ
Pale z betonu zbrojonego	0,75 φ

gdzie: φ - kąt tarcia wewnętrznego gruntu

Literatura:

NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures, U.S. Department of the Navy, 1984.

Współczynnik adhezji

Wartości referencyjne współczynnika adhezji α przedstawia tabela:

Współczynnik adhezji α wyznaczony empirycznie

Materiał pala	**Konsystencja gruntu**	**Zakres spójności** c_u $[kN/m^2]$	**Współczynnik adhezji** α[-]
Pale drewniane i betonowe	Miękkoplastyczna	0 - 12	0,00 - 1,00
	Plastyczna	12 - 24	1,00 - 0,96
	Twardoplastyczna	24 - 48	0,96 - 0,75
	Półzwarta	48 - 96	0,75 - 0,48
	Zwarta	96 - 192	0,48 - 0,33
Pale stalowe	Miękkoplastyczna	0 - 12	0,00 - 1,00
	Plastyczna	12 - 24	1,00 - 0,92
	Twardoplastyczna	24 - 48	0,92 - 0,70
	Półzwarta	48 - 96	0,70 - 0,36
	Zwarta	96 - 192	0,36 - 0,19

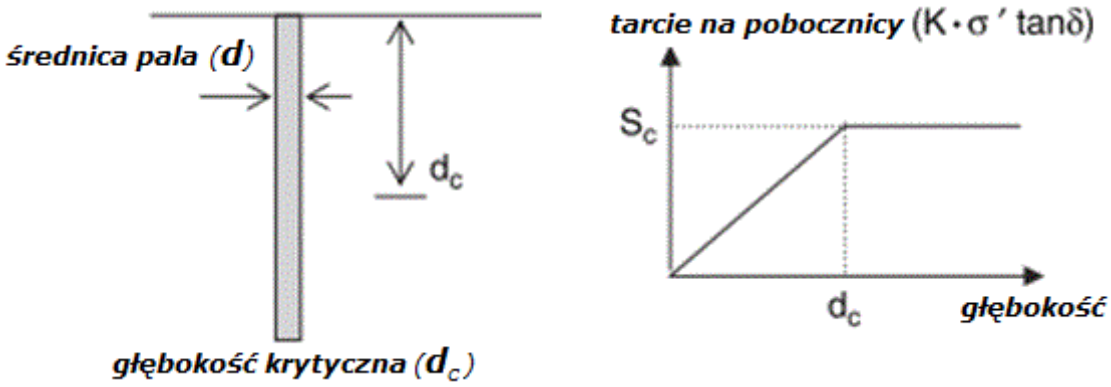
Literatura:

NAVFAC DM 7.2, Foundation and Earth Structures, U.S. Department of the Navy, 1984.

Głębokość krytyczna

W przypadku gruntów niespoistych, tarcie na pobocznicy nie wzrasta bez końca wraz z głębokością, jak to się dzieje np. z naprężeniem efektywnym, ale od pewnej, tzw. głębokości krytycznej, przyjmuje wartość stałą - porównaj kolejny rysunek, na którym d_c oznacza głębokość krytyczną, S_c stanowi tarcie na pobocznicy na głębokości krytycznej, a d jest

średnicą pala. Podobna zasada dotyczy oporu podstawy pala w gruntach niespoistych, dla którego w celu uproszenia przyjmowane są takie same wartości głębokości krytycznej d_c.



Głębokość krytyczna

Wartość referencyjna głębokości krytycznej dla piasku luźnego wynosi $10d$ (d jest średnicą lub szerokością pala), dla piasku średniozgęszczonego i zagęszczonego wartości te wynoszą odpowiednio $15d$ i $20d$.

Współczynnik głębokości krytycznej k_{dc} można ustawić w ramce "Nośność pionowa". Głębokość krytyczną oblicza się w następujący sposób:

$$d_c = k_{dc}.d$$

gdzie: k_{dc} - współczynnik głębokości krytycznej

d - średnica pala

Tomlinson

Ta szeroko stosowana metoda przyjmuje parametry wytrzymałości gruntu na ścinanie bez odpływu do obliczania nośności pala. Przyjmowane jest ponadto założenie, że opór pobocznicy pala zależy od parcia wynikającego z obciążenia nadkładem gruntu.

Opór pobocznicy pala obliczany jest wg wzoru:

$$R_s = \sum_{j=1}^{n} c_{a,j}.A_{s,j} = \sum_{j=1}^{n} \alpha_j.c_{u,j}.A_{s,j}$$

gdzie: $c_{a,j}$ - adhezja w j-tej warstwie (naprężenie ścinające między powierzchnią pala i otaczającym gruntem)

$A_{s,j}$ - powierzchnia pobocznicy pala w j-tej warstwie

α_j - wyznaczony empirycznie współczynnik adhezji (uzależniony od rodzaju gruntu, rodzaju pala, itp.) w j-tej warstwie

$c_{u,j}$ - spójność w j-tej warstwie w warunkach bez odpływu (wytrzymałość gruntu na ścinanie w warunkach bez odpływu)

Empiryczny współczynnik adhezji α jest obliczany wstecznie przez program. Jego wartości, można również dostosowywać ręcznie w oknie dialogowym "Dodaj nowy grunt".

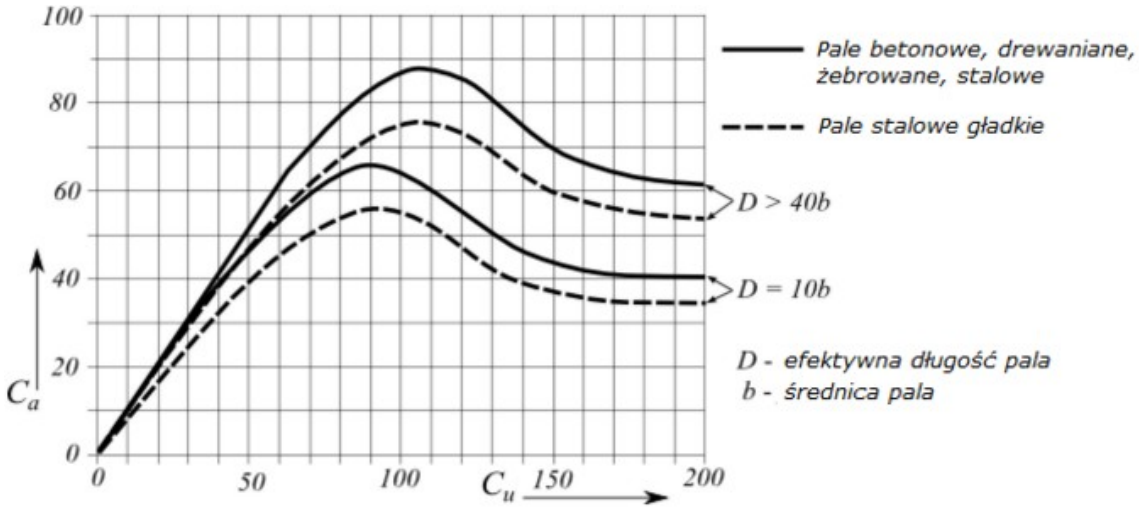
Opór **podstawy pala obliczany** jest wg wzoru:

$$R_b = q_b . A_b = 9 . c_u . A_b$$

gdzie:
- q_b - jednostkowy opór podstawy pala
- A_b - powierzchnia podstawy pala
- c_u - wytrzymałość gruntu na ścinanie w warunkach bez odpływu

Współczynnik adhezji

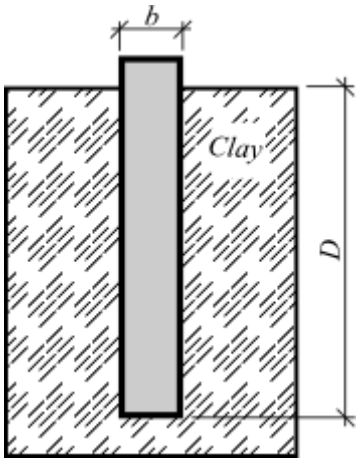
Empiryczny współczynnik adhezji α uwzględnia zachowanie się gruntu wokół powierzchni pala, a jego wartość uzależniona jest od rodzaju materiału pala, jakości powierzchni pala i rodzaju otaczającego gruntu. Wartości współczynnika wprowadzane są do programu na podstawie wykresu pochodzącego z książki M.J. Tomlinsona: Pile Design and Construction Practice.



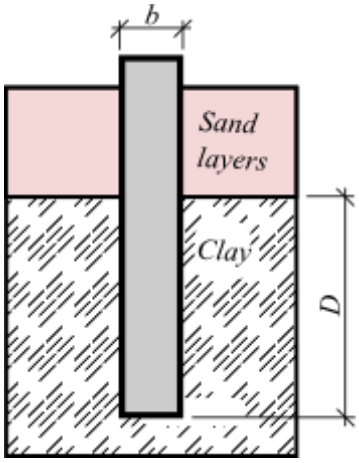
Wykres do określania współczynnika adhezji

Długość efektywna

Długość efektywna D określa długość pala, która efektywnie przenosi obciążenie od pala na grunt. Jeżeli cały pal umieszczony jest w gruncie nośnym, w którym obciążenie jest przenoszone poprzez tarcie na pobocznicy, wówczas długość efektywna odpowiada długości pala poniżej powierzchni terenu - zob. rys. A. W przypadku gruntu uwarstwionego, warstwy o dużej ściśliwości (w których obciążenie nie jest przenoszone do gruntu poprzez tarcie na pobocznicy) oraz warstwy zalegające powyżej nie są wliczane do długości efektywnej D - zob. rys. B. Wprowadzenie do analizy długości efektywnej i jej wartości wykonywane jest w oknie "Nośność pionowa".



Rys. A Długość efektywna w gruncie nośnym



Rys. B. Długość efektywna w gruncie uwarstwionym

Metoda naprężeń efektywnych

Metoda naprężeń efektywnych umożliwia obliczanie pionowej nośności pojedynczego pala w gruntach spoistych i niespoistych. Metoda nadaje się do stosowania dla warunków z odpływem, tzn. warunków, jakie występują po odpowiednio długim czasie od zakończenia budowy.

Opór pobocznicy pala wyraża wzór:

$$R_s = \sum_{j=1}^{n} q_{s,j} . A_{s,j} = \sum_{j=1}^{n} \beta_{p,j} . \sigma_{0,j} . A_{s,j}$$

gdzie:
- $q_{s,j}$ - opór pobocznicy w j-tej warstwie
- $\beta_{p,j}$ - współczynniki wg Bjerruma i Burlanda w j-tej warstwie
- $\sigma_{0,j}$ - średnie naprężenie efektywne od nadkładu gruntu oddziałujące wzdłuż pala w j-tej warstwie
- A_{sj} - powierzchnia pobocznicy pala w j-tej warstwie

Opór podstawy pala wyraża wzór:

$$R_b = q_p . A_b = N_p . \sigma_p . A_b$$

gdzie:
- q_p - jednostkowy opór podstawy pala
- A_b - powierzchnia podstawy pala
- N_p - współczynnik oporu podstawy (wg Felleniusa)
- σ_p - naprężenie efektywne od oddziaływania nadkładu gruntu oddziałujące w podstawie pala

Współczynniki nośności pala

Zalecane zakresy wartości współczynników oporu podstawy pala N_p i współczynnika β przedstawiono w poniższej tabeli. Wartości współczynnika β znajdują się zazwyczaj w podanym zakresie i rzadko przekraczają wartość 1,0.

Zakres wartości współczynników N_p i β (Fellenius, 1991)

Rodzaj gruntu	φ_{ef}	N_p	β
Ił	*25 - 30*	*3 - 30*	*0,23 - 0,40*
Pył	*28 - 34*	*20 - 40*	*0,27 - 0,50*
Piasek	*32 - 40*	*30 - 150*	*0,30 - 0,60*
Żwir	*35 - 45*	*60 - 300*	*0,35 - 0,80*

Literatura:

Felenius, B.H.: Foundation Engineering Handbook, Editor H.S. Fang, Van Nostrand Reinhold Publisher, New York, 1991, 511 - 536.

CSN 73 1002

Do programu wprowadzono dwie metody obliczania pionowej nośności pala wg Komentarza do normy **CSN 73 1002** "**Fundamenty palowe**":

- **Analiza wg teorii 1. grupy stanów granicznych**

Procedura rozwiązania zagadnienia opisana została w Komentarzu do normy CSN 73 1002 "Fundamenty palowe" w rozdziale 3 "Projektowanie" część B - rozwiązanie ogólne wg teorii 1. grupy stanów granicznych (str. 15). Wszystkie podejścia obliczeniowe oparto na wzorach tam podanych. Zakłada się, że pierwotne naprężenie geostatyczne σ_{or} oddziałuje od zmienionego (ostatecznego) poziomu podłoża. Współczynnik warunków zachowania się podłoża gruntowego rozpatrywany jest dla głębokości *z* (zmierzonej od zmienionego podłoża).

$$z \leq 1 \Rightarrow \gamma_{r2} = 1{,}3$$
$$1 < z \leq 2 \Rightarrow \gamma_{r2} = 1{,}2$$
$$2 < z \leq 3 \Rightarrow \gamma_{r2} = 1{,}1$$
$$3 < z \Rightarrow \gamma_{r2} = 1{,}0$$

Efektywna długość pala stosowana w obliczeniach nośności wynikającej z tarcia na pobocznicy pala redukowana jest o odcinek:

$$l_p = \frac{d.N_d^{2/3}}{4}$$

gdzie: d - średnica pala

- **Analiza pala opartego na podłożu nieściśliwym**

Analiza pala opartego na podłożu nieściśliwym (kategoria skały R1, R2) wykonywana jest wg części G - Analiza nośności pionowej R_c wg CSN 73 1004 - Komentarz do normy CSN 73 1002 "Fundamenty palowe". Opis rozpoczyna się na stronie nr 27 i zatytułowany jest "Pale oparte na podłożu nieściśliwym". W programie zastosowano te same procedury obliczeniowe. Wartość współczynnika osiadania I_{wp} jest interpolowana z Tabeli 16, która jest również umieszczona w programie.

Jeżeli wybrana zostanie opcja "**analiza według CSN 73 1002**" w zakładce "Pale", to analiza prowadzona jest wyłącznie według normy ČSN 73 1002, a inne współczynniki nie są wykorzystywane. Jeśli opcja ta nie zostanie wybrana analiza prowadzona jest według wybranej metody z uwzględnieniem odpowiednich współczynników.

Literatura:

Československá státní norma ČSN 73 1002 Pilotové základy, Normalizační institut, Praha, 1987.

Československá státní norma ČSN 73 1004 Velkoprůměrové piloty, Normalizační institut, Praha, 1981.

Analiza

Sposób analizy nośności pala zależy od metody obliczeniowej wybranej w zakładce "Pale" i może być następujący:

- analiza według współczynnika bezpieczeństwa
- analiza według teorii stanów granicznych
- analiza według EN 1997

Rzeczywista analiza (np. ocena oporu podstawy pala) jest taka sama dla obydwu wariantów, a różnice dotyczą zastosowanych współczynników obliczeniowych, kombinacji oraz w pewnym stopniu sposobu wykazania bezpieczeństwa konstrukcji. Współczynniki obliczeniowe (parametry analizy) są definiowane w zakładce "Pale".

Jeżeli dokonano wyboru obliczeń **według CSN 73 1002**, to analiza prowadzona jest wyłącznie według Komentarza do normy CSN 73 1002**.**

Analiza według teorii stanów granicznych

Jeżeli analiza prowadzona jest z zastosowaniem stanów granicznych, to wymagane wartości współczynników obliczeniowych definiowane są w zakładce "Pale".

Program wykonuje analizę **pala wciskanego** w następujący sposób:

$$R_c = \frac{R_b}{\gamma_b} + \frac{R_s}{\gamma_s} \geq V_d + W_p$$

gdzie:
- R_c - nośność pala
- R_b - opór podstawy pala
- R_s - opór pobocznicy pala
- γ_b - współczynnik częściowy oporu podstawy pala
- γ_s - współczynnik częściowy oporu pobocznicy pala
- γ_t - współczynnik częściowy całkowitego oporu pala
- V_d - pionowe obciążenie krytyczne oddziałujące na pal
- W_p - ciężar własny pala

Analiza pala wyciąganego wykonywana jest wg wzoru:

$$R_{sdt} = \frac{R_s}{\gamma_{st}} \geq V_d + W_p$$

gdzie:
- R_{sdt} - wytrzymałość pala na rozciąganie
- R_s - opór pobocznicy pala
- γ_{st} - współczynnik częściowy oporu pobocznicy pala wyciąganego
- γ_s - współczynnik częściowy oporu pobocznicy pala
- V_d - pionowe obciążenie krytyczne oddziałujące na pal
- W_p - ciężar własny pala

Współczynniki obliczeniowe

W zakładce "Pale" można dokonać wyboru spośród dwóch grup współczynników obliczeniowych (częściowych):

Współczynniki częściowe redukcji parametrów gruntu

- $\gamma_{m\varphi}$ - współczynnik redukcji kąta tarcia wewnętrznego
- γ_{mc} - współczynnik redukcji spójności efektywnej
- $\gamma_{m\gamma}$ - współczynnik ciężaru objętościowego

Dostępny jest również wybór redukcji $tg\varphi$.

Współczynniki częściowe oporu pala

- γ_b - współczynnik redukcji oporu podstawy pala
- γ_s - współczynnik redukcji oporu pobocznicy pala
- γ_b - współczynnik redukcji całkowitego oporu pala
- γ_{st} - współczynnik redukcji oporu pobocznicy pala wyciąganego

Wartości poszczególnych współczynników podane są w odpowiednich normach.

Analiza według współczynników bezpieczeństwa

Jeżeli analiza prowadzona jest według współczynnika bezpieczeństwa, to wymaganą wartość współczynnika bezpieczeństwa SF dla nośności pionowej można zdefiniować w zakładce "Pale".

Program wykonuje analizę pionowej nośności pala **wciskanego** w następujący sposób:

$$\frac{R_c}{V_d + W_p} > SF_{cp}$$

gdzie:
- V_d - maksymalne obciążenie pionowe oddziałujące na pal
- R_c - wytrzymałość pala na ściskanie
- W_p - ciężar własny pala (definiowany do analizy według ustawienia w zakładce "Obciążenie")

natomiast dla **pala wyciąganego**:

$$\frac{R_{sdt}}{V_d + W_p} > SF_{tp}$$

gdzie:
- V_d - maksymalne obciążenie pionowe oddziałujące na pal
- R_{st} - wytrzymałość pala na rozciąganie
- W_p - ciężar własny pala

Nośność pionowa - metoda sprężysta

Moduł "**Pal - metoda sprężysta**" jest częścią programu **Pal**. Służy do wyznaczania nośności pionowej pali w posadowionych w podłożu uwarstwionym. W obliczeniach przeprowadzonych tą metodą wyznaczane są: graniczna krzywa obciążeniowa (obciążenie-osiadanie) oraz rozkłady sił i przemieszczeń wzdłuż pala.

Główną zaletą metody sprężystej jest dostępność wymaganych parametrów wejściowych masywu gruntowego wokół pala - należy zdefiniować jedynie: **kąt tarcia wewnętrznego, spójność, ciężar jednostkowy i moduł odkształcenia** danego gruntu.

Procedura rozwiązania w module "**Pal - metoda sprężysta**" wykorzystuje podejście pół-analityczne. Odpowiedź otaczającego pal gruntu wynika z dobrze znanego rozwiązania podłoża uwarstwionego w postaci uogólnienionego modelu Winkler'a-Pasternak'a. Sprężysta sztywno-plastyczna odpowiedź na ścinanie na styku pala z gruntem modelowana jest z zastosowaniem kryterium wytrzymałościowego Mohr'a-Coulomb'a. Naprężenie normalne działające na pal wyznaczane jest z naprężenia geostatycznego i parcia spoczynkowego gruntu (mieszanki betonowej).

Wpływ wody gruntowej w pobliżu pala wprowadzany jest nie tylko do nośności na ścinanie pobocznicy pala, ale także wpływa na głębokość strefy wpływu poniżej pala.

W przypadku gdy pal sięga podłoża nieściśliwego metoda sprężysta nie może być zastosowana.

Na osiadanie pala może także wpływać osiadanie otaczającego terenu. W szczególności, osiadanie gruntu może redukować nośność pala. Osiadanie pala rośnie wówczas bez zwiększania obciążenia. Zjawisko to jest modelowane w programie jako tak zwane ujemne tarcie na pobocznicy.

Analiza może również uwzględnić wpływ technologii wykonania pala na sztywność fundamentu palowego.

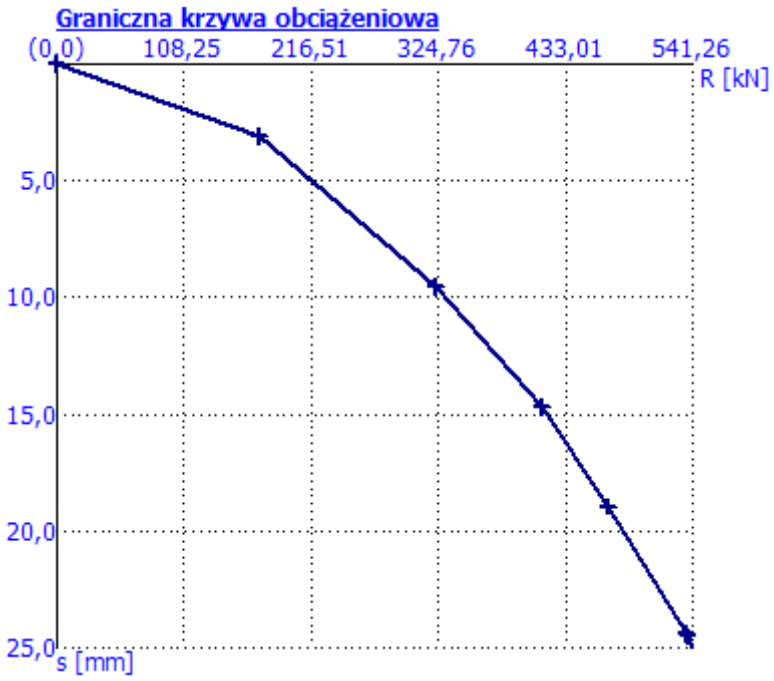
Rozwiązanie podzielone jest na kilka kroków:

1. W obliczeniach pal dzielony jest na pewną liczbę elementów (segmentów). Podział na pojedyncze elementy odpowiada warunkowi, że stosunek pomiędzy długością pala a jego średnicą powinien być mniej więcej równy 2,5. Minimalna liczba segmentów wynosi 10.
2. W obliczeniach, każdy segment charakteryzowany jest za pomocą podpory sprężystej (sprężyny). Sztywność tej sprężyny służy do modelowania zarówno wytrzymałości na ścinanie pobocznicy pala, jak i sztywności gruntu pod podstawą pala.
3. Dla każdego elementu wyznaczana jest wartość graniczna siły tnącej przenoszonej przez pobocznicę T_{lim}.
4. Pal obciążany jest na górze przyrostami obciążenia pionowego. Dla każdego przyrostu obciążenia wyznaczana jest wartość siły w podporze sprężystej każdego elementu. Wartość ta nie może przekroczyć wartości granicznej siły tnącej na pobocznicy pala T_{lim}. Oczywistym jest, że dla pewnego poziomu obciążenia, we wszystkich podporach sprężystych siły przestaną przyrastać, a dodatkowy przyrost obciążenia spowoduje, że pal będzie podparty tylko podporą sprężystą w podstawie, która nie ma ograniczeń w odniesieniu do przenoszonej siły.
5. W wyniku przeprowadzonej analizy otrzymywane są: graniczna krzywa obciążeniowa (obciążenie-osiadanie), rozkłady sił zmobilizowanych w palu oraz wykres pokazujący zmianę siły tnącej w funkcji odkształcenia w danym położeniu.

Graniczna krzywa obciążeniowa (obciążenie-osiadanie)

Graniczna krzywa obciążeniowa opisuje zmianę obciążenia pionowego Q w funkcji osiadania pala.

Domyślnie, program oferuje budowanie tej krzywej dla maksymalnej wartości osiadania równiej 25 mm. Jednak, wartość tę można modyfikować aż do wartości 100 mm przed przeprowadzeniem obliczeń. Przykład pokazujący typowy kształt granicznej krzywej obciążeniowej został przedstawiony na rysunku.



Graniczna krzywa obciążeniowa (obciążenie-osiadanie) dla pojedynczego pala

Nośność na ścinanie pobocznicy

Dla każdego elementu belki analizowanego pala, program wyznacza wartość graniczną, która może być przeniesiona przez pobocznicę pala na obszarze danego elementu. Jego wartość zależy od naprężenia geostatycznego $\boldsymbol{\sigma_z}$ na głębokości danego elementu.

$$\sigma_z = \sum \gamma h$$

gdzie: γ - ciężar jednostkowy gruntu

h - głębokość pod powierzchnią gruntu

Znak dodawania oznacza, że σ_z sumowane jest na poszczególnych warstwach gruntu.

Dopuszczalne naprężenie ścinające wynosi wówczas:

$$\tau = \sigma_z . k . tg\varphi + c$$

gdzie: c - spójność gruntu w miejscu belki

φ - kąt wewnętrznego tarcia gruntu w miejscu belki

k - współczynnik wzrostu dopuszczalnego tarcia granicznego na pobocznicy ze względu na technologię

Jeżeli belka znajduje się pod zwierciadłem wody gruntowej, dopuszczalne tarcie graniczne na pobocznicy jest wówczas redukowane do postaci:

$$\tau = (\sigma_z - u) k . tg\varphi + c$$

gdzie: u - ciśnienie porowe pod zwierciadłem wody gruntowej

Dopuszczalna siła ścinająca wynika z:

$$T_{\lim} = O.l.\tau$$

gdzie: O - długość obwodu pala

l - długość elementu belkowego pala

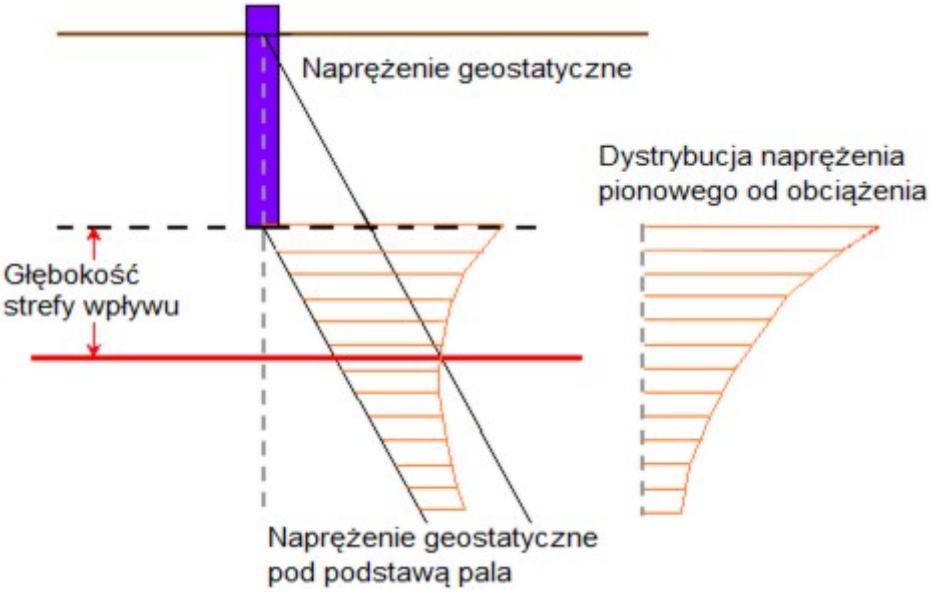
Współczynnik przyrostu tarcia granicznego na pobocznicy

Jeden z definiowanych parametów wejściowych jest współczynnikiem przyrostu tarcia granicznego na pobocznicy k na skutek stosowanej technologii budowy. Domyślna wartość tego współczynnika jest równa jeden. Norma nie zaleca żadnej określonej wartości - jego ustawienie zależy głównie od doświadczenia projektanta. Pomiary *in-situ* na rzeczywistych palach wykazały, że wartość k jest zwykle większa niż 1 i może osiągać nawet wartość 1,5. Z teoretycznego punktu widzenia, współczynnik może również osiągać wartości mniejsze niż 1.0.

Głębokość strefy wpływu

Głębokość strefy wpływu jest zmienną, która znacząco wpływa na sztywność gruntu poniżej podstawy pala. Jest ona jednym z parametrów, które należy zdefiniować w celu wyznaczenia parametrów C_1 i C_2 modelu Winklera-Pasternaka. Im głębsza jest strefa wpływu tym mniejsza sztywność podłoża. Gdy głębokość strefy wpływu osiąga granicznie zero, sztywność podłoża dąży do nieskończoności.

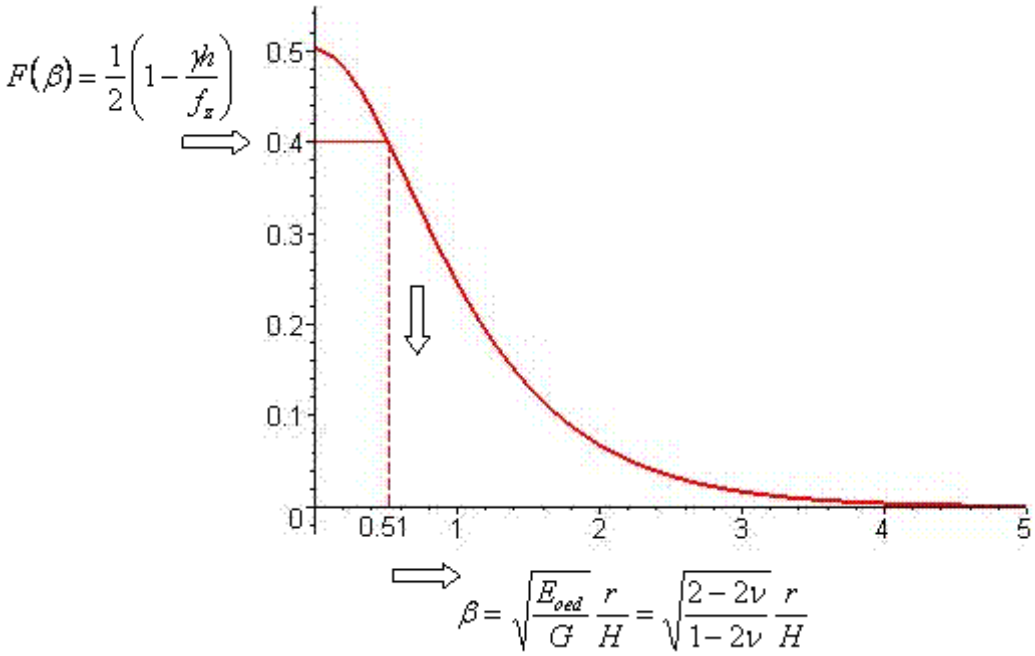
Głębokosć strefy wpływu zależy zarówno od parametrów podłoża jak też od wartości przyłożonego obciążenia, a zatem od naprężenia pod podstawą pala. Program zakłada, że głębokosć strefy wpływu znajduje się w położeniu, gdzie naprężenie pod podstawą pala równa się naprężeniu geostatycznemu. Założenie to obrazuje poniższy schemat:



Określenie głębokości strefy wpływu pod podstawą pala

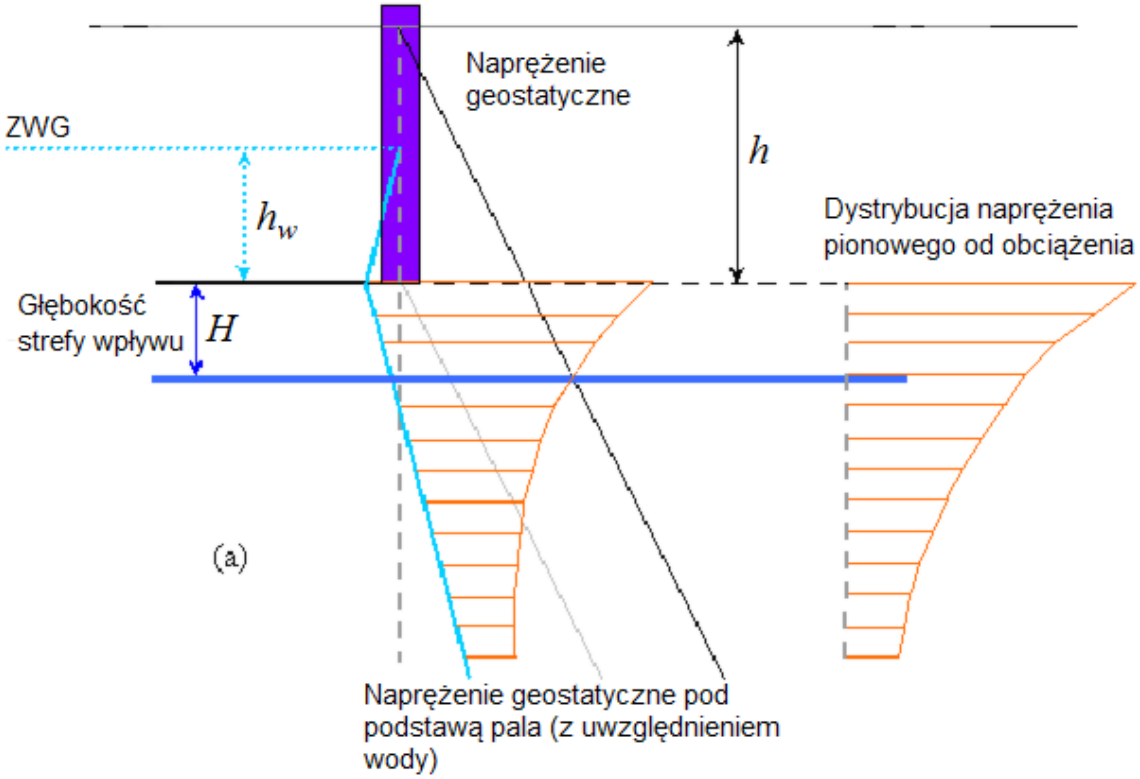
Do cyfrowego określenia głębokości strefy wpływu H służy funkcja $F(\beta)$. Jej rozkład pokazano na rysunku poniżej. Funkcję tę wyznaczono wykorzystując wyżej opisane (pokazane) założenia. W programie umieszczona została w postaci tablicy. Jej zastosowanie jest klarowne przy uwzględnieniu następujących kroków. Wartości $F(\beta)$ określane są na podstawie bieżących

wartości naprężenia f_z poniżej podstawy pala oraz na podstawie wartości naprężenia geostatycznego γ_h. Dla tak określonej wartości $F(\beta)$ wyznacza się wartość parametru β. Wartość ta służy do określenia dla zadanej wartości współczynnika Poisson'a ***v*** oraz średnicy pala r odpowiadającej gfłębokości strefy wpływu H.



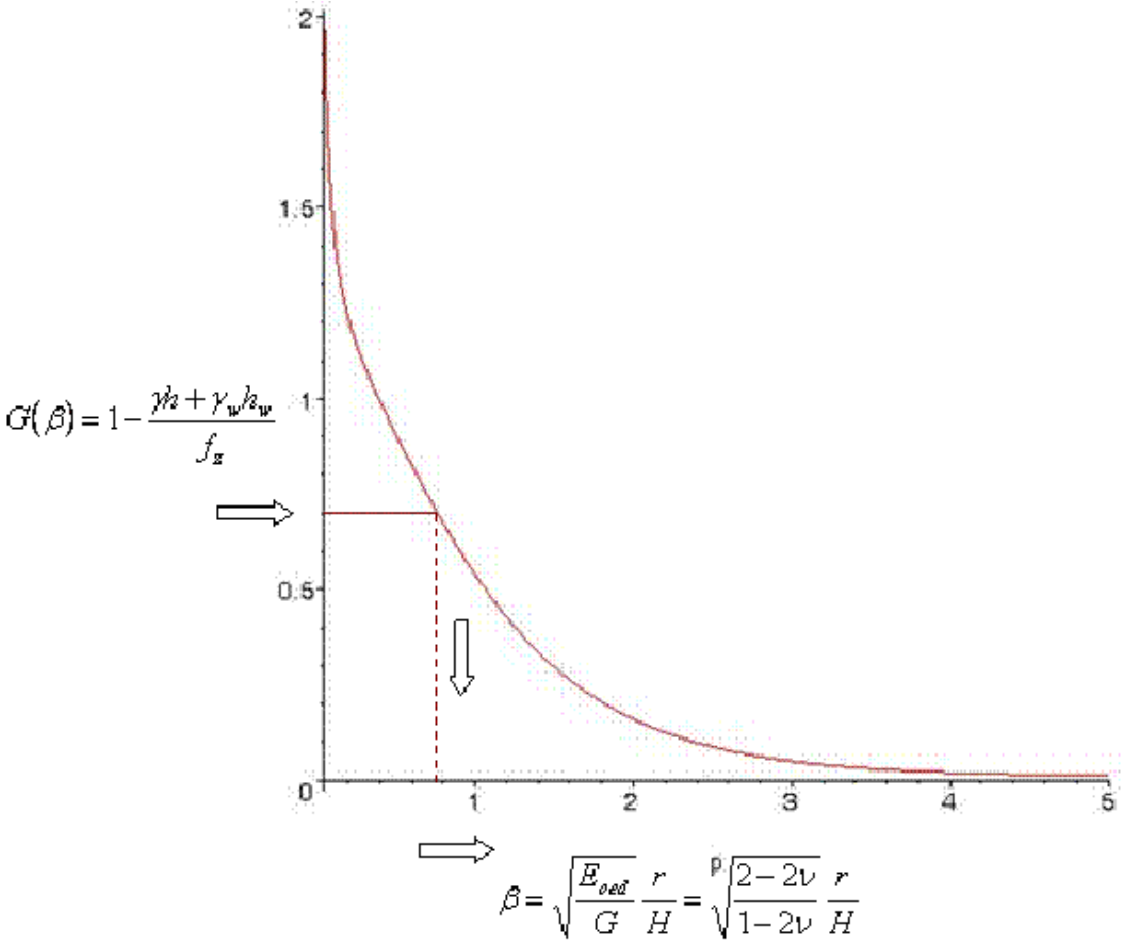
Zmienność funkcji $F(\beta)$

Głębokość strefy wpływu może być także zależna od obecności wody gruntowej. W takim przypadku sposób jej określania charakteryzuje poniższy schemat.



Określenie głębokości strefy wpływu pod podstawą pala z uwzględnieniem wody

Do cyfrowego określenia głębokości strefy wpływu H służy wówczas funkcja $G(\beta)$.Jej rozkład pokazano na rysunku poniżej. W obliczeniach funkcję tę wykorzystuje się analogicznie jak funkcję $F(\beta)$. Jedyna różnica przy określaniu wartości $G(\beta)$ polega na zastosowaniu naprężenia hydrostatycznego $\gamma_w * h_w$.



Zmienność funkcji $G(\beta)$

Podłoże nieściśliwe

Istnieje możliwość określenia podłoża nieściśliwego na pewnej głębokości pod powierzchnią gruntu. Jeżeli pal przekroczy tą określoną głębokość, wówczas wszystkie elementy belki znajdujące się poniżej tej wartości są nieruchome zamiast być oparte na sprężynie. Zatem, pal praktycznie nie doświadcza osiadania. Jeżeli pod palem znajduje się podłoże nieściśliwe, ale nie głębiej niż zasięg głębokości aktywnej (strefy wpływu), wówczas głębokość strefy wpływu do obliczenia sztywności jest redukowana tak, że sięga jedynie podłoża nieściśliwego. W ten sposób, podłoże nieściśliwe pod palem zwiększa swoją sztywność, a zatem również nośność pala. Jeżeli podłoże nieściśliwe znajduje się poniżej zasięgu głębokości aktywnej, nie wpływa to wówczas na analizowany pal.

Tarcie ujemne

Tarcie ujemne na pobocznicy pala jest zjawiskiem, które powstaje na skutek osiadania gruntu w pobliżu pala. Grunt odkształcający się dokoła pala pociąga pal w dół, redukując w ten sposób jego nośność przy zadanym osiadaniu pala.

Parametry wejściowe do oceny wpływu tarcia ujemnego na pobocznicy są to - osiadanie powierzchni gruntu w oraz głębokość aktywna tej deformacji h. Dla jednolicie rozłożonych obciążeń wokół pala, wartość w powinna być mierzona w odległości równej trzykrotnej średnicy

pala od powierzchni zewnętrznej. Wartość reprezentuje głębokość, na którą wpływa osiadanie powierzchni gruntu, poniżej której zakłada się grunt nieściśliwy bez deformacji.

Obliczenie tarcia ujemnego przeprowadzane jest najpierw przez wyznaczenie granicznych sił ścinających przenoszonych przez pal T_{lim}. Procedura rozwiązania zakłada, że osiadanie gruntu zmniejsza się liniowo wraz z głębokością od wartości w na powierzchni gruntu do 0 na głębokości h. Określona wartość osiadania gruntu jest zatem zakładana dla każdego poziomu pod powierzchnią gruntu do głębokości h. Siły powstałe w sprężynach (podpierających poszczególne elementy) na skutek ich odkształcenia są wyznaczane, a następnie odejmowane od T_{lim} w celu redukcji nośności pala.

Z przedstawionej teorii wynika, że dla większego osiadania w lub większej głębokości h, wartości T_{lim} mogą spadać do zera. W skrajnych przypadkach, tarcie ujemne może całkowicie wyeliminować nośność pobocznicy, tak że pal jest oparty jedynie na podłożu sprężystym pod palem.

Wpływ technologii

Technologia wykonania pali znacznie wpływa na ich nośność. Program umożliwia określenie technologii wykonania projektowanych pali. Zmobilizowane tarcie na pobocznicy i opór w podstawie pala są wówczas redukowane za pomocą współczynników zależnych od wybranej technologii. Wartości tych współczynników pochodzą z duńskiej normy NEN 6743 Fundamenty palowe.

Poza możliwością wyboru technologii i odpowiednich współczynników, użytkownik może dowolnie przypisać własne wartości tym współczynnikom. W ten sposób można, wykorzystać własne doświadczenie lub informacje uzyskane z innych źródeł w analizie.

Wytrzymałość na ścinanie

Wytrzymałość pala na ścinanie jest reprezentowana w analizie sztywnością sprężyn podpierających poszczególne belki pala. Sztywność powiązana jest parametrami materiału C_1 i C_2 modelu Winkler'a-Pasternak'a. Wartości C_1 i C_2 wyznaczane są z parametru E_{def} i zależne są od głębokości aktywnej, która zmienia się wraz z deformacją pala (osiadanie). Zmienność głębokości aktywnej w analizie jest wyznaczana, tak że dla deformacji zerowej osiąga wartość 1x średnica pala, a dla deformacji przy uszkodzeniu powierzchniowym równa się 2,5x średnica pala.

Decydującym parametrem do wyznaczenia wielkości C_1 i C_2 jest moduł odkształcenia. Należy zachować ostrożność przy ocenie wartości E_{def} na podstawie norm. W szczególności w przypadku długich pali mamy w zasadzie do czynienia z głęboko osadzonymi fundamentami, a grunt pod palem cechował się będzie wyższą sztywnością, niż te zaproponowane przez normy dla fundamentów bezpośrednich. Ma to szczególnie zastosowanie dla gruntów spoistych. Najbardziej wiarygodne szacunki są oczywiście te, uzyskane bezpośrednio z pomiarów *in-situ*.

Wzory podane poniżej służą do wyznaczenia sztywności sprężyn reprezentujących wytrzymałość pala na ścinanie jako funkcję obliczonych parametrów podłoża sprężystego. Są one zależne od przekroju poprzecznego, a dla zdefiniowanych przekrojów poprzecznych przyjmują postać:

Koło:

$$k = 2.\pi r.\sqrt{C_1 C_2}.\frac{K_1.(\alpha r)}{K_2.(\alpha r)}$$

gdzie: r - promień przekroju poprzecznego pala

C_1, C_2 - parametry podłoża

$K_1(\alpha r)$, $K_2(\alpha r)$ - wartości zmodyfikowanych funkcji Bessel

Parametr α osiąga wartość:

$$\alpha = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}}$$

Prostokąt:

$$k = \left[2.(a+b).\sqrt{C_1 C_2} + 3.C_2\right] k_{red}$$

gdzie a,b są długościami boków prostokąta, a C_1, C_2 są parametrami podłoża i k_{red} jest współczynnikiem redukcji, który redukuje sztywność w odniesieniu do smukłości prostokąta.

Osiąga następujące wartości:

$$k_{red} = 0{,}6 + 0{,}4.e^{0{,}5\left(1-\frac{b}{a}\right)}$$ dla: $H \geq 3.a$

$$k_{red} = 1 - \frac{1 - 0{,}6 + 0{,}4.e^{0{,}5\left(1-\frac{b}{a}\right)}}{3.a}.H$$ dla: $H < 3.a$

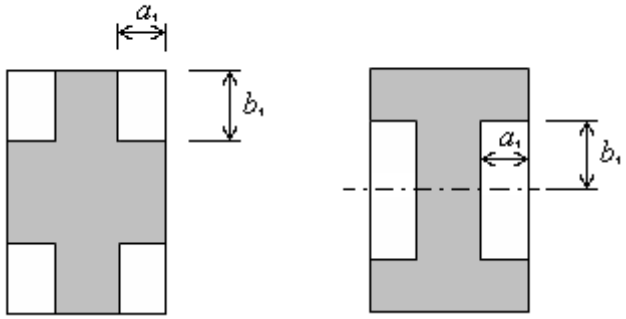
gdzie a jest długością krótszego boku prostokąta, a H jest głębokością aktywną.

Przekrój poprzeczny "I":

Dla tych przekrojów poprzecznych, sztywność wyprowadzana jest ze sztywności prostokątnego przekroju poprzecznego zredukowanej przez odjęcie sztywności odpowiadającej czterem usuniętym częściom tego przekroju.

$$k = \left[2.(a+b).\sqrt{C_1 C_2} + 3.C_2\right] k_{red} - \left(1 - e^{-e.\sqrt{a_1^2 + b_1^2}}\right).\left[C_1.\frac{a_1.b_1}{9} + C_2\left(\frac{a_1}{3.b_1} + \frac{b_1}{3.a_1}\right)\right]$$

gdzie: a_1, b_1 - widoczne na poniższym rysunku



Sztywność podłoża pod podstawą pala

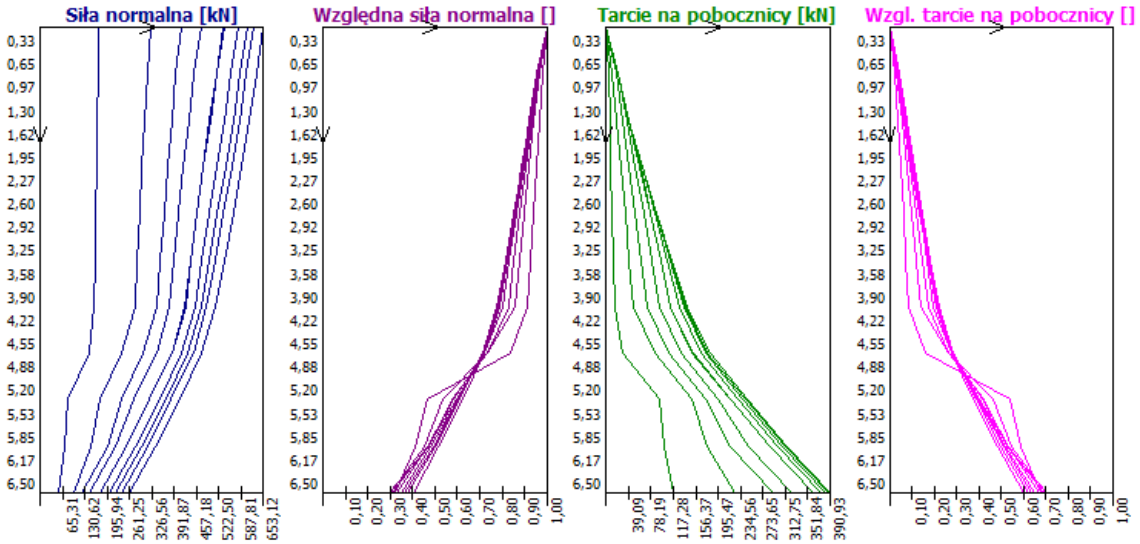
Sztywność gruntu pod podstawą pala wynika z wartości sztywności C_1 modelu Winkler'a. Wartość C_1 wyznaczana jest dla parametrów E_{def} i νgruntu pod palem. Wartość C_1 zależy od głębokości strefy wpływu pod palem. Sztywność podpory sprężystej belki pod podstawą pala jest wówczas wyznaczana ze wzoru:

$$k_r = C_1 . A$$

gdzie: A - pole przekroju poprzecznego pod palem

Rozkłady sił działających na palu

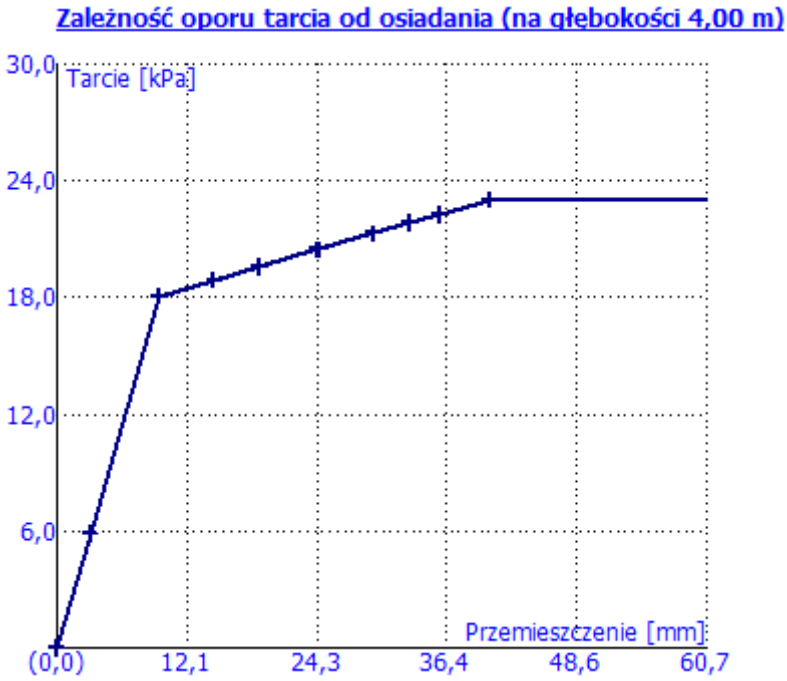
Poza graniczną krzywą obciążeniową istnieje możliwość śledzenia rozkładu siły normalnej w palu oraz rozkładu siły tnącej zmobilizowanej wzdłuż pobocznicy pala. Siły normalne zmniejszają się od góry ku podstawie pala, bowiem obciążenie jest stopniowo przenoszone przez siłę tnącą mobilizującą się wzdłuż pala. W przeciwieństwie do siły normalnej, siła tnąca rośnie od góry do dołu. Obie siły są oceniane w wartościach względnych związanych z wielkością obciążenia pionowego.



Rozkład sił wewnętrznych w palu

Wpływ ścinania na przemieszczenie

Na dowolnej (wybranej) głębokości istnieje możliwość przeglądania rozkładu tarcia jako funkcji przemieszczenia (osiadania) danego punktu pala. Wykres ten pokazuje proces stopniowej redukcji sztywności ścinania pala aż do zera wraz z wzrostem deformacji. Zależność ta jest początkowo liniowa, szczególnie na etapie, gdzie siła sprężyny nie przekracza wartości T_{lim}. Po przekroczeniu tej wartości, sztywność sprężyny zaczyna się stopniowo zmniejszać, co widać poprzez spłaszczanie się krzywej.



Wpływ ścinania na przemieszczenie (osiadanie) pala

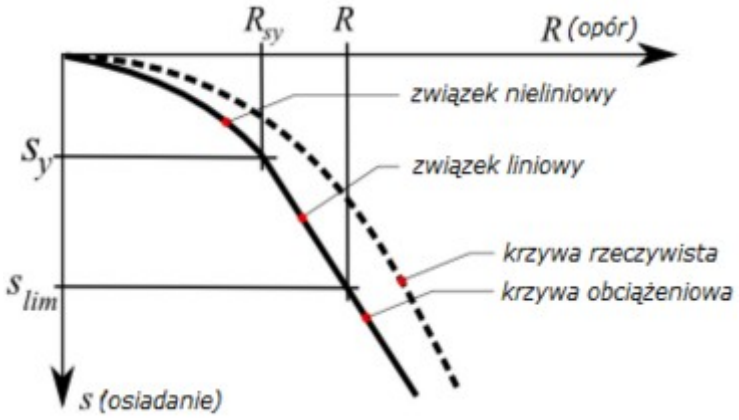
Osiadanie pali

Dostępne są dwie opcje analizy osiadania pala:

- Teoria nieliniowa (Masopust)
- Teoria liniowa (Poulos)

Teoria nieliniowa (Masopust)

W teorii nieliniowej krzywa obciążeniowa (krzywa obciążenie - osiadanie) tworzona jest przy założeniu, że przebieg osiadania w funkcji oporu aż do osiągnięcia mobilizacji pełnego oporu na pobocznicy pala może być reprezentowany przez parabolę. Następnie, związek ma postać liniową, jak przedstawiono na rysunku. Metodę tę opracowano w oparciu o krzywe regresji wykreślone na podstawie analizy statystycznej wyników badań pali pod obciążeniem statycznym; w celu określenia nośności pionowej w metodzie tej stosuje się współczynniki regresji. Bardziej szczegółowy opis przedstawiony zostanie w dalszej części pomocy.



Krzywa obciążeniowa pala (krzywa obciążenie-osiadanie)

Literatura:

Masopust, J.: Vrtane piloty. 1st edition, Prague, Cenek a Jezek, 1994, 263 s.

Masopust, J., Glisnikova, V.: Zakladani staveb Modul M01. 1st edition, Brno, AN CERM, 2007, 182 s., ISBN 978-80-7204-538-9.

Podejście obliczeniowe według Masopusta

Krzywa obciążeniowa (obciążenie-osiadanie) dla pojedynczego pala jest tworzona w następujący sposób:

1) Graniczny tarcie na pobocznicy q_s jest wyznaczane według wzoru:

$$q_s = a - \frac{b}{v_i / d_i}$$

gdzie:
- a, b - współczynniki regresji właściwego oporu pobocznicy
- v_i - głębokość od powierzchni terenu do środka i-tej warstwy $[m]$
- d_i - średnica pala w i-tej warstwie $[m]$

natomiast opór (nośność) pobocznicy pala wyraża wzór:

$$R_s = m_1 . m_2 . \pi . \sum_{i=1}^{n} d_i . h_i . q_{si}$$

gdzie:
- m_1 - współczynnik rodzaju obciążenia
- m_2 - współczynnik zabezpieczenia pobocznicy
- d_i - średnica pala w i-tej warstwie $[m]$
- h_i - miąższość i-tej warstwy $[m]$
- q_{si} - graniczny opór (nośność) pobocznicy w i-tej warstwie $[MPa]$

2) Nośność podstawy pala q_b obliczana jest wg wzoru:

$$q_b = e - \frac{f}{D / d_b}$$

gdzie:
- e, f - współczynniki regresji pod podstawą pala
- D - długość pala w gruncie $[m]$
- d_b - średnica podstawy pala $[m]$

3) Współczynnik obciążenia przenoszonego na podstawę pala β wyrażony jest za pomocą wzoru:

$$\beta = \frac{q_b}{q_b + 4 . \overline{q}_s . D / d_b}$$

gdzie: q_b - nośność podstawy pala [MPa]

$\overline{q}_s$ - średnia ważona granicznego oporu (nośności) pobocznicy [MPa]

D - długość pala w gruncie [m]

d_b średnica podstawy pala [m]

Obciążenie aktywujące tarcie na pobocznicy R_{sy} wyraża wzór:

$$R_{sy} = \frac{R_s}{1-\beta}$$

gdzie: R_s opór (nośność) pobocznicy pala [N]

β współczynnik obciążenia przenoszonego do podstawy pala [-]

4) Obciążenie aktywujące opór R_{sy} wyraża wzór:

$$s_y = I_s \frac{R_{sy}}{0,7.d.E_s}$$

gdzie: I_s - współczynnik osiadania

R_{sy} - obciążenie w momencie mobilizacji tarcia na pobocznicy [N]

d - średnica pala [m]

E_s - sieczny moduł odkształcenia otaczającego gruntu [MPa]

5) Obciążenie w podstawie pala dla przyjętej wartości osiadania (dla granicznej wartości osiadania równej $25\ mm$) obliczane jest wg wzoru:

$$R_{b\lim} = \beta.R_{sy}\frac{s_{\lim}}{s_y}$$

gdzie: β - współczynnik obciążenia przenoszonego do podstawy pala [-]

R_{sy} - obciążenie w momencie mobilizacji tarcia na pobocznicy [N]

s_{lim} - graniczna wartość osiadania (zwykle przyjmowana $25\ mm$) [m]

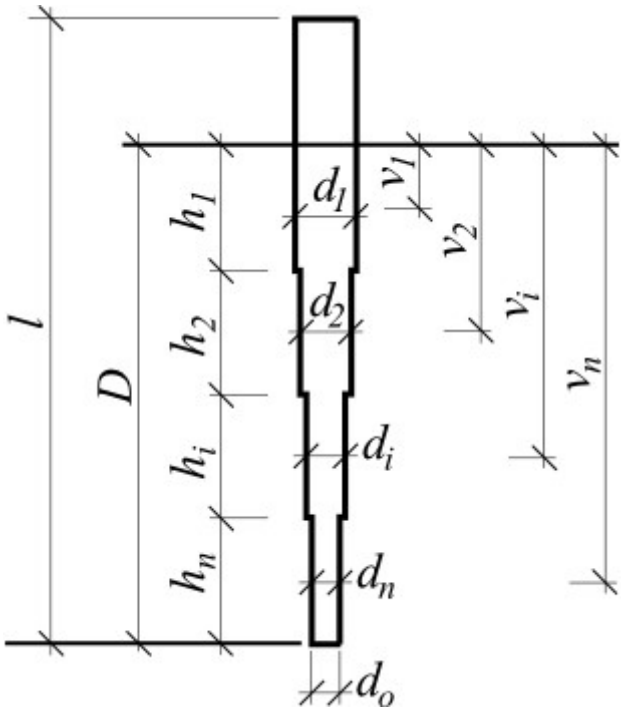
s_y osiadanie aktywujące opór pobocznicy [m]

Opór pala dla danej wartości osiadania granicznego S_{lim} wyrażony jest za pomocą wzoru:

$$R_c = R_{b,lim} + R_s$$

gdzie: R_{blim} - obciążenie w podstawie pala dla danej wartości osiadania [N]

R_s - opór pobocznicy pala [N]



Podejście obliczeniowe według Masopusta

Literatura:

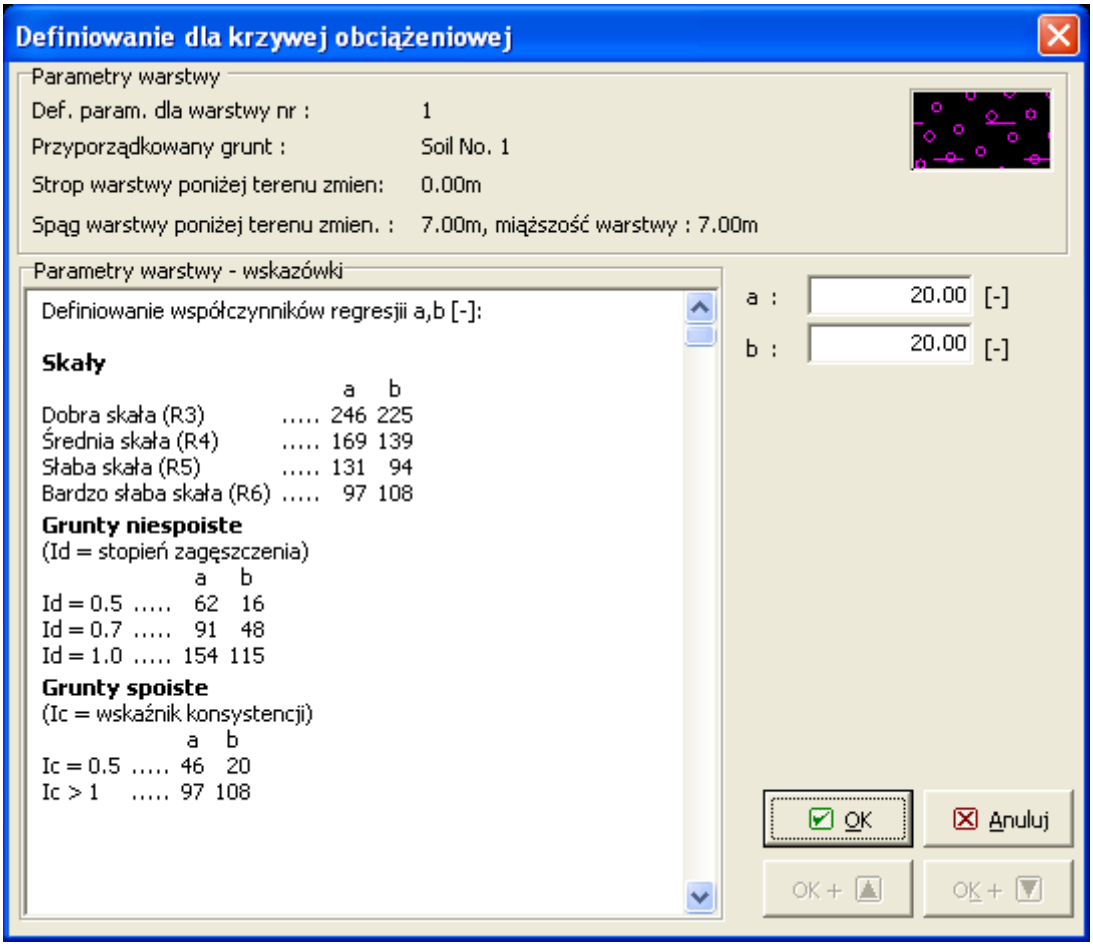
Masopust, J.: Vrtane piloty. 1st edition, Prague, Cenek a Jezek, 1994, 263 s.

Masopust, J., Glisnikova, V.: Zakladani staveb Modul M01. 1st edition, Brno, AN CERM, 2007, 182 s., ISBN 978-80-7204-538-9.

Współczynniki regresji

Wartość właściwego tarcia na pobocznicy zależy od współczynników regresji a, b. Nośność podstawy pala (przy pełnej mobilizacji tarcia na pobocznicy pala), zależy od współczynników regresji e, f. Wartości tych współczynników regresji uzyskano z równań krzywych regresji wykreślonych na podstawie analizy statystycznej wyników około 350 badań pali pod obciążeniem statycznym.

Okno dialogowe służące do wprowadzania współczynników regresji można wyświetlić w ramce "Osiadanie", za pomocą przycisków "**Edycja** a**,** b" i "**Edycja** e**,** f". Podczas modyfikowania wartości, w oknie widoczne są zalecane wartości współczynników regresji dla różnych rodzajów gruntów i skał.



Okno dialogowe "Definiowanie dla krzywej obciążeniowej" - wprowadzanie współczynników regresji a, b, (e, f)

Współczynniki m1, m2

Współczynnik rodzaju obciążenia m_1 :

- dla obciążenia charakterystycznego 0,7
- dla obciążenia obliczeniowego 1,0

Współczynnik zabezpieczenia pobocznicy m_2 :

- dla betonowania w suchym otworze i pod wodą 1,0
- dla betonowania z zawiesiną bentonitową 0,9
- dla ścianki szczelnej z PCV (grubość powyżej 0,7 mm) 0,7
- dla ścianki szczelnej i siatki systemowej B 0,5
- dla stalowych rur osłonowych 0,15

Literatura:

Masopust, J., Glisnikova, V.: Zakladani staveb Modul M01. 1st edition, Brno, AN CERM, 2007,

182 s., ISBN 978-80-7204-538-9.

Sieczny moduł odkształcenia Es

Wartość siecznego modułu odkształcenia E_S zależy od średnicy pala d oraz miąższości poszczególnych warstw gruntu h_i. Wartości tego modułu E_S należy określać doświadczalnie na podstawie próbnych obciążeń pali.

Dla gruntów niespositych wartość modułu siecznego zależy również od stopnia zagęszczenia I_d, a dla gruntów spoistych od wskaźnika konsystencji I_c. Wartość siecznego modułu odkształcenia E_S rośnie wraz z głębokością (miąższością warstwy).

Rozdział 60 w [2] stwierdza, że wartość kumulacyjna modułu siecznego (w odniesieniu do wszystkich rodzajów gruntów wzdłuż pobocznicy oraz w podstawie pali wielkośrednicowych) wynosi:

$$E_s = I_s \frac{Q}{s\,d}$$

gdzie: I_S - współczynnik osiadania [-]

d - średnica pala $[m]$

Q - odpowiednia wartość obciążenia (siła) mierzona podczas próbnych obciążeń pali $[N]$

s - odpowiednia wartość osiadania pala mierzona podczas próbnych obciążeń pali $[m]$

Wartości siecznego modułu odkształcenia E_{Si} dla różnych rodzajów gruntów, różnych średnic i zagłębienia pali podano w poniższych tabelach [3]. Wartości pośrednie siecznego modułu odkształcenia E_S mozna interpolować liniowo.

Sieczny moduł odkształcenia E_S w skałach i słabych skałach

h (m)	d (m)								
	0,6			1,0			1,5		
	R3	**R4**	**R5**	**R3**	**R4**	**R5**	**R3**	**R4**	**R5**
1,5	50,3	28,2	20,2	72,3	35,0	24,7	85,5	33,5	22,3
3,0	64,5	43,1	30,8	105,5	57,3	41,0	138,3	58,8	41,2
5,0	-	58,2	41,3	-	75,3	54,8	-	87,9	63,7
10,0	-	87,5	61,6	-	114,5	83,2	-	133,0	97,0

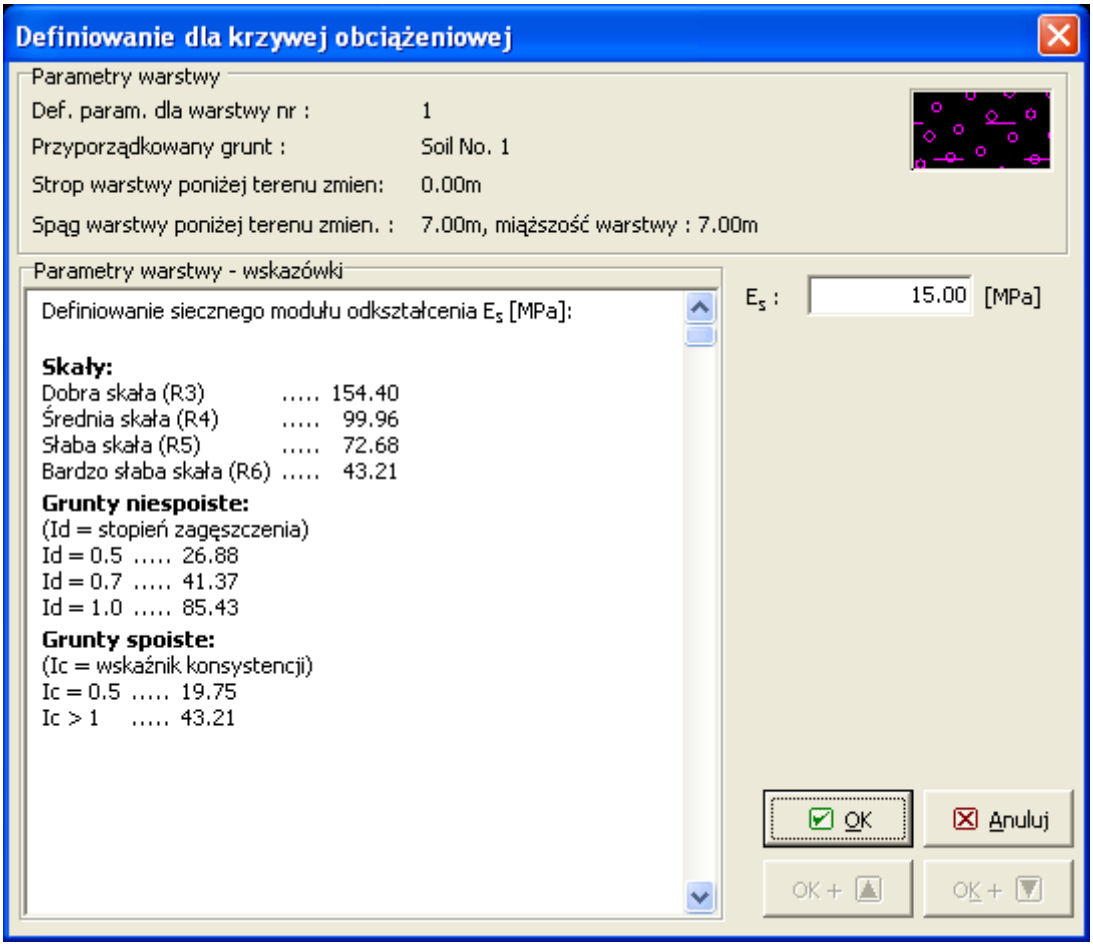
Sieczny moduł odkształcenia E_S w gruntach niespoistych

$h\ (m)$	$d\ (m)$								
	0,6			1,0			1,5		
	I_d								
	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9
1,5	11,0	13,7	28,3	12,8	15,8	30,6	13,0	15,3	29,0
3,0	15,5	20,2	44,5	18,4	25,0	47,8	19,4	24,5	52,5
5,0	18,8	26,6	56,1	22,8	32,5	69,1	24,5	36,0	78,2
10,0	23,8	36,6	72,1	29,8	47,8	93,4	32,6	54,0	107,3

Sieczny moduł odkształcenia E_S w gruntach spoistych

$h\ (m)$	$d\ (m)$					
	0,6		1,0		1,5	
	I_c					
	0,5	≥ 1,0	0,5	≥ 1,0	0,5	≥ 1,0
1,5	6,9	13,2	7,9	13,4	8,6	12,3
3,0	10,0	22,0	12,5	23,9	13,7	23,0
5,0	12,5	31,2	15,9	35,4	18,4	36,7
10,0	15,5	44,3	21,3	51,3	24,6	57,4

Okno dialogowe do definiowania wartości siecznego modułu odkształcenia E_S dostępne jest w ramce "Osiadanie" po wybraniu przycisku "**Edycja** E_S". Podczas edycji, w oknie wyświetlane są zalecane wartości siecznego modułu odkształcenia gruntu E_S.



Okno dialogowe "Definiowanie danych dla krzywej obciążeniowej" - Sieczny moduł odkształcenia gruntu E_S [MPa]

Literatura:

[1] CSN 73 1002: Pilotove zaklady. Praha, UNM, 1988, 28 s.

[2] CSN 73 1004: Velkoprumerove piloty. Praha, UNM, 1981, 56 s.

[3] Masopust, J., Glisnikova, V.: Zakladani staveb Modul M01. 1st edition, Brno, AN CERM, 2007, 182 s., ISBN 978-80-7204-538-9.

[4] Pochman, R., Simek, J.: Pilotove zaklady - Komentar k CSN 73 1002. 1st edition, Prague, Vydavatelstvi norem, 1989, 80 s.

Współczynnik osiadania Is

Wartość współczynnika osiadania jest uzależniona od głębokości pala poniżej spągu warstwy nośnej D i od średnicy pala d. Współczynnik osiadania I_S opisuje następujący wzór:

$$I_s = I_0 . R_k . R_h$$

gdzie: I_0 - współczynnik wpływu osiadania podłoża

R_k - współczynnik korekcyjny ściśliwości pala

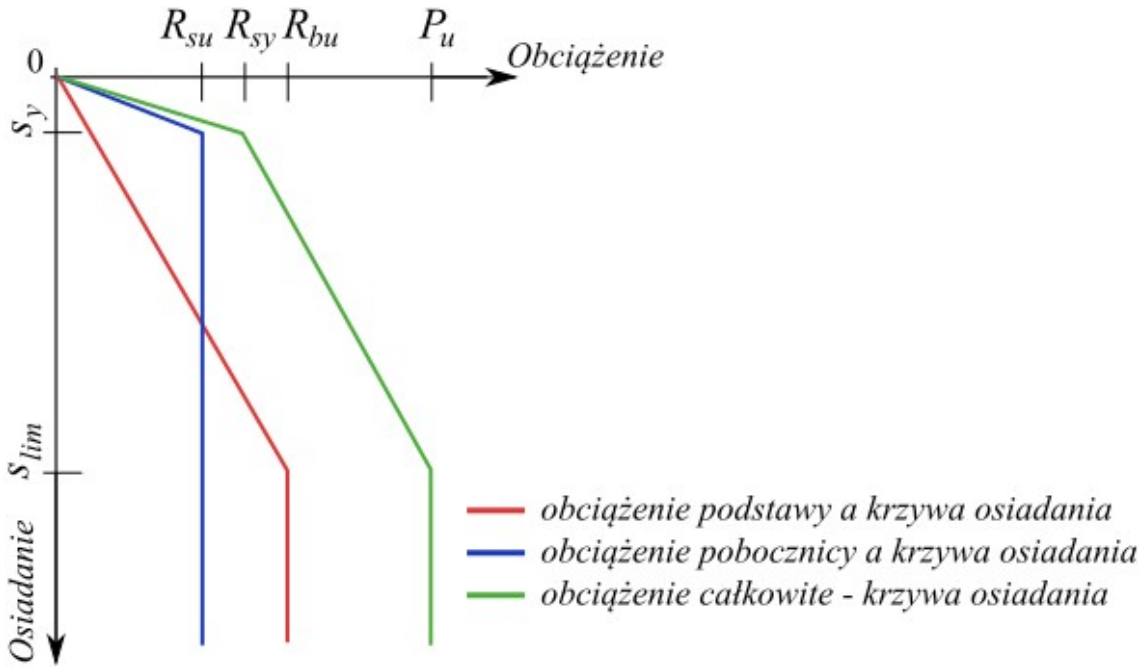
R_h - współczynnik korekcyjny skończonej głębokości warstwy na podłożu sztywnym

Teoria liniowa (Poulos)

Analizę granicznej krzywej obciążeniowej (zależność obciążenie -osiadanie) dla pali pojedynczych lub grupy pali oparto na rozwiązaniu opisanym w książce H.G. Poulosa i E.H. Davisa - **Pile Foundations Analysis and Design** (1980); opiera się ono na teorii sprężystości i modyfikacjach wynikających z badań in-situ. Podłoże gruntowe charakteryzowane jest wobec tego za pomocą modułu sprężystości (odkształcenia) E i współczynnika Poissona v. Metoda pozwala na tworzenie krzywych obciążeń granicznych (zależności obciążenie-osiadanie) dla fundamentów palowych (pali pojedynczych i grup pali).

Podstawowymi parametrami wprowadzanymi do analizy są nośność podstawy pala R_{bu} oraz nośność pobocznicy pala R_{su}. Graniczna nośność fundamentu palowego, względnie graniczne obciążenie wyznacza się ze wzoru $P_u = R_{su} + R_{bu}$. Wartości te uzyskuje się w programie na podstawie analizy nośności pionowej pala pojedynczego lub grupy pali i są zależne od wybranych przez użytkownika metod obliczeniowych. Przyjmuje się założenie, że wszystkie współczynniki częściowe w analizie mają wartość 1.0, tak więc wartość wynikowego oporu jest większa niż wartość uzyskana z analizy rzeczywistej nośności.

Podczas analizy osiadań pala pojedynczego lub grupy pali z zastosowaniem metody Poulos'a (1980) program nie uwzględnia **wpływu dodatkowego ściskania pobocznicy pala** - przemieszczenie (ściśnięcie) materiału pala jest pomijane.



Wykreślanie granicznej krzywej obciążeniowej (obciążenie-osiadanie) fundamentu palowego według Poulos'a

Literatura:

Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: Pile Foundations Analysis and Design. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5, pp. 71 - 108.

Osiadanie pali według Poulosa

Podstawowym założeniem w analizie jest określenie **obciążenia w momencie aktywacji oporu pobocznicy** R_{sy}. W tym momencie nie następuje dalszy wzrost oporu pobocznicy. Dalsze obciążenie jest przejmowane wyłącznie przez podstawę pala. Jego wartość wyznaczana jest z następującego wzoru:

$$R_{sy} = \frac{R_s}{1-\beta}$$

gdzie: R_s opór pobocznicy pala $[N]$

β współczynnik określający cześć obciążenia przenoszoną na podstawę pala [-]

Współczynnik określający cześć obciążenia przenoszoną na podstawę pala β wyznaczany jest wg wzoru:

$$\beta = \beta_0 . C_k . C_b . C_v$$

where: β_0 - współczynnik określający część obciążenia przenoszoną przez podstawę dla pala nieściśliwego

C_k - współczynnik korekcyjny ściśliwości pala

C_v - współczynnik korekcyjny wsp. Poissona gruntu

C_b - współczynnik korekcyjny sztywności podłoża gruntowego

Wartość osiadania s_y **przy aktywacji oporu pobocznicy** R_{sy} wyznaczana jest w następujący sposób:

$$s_y = \frac{I . R_{sy}}{d . E_s}$$

gdzie: I - współczynnik wpływu osiadania [-]

E_s - sieczny moduł odkształcenia wzdłuż pobocznicy pala $[MPa]$

d - średnica pala $[m]$

R_{sy} - obciążenie przy aktywacji oporu pobocznicy pala $[N]$

Współczynnik wpływu osiadania I obliczany jest następująco:

$$I = I_0 R_k R_b R_v$$

gdzie: I_0 - podstawowy współczynnik wpływu osiadania podłoża

R_k - współczynnik korekcyjny ściśliwości pala

R_b - współczynnik korekcyjny sztywności podłoża gruntowego

R_v - współczynnik korekcyjny wsp. Poissona gruntu

Całkowite osiadanie graniczne s_{lim} wyznaczane jest według wzoru:

$$s_{\lim} = \frac{I.R_{bu}}{\beta.d.E_s}$$

gdzie:
- I - współczynnik wpływu osiadania [-]
- R_{bu} - graniczna nośność podstawy pala [N]
- β - współczynnik określający cześć obciążenia przenoszoną na podstawę pala [-]
- d - średnica pala [m]
- E_S sieczny moduł odkształcenia wzdłuż pobocznicy pala [MPa]

Literatura:

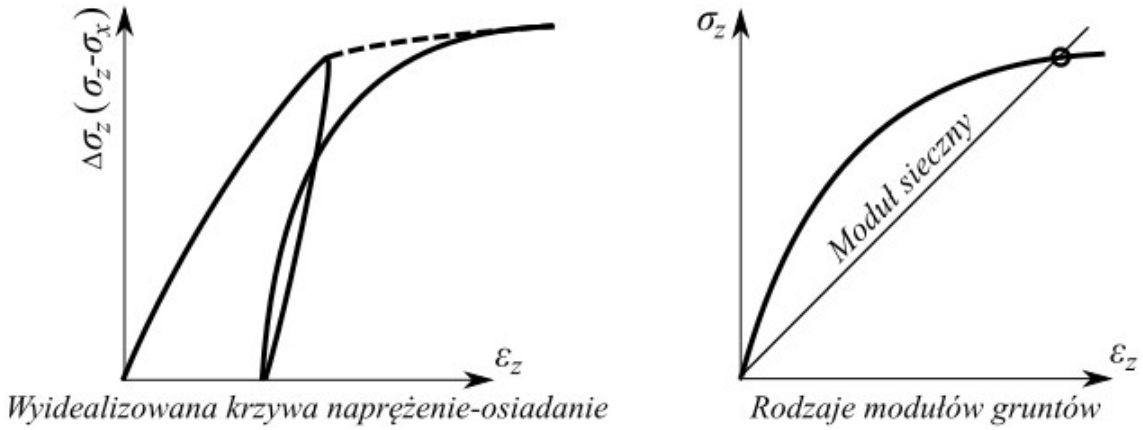
Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: Pile Foundations Analysis and Design. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapters 5.3 and 5.4, pp. 84 - 100.

Sieczny moduł odkształcenia gruntu Es

W literaturze pojawia się dowjakie określenie modułu E_S dla gruntów. Według Poulos et. Davis (1980) parametr ten jest określany jako **moduł odkształcenia gruntu (moduł Younga)**, natomiast według Briaud (2001) oraz Gopal Ranjan (2000) parametr ten określa się jako **sieczny moduł odkształcenia**. Obydwa określenia modułu E_S mają takie same znaczenie. Natomiast, ponieważ grunt zachowuje się sprężyście wyłącznie w zakresie małych odkształceń (jest materiałem niejednorodnym), bardziej prawidłowe jest określenie tego parametru jako **sieczny moduł odkształcenia** E_S.

Moduł odkształcenia gruntu E wyznacza się z wykresu zależności dewiatora naprężeń do odkształceń osiowych. Moduł w warunkach bez odpływu, E_u można wyznaczyć na podstawie badań trójosiowych przeprowadzanych w warunkach bez odpływu, natomiast moduł E_d w tym samym badaniu prowadzonym w warunkach z odpływem.

W początkowej fazie wykres naprężenie-odkształcenie jest prawie liniowy, ale odkształcenie sprężyste gruntu jest znikome ze względu na całkowitą wartość odkształceń. Można rozróżnić kilka różnych modułów dla gruntów - **moduł styczny**, **moduł sieczny** i **początkowy moduł styczny**. Wprowadzenie powyższego warunku upraszczającego umożliwia zastosowanie teorii sprężystości do oszacowania zależnośći naprężenie-osiadanie w gruntach.



Wykres wyidealizowanej krzywej naprężenie-osiadanie oraz określenie różnych modułów dla gruntów

Sieczny moduł odkształcenia gruntu E_S definiowany jest jako stosunek róznicy dewiatora naprężeń normalnych do odpowiadającego odkształcenia osiowego gruntu, w postaci:

$$E_s = \frac{\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)}{\Delta \varepsilon_E}$$

Lambe et. Whitman (1969) podają, że moduł sprężystości gruntu jest zwykle modułem siecznym od zerowego dewiatora naprężeń normalnych do dewiatora naprężeń normalnych równego połowie lub jednej trzeciej maksymalnego naprężenia dewiatorowego.

Sieczny moduł odkształcenia E_S maleje gdy narasta odkształcenie ponieważ krzywa naprężenie-osiadanie ma krzywiznę w dół. Istnieją trzy sposoby określania tego parametru:

- Laboratoryjnie w aparacie trójosiowym (z obliczenia na podstawie modułu stycznego dla gruntu)
- próbnego obciążenia pali
- z korelacji empirycznych pochodzących z wcześniejszych doświadczeń

Typowe zakresy wartości siecznego modułu odkształcenia E_S dla wybranych rodzajów gruntu - wartości rzeczywiste zależą od historii naprężeń, zawartości wody, gęstości (Gopal Ranjan et. Rao, 2000):

Rodzaj gruntu	**Stan gruntu**	**Moduł** E_S $[MPa]$
Pył	Miękkoplastyczny	0,2 - 2
Ił	Miękkoplastyczny	2 - 15
	Plastyczny	5 - 25
	Twardoplastyczny	15 - 50
	Zwarty	50 - 100
	Piaszczysty	25 - 250
Piasek lessowy	Pylasty	7 - 21
	Luźny	10 - 24
	Zagęszczony	48 - 80
Piasek i żwir	Luźny	50 - 145
	Zagęszczony	100 - 190

Literatura:

Briaud, J.-L.: Introduction to Soil Moduli. Geotechnical News, June 2001, BiTech Publishers Ltd, Richmond, B.C., Canada.

Gopal Ranjan et. A. S. R. Rao: Basic and Applied Soil Mechanics. New Age International, 2000, chapter 10.11, pp. 328 - 330. ISBN: 8122412238, 9788122412239.

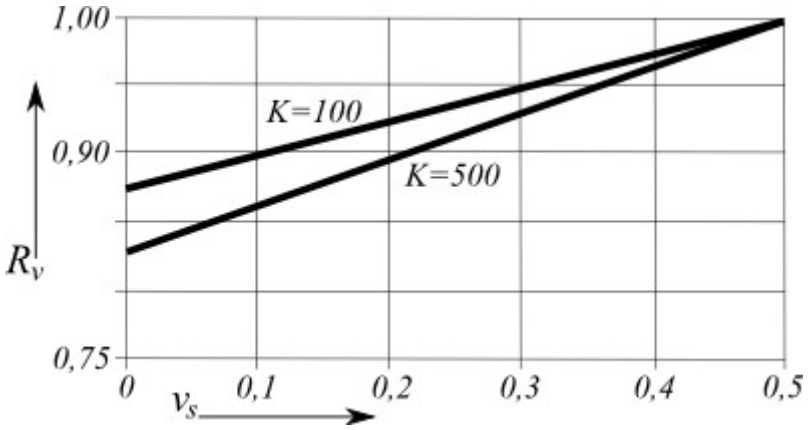
Lambe, T. W. et. Whitman, V. R.: Soil Mechanics. New York: John Wiley and Sons, 1969, 576

p. ISBN: 978-0-471-51192-2.

Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: Pile Foundations Analysis and Design. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.5, pp. 101 - 104.

Współczynnik korekcyjny do współczynnika Poissona

Współczynnik korekcyjny wpływu wsp. Poissona R_v uwzględnia wpływ redukcji wsp. Poissona v gruntów w otoczeniu pala na wartości osiadania pala dla stałego modułu odkształcenia tych gruntów. Wartości te są zwykle przedstawiane jako funkcja wsp. Poissona otaczających gruntów v_s dla różnych współczynników sztywności pala K. W programie, wykresy dostępne są w postaci cyfrowej.



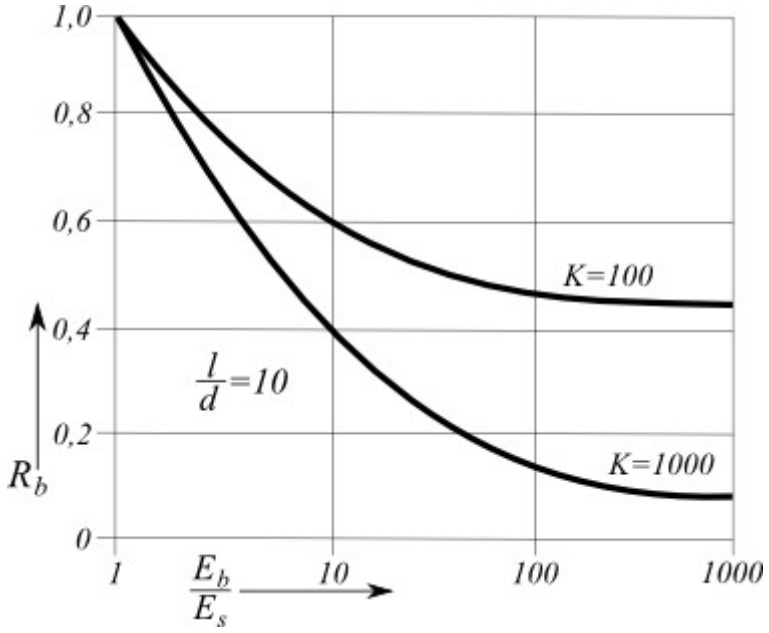
Współczynnik korekcyjny wpływu wsp. Poissona na osiadanie - R_v

Literatura:

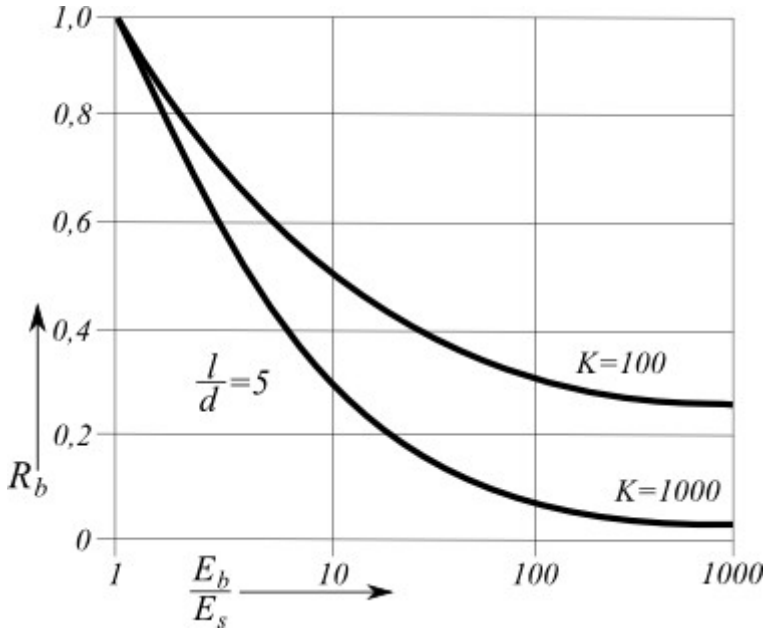
Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: Pile Foundations Analysis and Design. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.3.3, pp. 89 (figure 5.21).

Współczynnik korekcyjny sztywności gruntu Rb

Wartości współczynnika korekcyjnego R_b są zwykle przedstawiane jako funkcja stosunku modułu sprężystości pala i siecznego modułu odkształcenia gruntu w podstawie pala i jego otoczeniu (E_b/E) dla różnych współczynników sztywności pala K i rożnych stosunków długości pala do jego średnicy (l/d). W programie, wykresy te dostępne są w postaci cyfrowej.



Współczynnik korekcyjny podstawy dla osiadania R_b (L/d = 10)



Współczynnik korekcyjny podstawy dla osiadania R_b (L/d = 5)

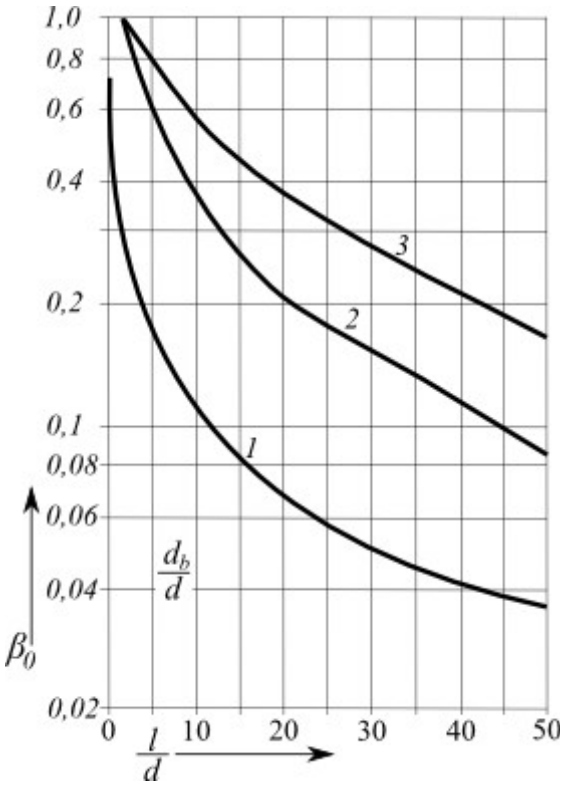
Literatura:

Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: Pile Foundations Analysis and Design. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.3.3, pp. 90 (figure 5.22).

Współczynnik określający część obciążenia przenoszoną przez podstawę dla pala nieściśliwego BETAo

Współczynnik określający część obciążenia przenoszoną przez podstawę dla pala nieściśliwego β_0 reprezentuje wpływ ściskania półprzestrzeni sprężystej, która przejmuje

obciążenie przenoszone przez pal z podłoża niesprężystego. Wartości współczynnika są zwykle prezentowane jako funkcja stosunku długości pala do średnicy pala (l/d) dla różnych średnic pala do stosunku średnicy pala (d_b/d). Wykresy są dostępne w programie w postaci cyfrowej.



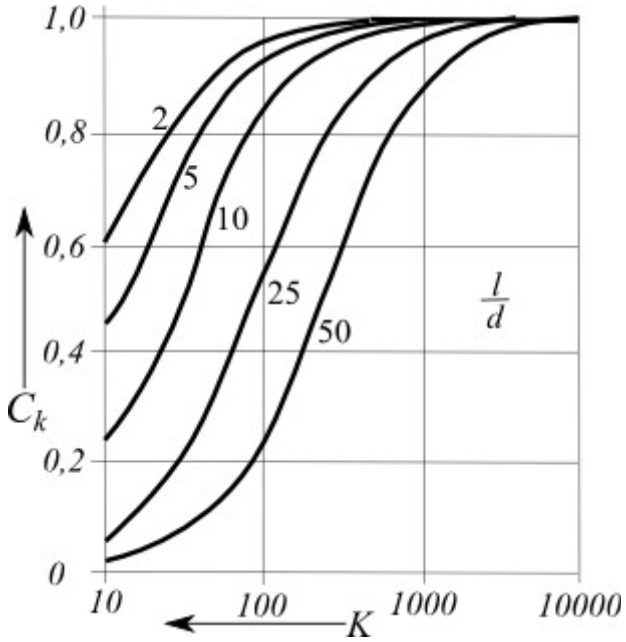
Współczynnik określający część obciążenia przenoszoną przez podstawę dla pala nieściśliwego β_0

Literatura:

Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: Pile Foundations Analysis and Design. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.3.3, pp. 86 (figure 5.11).

Współczynnik korekcyjny ściśliwości pala Ck

Wartości współczynnika C_k są zwykle prezentowane jako funkcja współczynnika sztywności pala K dla różnego stosunku długości pala do średnicy pala (l/d). Wykresy te są dostępne w programie w postaci cyfrowej.



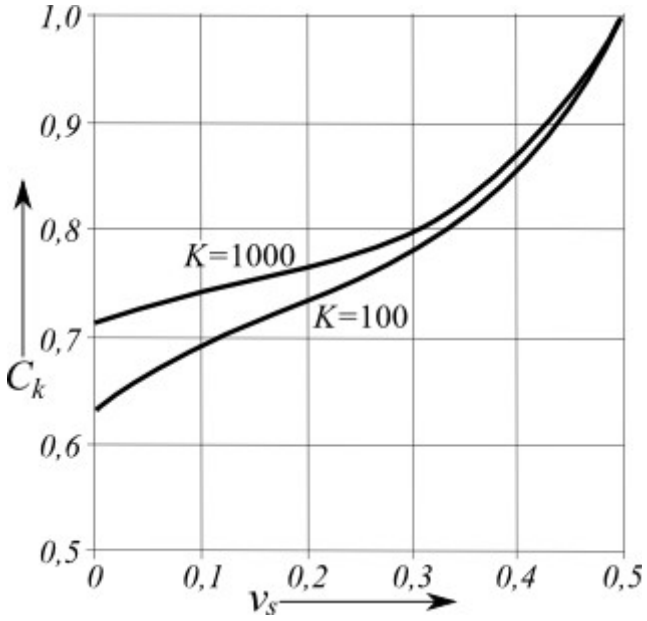
Współczynnik korekcyjny ściśliwości pala dla obciążeń podstawy C_k

Literatura:

Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: Pile Foundations Analysis and Design. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.3.3, pp. 86 (figure 5.12).

Współczynnik korekcyjny do współczynnika Poissona Cv

Wartości współczynnika C_v są przedstawiane jako funkcja wsp. Poisson'a otaczającego gruntu v_s dla różnych współczynników sztywności pala K. Wykresy te są dostępne w programie w postaci cyfrowej.



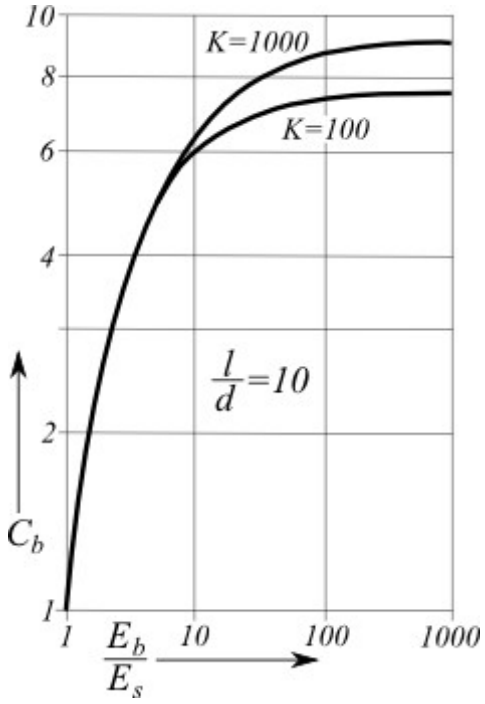
Współczynnik korekcyjny wpływu wsp. Poissona dla obciążeń podstawy C_v

Literatura:

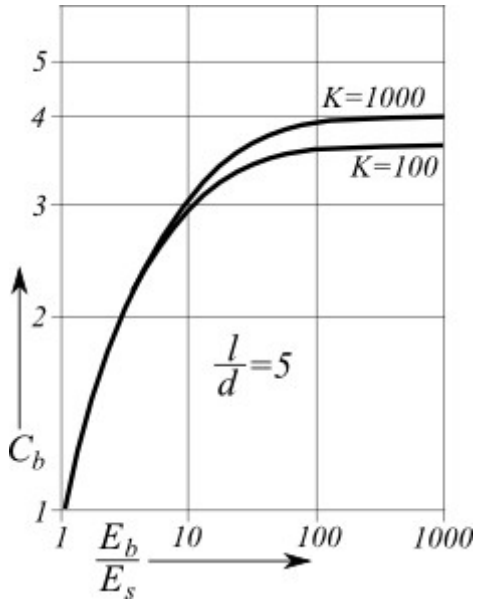
Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: Pile Foundations Analysis and Design. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.3.3, pp. 86 (figure 5.13).

Współczynnik korekcyjny sztywności podłoża gruntowego Cb

Wartości współczynnika C_b są prezentowane jako funkcja stosunku modułu sprężystości pala i siecznego modułu odkształcenia gruntu w podstawie pala i w jego w otoczeniu (E_b/E_s) dla różnych współczynników sztywności pala K oraz dla różnego stosunku długości pala do średnicy pala (l/d). Wykresy te są dostępne w programie w postaci cyfrowej.



Współczynnik korekcyjny sztywności podstawy dla obciążenia podstawy C_b (L/d=10)



Współczynnik korekcyjny sztywności podstawy dla obciążenia podstawy C_b (L/d=5)

Literatura:

Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: Pile Foundations Analysis and Design. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.3.3, pp. 87 - 88 (figure 5.14).

Współczynnik sztywności pala K

Współczynnik sztywności pala określany jest według wzoru:

$$K = \frac{E_p . R_a}{E_s}$$

where: E_p - moduł sprężystości materiału pala [MPa]

E_s - średnia wartość siecznego modułu odkształcenia gruntu wzdłuż pobocznicy pala [MPa]

R_a - stosunek pola przekroju pala do obszaru ograniczonego przez obwód zewnętrzny pala [-]

$$R_a = \frac{A_1}{A_2}$$

gdzie: A_1 - średnie pole powierzchni przekroju pala [m^2]

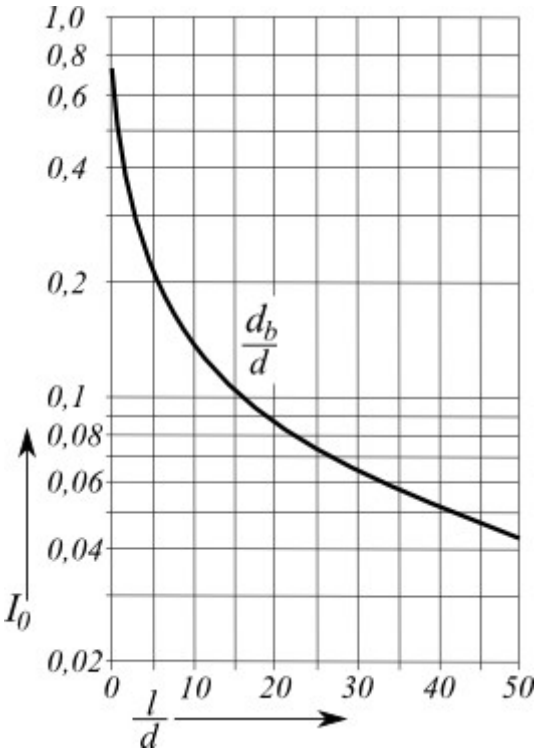
A_2 - pole powierzchni pobocznicy pala [m^2]

(dla pali sztywnych $R_a = 1$)

Podstawowy współczynnik wpływu osiadania Io

Wartość podstawowego współczynnika wpływu osiadania I_o jest uzależniona od długości l i

średnicy pala d, wartości współczynnika są zazwyczaj przedstawiane w formie wykresu, na którym zaznaczone są również ich zakresy:



Podstawowy współczynnik wpływu osiadania I_O

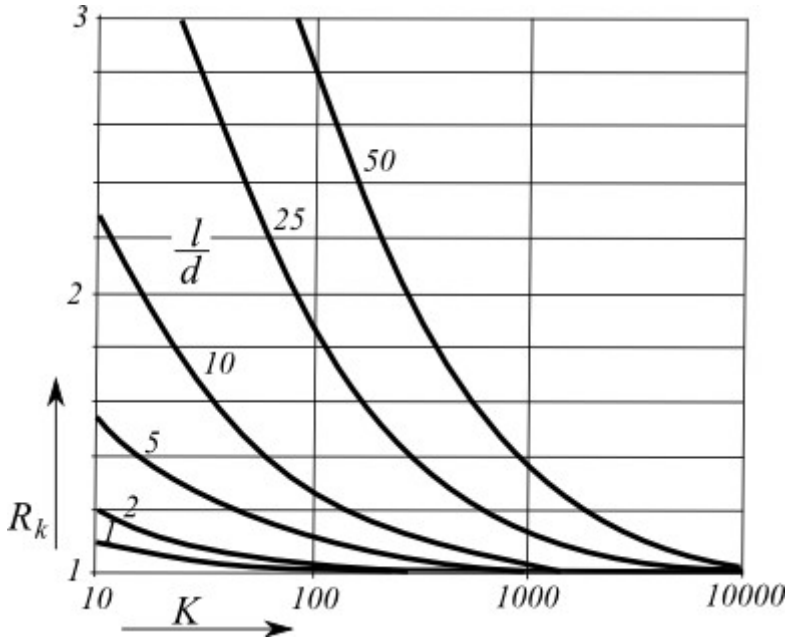
Wykresy te są dostępne w programie w postaci cyfrowej.

Literatura:

Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: Pile Foundations Analysis and Design. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.3.3, pp. 89 (figure 5.18).

Współczynnik korekcyjny ściśliwości pala Rk

Współczynnik korekcyjny R_k przedstawia sztywność pala jako zależność współczynnika sztywności pala K dla różnych wartości stosunku długości pala do średnicy pala (l/d). Jego wartości przedstawia poniższy wykres dostępny w programie w postaci cyfrowej.



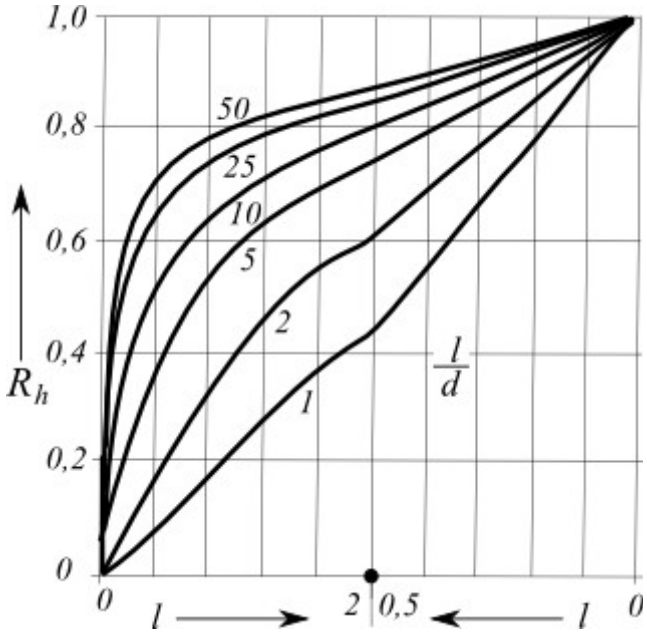
Współczynnik korekcyjny ściśliwości pala dla osiadania R_k

Literatura:

Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: Pile Foundations Analysis and Design. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.3.3, pp. 89 (figure 5.19).

Współczynnik korekcyjny dla skończonej miąższości warstwy na podłożu sztywnym Rh

Współczynnik korekcyjny R_h przedstawia wpływ warstwy nieściśliwej poniżej podstawy pala. Wartości współczynnika są przedstawiane w literaturze graficznie dla różnych wartości stosunku długości do średnicy pala (l/d) i wartości stosunku długości pala do miąższości warstwy ściśliwej powyżej warstwy nieściśliwej (l/h lub h/l). Wykresy te są dostępne w programie w postaci cyfrowej.



Współczynnik korekcyjny skończonej miąższości warstwy na podłożu sztywnym dla osiadania R_h

Literatura:

Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: Pile Foundations Analysis and Design. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 5.3.3, pp. 89 (figure 5.20).

Nośność pozioma - podłoże sprężyste

Nośność pozioma pala, wymiarowanie

Poziomo obciążany pal jest analizowany za pomocą metody elementów skończonych jako belka na sprężystym fundamencie Winkler'a. Parametry gruntu wzdłuż pala są reprezentowane modułem reakcji podłoża. Domyślnie, pal jest dzielony na 30 odcinków. Dla każdego odcinka program wyznacza wartość modułu reakcji podłoża, sił wewnętrznych i deformacji. Program umożliwia również wymiarowanie zbrojonego pala betonowego na podstawie metody określonej w ramce "Ustawienia" oraz na podstawie parametrów zdefiniowanych w zakładce "Pale".

Program pozwala także analizować pal obciążany **obciążeniem przemieszczeniowym** (przesunięcie i obrót głowicy pala). W takim przypadku, analiza przeprowadzana jest tylko z określonym przesunięciem. Wprowadzone obciążenie mechaniczne jest wykluczane.

W programie dostępne są następujące opcje do wprowadzenia **modułu reakcji podłoża**:

- **definiuj rozkład** (określa się rozkład modułu reakcji podłoża wzdłuż pala)
- stały rozkład
- liniowy rozkład (Bowles)
- według CSN 73 1004
- według teorii Matlock'a i Rees's
- według teorii Vesic'a

Ogólnie rzecz biorąc, moduł reakcji podłoża odpowiada sztywności sprężyny w modelu

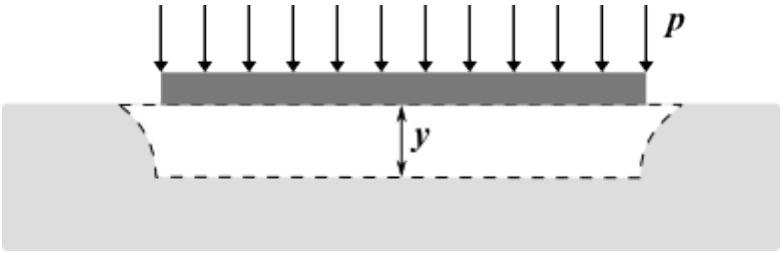
Winkler'a. Model ten opisuje osiadania sztywnej płyty jako funkcję przyłożonego obciążenia. Zależność ta została przedstawiona w następującym wzorze:

$$p = k y$$

gdzie: p - obciążenie wzdłuż warstwy płyta-grunt

k - sztywność sprężyny Winkler'a

y - przesunięcie płyty do gruntu



Definicja modułu reakcji podłoża

Stały rozkład modułu reakcji podłoża

Moduł reakcji podłoża i-tej warstwy wyznacza się z:

$$k_h = \frac{3E_{def}}{2r}$$

gdzie: E_{def} - moduł odkształcenia gruntu $[MPa]$

r - zredukowana szerokość pala z: $[m]$

$$r = d + 2d \tan \beta$$

gdzie: d - średnica pala $[m]$

β - kąt dyspersji - wprowadza się w odniesieniu do kąta tarcia wewnętrznego w zakresie $\varphi/4$ - φ

Literatura:

Pochman, R., Simek, J.: Pilotove zaklady - Komentar k CSN 73 1002. 1st edition, Prague, Vydavatelstvi norem, 1989, 80 p.

Liniowy rozkład modułu reakcji podłoża

Moduł reakcji podłoża na głębokości z wynika ze wzoru:

$$k_h = k\left(0{,}308 + 1{,}584\frac{d}{l}\right)\frac{z}{rl}$$

gdzie: d - średnica pala $[m]$

l - długość pala $[m]$

k - parametr gruntu wg Bowles'a $[MN/m^3]$

r - zredukowana szerokość pala $[m]$

$$r = d + d.\tan\beta$$

gdzie: d średnica pala $[m]$

β kąt dyspersji - wprowadza się w odniesieniu do kąta tarcia wewnętrznego w zakresie $\varphi/4$ - φ

Możliwe wartości modułu k według Bowles'a $[MN/m^3]$:

zagęszczony żwir piaszczysty	200 - 400
średnio zagęszczony żwir	150 - 300
piasek średni	100 - 250
piasek drobny	80 - 200
ił półzwarty	60 - 180
nawodniony ił półzwarty	30 - 100
ił plastyczny	30 - 100
nawodniony ił plastyczny	10 - 80
ił miękkoplastyczny	2 - 30

Literatura:

Bowles, J. E.: Foundations Analysis and Design. 5th edition, New York: McGraw-Hill Book Company, 1997, ISBN 0-07-118844-4, chapter 16-15.2, s. 941 (table 16-4).

Pochman, R., Simek, J.: Pilotove zaklady - Komentar k CSN 73 1002. 1st edition, Prague, Vydavatelstvi norem, 1989, 80 p.

Moduł reakcji podłoża zgodnie z CSN 73 1004

Moduł reakcji podłoża dla **gruntu spoistego** przyjmuje postać:

$$k_h = \frac{2\,E_{def}}{3\,d}$$

gdzie: E_{def} - moduł odkształcenia gruntu $[MPa]$

d - średnica pala $[m]$

Moduł dla **gruntów niespoistych** wyznaczany jest z:

$$k_h = n_h \frac{z}{d}$$

gdzie: n_h - moduł ściśliwości poziomej $[MN/m^3]$

d - średnica pala $[m]$

z głębokość danego przekroju od skończonego stopnia $[m]$

Możliwe wartości modułu n_h dla gruntów niespoistych

Grunt	n_h [MN/m^3]		
Stopień zagęszczenia I_D [-]	*0,33*	*0,50*	*0,90*
Suchy piasek i żwir	*1,5*	*7,0*	*18,0*
Mokry piasek i żwir	*2,5*	*4,5*	*11,0*

Literatura:

CSN 73 1004: Velkoprumerove piloty. Praha, UNM, 1981, 56 p.

Masopust, J.: Vrtane piloty. 1st edition, Prague, Cenek a Jezek, 1994, 263 p.

Moduł reakcji podłoża wg Matlock'a i Rees'a

Metoda ta ma zastosowania dla **gruntów niespositych**. Moduł reakcji podłoża wynika wówczas z wyrażenia:

$$k_h = n_h \frac{z}{d}$$

gdzie: n_h - moduł ściśliwości poziomej [MN/m^3]

d średnica pala [m]

z głębokość danego przekroju od terenu [m]

Możliwe wartości modułu n_h dla gruntów niespoistych

Grunt - zagęszczenie	n_h [MN/m^3]
Suchy piasek i żwir	
- luźny	*1,8 - 2,2*
- średniozagęszczony	*5,5 - 7,0*
- zagęszczony	*15,0 - 18,0*
Mokry piasek i żwir	
- luźny	*1,0 - 1,4*
- średniozagęszczony	*3,5 - 4,5*
- zagęszczony	*9,0 - 12,0*

Literatura:

Reese, L. C. et. Matlock, H.: Non-Dimensional Solutions for Laterally Loaded Piles with Soil Modulus Assumed Proportional to Depth. University of Texas, Austin, 1956.

Reese, L. C. et. Matlock, H.: Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE 86, No. 5, 1960, pp. 63 - 91.

Reese, L. C. et. Matlock, H.: Foundation analysis of offshore pile-supported structures. Proceedings of the 5th International Conference, ISSMFE, Paris, Vol. 2, 1961, pp. 91-7.

Moduł reakcji podłoża według Vesic'a

Moduł reakcji podłoża wyznaczany jest z:

$$k_h = \frac{0{,}65}{d} \sqrt[12]{\frac{E_s\, d^4}{E_p\, I_p}} \frac{E_s}{1-\nu^2}$$

gdzie:
- E_p - moduł sprężystości pala $[MPa]$
- I_p - moment bezwładności pala $[m^4]$
- E_s - moduł sprężystości gruntu $[MPa]$
- d - średnica pala $[m]$
- ν - współczynnik Poisson'a [-]

Literatura:

Poulos, H. G. et. Davis, E. H.: Pile Foundations Analysis and Design. New York: John Wiley and Sons, 1980, chapter 8.2.3, pp. 174 (equation 8.43).

Vesic, A. S.: Bending of Beams Resting on Isotropic Elastic Solid. JSMFD, ASCE, vol. 87, 1961, EM 2: pp. 35 - 53.

Vesic, A.S.: Design of Pile Foundations. National Cooperative Highway Research Program Synthesis 42, Transportation Research Board, Washington D.C., 1977.

Nośność pozioma - metoda Broms'a

Analiza pojedynczych pali według Broms'a opisana jest w Broms (1964). Metoda ta jako założenie przyjmuje wyłącznie pale w **gruntach jednorodnych**. Z tego powodu nie umożliwia analizy pali w podłożu uwarstwionym. Metoda analizy nośności poziomej pali jest definiowana w ramce "**Ustawienia**", zakładce "Pale".

W przypadku zastosowania do obliczeń nośności poziomej metody Broms'a program pomija zdefiniowane wcześniej warstwy gruntu. Parametry gruntu do obliczeń nośności poziomej definiuje się w ramce "Nośność pozioma" na podstawie **rodzaju gruntu** (spoisty, niespoisty).

Parametry, które należy zdefiniować w celu przeprowadzenia analizy nośności poziomej pali tą metodą to **parametry materiałowe pala** (moduł sprężystości oraz wytrzymałość zastosowanego materiału), **geometria pala** (długość pala l oraz jego średnica d), jak również **obciążenie pala** wynikające z sił tnących i momentów zginających.

Współczynnik sztywności pala β dla gruntów spoistych wyraża się następująco:

$$\beta = \frac{k_h\, d}{4\, E\, I}$$

gdzie:
- EI - sztywność na zginanie przekroju pala $[MNm^2]$
- k_h - moduł reakcji podłoża $[MNm^3]$
- d - średnica pojedynczego pala $[m]$ - w przypadku pali o **zmiennym przekroju kołowym** przy obliczaniu parametru β zakłada się stałą średnicę pala d_I zdefiniowaną w ramce "Geometria"

Współczynnik sztywności pala η dla gruntów niespoistych wyraża się następująco:

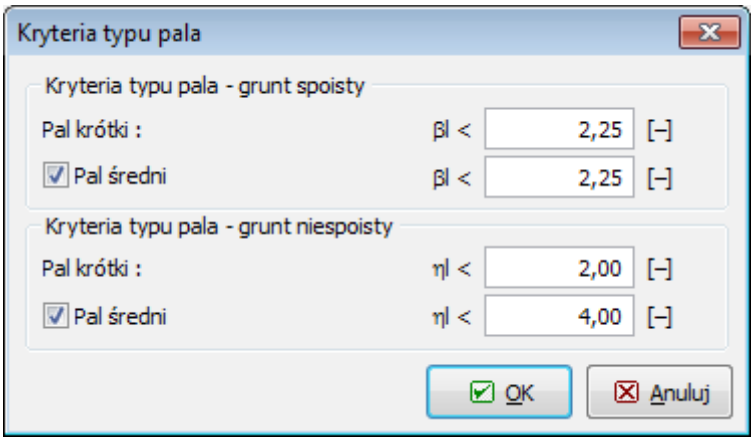
$$\eta = \left(\frac{n_h}{E\,I} \right)^{\frac{1}{5}}$$

gdzie

: EI - sztywność na zginanie przekroju pala $[MNm^2]$

n_h - współczynnik zmiennosci modułu gruntu $[MNm^3]$

Program automatycznie określa czy uwzględniany będzie pal długi czy krótki w oparciu o stosunek $\beta*l$ (dla **gruntów spoistych**) oraz $\eta*l$ (dla **gruntów niespoistych**), odpowiednio. Ze względu na fakt, że w literaturze dostępne są różnorodne kryteria dla różnych typów pali, program umożliwia ich samodzielne definiowanie przez użytkownika. Dla pali o **pośredniej** długości w analizie sprawdzane są zarówno pale krótkie jak i długie a program automatycznie wybiera wynik z uzyskaną niższą wartością nośności poziomej pala Q_u.



Okno dialogowe "Kryteria typu pala"

Kryteria typu pala (długi, krótki, średni) uwzględniane są według następujących warunków:

- **głowica swobodna**: dla pali długich $\beta*l > 2{,}5$; dla pali krótkich $\beta*l < 2{,}5$
- **glowica utwierdzona**: dla pali długich $\beta*l > 1{,}5$; dla pali krótkich $\beta*l < 1{,}5$

Typ pala (podparcie głowicy pali) może być uwzględnione dwojako:

- **głowica swobodna** - obrót w poziomie głowicy pala nie jest ograniczony
- **glowica utwierdzona** - obrót w poziomie głowicy pala jest zablokowany. Sytuacja taka zwykle ma miejsce w przypadku pali będących częścią grupy pali.

Innym istotnym parametrem, który należy określić jest **nośność giętna**. Wartość to jest wyznaczana przez program na podstawie następujacego wzoru:

$$M_u = \gamma_k f\, W_y$$

gdzie: W_y - wskaźnik wytrzymałości przekroju pala $[m^3]$

f - wytrzymałość maetrialu pala $[MPa]$

γ_k - współczynnik redukcyjny nośności przekroju [-] - nośność przekroju, według różnych norm, przemnażana jest przez rózne współczynniki bezpieczeństwa. Współczynnik ten umożliwia przystosowanie programu do wszystkich norm.

W przypadku **pali betonowych zbrojonych** (pali żelbetowych) nośność giętna M_u zależy od ilości zaprojektowanej stali.

Współczynnik redukcji nośności γ_{Qu} redukuje całkowitą wartość **nośności poziomej pojedynczego pala**, w sposób następujący:

$$Q_{u,red} = \frac{Q_u}{\gamma_{Qu}}$$

gdzie: Q_u - nośność pozioma pojedynczego pala [kN]

γ_{Qu} - współczynnik redukcji nośności [-]

W wyniku przeprowadzonej analizy otrzymuje się wartość nośności poziomej pojedynczego pala Q_u, lub odpowiednio $Q_{u,red}$ oraz przemieszczenie pala w poziomie terenu u.

Literatura:

[1] BROMS, BENGT. B.: Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soils. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Vol. 90, SM2, 1964.

[2] BROMS, BENGT. B.: Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soils. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, vol. 90 SM3, 1964.

Obliczenia w programie Pal CPT

Program Pale CPT służy do analizy nośności i osiadania pojedynczego pala lub grupy pali z wykorzystaniem wyników sondowań statycznych.

Głównym celem jest określenie nośności podstawy i pobocznicy pala. Analizę można wykonywać z zastosowaniem następujących norm i podejść obliczeniowych.

- EN 1997-2
- NEN 6743
- LCPC (Bustamante)
- Schmertmann

Dla wszystkich tych metod, głównymi parametrami wejściowymi są bezwymiarowe współczynniki dostosowujące, odpowiednio - wartość nośności i tarcia na pobocznicy. W różnych publikacjach spotyka się różne sposoby zapisu tych parametrów. W programie Pale CPT użyto następującego zapisu:

α_p -współczynnik redukcji nośności podstawy pala

α_s -współczynnik tarcia na pobocznicy

Współczynniki są obliczane automatycznie na podstawie rodzaju pala i otaczającego gruntu - można te parametry również definiować ręcznie (α_p można definiować w zakładce "Geometria", natomiast α_s jako parametr charakteryzujący grunt).

Przy analizie pali o przekroju prostokątnym, wprowadza się współczynnik kształtu podstawy pala s w celu redukcji nośności podstawy. Podczas analizy pali z poszerzoną stopą, wprowadzany jest współczynnik wpływu poszerzenia podstawy pala β, służący do korekcji

nośności poszerzonej stopy pala. Podczas obliczania nośności podstawy, program automatycznie uwzględnia wpływ zmiany poziomu terenu.

Program umożliwia obliczenie granicznej krzywej obciążeniowej (obciążenie-osiadanie) i osiadania pala dla danego obciążenia. Do analizy przyjmowane są obliczone wartości nośności podstawy i pobocznicy; analiza wykonywana jest wg normy NEN 6743. Przy obliczaniu osiadania pala można również uwzględnić negatywne tarcie na pobocznicy.

Sposób analizy nośności pali zależy od metody obliczeniowej wybranej w zakładce "Pale CPT".

Nośność

Maksymalną nośność pojedynczego pala wyznacza się z wykorzystaniem wartości oporu gruntu pod stożkiem q_c dla i-tego badania metodą sondowania statycznego, wg równania:

$$F_{\max,i} = F_{\max,base,i} + F_{\max,shaft,i}$$

gdzie:
- $F_{max,\ i}$ – maksymalna nośność pala wyznaczona wg i-tego badania CPT
- $F_{max,\ base,\ i}$ – maksymalny opór podstawy pala wyznaczony wg i-tego badania CPT
- $F_{max,\ shaft,\ i}$ – maksymalny opór na pobocznicy pala wyznaczony wg i-tego badania CPT

W przypadku prowadzenia obliczeń według współczynnika bezpieczeństwa lub teorii stanów granicznych, nośność pojedynczego pala jest średnią arytmetyczną dla n obliczonych nośności:

$$F_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^{n} F_{\max,i}}{n}$$

Jeżeli analiza wykonywana jest według normy **EN 1997-2**, ostateczna nośność pala jest zależna od współczynników korelacyjnych ξ_3 i ξ_4.

Jeżeli analiza wykonywana jest według normy **NEN 6743**, to podejście dla większej liczby badan CPT jest inne i wynika bezpośrednio z normy NEN 6743 (pkt 5.3.2.2).

Maksymalny opór podstawy pala $F_{max,\ base}$ wyznaczany jest wg wzoru:

$$F_{\max,base} = A_{base}\, p_{\max,base}$$

gdzie:
- A_{base} – pole powierzchni podstawy pala
- $p_{max,\ base}$ – maksymalne parcie pod stopą pala wg badań CPT

Maksymalny opór na pobocznicy pala $F_{max,\ shaft}$ wyraża wzór:

$$F_{\max,shaft} = O_p \int_0^{\Delta L} p_{\max,shaft}\, dz$$

gdzie:
- O_p – powierzchnia pobocznicy pala w gruncie nośnym
- $p_{max,\ shaft}$ – maksymalna siła oddziałująca na pobocznicę (tarcie) wg badań CPT
- ΔL – długość pala; długość, w której aktywowane jest tarcie na pobocznicy lub długość poszerzonej podstawy
- z – wymiar pionowy wzdłuż osi pala

Obliczenia maksymalnego oporu podstawy pala $p_{max,\ base}$ oraz maksymalnej siły działającej wzdłuż pobocznicy $p_{max,\ shaft}$ wykonywane są według metody wybranej w zakładce "Pale CPT".

EN 1997-2 (EC7)

Norma **EN 1997-2** określa maksymalny opór podstawy pala $p_{max,\ base}$ według wyników odpowiedniego i-tego badania CPT w następujący sposób:

$$p_{\max,base} = 0{,}5\,\alpha_p\,\beta\,s\left(\frac{q_{c,I,mean} + q_{c,II,mean}}{2} + q_{c,III,mean}\right)$$

gdzie:

$q_{c,\ I,\ mean}$	uśredniony opór gruntu pod stożkiem sondy w strefie podstawy pala $q_{c,\ I}$ (zob. Aneks D7 do EN 1997-2)
$q_{c,\ II,\ mean}$	uśredniony minimalny opór gruntu pod stożkiem sondy w strefie podstawy pala $q_{c,\ II}$ (zob. Aneks B4 do EN 1997-3)
$q_{c,\ III,\ mean}$	uśredniony opór gruntu pod stożkiem sondy w strefie podstawy pala $q_{c,\ III}$ (zob. Aneks B4 do EN 1997-3)
α_p	współczynnik redukcji nośności podstawy pala
s	współczynnik wpływu kształtu pala
β	współczynnik wpływu poszerzenia podstawy pala

Maksymalna wartość oporu gruntu pod stożkiem (ciśnienia penetracji) q_c jest określona jako 15 MPa. W gruntach niespoistych, uwzględniany jest wpływ prekonsolidowania gruntu (OCR).

Maksymalny opór na pobocznicy pala $p_{max,\ shaft}$ wyraża wzór:

$$p_{\max,shaft} = \alpha_s\, q_{c,z,a}$$

gdzie:

α_S	współczynnik tarcia na pobocznicy pala
$q_{c,\ z,\ a}$	opór pod stożkiem na głębokości h

Literatura:

EN 1997-2 Geotechnical design. Ground investigation and testing.

NEN 6743

Norma 6743 "Fundamenty palowe" określa **maksymalny opór podstawy pala** $p_{max,\ base}$ wg wyników odpowiedniego i-tego sondowania statycznego CPT w następujący sposób:

$$p_{\max,base} = 0{,}5\,\alpha_p\,\beta\,s\left(\frac{q_{c,I,mean} + q_{c,II,mean}}{2} + q_{c,III,mean}\right)$$

kde:

$q_{c,\ I,\ mean}$	uśredniony opór gruntu pod stożkiem sondy w strefie podstawy pala $q_{c,\ I}$ (zob. pkt 5.3.3.3 w normie NEN 6743)
$q_{c,\ II,\ mean}$	uśredniony minimalny opór gruntu pod stożkiem sondy w strefie podstawy pala $q_{c,\ II}$ (zob. pkt 5.3.3.3 w normie NEN 6743)

$q_{c,\ III,\ mean}$	uśredniony opór gruntu pod stożkiem sondy w strefie podstawy pala $q_{c,\ III}$ (zob. pkt 5.3.3.3 w normie NEN 6743)
α_p	współczynnik redukcji nośności podstawy pala
s	współczynnik wpływu kształtu pala
β	współczynnik wpływu poszerzenia podstawy pala

Maksymalna wartość oporu gruntu pod stożkiem (ciśnienia penetracji) q_c jest określona jako 15 MPa. W gruntach niespoistych, uwzględniany jest wpływ prekonsolidowania gruntu (OCR).

Maksymalny opór na pobocznicy pala $p_{max,shaft}$ wyraża wzór:

$$p_{\max,\ shaft} = \alpha_s\ q_{c,z,a}$$

where:	α_s	współczynnik tarcia na pobocznicy
	$q_{c,\ z,\ a}$	opór pod stożkiem na głębokości h

Literatura:

NEN 6743:1991/A1:1997, Geotechniek - Berekeningsmethode voor funderingen op palen - Drukpalen.

LCPC (Bustamante)

Metoda LCPC (od Laboratoire Central des Ponts et Chausees) nazywana również metodą Bustamante, opartą na pracach Bustamante i Gianeselli) określa **maksymalny opór podstawy pala** $p_{max,\ base}$ wg wzoru:

$$P_{\max,\ base} = \alpha_p\ q_{c,eq}$$

where:	α_p	współczynnik redukcji nośności podstawy pala
	$q_{c,\ eq}$	równoważny średni opór gruntu pod stożkiem sondy

Maksymalny opór na pobocznicy pala $p_{max,\ shaft}$ wyraża wzór:

$$P_{\max,\ shaft} = \alpha_s\ q_{c,z,a}$$

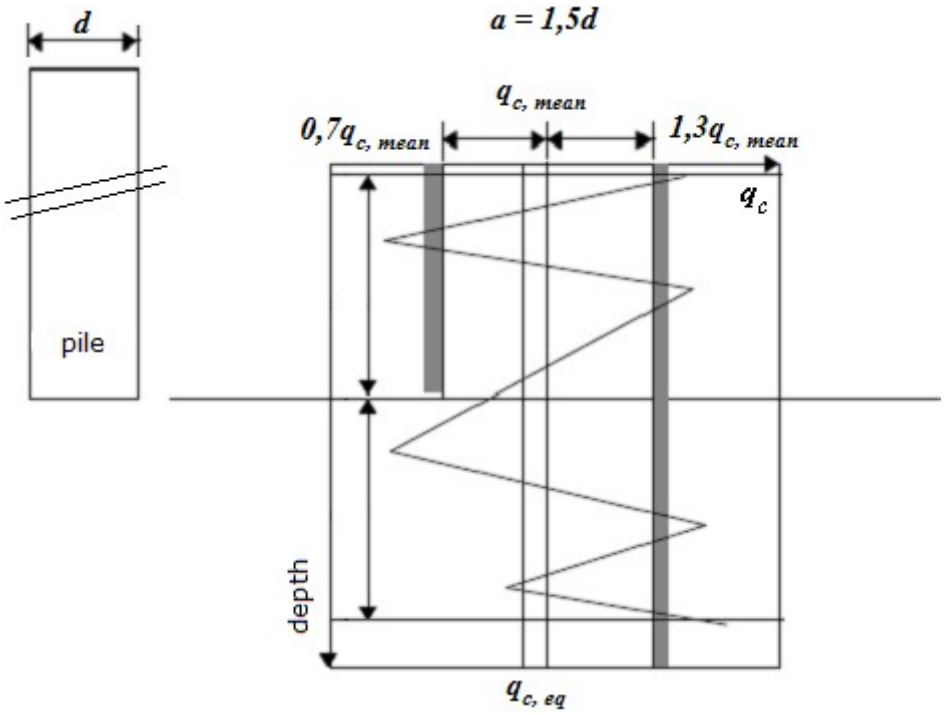
where:	α_s	współczynnik tarcia na pobocznicy
	$q_{c,\ z,\ a}$	opór końcówki

Określanie równoważnego średniego oporu gruntu pod stożkiem sondy

Średni równoważny opór gruntu pod stożkiem sondy obliczany jest w następujący sposób:

1) Obliczamy średni opór stożka $q_{c,\ mean}$ pod podstawą pala uśredniając wartości q_c dla zakresu od 1,5d poniżej podstawy pala do 1,5d powyżej podstawy pala (d - średnica pala).
2) Odrzucamy wartości q_c, które są większe od iloczynu liczby 1,3 i średniej wartości oporu gruntu pod stożkiem sondy $q_{c,\ mean}$, i te które są mniejsze od iloczynu liczby 0,7 i średniej wartości oporu gruntu pod stożkiem sondy $q_{c,m}$ jak pokazano na rysunku.

3) Średni równoważny opór gruntu pod stożkiem sondy $q_{c,eq}$ obliczamy uśredniając pozostałe wartości oporu pod stożkiem sondy (q_c) dla tego samego zakresu, które nie zostały odrzucone (tzn. wartości iloczynów liczb od 0,7 do 1,3 i wartości oporu $q_{c,\ mean}$).



Określanie średniego równoważnego oporu gruntu pod stożkiem sondy $q_{c,\ eq}$

Literatura:

Tom Lunne, Peter K. Robertson, John J.M. Powell: Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice, Spon Press, 1997, London

Metoda Schmertmanna

W metodzie Schmertmanna, **maksymalny opór podstawy pala** $p_{max,tow}$ określany jest w następujący sposób:

$$P_{max,\ pata} = \alpha_p \cdot q_{upr}$$

gdzie: α_p współczynnik redukcji nośności podstawy pala

q_{upr} zmodyfikowany średni równoważny opór gruntu pod stożkiem sondy

$$q_{upr} = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2}$$

gdzie: q_{c1}, q_{c2} - minimalna średnia wartość oporu gruntu pod stożkiem

W gruntach niespoistych w obliczeniach uwzględniany jest wpływ prekonsolidacji gruntu (OCR).

Maksymalny opór na pobocznicy pala $p_{max,shaft}$ wyrażają wzory:

- **dla gruntów niespoistych:**

$$P_{\max,shaft} = K\left[0{,}5.\left(\bar{f}_s.A_s\right)_{0-8d} + \left(\bar{f}_s.A_s\right)_{8d-D}\right]$$

gdzie:
- K – współczynnik korelacyjny tarcia na pobocznicy
- $\bar{f}_s$ – uśredniony, jednostkowy opór gruntu na tulei sondy f_S w zakresie określonym w nawiasie w indeksie dolnym
- A_S – powierzchnia pobocznicy pala w danym zakresie
- d – średnica pala
- D – długość zagłębienia pala

- **dla gruntów spoistych:**

$$P_{\max,shaft} = \sum_i \alpha_{s,i}.\bar{f}_{s,i}.A_{s,i}$$

gdzie:
- $\alpha_{S,\,i}$ – współczynnik tarcia na pobocznicy według Tomlinsona w i-tej warstwie
- $\bar{f}_{s,i}$ – uśredniony, jednostkowy opór gruntu na tulei sondy f_S w i-tej warstwie
- $A_{S,i}$ – powierzchnia pobocznicy pala w i-tej warstwie

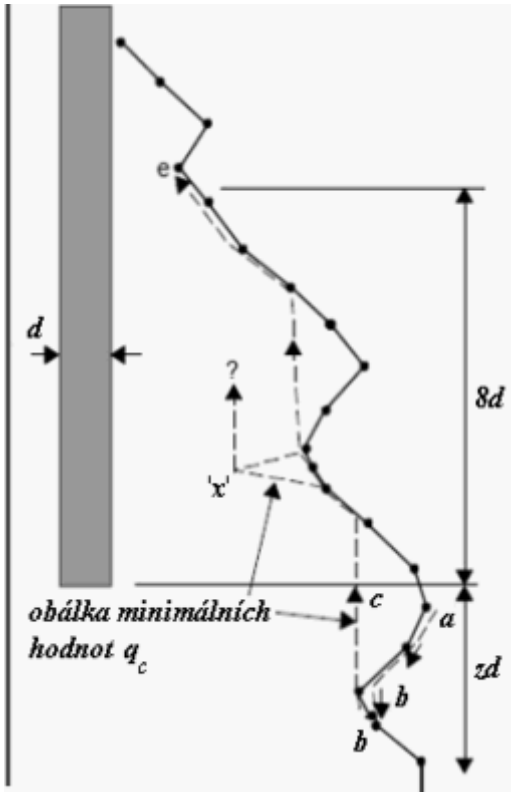
Literatura:

Schmertmann J.H.: Guidelines for Cone Penetration Test, Performance and deign, U.S. Departments of Transportation, report No. FHWA-TS-78-209, Washington,D.C., 1978

Określanie średniego oporu gruntu pod stożkiem sondy

Minimalna średnia wartość oporu gruntu pod stożkiem sondy q_c jest określana jako minimalna wartość średniego oporu gruntu pod stożkiem sondy q_c w strefie oddziaływania od 0,7d, do 4d poniżej stopy pala (d - średnica pala). Minimalna średnia wartość oporu gruntu pod stożkiem sondy q_{c2} określana jest dla strefy oddziaływania rozciągającej się od 8d powyżej stopy pala (d - średnica pala). Procedura obliczania średniej wartości oporu gruntu pod stożkiem sondy q_{c1}, q_{c2} jest następująca (zob. rysunek):

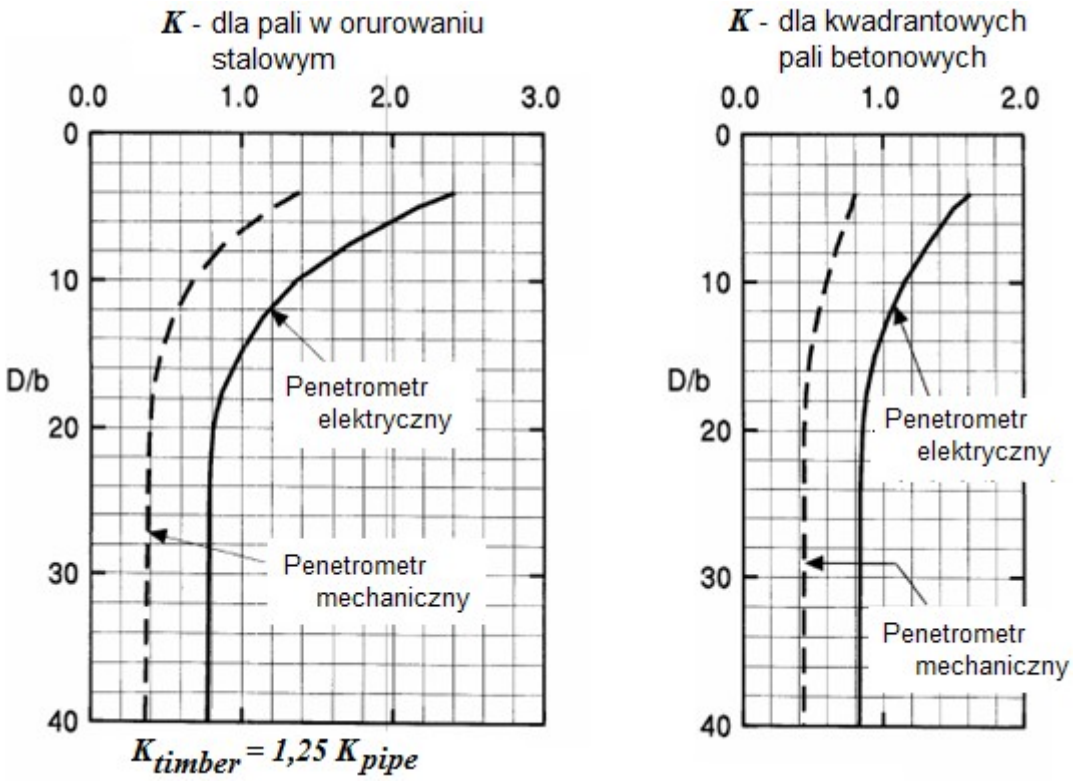
1) obliczamy dwie średnie oporu pod stożkiem w obrębie strefy poniżej stopy pala, jedną dla strefy o głębokości 0,7d i jedną dla strefy o głębokości 0,4d wzdłuż ścieżki od "a" do "b". Mniejszą z tych wartości zachowujemy do dalszych obliczeń. (Wysokość strefy 0,7d jest stosowana wtedy, gdy opór pod stożkiem wzrasta z głębokością poniżej stopy pala).
2) obliczamy najmniejszy opór pod stożkiem w strefie użytej w Kroku 1,
3) obliczamy średnie dwóch wartości wg Korku 1 i 2, Krok 4 służy do obliczenia średniego oporu pod stożkiem w obrębie strefy,
4) określamy średni opór pod stożkiem w strefie 8d powyżej stopy pala, wyrażone wartością q_c. Na koniec, obliczamy średnie wartości z Kroku 3 i 4.



Określanie średniego oporu gruntu pod stożkiem sondy qc1, qc2

Współczynnik korelacji K

Współczynnik korelacyjny tarcia na pobocznicy K definiowany jest w zakładce "Pale CPT".Wartość tego współczynnika jest równa stosunkowi jednostkowego oporu gruntu na pobocznicy do jednostkowego oporu gruntu na tulei sondy. Współczynnik korelacyjny K może być wyrażony na przykład w funkcji długości zagłębienia pala - patrz wykresy poniżej.



Funkcja długości zagłębienia pala (D - długość zagłębienia pala, b - szerokość pala lub średnica)

Literatura:

FHWA HI 97-013: Design and Construction of Driven Pile Foundations, Workshop manual - Volume 1, National Highway institute.

Ujemne tarcie na pobocznicy

Ujemne tarcie na pobocznicy powstaje w wyniku osiadania gruntu wokół pala. Grunt podlegający odkształceniu wokół pala pociąga pal ku dołowi, obniżając tym samym jego nośność. W przypadkach ekstremalnych, oddziaływanie to może całkowicie wyeliminować tarcie na pobocznicy pala. W takim wypadku, pal opiera się tylko na podłożu sprężystym pod podstawą.

Ujemne tarcie na pobocznicy $F_{s,nk,rep}$ wyraża wzór:

$$F_{s,nk,rep} = O_p . \sum_{i=1}^{n} h_i . K_{0,i,rep} . \tan\left(\delta_{i,rep}\right) . \frac{\sigma_{v,i-1,rep} + \sigma_{v,i,rep}}{2} + p_{i,a,rep} - \Delta\sigma_{i,v,w,rep}$$

gdzie:

O_p	–	powierzchnia pala
n	–	liczba warstw w strefie tarcia negatywnego
h_i	–	głębokość i-tej warstwy
$K_{0,i,rep}$	–	wartość reprezentatywna współczynnika parcia spoczynkowego gruntu
$\delta_{i,rep}$	–	tarcie miedzy gruntem i palem w i-tej warstwie

$$\delta_{i,rep} = 0,75.\varphi_{i,rep}$$

$\varphi_{i,rep}$ reprezentatywna wartość kąta tarcia wewnętrznego gruntu w *i-tej* warstwie

$\sigma_{v,i-1,rep}$ naprężenie poziome w gruncie w warstwie *i-1*

$\sigma_{v,1,rep}$ naprężenie poziome w gruncie w *i-tej* warstwie

$p_{i,a,rep}$ obciążenie dodatkowe w *i-tej* warstwie

$\Delta\sigma_{i,v,w,rep}$ zmiana naprężenia pionowego w σ_v w *i-tej* warstwie

istnieje następujący związek: $K_{0,i,rep}.\tan\left(\delta_{i,rep}\right) > 0,25$

Jeżeli zdefiniowana jest powierzchnia poślizgu, to wartość negatywnego tarcia na pobocznicy $F_{s,nk,rep}$ wyrażona jest przez wzór:

$$F_{s,nk,rep} = O_p.\sum_{i=1}^{n} h_i.c_{i,rep}$$

gdzie: O_p powierzchnia pala

h_i głębokość i-tej warstwy

$c_{i,rep}$ reprezentatywna spójność powierzchni poślizgu

- dla bitumu $10\ x\ 10^3\ N/m^2$
- dla bentonitu $20.10^3\ N/m^2$
- dla materiału syntetycznego $50.10^3\ N/m^2$

Wartość reprezentatywnej spójności wzdłuż powierzchni poślizgu może być również zdefiniowana bezpośrednio przez użytkownika.

Współczynnik tarcia na pobocznicy ALFA s

Współczynnik redukujący tarcie na pobocznicy α_s różni się znacząco w zależności od zastosowanej metody obliczeniowej oraz rodzaju gruntu. W programie wbudowane są wartości tego współczynika według **EN 1997-2 oraz NEN 6743.**

Wartości **dla piasków** oraz **piasków grubych i żwirów** są podane w następującej tablicy:

Pale	**NEN 6743** α_s [-]	**EN 1997-2** α_s [-]
wbijane prefabrykowane lub stalowe	0,010	0,010
wbijane Franki	0,014	0,012
wbijane drewniane	0,012	0,012

wibrowane lub wibrowane i wciskane	0,012	0,012
wkręcane, betonowane in situ	0,009	0,009
wkręcane prefabrykowane	0,009	0,009
wkręcane, betonowane in situ, z dodatkową iniekcją	0,006	0,006
wkręcane, prefabrykowane, z dodatkową iniekcją	0,006	0,006
rurowe (stalowe)	0,0075	0,0075
pal formowany ślimakowym świdrem ciągłym (pal CFA)	0,006	0,006
pale wiercone lub w zawiesinie bentonitowej	0,006	0,006
pale wiercone z rurą osłonową	0,005	0,005

Dla **piasków bardzo grubych** i **żwirów** powyższe wartości redukowane są w obydwu metodach poprzez współczynnik redukcyjny (piaski grube - 0,75, żwir - 0,5).

Dla **torfu** przyjmuje się wartość α_s = 0.

Dla **iłów i pyłów wartości** α_s określane na podstawie **EN 1997-2** podano w tabeli poniżej:

Rodzaj gruntu	q_c $[MPa]$	α_s [-]
ił	> 3	< 0,030
ił	< 3	< 0,020
pył		< 0,025

Dla **iłów i pyłów wartości** α_s określane na podstawie **NEN 6743** podano w tabeli poniżej:

q_c $[MPa]$	α_s [-]
> 1	0,035
< 1	0,0 głębokość do 5. średnic pala
	0,025 głębokość od 5 do 20 średnic pala
	0,035 głębokość powyżej 20. średnic pala

W przypadku zastosowania metody **LCPC (Bustamante)** wartość współczynnika tarcia na pobocznicy α_s obliczana jest na podstawie oporu pod stożkiem q_c (orientacyjne wartości podano w tabeli poniżej).

Orientacyjne wartości współczynnika tarcia na pobocznicy α_s otrzymane na podstawie oporu gruntu pod stożkiem sondy q_c

LCPC (Bustamante) Rodzaj gruntu	**Opór pod stożkiem** q_c *[MPa]*	α_s **dla pali typu "A"**	α_s **dla pali typu "B"**	**Maksymalny opór na pobocznicy** *[kPa]*
Ił	< 1	0,033	0,033	15
	$1 < q_c < 5$	0,025	0,011	35
	$5 < q_c$	0,017	0,008	35
Piasek	$q_c < 5$	0,010	0,008	35
	$5 < q_c < 12$	0,010	0,005	80
	$12 < q_c$	0,007	0,005	120

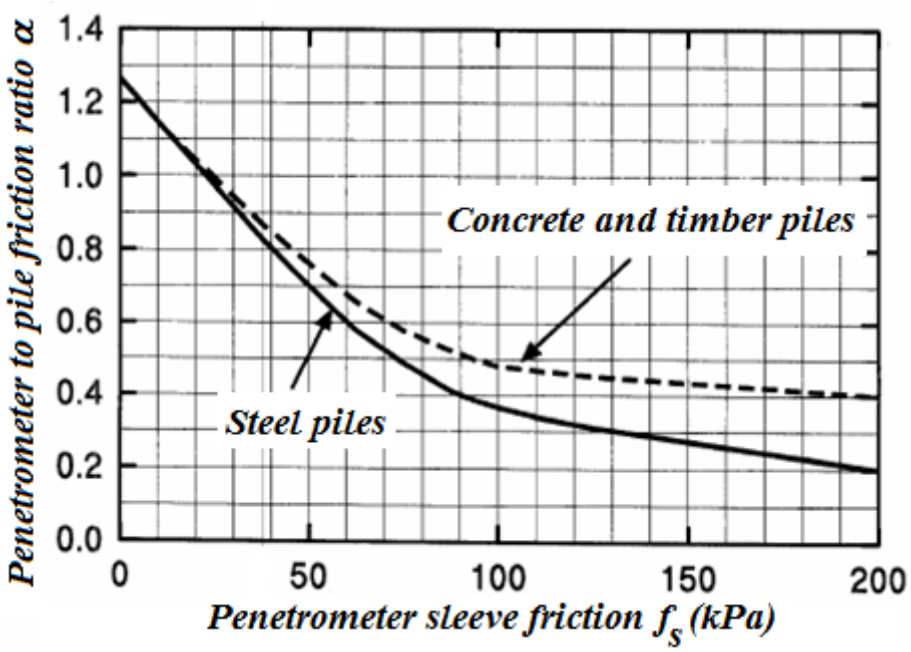
Typ "A" obejmuje następujące technologie wykonywania pali:

- **wkręcane** (wykonywane in situ, prefabrykowane, betonowane in situ z dodatkową iniekcją, prefabrykowane z dodatkową iniekcją, pale CFA, wiercone lub w zawiesinie bentonitowej)

Typ "B" obejmuje następujące technologie wykonywania pali:

- **wbijane** (prefabrykowane lub stalowe, drewniane)
- **pale Franki**
- **wibrowane**
- **rurowe stalowe**
- **wiercone z rurą osłonową**

Przy zastosowaniu metody **Schmertmanna**, uwzględniany jest współczynnik tarcia na pobocznicy α_s według Tomlinsona. Wartości stosowane w programie zaczerpnięte są z poniższego wykresu opublikowanego w: M.J. Tomlinson: Pile Design and Construction Practice (1994).



Literatura:

Tomlinson M. J.: Pile Design and Construction Practice, 4th edition, Taylor and Francis, 1994, ISBN 0 419 18450 3.

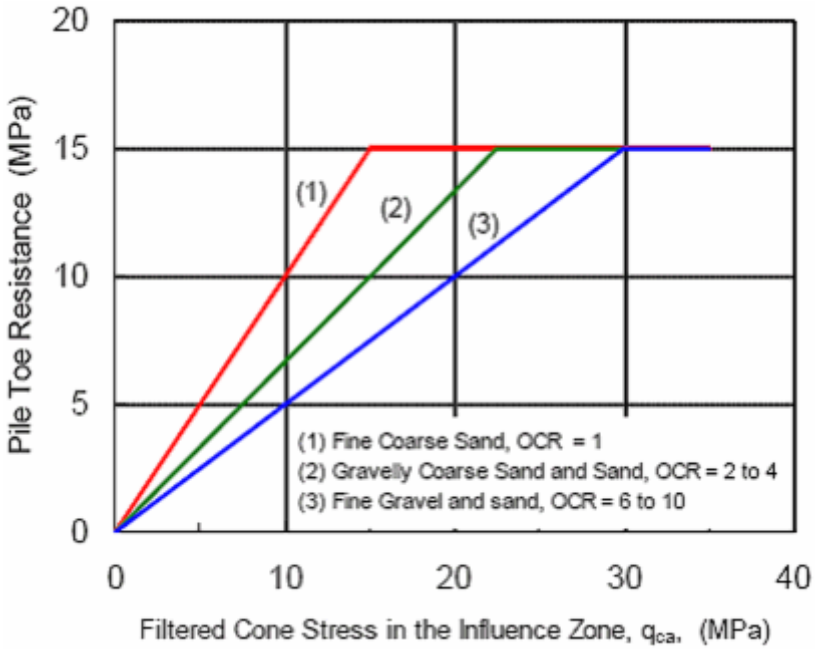
Wpływ prekonsolidacji (OCR)

Dla piasków i żwirów, maksymalny opór podstawy pala $p_{max,toe}$ (wyznaczony metodą wybraną w zakładce "Pale CPT") podlega redukcji zależnie od wartości prekonsolidacji (OCR) (zdefiniowanej jako parametr gruntu w oknie "Grunty") w następujący sposób:

Analiza według EC7-2, NEN 6743:

- dla wszystkich gruntów niespoistych, maksymalny opór podstawy pala $p_{max,toe}$ wynosi 15 MPa
- dla $OCR \leq 2$ nie stosuje się redukcji
- dla $2 < OCR$ 4, maksymalny opór podstawy pala $p_{max,toe}$ jest mnożony przez 0,67
- dla $OCR > 4$, maksymalny opór podstawy pala $p_{max,toe}$ jest mnożony przez 0,50

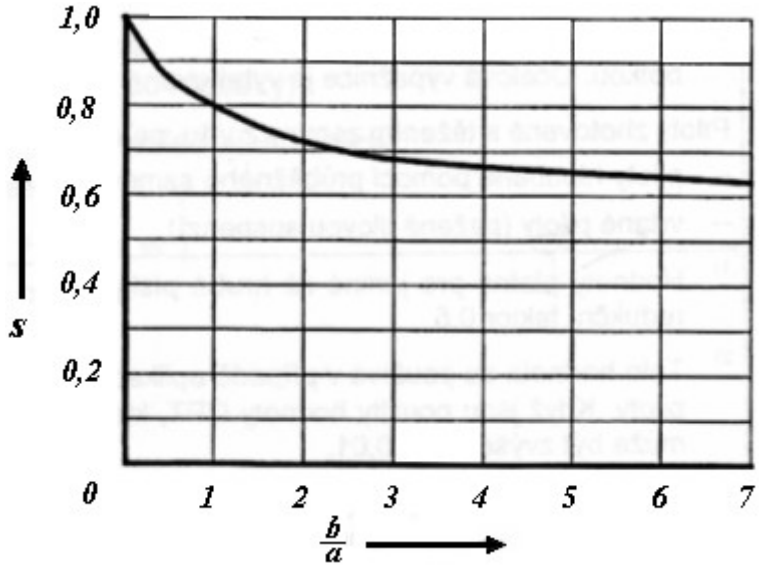
Przy zastosowaniu metody Schmertmanna, redukcji dokonuje się przy użyciu następującego wykresu:



Redukcja średniego równoważnego oporu gruntu pod stożkiem sondy wg OCR (Schmertmann)

Współczynnik wpływu kształtu pala s

Współczynnik określa wpływ przekroju **prostokątnego** pala, a w szczególności stosunku b/a. Jego wartości uzyskujemy z zamieszczonego poniżej wykresu (funkcja b/a):



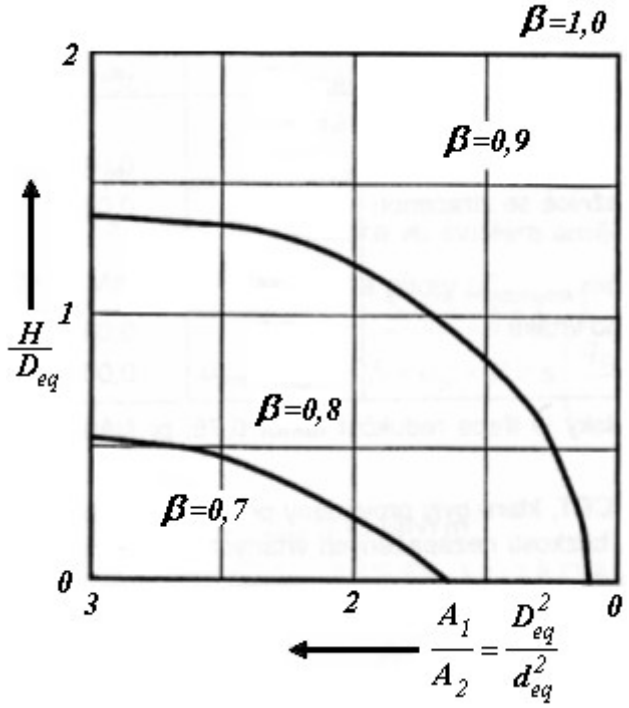
Wykres służący do określania współczynnika kształtu pala s (a - długość najkrótszego boku, b - długość najdłuższego boku)

Współczynnik wpływu poszerzenia podstawy pala BETA

Współczynnik oznaczany jako β reprezentuje wpływ poszerzenia podstawy pala, a jego wartości

wyznaczane są według wykresu:

(jako funkcja $\frac{D_{eq}^2}{d_{eq}^2}$ o $\frac{H}{D_{eq}}$):



Wykres służący do określania współczynnika β

gdzie:
- H – długość pala $[m]$
- D_{eq} – ekwiwalentna średnica pala w podstawie pala $[m]$
- d_{eq} – ekwiwalentna średnica trzonu pala $[m]$

Współczynnik redukcji nośności podstawy pala ALFA p

Współczynnik redukcji nośności podstawy pala α_p jest zależny od rodzaju pala. Wartości współczynnika można określić z wykorzystaniem dostępnych w programie metod obliczeniowych, mogą być również definiowane samodzielnie przez użytkownika. W programie wbudowane są następujące wartości α_p określane na podstawie metod **NEN 6743 oraz EC 1997-2**:

Pale	α_p [-]
wbijane prefabrykowane lub stalowe	1,0
wbijane Franki	1,0
wbijane drewniane	1,0

wibrowane	1,0
wkręcane, betonowane in situ	0,9
wkręcane prefabrykowane	0,8
wkręcane, betonowane in situ, z dodatkową iniekcją	0,9
wkręcane, prefabrykowane in situ, z dodatkową iniekcją	0,8
rurowe (stal)	1,0
pal formowany ślimakowym świdrem ciągłym (pal CFA)	0,8
pale wiercone lub w zawiesinie bentonitowej	0,5
pale wiercone z rurą osłonową	0,5

W przypadku metody **LCPC i metody Schmertmanna**, wartości tego współczynnika są wyznaczane na podstawie wartości oporu gruntu pod stożkiem sondy q_c (orientacyjne wartości podano w poniższej tabeli):

Orientacyjne wartości współczynnika podstawy α_p określane na podstawie oporu gruntu pod stożkiem q_c

LCPC (Bustamante) Rodzaj gruntu	**Opór pod stożkiem** q_c $[MPa]$	α_p **dla pali wierconych**	α_p **dla pali wbijanych**
Ił	*q_c < 1*	*0,04*	*0,50*
	1 < q_c < 5	*0,35*	*0,45*
	5 < q_c	*0,45*	*0,55*
Piasek	*q_c < 12*	*0,40*	*0,50*
	13 < q_c	*0,30*	*0,40*

Grupa pali

Analiza grupy pali uzależniona jest od **sztywności konstrukcji**. Podstawowym założeniem jest, że w konstrukcji sztywnej wszystkie pale poddane są takiemu samemu osiadaniu, podczas gdy dla konstrukcji podatnej każdy pal poddawany jest odkształceniu indywidualnemu - nie zakłada się interakcji.

Maksymalna nośność sztywnego fundamentu palowego wyrażona jest za pomocą wzoru:

$$F_{r,found,\max} = M.F_{r,\max,rep}$$

gdzie: M liczba pali w fundamencie palowym

$F_{r,max,rep}$ nośność pojedynczego pala w fundamencie palowym

Jeżeli przyjmiemy podejście wg normy NEN6743, to współczynnik redukcji nośności ξ będzie wprowadzony do analizy zależnie od liczby pali M i liczby badań CPT (pkt 5.3.2.1). Maksymalna nośność podatnego fundamentu palowego jest określana wg nośności pala poddanego największemu obciążeniu w grupie:

$$F_{r,found,\max} = \max\left(F_{r,i}\right)$$

gdzie: $F_{r,i}$ nośność w pełni wytężonego pala w grupie

Obliczanie osiadania podstawy pala

Wartość osiadania głowicy pala $w_{1,d}$ obliczana jest w następujący sposób:

$$w_{1,d} = w_{toe,d} + w_{el,d}$$

gdzie: $w_{toe,d}$ osiadanie podstawy pala w wyniku oddziałującej siły

$$w_{toe,d} = w_{toe,d,1} + w_{toe,d,2}$$

$w_{toe,d,1}$ osiadanie podstawy pala w wyniku oddziaływania siły na podstawę

$w_{toe,d,2}$ osiadanie podstawy pala w wyniku siły oddziałującej na pobocznicę

$w_{el,d}$ osiadanie pala w wyniku ściskania sprężystego

Wielkości osiadania $w_{toe,d,1}$ i $w_{toe,d21}$ otrzymywane są z wykresów umieszczonych w programie, wg normy NEN6743. Wartość $w_{el,d}$ określana jest wg wzoru:

$$w_{el,d} = \frac{L.F_{mean,d}}{A_{plat}.E_{p,mat,d}}$$

gdzie: L długość pala

$F_{mean,d}$ średnia siła oddziałująca na pal

A_{plast} pole powierzchni podstawy pala

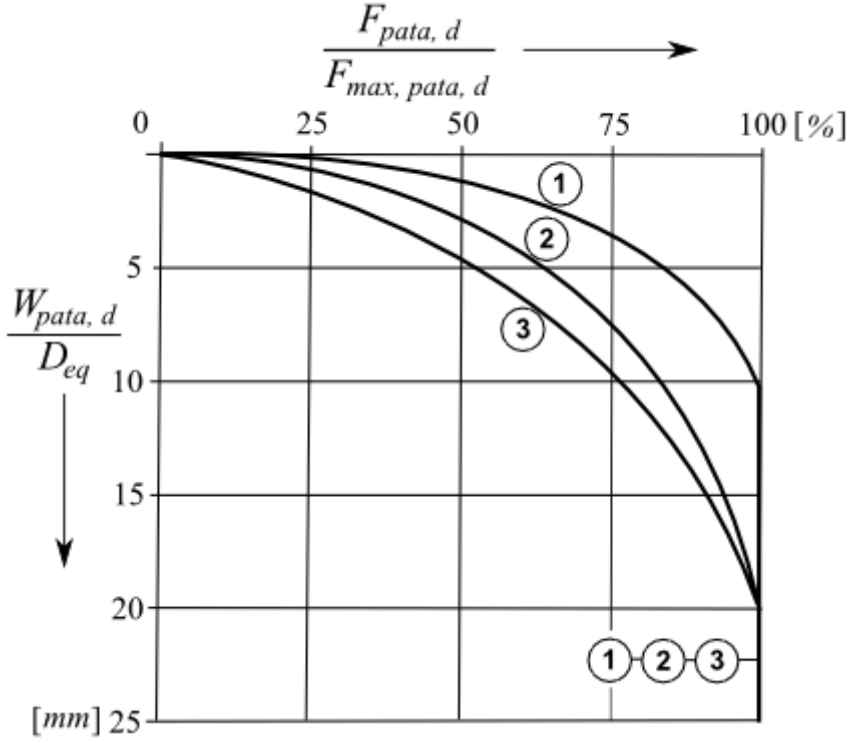
$E_{p,mat,d}$ moduł sprężystości materiału pala

Wykresy służące do obliczeń osiadania

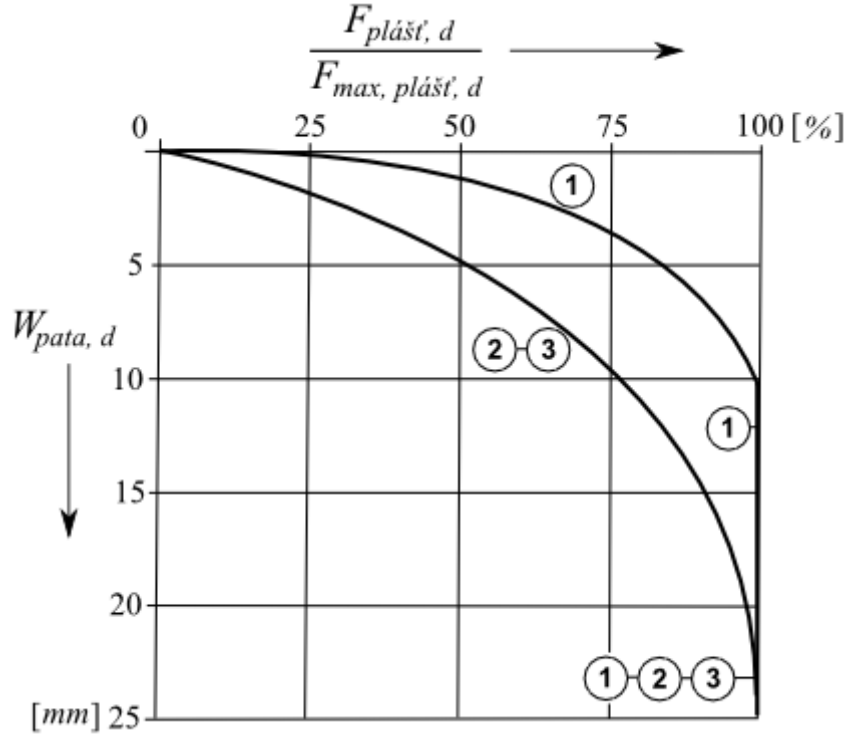
Wykresy służące do obliczeń osiadania pochodzą z normy NEN6743 (pkt 6.2.1) i umożliwiają określenie:

- Wartości osiadania pala związanego z działaniem siły pionowej (wartość osiadania pala wyrażona w procentach równoważnej średnicy pala, wykreślona jako funkcja pionowej siły działającej na podstawę pala podanej jako procent maksymalnego oporu podstawy pala $F_{max,toe}$).
- Wartość osiadania pala związanego z siłą oddziałującą na pobocznicę (wartość osiadania pala w mm wykreślona jako funkcja siły działającej na pobocznicę podanej w procentach

maksymalnego oporu na pobocznicy $F_{max,shaft}$).



Wykres służący do określania $w_{toe,d,1}$ (1 - pale wbijane, 2 - pale CFA , 3 - pale wiercone)

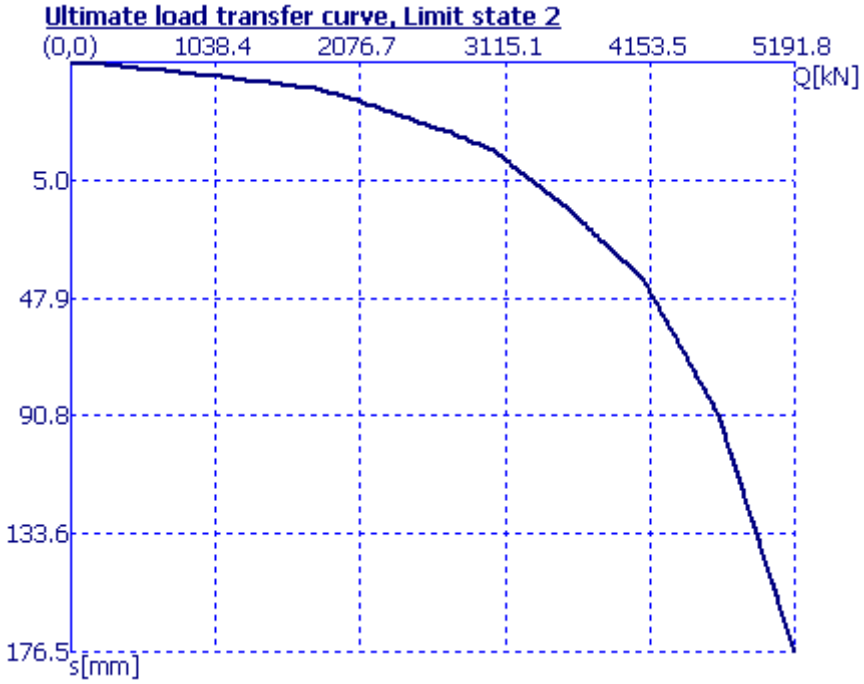


Wykres służący do określania $w_{toe,d,2}$ (1 - pale wbijane, 2 - pale CFA , 3 - pale wiercone)

Obliczanie granicznej krzywej obciążeniowej (obciążenie-osiadanie)

Jednym z wyników przedstawianych przez program jest wykres obciążenia pala obciążonego pionowo, tzw. **graniczna krzywa obciążeniowa (wykres obciążenie-osiadanie),** przedstawiający osiadanie pionowe pala w funkcji przyłożonego obciążenia.

Graniczna krzywa obciążeniowa wyznaczana jest jako suma osiadań wywołanych przez siły w podstawie pala oraz siły na pobocznicę, uzyskanych z wykresów używanych do obliczania osiadań pala. Na rysunku przedstawiono typowy przykład granicznej krzywej obciążeniowej (obciążenie-osiadanie).



Graniczna krzywa obciążeniowa (wykres obciążenie-osiadanie)

Obliczenia

Analiza **nośności** pala (lub grupy pali) przeprowadzana jest zgodnie z metodą obliczeniową wybraną przez użytkownika w zakładce "Pale CPT":

- analiza według EN 1997-2
- analiza według współczynnika bezpieczeństwa lub weług teorii stanów granicznych)
- analiza według NEN 6743

W przypadku obliczeń **osiadania** według normy NEN 6743 istnieje możliwość zastosowania zarówno granicznej krzywej obciążeniowej (obciążenie-osiadanie) lub krzywej obciążenie-przemieszczenie.

Analiza według EN 1997-2

Program określa nośności podstawy i pobocznicy pala. W wyniku otrzymuje się n wartości całkowitej nośności pala dla n wyników badań CPT:

$$R_{c,i} = R_{b,i} + R_{s,i}$$
$$R_{cd,i} = \frac{R_{b,i}}{\gamma_b} + \frac{R_{s,i}}{\gamma_s}$$

gdzie:
- $R_{c,i}$ -nośność pala na podstawie i-tego badania CPT
- $R_{cd,i}$ -nośność obliczeniowa pala na podstawie i-tego badania CPT
- $R_{b,i}$ -nośność podstawy pala na podstawie i-tego badania CPT
- $R_{s,i}$ -nośność pobocznicy pala na podstawie i-tego badania CPT
- γ_b -współczynnik częściowy do nośności podstawy (definiowany w zakładce "Pale CPT")
- γ_s -współczynnik częściowy do nośności pobocznicy (definiowany w zakładce "Pale CPT")

Całkowita nośność pala wyznaczana jest następująco:

$$R_c = \min\left(\frac{R_{c,\min}}{\xi_4}\ ;\ \frac{R_{c,mean}}{\xi_3}\right)\frac{1}{\gamma_{cal}}$$

x

$$R_{cd} = \min\left(\frac{R_{cd,\min}}{\xi_4}\ ;\ \frac{R_{cd,mean}}{\xi_3}\right)\frac{1}{\gamma_{cal}}$$

where:
- $R_{c,\ min}$ -minimalna nośność pala
- $R_{c,\ mean}$ -średnia nośność pala na podstawie wszystkich badań CPT

Współczynnik częściowy niepewności modelu γ_{cal} definiowany jest w ramce "Ustawienia" (wartość domyślna wynosi 1).

Współczynniki korelacyjne ξ_3 i ξ_4 mogą być albo przyjmowane są automatycznie na podstawie liczby badań CPT albo definiowane w zakładce "Ustawienia". W przypadku konstrukcji o wystarczającej sztywności i wytrzymałości współczynniki korelacyjne można redukować dzieląc przez 1,1 (wynik nie może być mniejszy od 1,0 po dokonaniu dzielenia).

Sprawdzenie pala przeprowadzane jest na podstawie następującego wzoru:

$$F_{s,d} < R_{c,d}$$

gdzie:
- $F_{s,d}$ -siła obliczeniowa
- $R_{c,d}$ -nośność obliczeniowa pala

Współczynniki korelacyjne do wyznaczania nośności pali na podstawie badań CPT

Współczynniki korelacyjne ξ do wyznaczania nośności charakterystycznej pali na podstawie wyników badań CPT *(n - **liczba badań CPT**)*

ξ **dla** $n=$	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**7**	**10**
ξ_3	1,40	1,35	1,33	1,31	1,29	1,27	1,25
ξ_4	1,40	1,27	1,23	1,20	1,15	1,12	1,08

Analiza według współczynnika bezpieczeństwa

Metodę analizy z zastosowaniem współczynnika bezpieczeństwa można wybrać w zakładce "Pale CPT". W tej samej zakładce można również zdefiniować wymagany współczynnik bezpieczeństwa dla nośności. W analizie pala stosowane jest wtedy następujące wyrażenie:

$$\frac{F_{r,d}}{F_{s,d}} > SF_b$$

gdzie: $F_{s,d}$ – obciążenie pala

SF_b – współczynnik bezpieczeństwa dla nośności pala

$F_{r,d}$ – nośność pala

Analiza według teorii stanów granicznych

Wyboru analizy według teorii stanów granicznych dokonać w zakładce "Pale CPT", łącznie z ustaleniem wartości współczynnika redukcji nośności pala. Jeżeli korzystamy z normy NEN 6743, program przeprowadza analizę automatycznie według tej normy; zakładka "**Ustawienia**" nie jest wówczas aktywna. Analiza pala dla **pierwszego stanu granicznego** przybiera wtedy postać:

$$F_{s,d} < \frac{F_{r,d}}{\gamma_t}$$

gdzie: $F_{s,d}$ – obliczeniowe obciążenie pala

γ_t – współczynnik redukcji nośności pala

$F_{r,d}$ – obliczeniowa nośność pala

Fundamenty bezpośrednie CPT

Program ten ma zastosowanie do projektowania lub sprawdzania fundamentów bezpośrednich z wykorzystaniem badań polowych (CPT, SPT, PMT).

Program przeprowadza analizę:

- nośności pionowej
- osiadania
- wymiarowanie zbrojenia podłużnego oraz na ścinanie (przebicie)

Analiza nośności pionowej

Nosność pionową fundamentu można wyznaczyć na podstawie sondowań CPT, SPT, lub PMT.

Nośność pionowa wyznaczana na podstawie sondowań CPT:

- metoda "Meyerhofa"
- metoda "Schmertmanna"
- metoda "Skemptona"

Nośność pionowa wyznaczana na podstawie sondowań SPT:

- metdoa "Meyerhofa"

The bearing capacity determined from the PMT tests:

- "NF P94-261"

Metoda Meyerhofa (CPT)

Poniższe rozwiązanie, mające zastosowanie dla **gruntów niespoistych** wykorzystuje teorię **Meyerhofa**, w której **nośność podłoża gruntowego pod fundamentem** wyrażona jest w postaci:

$$R_d = q_c \frac{b_{ef}}{40} \left(C_{w_1} + C_{w_2} \frac{d}{b_{ef}} \right) R_i$$

Przy stosowaniu tej metody zaleca się stosowanie współczynnika bezpieczeństwa $FS=3.$

gdzie:

	R_d	-	nośność podłoża fundamentowego
	q_c	-	średnia wartość oporu na stożku mierzona na głębokości od poziomu posadowienia do $1{,}5*b_{ef}$ poniżej poziomu posadowienia
	b_{ef}	-	efektywna szerokość fundamentu
	C_{w1}, C_{w2}	-	współczynniki wpływu ZWG
	d	-	głębokość poziomu posadowienia
	R_i	-	współczynnik nachylenia obciążenia

Wzór został wyprowadzony w jednostkach angielskich [tsf, ft] - program liczy automatycznie w jednostkach wykorzystywanych w programie.

Współczynniki wpływu ZWG C_{w1} *oraz* C_{w2} wyznaczane są następująco:

$h_{GWT} = 0$ (woda równo z powierzchnią terenu) -> $C_{w1} = C_{w2} = 0{,}5$

$h_{GWT} = d$ (woda w poziomie posadowienia) -> $C_{w1} = 0{,}5$; $C_{w2} = 1$

$h_{GWT} > d + 1{,}5*b_{ef}$ -> $C_{w1} = C_{w2} = 1$

gdzie:

	h_{GWT}	-	zagłębienie zwierciadła wody gruntowej pod powierzchnią terenu

Wartości pośrednie C_{w1} i C_{w2} są interpolowane.

Współczynnik nachylenia obciążenia R_i jest interpolowany zgodnie z następującą tabelą:

H/V	R_i		
	$d/b_{ef} = 0$	$d/b_{ef} = 1$	$d/b_{ef} = 5$
0,10	0,75	0,8	0,85
0,15	0,65	0,75	0,80
0,20	0,55	0,65	0,70
0,25	0,50	0,55	0,65
0,30	0,40	0,50	0,55
0,35	0,35	0,45	0,50
0,40	0,30	0,35	0,45
0,45	0,25	0,30	0,40
0,50	0,20	0,25	0,30
0,55	0,15	0,20	0,25
0,60	0,10	0,15	0,20

gdzie: H - składowa pozioma siły wypadkowej

V - składowa pionowa siły wypadkowej

Metoda ta nie powinna być stosowana dla wskaźnika $H/V >$ 0,6.

Wpływ nachylenia terenu i nachylenia podstawy fundamentu uwzględniany jest tak samo jak w metodzie metodzie Schmertmanna.

Literatura:

FHWA-SA-91-043: THE CONE PENETROMETER TEST

Bridge Engineering Handbook (Wai-Fah Chen, Lian Duan, 1999)

Metoda Schmertmanna (CPT)

Poniższe rozwiązanie, mające zastosowanie dla **gruntów niespoistych** wykorzystuje teorię **Schmertmanna**, w której **nośność podłoża gruntowego pod fundamentem** wyrażona jest w postaci:

$$R_d = K_q \gamma d N_q + \frac{1}{2} K_\gamma \gamma b_{ef} N_\gamma$$

Przy stosowaniu tej metody zaleca się stosowanie współczynnika bezpieczeństwa $FS=3.$

gdzie: R_d - nośność podłoża fundamentowego

K_q, K_γ - współczynniki redukcyjne

γ - ciężar objętościowy gruntu w poziomie posadowienia

b_{ef} - szerokość efektywna fundamentu

N_q, N_γ - współczynniki nośności

d - głębokość posadowienia

Wzór został wyprowadzony w jednostkach angielskich *[tsf, tcf ft]* - program liczy automatycznie w jednostkach wykorzystywanych w programie.

$$N_q = N_\gamma = 1,25\sqrt{q_{c1}q_{c1}}$$

gdzie: q_{c1} - średnia wartość oporu na stożku mierzona na głębokości od poziomu posadowienia do $0,5.b_{ef}$ poniżej poziomu posadowienia

q_{c2} - średnia wartość oporu na stożku mierzona od głębokości $0,5.b_{ef}$ poniżej poziomu posadowienia do $1,5.b_{ef}$ poniżej poziomu posadowienia

$$K_q = i_q s_q d_q b_q g_q$$
$$K_\gamma = i_\gamma s_\gamma b_\gamma g_\gamma$$

gdzie: i_q, i_γ - współczynniki nachylenia obciążenia

s_q, s_γ - współczynniki kształtu fundamentu

d_q - współczynnik głębokości fundamentu

b_q, b_γ - współczynniki nachylenia podstawy fundamentu

g_q, g_γ - współczynniki nachylenia powierzchni terenu

Współczynniki nachylenia i_q *oraz* i_γ określane są następująco:

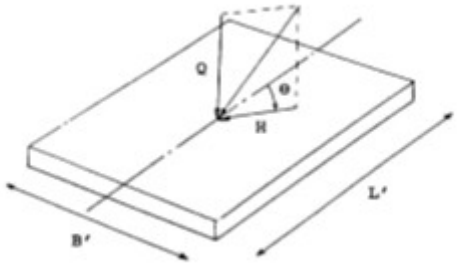
$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V}\right)^2$$
$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V}\right)^{m-1}$$
$$m_\gamma = m_l cos^2\theta + m_b sin^2\theta$$
$$m_l = \frac{2 + \frac{l_{ef}}{b_{ef}}}{1 + \frac{l_{ef}}{b_{ef}}}$$
$$m_b = \frac{2 + \frac{l_{ef}}{b_{ef}}}{1 + \frac{b_{ef}}{l_{ef}}}$$

gdzie: H - składowa pozioma siły wypadkowej

V - składowa pionowa siły wypadkowej

l_{ef} - efektywna długość fundamentu

θ - kąt pomiędzy poziomą składową siły wypadkowej H i dłuższą osią fundamentu (w kierunku l_{ef})



wyznaczanie kąta θ

Metoda ta nie powinna być stosowana w przypadku, gdy $H/V > 0,4$.

Współczynniki kształtu fundamentu s_q oraz s_γ wyznaczane są następująco:

$$s_q = 1 + \left(\frac{b_{ef}}{l_{ef}}\right) tg\varphi$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4\frac{b_{ef}}{l_{ef}}$$

gdzie: φ - kąt tarcia wewnętrznego w poziomie posadowienia

Współczynnik głębokości fundamentu d_q wyznaczany jest następująco:

$$d_q = 1 + 2tg\varphi\,(1 - sin\varphi)^2\,\frac{d}{b_{ef}}$$

Współczynniki nachylenia podstawy fundamentu b_q oraz b_γ wyznaczane są w następujący sposób:

$$b_q = b_\gamma = (1 - \eta tg\varphi)^2$$

gdzie: η - kąt nachylenia podstawy fundamentu

Współczynniki nachylenia powierzchni terenu g_q oraz g_γ wyznaczane są w następujący sposób:

$$g_q = g_\gamma = (1 - tg\beta)^2$$

gdzie: β - kąt nachylenia powierzchni terenu

Literatura:

FHWA-SA-91-043: THE CONE PENETROMETER TEST

Bridge Engineering Handbook (Wai-Fah Chen, Lian Duan, 1999)

Metoda Skemptona (CPT)

Poniższe rozwiązanie, mające zastosowanie dla **gruntów spoistych** wykorzystuje teorię

Skemptona, w której **nośność podłoża gruntowego pod fundamentem** wyrażona jest w postaci:

$$R_d = K_c . N_c . S_u + \gamma . d$$

Przy stosowaniu tej metody zaleca się stosowanie współczynnika bezpieczeństwa *FS=3.*

gdzie: R_d - nośność podłoża fundamentowego

K_c - współczynnik nachylenia obciążenia

N_c - współczynnik nośności Skemptona

S_u - wytrzymałość na ścinanie bez odpływu

γ - ciężar objętościowy gruntu w poziomie posadowienia

d - głębokość posadowienia

Wzór został wyprowadzony w jednostkach angielskich *[tsf, tcf ft]* - program liczy automatycznie w jednostkach wykorzystywanych w programie.

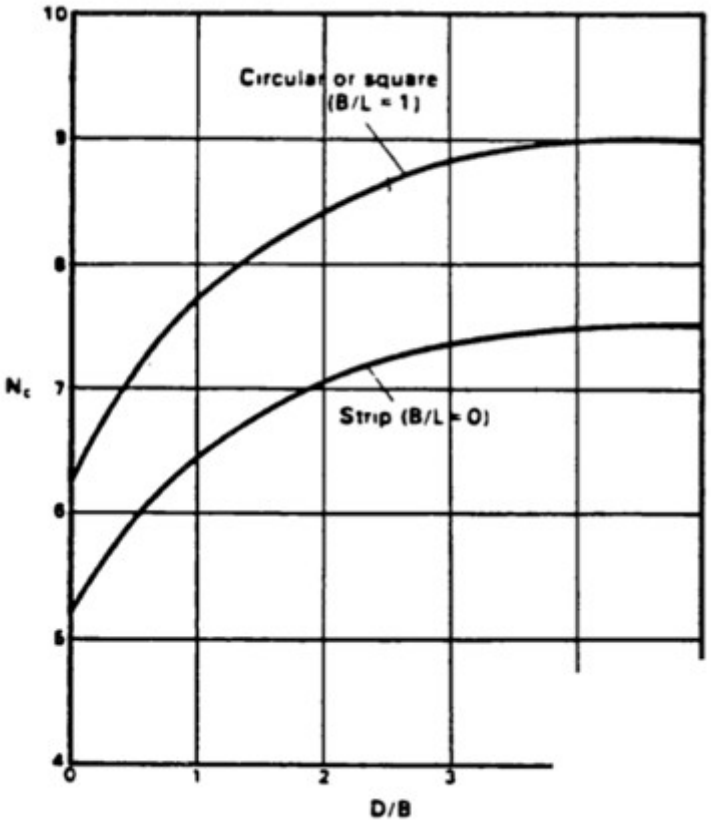
$$K_c = \left(1 - 1{,}3 . \frac{H}{V}\right)$$

gdzie: H - składowa pozioma siły wypadkowej

V - składowa pionowa siły wypadkowej

Metoda ta nie powinna być stosowana w przypadku, gdy $H/V > 0{,}4$.

Współczynnik nośności Skemptona N_c zależy od stosunku szerokości efektywnej b_{ef} i długości efektywnej l_{ef} oraz od stosunku głębokości posadowienia d i szerokości efektywnej b_{ef}.



Wyznaczanie współczynnika N_c (na podstawie: Peck, Hanson i Thornburn, 1974)

Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu S_u wyznaczana jest w sposób następujący:

$$S_u = \frac{(q_c - \sigma_{vo})}{N_k}$$

gdzie: q_c - średnia wartość oporu na stożku

σ_{v0} - średnia wartość naprężeń pionowych mierzona na głębokości od poziomu posadowienia do $1{,}5.b_{ef}$ poniżej poziomu posadowienia

N_k - Współczynnik stożka (w zakresie $<10;20>$)

$$q_c = \sqrt{q_{c1} \cdot q_{c2}}$$

gdzie: q_{c1} - średnia wartość oporu na stożku mierzona na głębokości od poziomu posadowienia do $0{,}5.b_{ef}$ poniżej poziomu posadowienia

q_{c2} - średnia wartość oporu na stożku mierzona od głębokości $0{,}5.b_{ef}$ poniżej poziomu posadowienia do $1{,}5.b_{ef}$ poniżej poziomu posadowienia

Wpływ nachylenia terenu i nachylenia podstawy fundamentu uwzględniany jest tak samo jak w metodzie metodzie Schmertmanna.

Literatura:

FHWA-SA-91-043: THE CONE PENETROMETER TEST

Bridge Engineering Handbook (Wai-Fah Chen, Lian Duan, 1999)

Metoda Meyerhofa (SPT)

Poniższe rozwiązanie, mające zastosowanie dla **gruntów spoistych i gruntów niespoistych** wykorzystuje teorię **Meyerhofa**, w której **nośność podłoża gruntowego pod fundamentem** wyrażona jest w postaci:

$$R_d = q_c \frac{b_{ef}}{10} \left(C_{w_1} + C_{w_2} \frac{d}{b_{ef}} \right) R_i$$

Przy stosowaniu tej metody zaleca się stosowanie współczynnika bezpieczeństwa $FS = 3$.

gdzie:

R_d	-	nośność podłoża fundamentowego
N	-	średnia liczba uderzeń SPT mierzona na głębokości od poziomu posadowienia do 1,5$*b_{ef}$ poniżej poziomu posadowienia
b_{ef}	-	szerokość efektywna fundamentu
C_{w1}, C_{w2}	-	współczynniki wpływu ZWG
d	-	głębokość posadowienia
R_i	-	współczynnik wpływu nachylenia obciążenia

Wzór został wyprowadzony w jednostkach angielskich [tsf, ft] - program liczy automatycznie w jednostkach wykorzystywanych w programie.

W nawodnionych piaskach drobnych lub pylastych, zmierzona liczba uderzeń SPT $N_i > 15$ powinna być skorygowana w następujący sposób:

$$N_{cor,i} = 15 + 0{,}5.(N_i - 15)$$

Powyższa korelacja może być wykonana automatycznie w ramce "Obliczenia".

Współczynniki wpływu ZWG C_{w1} *oraz* C_{w2} określa się następująco:

$h_{GWT} = 0$ (woda równo z powierzchnią terenu) -> $C_{w1} = C_{w2} = 0{,}5$

$h_{GWT} = d$ (woda w poziomie posadowienia) -> $C_{w1} = 0{,}5$; $C_{w2} = 1$

$h_{GWT} > d + 1{,}5*b_{ef}$ -> $C_{w1} = C_{w2} = 1$

gdzie: h_{GWT} - zagłębienie zwierciadła wody gruntowej pod powierzchnią terenu

Wartości pośrednie $C_{w1\ i}\ C_{w2}$ są interpolowane.

Współczynnik nachylenia obciążenia R_i jest interpolowany zgodnie z następującą tabelą:

H/V	R_i		
	$d/b_{ef} = 0$	$d/b_{ef} = 1$	$d/b_{ef} = 5$
0,10	0,75	0,8	0,85

0,15	0,65	0,75	0,80
0,20	0,55	0,65	0,70
0,25	0,50	0,55	0,65
0,30	0,40	0,50	0,55
0,35	0,35	0,45	0,50
0,40	0,30	0,35	0,45
0,45	0,25	0,30	0,40
0,50	0,20	0,25	0,30
0,55	0,15	0,20	0,25
0,60	0,10	0,15	0,20

gdzie: H - składowa pozioma siły wypadkowej

V - składowa pionowa siły wypadkowej

Metoda ta nie powinna być stosowana w przypadku, gdy $H/V >$ 0,6.

Wpływ nachylenia terenu i nachylenia podstawy fundamentu uwzględniany jest tak samo jak w metodzie metodzie Schmertmanna.

Literatura:

Bridge Engineering Handbook (Wai-Fah Chen, Lian Duan, 1999)

NF P94-261 (PMT)

This solution for **cohesive** and **cohesionless soils** use a theory from the French standard **NF P94-261**, where the **bearing capacity of foundation soil** is given by a formula:

$$R_d = p^*_{le} k_p i_\delta i_g$$

It is recommended to use a safety factor $FS = 3$ **when calculating the bearing capacity using this method.**

Where: R_d - bearing capacity of foundation soil

p^*_{le} - equivalent net limit pressure

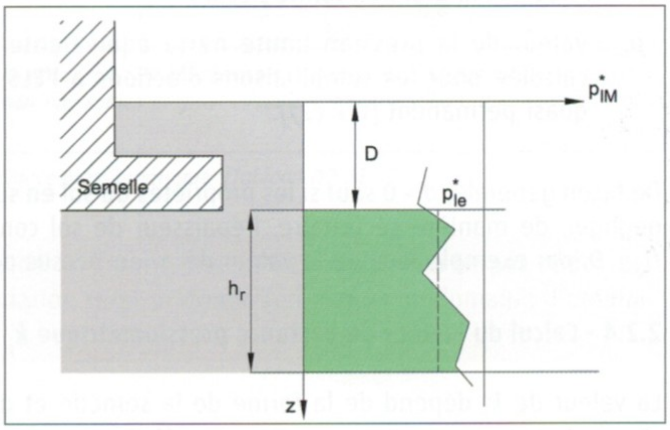
k_p - bearing capacity factor

i_δ - load inclination factor

i_g - ground inclination factor

Equivalent net limit pressure p_{le}^* is a geometric average of values of pressiometric limit pressure from the footing bottom to the depth of h_r.

$$p_{le}^{*} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} p_{l;k}^{*}}$$



Depth h_r depends on type of load (design/service), geometry of foundation and eccentricity of load:

		design load	**service load**
Strip footing	$\left(1-\frac{2e}{B}\right) \geq \frac{1}{2}$	$h_r = 1.5B$	$h_r = 1.5B$
	$\left(1-\frac{2e}{B}\right) < \frac{1}{2}$	$h_r = 3B - 6e$	
Circle footing	$\left(1-\frac{2e}{B}\right) \geq \frac{9}{16}$	$h_r = 1.5B$	
	$\left(1-\frac{2e}{B}\right) < \frac{9}{16}$	$h_r = \frac{8B}{3} - \frac{16e}{3}$	
Spread footing	$\left(1-\frac{2e_B}{B}\right)\left(1-\frac{2e_L}{L}\right) \geq \frac{1}{2}$	$h_r = 1.5B$	
	$\left(1-\frac{2e_B}{B}\right)\left(1-\frac{2e_L}{L}\right) < \frac{1}{2}$	$h_r = min(3B - 6e$	

Bearing capacity factor k_p depends on type of soil, geometry of foundation (ratio L/B) and equivalent embedding depth D_e.

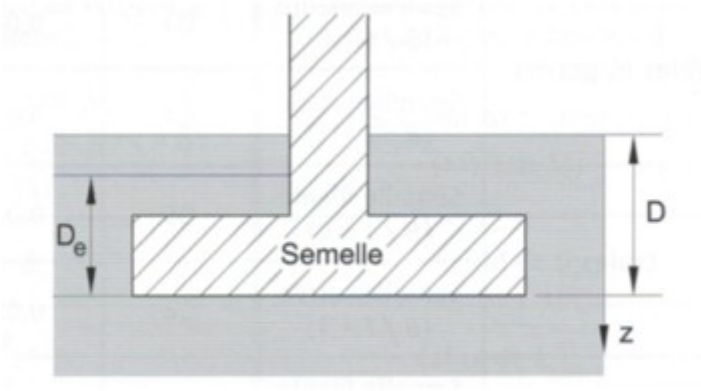
Equivalent embedding depth D_e is calculated as follows:

$$D_e = \frac{1}{p_{le}^{*}} \int_0^n p_{LM,i}(z)dz$$

or:

$$D_e = \sum_{1}^{n} z_i \frac{p_{LM,i}}{p_{le}^*}$$

Values $p_{LM,i}$ for determining equivalent embedding depth D_e are measured between terrain and foundation bottom.



If $D_e/B < 2$:

$$k_p = k_{pmax}$$

Calculation K_p for strip, circle or square foundation:

$$k_{p;B/L} = k_{p0} + (a + b\frac{D_e}{B})(1 - e^{-c\frac{D_e}{B}})$$

Calculation K_p for spread footing (ratio L/B)

$$k_{p;B/L} = k_{p;B/L=0} + (1 - \frac{B}{L}) + k_{p;B/L=1}\frac{B}{L}$$

Coefficients a, b, c, k_{p0} and k_{pmax} depend on type of soil according the table:

Soil category	**Variation curve of the bearing factor**		**Expression of k_p**				
			a	**b**	**c**	k_{p0} (De/B=0)	kp_{max}
Clays & silts	Strip footing (B/L = 0)	Q1	0.20	0.02	1.30	0.80	1.022
	Square footing (B/L = 1)	Q2	0.30	0.02	1.50	0.80	1.123
Sand & gravels	Strip footing (B/L = 0)	Q3	0.30	0.05	2.00	1.00	1.393
	Square footing (B/L = 1)	Q4	0.22	0.18	5.00	1.00	1.580
Chalk	Strip footing (B/L = 0)	Q5	0.28	0.22	2.80	0.80	1.517
	Square footing (B/L = 1)	Q6	0.35	0.31	3.00	0.80	1.768
Marls Calcareous...	Strip footing (B/L = 0)	Q7	0.20	0.20	3.00	0.80	1.399
	Square footing (B/L = 1)	Q8	0.20	0.30	3.00	0.80	1.598

Load inclination factor i_δ is calculated as follows:

$$\delta_d = arctan(\frac{H_d}{V_d})$$

If $\delta_d < \pi/4$:

$$i_{\delta;f} = \left(1 - \frac{2\delta_d}{\pi}\right)^2 - \frac{2\delta_d}{\pi}\left(2 - 3\frac{2\delta_d}{\pi}\right)e^{\frac{-D_e}{B}}$$

If $\delta_d \geq \pi/4$:

$$i_{\delta;f} = \left(1 - \frac{2\delta_d}{\pi}\right)^2 - \left(1 - \frac{2\delta_d}{\pi}\right)^2 e^{\frac{-D_e}{B}}$$

Literature:

NF P94-261

Analiza osiadania

Osiadania fundamentów bezpośrednich można wyznaczać wykorzystując sondowania CPT, SPT lub PMT.

Osiadania wyznaczane na podstawie sondowań CPT:

- metoda "Schmertmanna"

Osiadania wyznaczane na podstawie sondowań SPT:

- metoda "NAVFAC DM7"

The settlement determined from the PMT tests:

- "NF P94-261"

Metoda Schmertmanna (CPT)

Osiadanie fundamentów bezpośrednich z wykorzystaniem sondowań CPT według teorii **Schmertmanna** wyznacza się na podstawie następującego wzoru:

$$s = C_1 . C_2 . \sigma_{ol} . \sum_{1}^{N} \frac{I_{zi} . h_i}{x . q_{ci}}$$

gdzie:

s	-	osiadanie fundamentu bezpośredniego
C_1	-	współczynnik korekcyjny głębokości posadowienia
C_2	-	współczynnik korekcyjny pełzania
σ_{ol}	-	naprężenie w podstawie fundamentu
I_{zi}	-	współczynnik wpływu odkształceń w środku i^{tej} podwarstwy
h_i	-	miąższość i^{tej} podwarstwy

χ - współczynnik modułu

q_{ci} - średnia wartość oporu na stożku w i^{tej} podwarstwie

Wzór został wyprowadzony w jednostkach angielskich *[tsf, tcf ft]* - program liczy automatycznie w jednostkach wykorzystywanych w programie.

Współczynnik korekcyjny głębokości posadowienia C_1 wyznacza się następująco:

$$C_1 = 1 - 0{,}5.\left(\frac{\sigma_{or}}{\sigma_{ol}}\right)$$

gdzie: σ_{or} - naprężenie geostatyczne w poziomie posadowienia

Współczynnik korekcyjny pelzania C_2 wyznacza się następująco:

$$C_2 = 1 + 0{,}2.log_{10}\left(\frac{t_{YR}}{0{,}1}\right)$$

gdzie: t_{yr} - czas w latach od momentu przyłożenia obciążenia

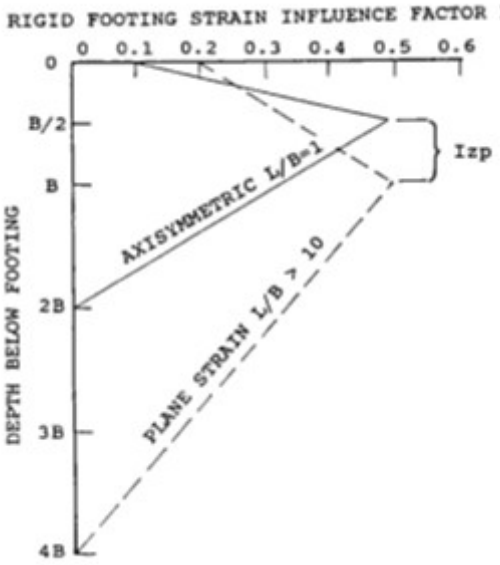
Współczynnik modułu χ zależy od stosunku długości fundamentu l i szerokości fundamentu b:

l/b = 1 -> χ = 2,5

l/b = 10 -> χ = 3,5

Wartości pośrednie χ są interpolowane.

Współczynnik wpływu odkształceń I_z umieszczono na poziomej osi poniższego wykresu. Na osi pionowej znajduje się zagłębienie poniżej poziomu posadowienia.



Określenie współczynika I_z (Schmertmann, 1978)

Wykres współczynnika I_z zależy również od stosunku długości fundamentu l i szerokości b.

Dla stosunku $l/b = 1$ maksymalna wartość współczynnika wpływu odkształcenia I_{zp} jest na głębokości $b/2$ poniżej poziomu posadowienia, a całkowite osiadanie liczone jest do głębokości $2b$ poniżej poziomu posadowienia.

Dla stosunku $l/b = 10$ maksymalna wartość współczynnika wpływu odkształcenia I_{zp} jest na głębokości b poniżej poziomu posadowienia, a całkowite osiadanie liczone jest do głębokości $4b$ poniżej poziomu posadowienia.

Maksymalna wartość współczynnika wpływu odkształcenia I_{zp} wyznaczana jest w sposób następujący:

$$I_{zp} = 0{,}5 + 0{,}1.\sqrt{\frac{\sigma_{oi}}{\sigma_{zp}}}$$

gdzie: σ_{zp} - naprężenie geostatyczne na głębokości $b/2$ (dla $l/b = 1$) lub b ($l/b = 10$) poniżej poziomu posadowienia

Współczynnik wpływu odkształcenia I_z jest interpolowany dla pośrednich wartości stosunku l/b ($1 < l/b < 10$).

Literatura:

Schmertmann, J.H. (1970). Static cone to compute static settlement over sand. ASCE Journal of SoilMechanics & Foundations Division, 96 (3), 1011-1043.

Schmertmann, J.H., Hartmann, J.P. and Brown, P.R. (1978). Improved strain influence factor diagrams,ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division, 104 (GT8), 113

Metoda NAVFAC DM7 (SPT)

Osiadanie fundamentów bezpośrednich z wykorzystaniem sondowań SPT według **NAVFAC DM7** wyznacza się na podstawie następującego wzoru:

$$s = \frac{C.\sigma}{K_v}.(\frac{b}{b+1})^2.C_w$$

gdzie:
- s - osiadanie fundamentu bezpośredniego
- C - współczynnik szerokości fundamentu
- σ - naprężenie w podstawie fundamentu
- K_v - moduł reakcji podłoża
- b - szerokość fundamentu
- C_w - współczynnik wpływu ZWG

Wzór został wyprowadzony w jednostkach angielskich [tsf, tcf, ft] - program liczy automatycznie w jednostkach wykorzystywanych w programie.

Współczynnik szerokości fundamentu C wyznaczany jest w sposób następujący:

$b < 20\ ft$ -> $C = 4$

$b > 40\ ft$ -> $C = 2$

Wartości pośrednie C są interpolowane.

Współczynnik wpływu ZWG C_w wyznaczany jest w sposób następujący:

Jeśli ZWG położone jest pomiędzy powierzchnią terenu, a głębokością $1,5*b_{ef}$ poniżej poziomu posadowienia:

$$C_w = 2,0 - \frac{h_{HPV} - d}{1,5.b}$$

$$C_w \leq 2,0$$

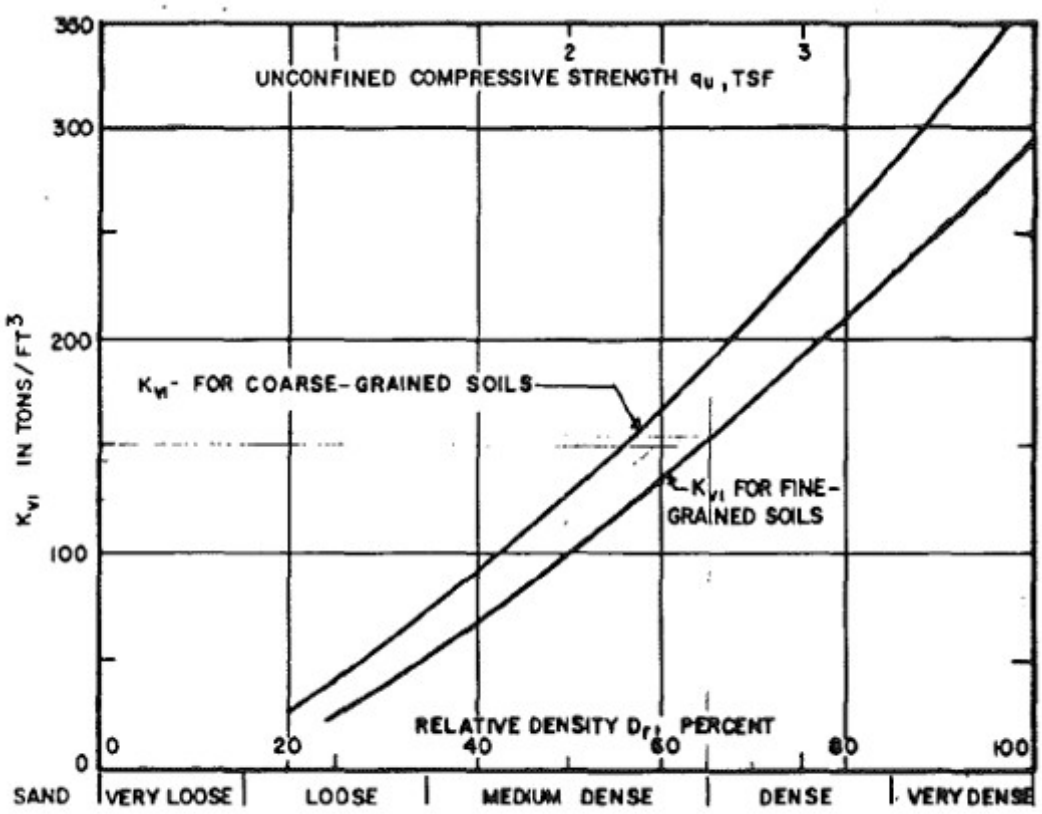
Jeśli ZWG położone jest na głębokości większej niż $1,5.b_{ef}$ poniżej poziomu posadowienia:

$$C_w = 1,0$$

gdzie: h_{GWT} - zagłębienie poziomu wody gruntowej poniżej powierzchni terenu

d - głębokość posadowienia fundamentu

Moduł reakcji podłoża K_v zależy od stopnia zagęszczenia I_D:



Wyznaczanie modułu K_v (Navfac, 1982)

Stopień zagęszczenia I_D określany jest w sposób następujący:

$\sigma_{zp} \leq 1,5*ksf$:

$$I_D = \sqrt{\frac{N}{20}.(1 + 2.\sigma_{zp})}$$

$\sigma_{zp} > 1{,}5 * ksf$:

$$I_D = \sqrt{\frac{N}{20}.(3{,}25 + 0{,}5.\sigma_{zp})}$$

gdzie: N - nieskorygowana liczba uderzeń na głębokości $b/2$ poniżej poziomu posadowienia

σ_{zp} - naprężenie geostatyczne na głębokości $b/2$ poniżej poziomu posadowienia

Wzór został wyprowadzony w jednostkach angielskich [ksf] - program liczy automatycznie w jednostkach wykorzystywanych w programie.

Literatura:

Navfac, 1982

NF P94-261 (PMT)

Settlement of spread footing using PMTs according to **NF P94-261** method is based on the formula:

$$s = \frac{\alpha}{9E_c} q \lambda_c B + \frac{2}{9E_d} q B_0 \left(\lambda_d \frac{B}{B_0}\right)$$

where: s - overall settlement

E_c, E_d - equivalent pressiometric modulus

α - rheological coefficient

q - stress in the footing bottom

λ_c, λ_d - shape coefficients

B - footing width

B_0 - reference width (0,6 m)

Approximate values of rheological coefficient α for soils:

	Clay	**Silt**	**Sand**	**Gravel**
Overconsolidated	1	2/3	1/2	1/3
Normally consolidated	2/3	1/2	1/3	1/4
Non-consolidated	1/2	1/2	1/3	1/4

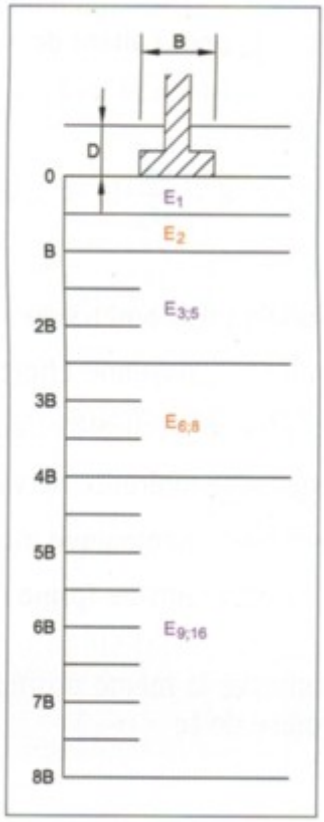
Approximate values of rheological coefficient α for rocks:

Rocks	
Type	α
Almost intact	2/3
Normally fractured	1/2
Very fractured	1/3
Very altered	2/3

Shape coefficients λ_c, λ_d are interpolated according to the following table:

L/B	**circle**	**square**	**2**	**3**	**5**	**20**
λ_d	1	1,12	1,53	1,78	2,14	2,65
λ_c	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5

Equivalent pressiometric modulus E_c and E_d are determined according to the pressiometric modulus measured in layers of $B/2$ thickness below the foundation bottom.



Modul E_c is determined as an average pressiometric modulus in first layer of $B/2$ thickness below the foundation bottom.

$$E_c = E_1$$

Determination of modulus E_d depends on overall depth of PMT (d_{PMT}).

$$D_{PMT} \geq 8B$$
$$E_d = \frac{1}{\frac{0,25}{E_1} + \frac{0,3}{E_2} + \frac{0,25}{E_{3,5}} + \frac{0,1}{E_{6,8}} + \frac{0,1}{E_{9,16}}}$$
$$4B \leq D_{PMT} < 8B$$
$$E_d = \frac{1}{\frac{0,25}{E_1} + \frac{0,3}{E_2} + \frac{0,25}{E_{3,5}} + \frac{0,2}{E_{6,8}}}$$
$$2,5B \leq D_{PMT} < 4B$$
$$E_d = \frac{1}{\frac{0,25}{E_1} + \frac{0,3}{E_2} + \frac{0,4}{E_{3,5}}}$$

Literature:

ČSN EN 1997-2 Annex E

NF P94-261

Menard, L. (1975): "The Menard Pressuremeter: Interpretation and Application of the Pressuremeter Test Results to Foundations Design", Sols-Soils, No. 26, Paris, France.

Grupa pali

Obliczenia wykonywane programem "**Grupa pali**" mogą być podzielone na dwie grupy:

- Rozwiązanie analityczne - wyliczenie nośności pionowej grupy pali dla gruntów spoistych i niespoistych oraz wyznaczanie osiadania
- Analiza grupy pali za pomocą metody sprężystej wraz z wymiarowaniem zbrojenia pali

Rozwiązanie analityczne

Analizę nośności pionowej grupy pali można wykonać dla:

- gruntów niespoistych (analiza dla warunków z odpływem)
- gruntów spoistych (analiza dla warunków bez odpływu)

Rzeczywista analiza obliczeniowa wykonywana jest według współczynnika bezpieczeństwa lub zgodnie z teorią stanów granicznych.

Weryfikacja wykonywana jest tylko dla **obciążenia pionowego**. Obciążenia wynikające z momentów i sił tnących nie są uwzględniane. W celu uwzględnienia oddziaływania poziomego dla grupy pali należy wybrać metodę sprężystą w ramce "Ustawienia".

Metody analityczne pozwalają na wyznaczenie osiadania grupy pali.

Grunty niespoiste (analiza w warunkach z odpływem)

W celu wyznaczenia nośności pionowej grupy pali stosowane są te same metody obliczeniowe jak dla analizy pojedynczego pala:

- NAVFAC DM 7.2
- metoda naprężeń efektywnych
- CSN 73 1002

Nośność pionową grupy pali wyznacza się na podstawie wzoru:

$$R_g = \sum R_c = nR_c\eta_g$$

gdzie: n - liczba pali w grupie
R_c - nośność pionowa pojedynczego pala
η_g - efektywność grupy pali

Rzeczywista analiza obliczeniowa wykonywana jest według współczynnika bezpieczeństwa lub zgodnie z teorią stanów granicznych.

Efektywność grupy pali

UFC 3-220-01A

- $\eta_g \approx 0{,}7$ dla osiowego rozstawu pali w grupie: $3d$
- $\eta_g \approx 1{,}0$ dla osiowego rozstawu pali w grupie: $6d$

La Barré (CSN 73 1002)

$$\eta_g = 1 - \psi\left[\frac{(n_x - 1)n_y + (n_y - 1)n_x}{90 n_x n_y}\right]$$

$$\psi = arctg\frac{d}{s}$$

gdzie: n_x - liczba pali w kierunku x
n_y - liczba pali w kierunku y
ψ - kąt, którego tangens wynosi $tg\psi = d/s$, podany w stopniach
s - rozstaw osiowy pali
d - średnica pali

Wzór Seilera-Keeney'ego

$$\eta_g = \left[1 - 0{,}479\left(\frac{s}{s^2 - 0{,}093}\right)\left(\frac{n_x + n_y - 2}{n_x + n_y - 1}\right)\right] + \frac{0{,}3}{n_x + n_y}$$

gdzie: n_x - liczba pali w kierunku x
n_y - liczba pali w kierunku y
s - rozstaw osiowy pali

Definiowanie efektywności

Własne definiowanie stopnia efektywności w zakresie 0,5 - 1,0, wykonane przez użytkownika.

Literatura:

Pochman, R.; Simek, J.: Pilotove zaklady - Komentar CSN 73 1002. First edition, Prague, 1989.

Unified Facilities Criteria (UFC 3-220-01A): Design of deep foundations - Technical instructions, Chapter 5-3, 1997.

Venkatramaiah, C.: Geotechnical Engineering. Second edition, New Delhi (India): New Age International Publishers, 1995.

Grunty spoiste (analiza w warunkach bez odpływu)

Nośność bloku gruntu uzyskujemy ze wzoru:

$$R_g = 2 \cdot l \cdot (b_x + b_y) \cdot c_{us} + N_{cg} \cdot c_{ub} \cdot b_x \cdot b_y$$

gdzie: l -długość pali

b_x,b_y -wymiary płaszczyzny podstawy masywu gruntowego w postaci bloku gruntu

c_{us} -średnia wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu, wzdłuż pali ($\varphi_u \approx 0$)

c_{ub} -wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu w podstawie pali

N_{cg} -współczynnik spójności nośności grupy pali

$$N_{cg} = 5 \cdot \left[\left(1 + 0{,}2 \cdot \frac{b_x}{b_y} \right) \cdot \left(1 + 0{,}2 \cdot \frac{l}{b_x} \right) \right] \quad \text{dla warunku: } \frac{l}{b_x} \le 2{,}5$$

$$N_{cg} = 7{,}5 \cdot \left(1 + 0{,}2 \cdot \frac{b_x}{b_y} \right) \quad \text{dla warunku: } \frac{l}{b_x} > 2{,}5$$

gdzie: b_x -minimalna szerokość grupy pali (krótszy wymiar rzutu oczepu/płyty zwieczającej)

Uwaga: Masyw gruntowy przedstawiany jest za pomocą bloku o podstawie wynikającej z płaszczyzny zawierającej stopy poszczególnych pali, a ściany pionowe bloku znajdują się w dległości jednej średnicy pala od osi pali zewnętrznych. Opór tak wydzielonego bloku gruntu poddanego całkowitemu obciążeniu grupą pali wynika z mobilizacji sił tnących wzdłuż ścian, tj. **tarcia na pobocznicy** oraz nośności jego **podstawy**.

Rzeczywista analiza obliczeniowa wykonywana jest według współczynnika bezpieczeństwa lub zgodnie z teorią stanów granicznych.

Analiza według współczynnika bezpieczeństwa

Jeśli analiza wykonywana jest według współczynnika bezpieczeństwa program przeprowadza analizę obliczeniową dla **grupy pali poddanych ściskaniu**:

$$\frac{R_g}{V_d + W_p} > SF_{cp}$$

where: R_g -nośność pionowa grupy pali

V_d -maksymalna siła pionowa (wraz z ciężarem własnym oczepu)

W_p -ciężar własny pali (wyłącznie w przypadku, gdy zaznaczona jest opcja "**Uwzględniaj ciężar własny pali**")

SF_{cp} -współczynnik bezpieczeństwa dla grupy pali w ściskaniu

Analiza według teorii stanów granicznych

Jeśli analiza wykonywana jest według teorii stanów granicznych program przeprowadza analizę obliczeniową dla grupy pali w **gruntach niespoistych** w następujacy sposób:

$$R_g = n\frac{R_c}{\gamma_t}\eta_g \geq V_d + W_p$$

gdzie: R_g -nośność pionowa grupy pali

n -liczba pali w grupie

R_c -nośność pionowa pojedynczego pala (R_b + R_s)

γ_t współczynnik redukcyjny oporu całkowitego

η_g -efektywność grupy pali

V_d -maksymalna siła pionowa (wraz z ciężarem własnym oczepu)

W_p -ciężar własny pali (wyłącznie w przypadku, gdy zaznaczona jest opcja "**Uwzględniaj ciężar własny pali**")

Jeśli analiza wykonywana jest według teorii stanów granicznych program przeprowadza analizę obliczeniową dla grupy pali w **gruntach spoistych** w następujacy sposób:

$$\frac{R_g}{\gamma_t} \geq V_d + W_p$$

gdzie: R_g -nośność pionowa grupy pali

V_d -maksymalna siła pionowa (wraz z ciężarem własnym oczepu)

W_p -ciężar własny pali (wyłącznie w przypadku, gdy zaznaczona jest opcja "**Uwzględniaj ciężar własny pali**")

γ_t -współczynnik redukcyjny oporu całkowitego

W przypadku gdy analiza obliczeniowa prowadzona jest zgodnie z EN 1997-1 nośność pionowa grupy pali w gruntach spoistych redukowana jest poprzez współczynnik oporu podstawy ($\gamma_t = \gamma_b$).

Osiadanie grupy pali

Grunt niespoisty

Analiza grupy pali w gruncie niespoistym została opracowana na podstawie liniowej teorii osiadania (Poulos'a). Graniczna krzywa obciążeniowa dla grupy pali oraz wartość osiadania całkowitego s_g powiększane są przez, tzw. **współczynnik osiadania grupy** g_f.

An immediate settlement of the pile group increased by the group settlement factor is provided by:

Natychmiastowe osiadanie grupy pali powiększone poprzez współczynnik osiadania grupy uzyskujemy ze wzorów:

$$s_g = g_f \cdot s_0$$

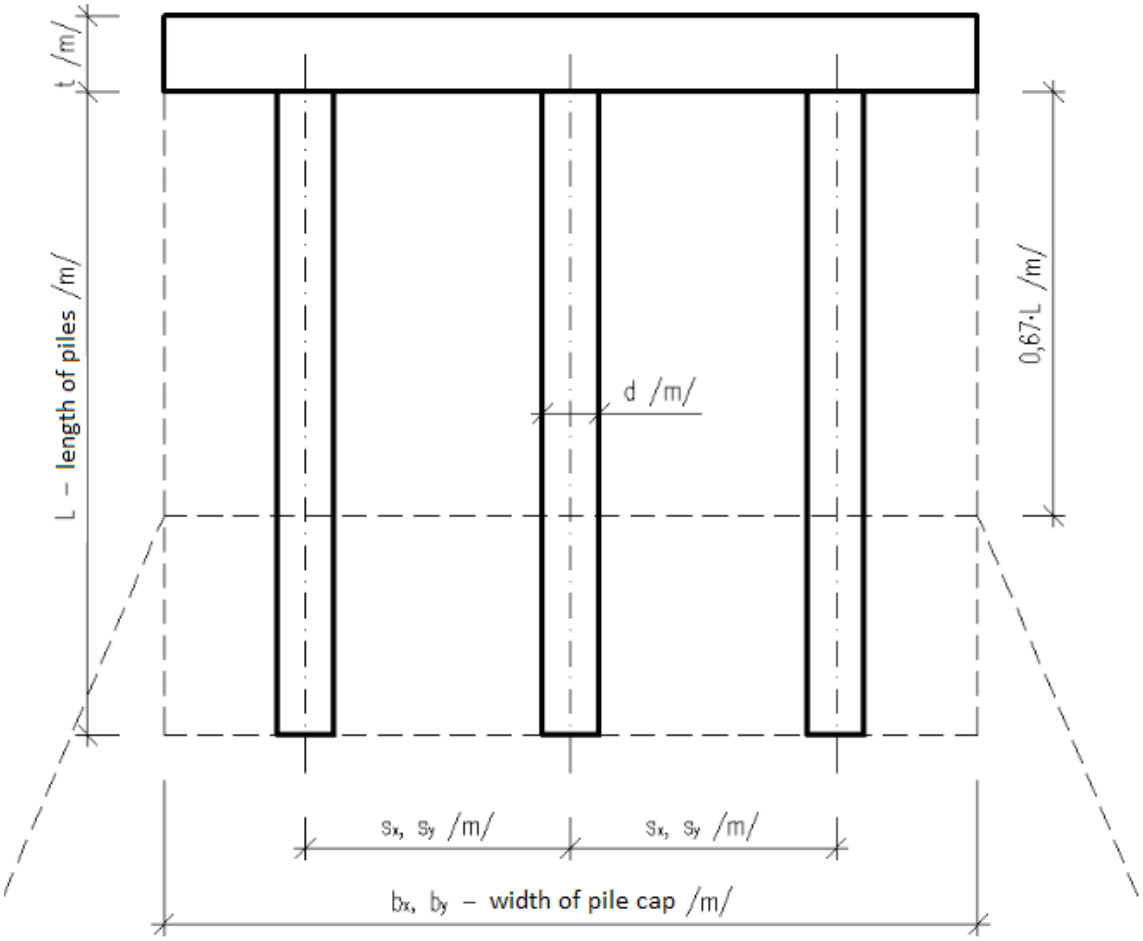
$$g_f = \sqrt{\frac{b_x}{d}}$$

gdzie:
- s_g – osiadanie grupy pali
- g_f – współczynnik osiadania grupy dla gruntu niespoistego (zgodnie z Pile Buck Inc. 1992)
- s_0 – osiadanie pojedynczego pala (wyznaczone np. z granicznej krzywej obciążeniowej)
- d – średnica pala
- b_x – szerokość grupy pali w kierunku x

Grunt spoisty

Osiadanie grupy pali w gruncie spoistym wyznaczane jest jako osiadanie fundamentu zastępczego o szerokości B i długości B', na głębokości 0,67*L.

Szczegółowy opis analizy osiadań zawarto w rozdziale "Analiza osiadania".

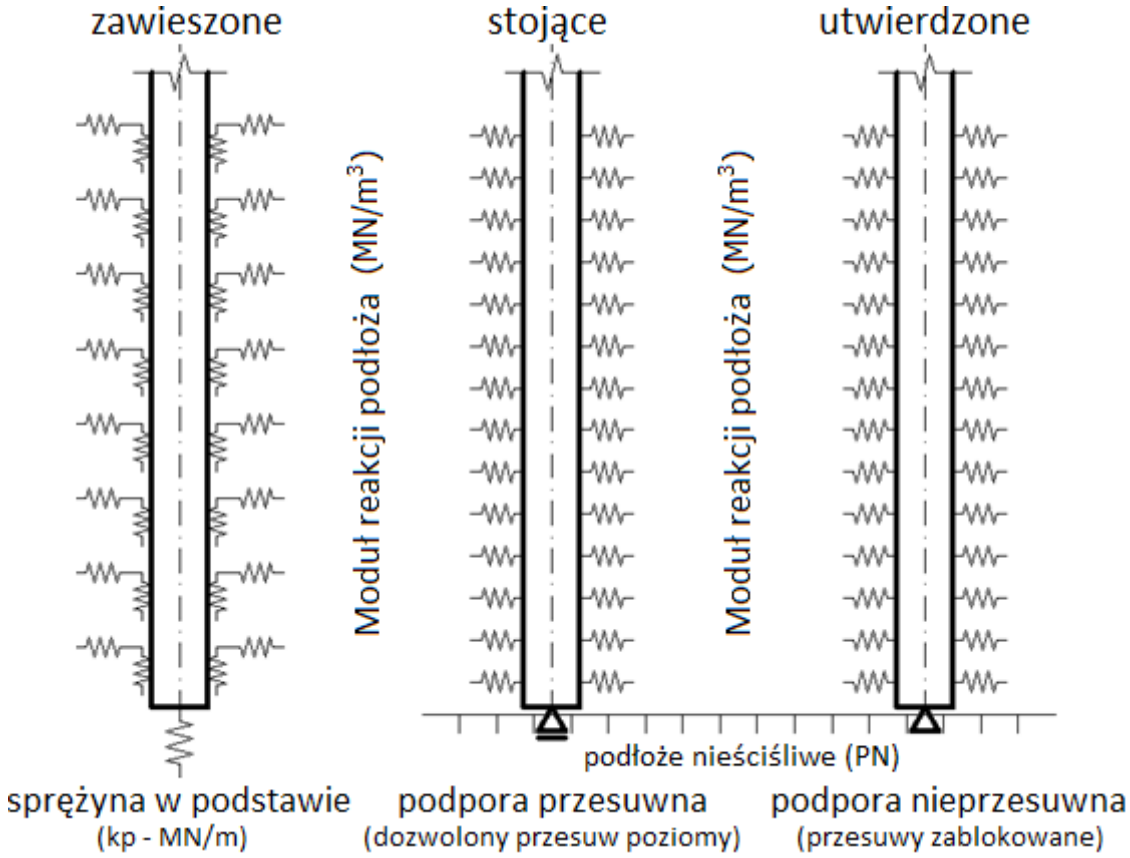


Schemat fundamentu zastępczego - osiadanie grupy pali w gruntach spoistych

Metoda sprężysta

W metodzie sprężystej grupa pali analizowana jest za pomocą Metody Elementów Skończonych. Oczep przyjmuje się jako nieskończenie sztywny. Obciążenie ogólne przykładane jest w środku oczepu i może ono być importowane z dowolnego programu wykonującego analizy statyczne.

Pale modelowane są w sposób pokazany na rysunku poniżej:



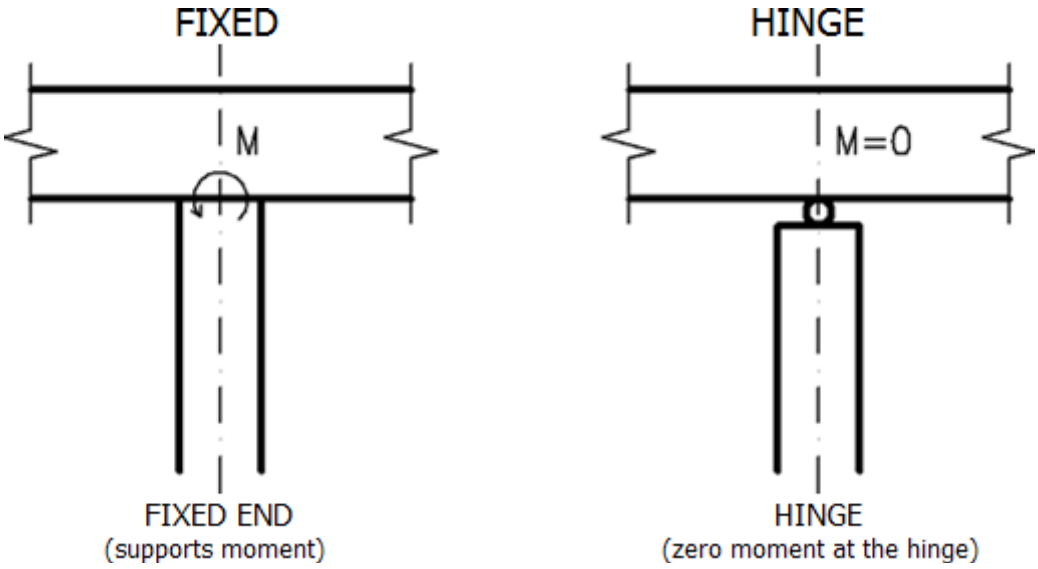
Modelowanie pali

W ramce "Ustawienia" dostępne są cztery warianty modelowania pali:

1. Pale zawieszone - wyznaczaj sztywność sprężyn na podstawie parametrów gruntu.
2. Pale zawieszone - definiuj sztywność sprężyn
3. Pale spoczywające na podłożu skalnym (nieściśliwym)
4. Pale utwierdzone w podłożu skalnym (nieściśliwym)

Wszystkie wyżej wymienione wariantach istnieje konieczność zdefiniowania "Poziomego modułu reakcji podłoża" charakteryzującego zachowanie się pala w kierunku poprzecznym. Pale zawieszone wymagają następnie określenia sztywności sprężyn pionowych. Program pozwala na wsteczne wyznaczenie sztywności tych sprężyn na podstawie dostępnych parametrów gruntu i typowych obciążeń. Mogą one być także zdefiniowane bezpośrednio w ramce "Sprężyny pionowe".

Istnieje możliwość wyboru przegubowego lub sztywnego połączenia pali z oczepem.



Połączenie pala z oczepem (wybór w ramce "Ustawienia")

Rzeczywista analiza wykonywana jest za pomocą metody elementów skończonych. Każdy pal dzielony jest na dziesięć elementów. Dla każdego elementu program definiuje wartości sprężyn pionowych i poziomych. Następnie, w porównaniu do pojedynczego pala, sztywność sprężyn poziomych i pionowych jest redukowana zarówno dla pali zewnętrznych jak i wewnętrznych. Sztywność pozioma redukowana jest współczynnikami: 0,5 dla pali zewnętrznych oraz 0,25 dla pali wewnętrznych; sztywność na ścinanie redukowana jest współczynnikami 0,5 oraz 0.1 odpowiednio dla pali zewnętrznych i wewnętrznych. Redukcje te dobrze odzwierciedlają rzeczywiste zachowanie grupy pali. Sprężyny w podstawie pala nie podlegają redukcji.

Wyznaczanie sztywności sprężyn pionowych

Przy wstecznym wyznaczaniu sztywności sprężyn pionowych konieczne jest zdefiniowanie obciążenia typowego w ramce "**Sprężyny pionowe**". Obciążenie to powinno być dobrane tak, aby charakteryzowało w najlepszy sposób zachowanie się konstrukcji.

Sztywności wyznacza się następująco:

1. Do poszczególnych pali przykładane jest obciążenie typowe
2. Sztywność na ścinanie sprężyn pionowych rozłożonych wzdłuż pala wyznaczana jest na podstawie parametrów gruntu.
3. Sztywność sprężyny pionowej w podstawie pala wyliczana jest na podstawie sztywności podłoża pod podstawą pala oraz głębokości strefy wpływu. Dla pali rozciąganych sztywność ta wynosi zero.

Sztywności te są następnie dostosowywane w zależności od ich umiejscowienia w grupie pali - sztywność na ścinanie redukowana jest za pomocą współczynnika wynoszącego odpowiednio 0,5 dla pali zewnętrznych oraz 0,1 dla pali wewnętrznych.

Mikropal

Program wykonuje analizę mikropali (zbrojonych rurą stalową)

- według teorii stanów granicznych
- według teorii współczynnika bezpieczeństwa

W obydwu przypadkach analiza dotyczy buławy i rdzenia mikropala (przekrój mikropala). Przy obliczaniu rdzenia mikropala analiza może obejmować oczekiwany czas żywotności mikropala.

Analiza według teorii współczynnika bezpieczeństwa

Program przeprowadza sprawdzenie rdzenia i buławy mikropala:

Sprawdzenie przekroju rdzenia (rury)

Zarówno stateczność wewnętrzna jak i nośność przekroju złożonego są weryfikowane.

1. Stateczność wewnętrzna przekroju

$$\frac{N_{cr}}{N_{\max}} > SF_f$$

where:
- N_{cr} -charakterystyczna, krytyczna siła normalna, wyznaczana w zależności od metody wybranej w ramce "Mikropale"
- N_{max} -maksymalna siła normalna, definiowana w ramce "Obciążenie"
- SF_f -współczynnik bezpieczeństwa siły krytycznej, definiowany w zakładce "Mikropale"

2. Nośność przekroju złożonego

$$\frac{R_s}{\sigma_s} > SF_s$$

where:
- R_S -wytrzymałość normowa stali, definiowana w ramce "Materiał"
- σ_S -naprężenie w stali, wyznaczone w zależności od sposobu obciążenia (przekrój obciążony tylko siła normalną lub kombinacją sily normalnej i momentu zginającego)
- SF_S -współczynnik bezpieczeństwa nośności przekroju, definiowany w zakładce "Mikropale"

Sprawdzenie buławy

$$\frac{Q}{N_{\max}} > SF_r$$

where:
- Q -charakterystyczna nośność buławy, wyznaczana w zależności od wybranej metody obliczeniowej (patrz rozdział: "Nośność buławy mikropala")
- N_{max} -maksymalna siła normalna, definiowana w zakładce "Obciążenie"
- SF_r -współczynnik bezpieczeństwa nośności buławy, definiowany w zakładce "Mikropale"

Analiza według teorii stanów granicznych

Program przeprowadza sprawdzenie rdzenia i buławy mikropala:

Sprawdzenie przekroju rdzenia (rury)

Zarówno stateczność wewnętrzna jak i nośność przekroju złożonego są weryfikowane.

1. Stateczność wewnętrzna przekroju

$$N_{\max} < N_{crd}$$

gdzie: N_{max} -maksymalna siła normalna, definiowana w zakładce "Obciążenie"

N_{crd} -obliczeniowa krytyczna siła normalna

$$N_{crd} = \frac{N_{cr}}{\gamma_{mf}}$$

gdzie: N_{cr} -standardowa krytyczna siła normalna, wyznaczona w zależności od metody wybranej w zakładce "Mikropale"

γ_{mf} -współczynnik redukcji siły krytycznej, definiowany w zakładce "Mikropale" (stany graniczne)

2. Nośność przekroju złożonego

$$\sigma_s < R_{sd}$$

gdzie: σ_S - naprężenie w stali, wyznaczone w zależności od sposobu obciążenia (przekrój obciążony tylko siła normalną lub kombinacją sily normalnej i momentu zginającego)

R_{sd} - wytrzymałość obliczeniowa stali

$$R_{sd} = \frac{R_s}{\gamma_{ss}}$$

gdzie: R_S -normowa wytrzymałość stali, definiowana w ramce "Materiał"

γ_{ms} -współczynnik niezawodności stali, definiowany w zakładce "Mikropale" (stany graniczne)

Sprawdzenie buławy

$$N_{\max} < Q_{rd}$$

gdzie: N_{max} -maksymalna siła normalna, definiowana w zakładce "Obciążenie"

Q_{rd} -obliczeniowa nośność buławy

$$Q_{rd} = \frac{Q}{\gamma_r}$$

gdzie: Q -charakterystyczna nośność buławy, wyznaczana w zależności od wybranej metody obliczeniowej (patrz rozdział: "Nośność buławy mikropala")

γ_r -współczynnik redukcji nośności buławy, definiowany w zakładce "Mikropale" (stany graniczne)

Analiza rury mikropala

Przy obliczaniu nośności ruru mikropala (przekrój mikropala), program dokonuje rozróżnienia między palem rozciąganym i ściskanym.

W przypadku rozciągania, program oblicza nośność przekroju złożonego (nośność zaprawy cementowej nie jest uwzględniana). Analiza uwzględnia również redukcję nośności ze względu na korozję.

W przypadku ściskania, program sprawdza zarówno stateczność wewnętrzną jak i nośność przekroju złożonego, zależnie od metody wybranej w zakładce "Mikropale".

Nośność przekroju złożonego

W przypadku analizy nośności przekroju złożonego, rdzeń mikropala (rura) sprawdzany jest na zniszczenie w wyniku obciążonia tylko siła normalną lub kombinacją sily normalnej i momentu zginajłcego.

Przy wyznaczaniu nośności przekroju złożonego istnieje możliwość uwzględnienia wpływu oczekiwanego czasu żywotności mikropala.

Żywotność mikropala

Żywotność mikropala jest wprowadzana do analizy poprzez redukcję pola powierzchni rury wzmacniającej, z użyciem współczynnika redukcji wpływu korozji rury stalowej r_e i współczynnika F_{ut} uwzględniającego zespolenie mikropala z otaczającym gruntem.

$$A_a = \frac{\pi}{4}\left[\left(D - 2.r_e\right)^2 - \left(D - 2.t\right)^2 . \right] F_{ut}$$

gdzie:
- D - średnica zewnętrzna rury stalowej
- t - grubość ścianki rury stalowej
- F_{ut} - współczynnik uwzględniający zespolenie mikropala i otaczającego gruntu (0,5 -1,0)
- r_e - wspólczynnik wpływu korozji rury stalowej

Literatura:

BS EN 14199:2005 Execution of special geotechnical works. Micropiles British-Adopted European Standard / 30-Mar-2005 / 52 pages ISBN: 0580457249.

Współczynnik wpływu korozji

Współczynnik wpływu korozji rury stalowej r_e $[mm]$ (wg EN 14199)

Rodzaj gruntu	**Wymagana żywotność mikropala** [*lata*]				
	5	*25*	*50*	*75*	*100*
Grunty w stanie naturalnym	*0,0*	*0,30*	*0,60*	*0,90*	*1,20*
Grunty w stanie naturalnym, zanieczyszczone	*0,15*	*0,75*	*1,50*	*2,25*	*3,00*
Grunty organiczne	*0,20*	*1,00*	*1,75*	*2,50*	*3,25*
Grunty luźne	*0,18*	*0,70*	*1,20*	*1,70*	*2,20*
Grunty specjalne (zawierające rozpuszczalne sole)	*0,50*	*2,00*	*3.25*	*4,50*	*5,75*

Uwaga: Wartości współczynnika wpływu korozji rury stalowej r_e reprezentują wartości średnie.

Nośność przekroju złożonego obciążonego siłą normalną

Siła rozciągająca

W przypadku oddziaływania na przekrój siły rozciągającej, naprężenie w stalowej części przekroju wyznaczane jest w sposób następujący:

$$\sigma_s = \frac{N}{A_s}$$

gdzie:
- σ_S - naprężenie w stali
- N - siła normalna działająca na przekrój
- A_S - pole powierzchni przekroju stali (rury) w przekroju złożonym mikropala

Siła ściskająca

Nośność przekroju mikropala ściskanego, zredukowana współczynnikiem wyboczenia, wyznaczana jest według wzoru:

$$N_{c,u} = \chi.\left(A_s.R_{sd} + A_c.R_{cd}\right)$$

gdzie:
- χ - współczynnik wyboczenia
- A_S - pole powierzchni przekroju rury stalowej
- A_C - pole powierzchni przekroju wypełnienia betonowego
- $R_{S\,d}$ - wytrzymałość obliczeniowa stali
- $R_{C\,d}$ - wytrzymałość obliczeniowa mieszanki cementowej na ściskanie

Wytrzymałości obliczeniowe są równe wartościom charakterystycznym przy obliczeniach z wykorzystaniem teorii współczynnika bezpieczeństwa.

W przypadku analizy z zastosowaniem teorii stanów granicznych wytrzymałości obliczeniowe

stali oraz mieszanki cementowej wyznaczane są w następujący sposób:

$$R_{sd} = \frac{R_s}{\gamma_{ss}}$$

$$R_{cd} = \frac{R_c}{\gamma_{sc}}$$

gdzie:
- R_S - wytrzymałość normowa stali, definiowana w ramce "Materiał"
- γ_{SS} - współczynnik redukcyjny do wytrzymałości stali, definiowany w zakładce "Mikropale"
- R_C - wytrzymałość normowa na ściskanie mieszanki cementowej, definiowana w ramce "Materiał"
- γ_{SC} - współczynnik redukcyjny do mieszanki cementowej, definiowany w zakładce "Mikropale"

Naprężenie w stalowej części przekroju wyznaczane jest w następujący sposób:

$$\sigma_s = \frac{N}{N_{c,u}} . R_{sd}$$

gdzie:
- N - siła normalna działająca na przekrój
- $N_{c,u}$ - nośność przekroju ściskanego, zredukowana ze względu na uwzględnienie wyboczenia
- R_{sd} - wytrzymałość obliczeniowa stali

Nośność przekroju złożonego obciążonego kombinacją momentu zginającego i siły normalnej

Przekrój obciążony kombinacją momentu zginającego i siły normalnej wymaga wcześniejszego określenia osi neutralnej dzielącej przekrój na część **rozciąganą** i **ściskaną**. W trakcie określania pozycji osi neutralnej, uwzględniany jest wpływ wyboczenia, tzn. siła normalna zwiększana jest poprzez podzielenie przez współczynnik wyboczenia χ. Poszukiwanie osi neutralnej przeprowadzane jest według procedury znanej z wymiarowania przekrojów żelbetowych jako metoda równowagi granicznej. Ściskanie przenoszone jest przez część rury stalowej i mieszankę cementową. Rozciąganie przenoszone jest przez pozostałą część rury, a mieszanka cementowa nie jest uwzględniana przy obciążeniu rozciągającym.

Nośność pala zginanego jest wyznaczana ze wzoru:

$$M_u = R_{sd} . \left(A_{s,t} t_{s,t} + A_{s,c} . t_{s,c} \right) + R_{cd} . A_{c,c} . t_{c,c}$$

gdzie:
- $R_{S,d}$ - wytrzymałość obliczeniowa stali
- $A_{S,t}$ - pole powierzchni przekroju rury stalowej przy rozciąganiu
- $A_{S,c}$ - pole powierzchni przekroju rury stalowej przy ściskaniu

$A_{c,c}$ - pole powierzchni przekroju wypełnienia mieszanką cementową przy ściskaniu

$t_{s,t}$ - położenie środka przekroju rury stalowej rozciąganej

$t_{s,c}$ - położenie środka przekroju rury stalowej ściskanej

$t_{c,c}$ - położenie środka przekroju mieszanki cementowej ściskanej

R_{cd} - wytrzymałość obliczeniowa mieszanki cementowej w ściskaniu

Wytrzymałości obliczeniowe są równe wartościom charakterystycznym przy obliczeniach z wykorzystaniem teorii współczynnika bezpieczeństwa.

W przypadku analizy z zastosowaniem teorii stanów granicznych wytrzymałości obliczeniowe stali oraz mieszanki cementowej wyznaczane są w następujący sposób:

$$R_{sd} = \frac{R_s}{\gamma_{ss}}$$

$$R_{cd} = \frac{R_c}{\gamma_{sc}}$$

gdzie: R_s - wytrzymałość normowa stali, definiowana w ramce "Materiał"

γ_{ss} - współczynnik pewności dla stali, definiowany w zakładce "Mikropale"

R_c - wytrzymałość normowa na ściskanie mieszanki cementowej, definiowana w ramce "Materiał"

γ_{sc} - współczynnik pewności mieszanki cementowej, definiowany w zakładce "Mikropale"

Naprężenie w stalowej części przekroju wyznaczane jest w następujący sposób:

$$\sigma_s = \frac{M}{M_u}.R_{sd}$$

gdzie: M - moment zginający działający na przekrój

M_u - nośność na zginanie

R_{sd} - wytrzymałość obliczeniowa stali

Wpływ wyboczenia

Analiza poprzedzona jest określeniem charakterystyki przekroju idealnego, w którym wpływ przekroju mieszanki cementowej jest przekazany na stal. Smukłość przekroju wyznaczana jest jako:

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i}$$

gdzie: l_{cr} - długość wyboczeniowa elementu

i - promień bezwładności przekroju idealnego

$$l_{cr} = \sqrt{\frac{E.I.\pi^2}{N_{cr}}}$$

gdzie: E - moduł sprężystości przekroju idealnego

I - moment bezwładności przekroju idealnego

N_{cr} - standardowa krytyczna siła normalna, wyznaczona w zależności od metody wybranej w zakładce "Mikropale"

$$\lambda_p = \lambda \sqrt{\frac{R_{sd}}{210}}$$

gdzie: R_{sd} - wytrzymałość obliczeniowa stali (w obliczeniach z zastosowaniem teorii współczynnika bezpieczeństwa wartość obliczeniowa równa jest charakterystycznej)

$$R_{sd} = \frac{R_s}{\gamma_{ss}}$$

gdzie: R_s - wytrzymałość charakterysytczna stali, definiowana w ramce "Materiał"

γ_{ms} - współczynnik pewności stali, definiowany w zakładce "Mikropale" (stany graniczne)

Współczynnik wyboczenia χ wyznaczany jest z uwzględnieniem λ_p na podstawie następujących wzorów:

$$\chi = \frac{1}{2}\left[1{,}26 + \left(\frac{93}{\lambda_p}\right)^2\right] - \sqrt{\frac{1}{4}\left[1{,}26 + \left(\frac{93}{\lambda_p}\right)^2\right]^2 - \left(\right.} \quad dla: \lambda_p \le 250$$

$$\chi = \left\{\frac{1}{2}\left[1{,}26 + \left(\frac{93}{250}\right)^2\right] - \sqrt{\frac{1}{4}\left[1{,}26 + \left(\frac{93}{250}\right)^2\right]}\right. \quad dla: \lambda_p > 250$$

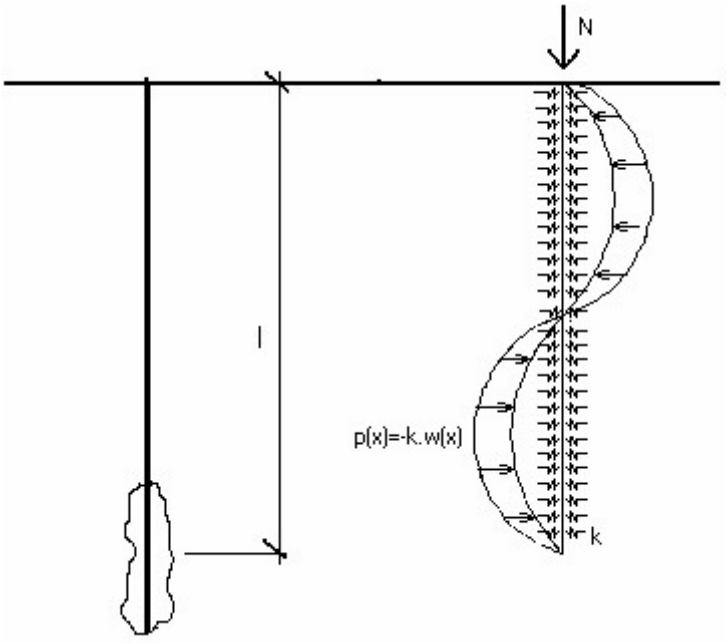
Nośność wewnętrzna

Nośność wewnętrzna mikropala to sprawdzenie zniszczenia mikropala, w postaci wyboczenia w kierunku otaczającego gruntu. Najważniejszym krokiem do wyznaczenia wewnętrznej nośności mikropala jest określenie siły normalnej N_{cr}, która jest uzależniona od długości pala, gruntu w otoczeniu i innych czynników. W zakładce "Mikropale" użytkownik może dokonać wyboru metody wyznaczania krytycznej siły normalnej N_{cr} spośród następujących, dostępnych w programie metod:

- metoda geometryczna Eulera (zginanie belki prostej)
- rozwiązanie według Salasa
- rozwiązanie według Souch'go

Metoda geometryczna (Eulera)

Grunt w otoczeniu mikropala jest w programie reprezentowany za pomocą modułu reakcji gruntu (podłoża) E_p (moduł Winklera k) zdefiniowanego przez użytkownika w ramce "Analiza przekroju". Model konstrukcji przedstawiono na rysunku.



Model konstrukcji

W przypadku mikropala pod obciążeniem ściskającym oczekiwane jest wystąpienie zmiennej liczby pół-fal, w zależności od geometrii i sztywności, odpowiednio: konstrukcji i otaczającego gruntu. Rozwiązanie w tym przypadku pochodzi z równania zginania belki prostej.

$$w'' = -\frac{M + N.w}{E.I}$$

Po przekształceniach, równanie zginania można wyrazić w następujący sposób:

$$w_{(x)} = C_1.\cos(A.x) + C_2.\sin(A.x) + C_3.\cos(B.x) + C_4.\sin(B.x)$$

gdzie:

$$A = \sqrt{\frac{\alpha^2}{2} + \sqrt{\frac{\alpha^4}{2} - 4.\beta^4}}$$

$$B = \sqrt{\frac{\alpha^2}{2} - \sqrt{\frac{\alpha^4}{2} - 4.\beta^4}}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{N}{E.I}}$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4.E.I}}$$

Stałe całkowania określane są na podstawie czterech warunków brzegowych zależnie od przyjętego sposobu podparcia punktów końcowych.

Przyjmując gładkie przeguby na obydwu końcach, można uzyskać następujące równanie:

$$N_{cr} = E_i.I_i.\frac{\pi^2}{l_p^2}.n^2 + E_p\frac{l_p^2}{\pi^2}.n^{-2}$$

przedstawiając liczbę pół-fal w następującej postaci:

$$n^2 = \sqrt{\frac{E_p}{E_i.I_i}}.\frac{l_p^2}{\pi^2}$$

gdzie:
- E_i - moduł sprężystości przekroju idealnego
- I_i - moment bezwładności przekroju idealnego
- l_p - długość mikropala
- E_p - moduł reakcji gruntu
- n - liczba pół-fal

Przyjmując gładki przegub na jednym końcu i utwierdzenie na drugim końcu, uzyskujemy następujące równanie:

$$N_{cr} = E_i.I_i\frac{\pi^2}{2.l_p^2}.n + E_p\frac{4.l_p^2}{\pi^2}.n^{-2}$$

przedstawiając liczbę pół-fal w następującej postaci:

$$n^2 = \sqrt{\frac{E_p}{E_i.I_i}}.\frac{4.l_p^2}{\pi^2}$$

gdzie:
- E_i - moduł sprężystości przekroju idealnego
- I_i - moment bezwładności przekroju idealnego
- l_p - długość mikropala
- E_p - moduł gruntu
- n - liczba pół-fal

Siłę N_{cr} określa się przez iterację następującego równania:

$$l_{cr} = \sqrt{\frac{E_i . I_i . \pi^2}{N_{cr}}}$$

gdzie:
- E_i - moduł sprężystości przekroju idealnego
- I_i - moment bezwładności przekroju idealnego
- N_{cr} - krytyczna siła normalna
- l_{cr} - długość wyboczeniowa przekroju mikropala przy ściskaniu

Rozwiązanie według Salasa

Siła krytyczna N_{cr} dla podstawowych warunków podparcia głowicy mikropala (determinujących odchylenie mikropala) wyznaczana jest wg:

$$N_{cr} = \pi^2 . \frac{E_a . I_a}{\left(l + l_{ef}\right)^2} . A$$

gdzie:
- $E_a * I_a$ -sztywność przy zginaniu rury obsadowej mikropala
- l -wolna długość mikropala
- l_{ef} -długość fikcyjnego utwierdzenia
- A -stała odzwierciedlająca rozdaj podparcia głowicy mikropala

$$l_{ef} = 1,2 . f . l_e$$

gdzie:
- f -współczynnik uzależniony od stosunku modułu sprężystości gruntu w otoczeniu głowicy i podstawy mikropala
- l_e -długość sprężysta mikropala wyrażona jest za pomocą wzoru:

$$l_e = \left(\frac{3 . E_a I_a}{E_l} \right)^{\frac{1}{4}}$$

gdzie:
- $E_a * I_a$ -sztywność przy zginaniu rury obsadowej mikropala
- E_l -moduł sprężystości gruntu w otoczeniu podstawy mikropala

Literatura:

Jiménez Salas J.A. a kol:Geotecnica y Cimientos III, Capitulo 3, Rueda, Madrid (Spanish).

Stała A odzwierciedlająca rodzaj podparcia głowicy mikropala

Stała A odzwierciedlająca rodzaj podparcia głowicy mikropala

Rodzaj podparcia głowicy mikropala	A [-]
Przegubowe	2,045
Swobodne	0,25
Utwierdzenie	4,0
Przesuw w poziomie	1,0

Współczynnik f

Współczynnik f

E_o / E_l [1)] [-]	f [-]
0	1,70
0,5	1,25
1	1,00

1) E_o - moduł sprężystości gruntu poniżej poziomu terenu (przy głowicy pala)

E_l - moduł sprężystości gruntu w otoczeniu buławy pala

Rozwiązanie według Souche'go

Metoda obliczania siły N_c pochodzi z wykresów przedstawionych przez Véas'a i Souche'go (patrz bibliografia). Wykresy służące do określania krytycznej siły normalnej N_{cr} są tworzone dla bezwymiarowych wartości ω, m:

$$\frac{N_{cr}.l_p^{\,2}}{\pi^2.E_a.I_a}, \omega, m = \frac{1}{\pi}.\sqrt[4]{\frac{E_{rd}}{E_a.I_a}}$$

gdzie: l_P -długość mikropala

E_a*I_a -wytrzymałość na zginanie rury zbrojeniowej mikropala

ω -stosunek wolnej długości mikropala (od początku podstawy) do jego długości w gruncie

E_{rd} -obliczeniowa wartość modułu reakcji poziomej

$$E_{rd} = \frac{E_r}{F_w}$$

gdzie: E_r -reakcja gruntu w kierunku poziomym

F_w -współczynnik redukcji wartości E_r (F_w = 1,25)

Literatura:

Véase, Souche: Étude du fla,berment de pieux partiellernent immergés dans offrant latéralement une réaction élastique pure, Annales de I'ITBTP, No. 423, Sene Soils et Foundations, 187, mars - avril 1984, str. 38 - 60 (French).

Moduł reakcji poziomej gruntu

Grunt w otoczeniu mikropala można przedstawić jako zespół poziomych sprężyn wzdłuż mikropala, dla którego wielkością charakterystyczną jest moduł Winklera k. Dla wyboczenia mikropala do gruntu w kierunku osi x można zapisać następujące wyrażenie:

$$p_h = k_h . x = E_p . x$$

gdzie: p_h -reakcja gruntu powodowana przemieszczeniem pala w kierunku osi x (grunt pod obciążeniem ściskającym)

k_h -sztywność sprężyny Winklera (moduł reakcji podłoża gruntowego E_p)

x -przemieszczenie mikropala w kierunku osi x

Jeżeli rozpatrzymy reakcję gruntu na wpęd mikropala na każdy metr długości mikropala, otrzymamy:

$$p_h = E_r . x$$

gdzie: E_r -reakcja gruntu w kierunku poziomym

P_h -reakcja gruntu powodowana przemieszczeniem pala w kierunku osi x na każdy metr długości mikropala

x przemieszczenie mikropala w kierunku osi x

Przedstawione wyżej równania określają relację między modułem reakcji podłoża gruntowego E_p [kN/m^3] i reakcję gruntu w kierunku poziomym E_r [kN/m^2] (przy założeniu stałej wartości E_r w gruncie):

$$E_r = k_h . D = E_p . D$$

gdzie: D -średnica mikropala

k_h -sztywność sprężyny Winklera (moduł reakcji podłoża gruntowego E_p)

Reakcję gruntu w kierunku poziomym E_r można obliczyć wstecznie znając wartość modułu presjometrycznego E_m.

Obliczanie modułu reakcji poziomej podłoża gruntowego Er

Wartość modułu reakcji poziomej gruntu można określić znając wartość modułu presjometrycznego E_m oraz współczynnika α_p:

$$E_r = E_m . \frac{6}{\frac{4}{3}(2,65)^{\alpha_p} + \alpha_p}$$

gdzie: E_m - moduł presjometryczny (Menarda) $[MPa]$

α_p - współczynnik rodzaju gruntu (zob. tabelę poniżej)

Wartości referencyjne E_m i P_{lim}

Grunty		$E_m[Mpa]$	P_{lim} $[MPa]$
niespoisty	luźny	0 - 3,5	0 - 0,5
	średnio zagęszczony	3,5 - 12	0,5 - 1,5
	zagęszczony	12 - 22,5	1,5 - 2,5
	bardzo zagęszczony	> 22,5	> 2,5
spoiste	płynny	0 - 2,5	0 - 0,2
	plastyczny	2,5 - 5	0,2 - 0,4
	twardoplastyczny	5 - 12	0,4 - 0,8
	półzwarty	12 - 25	0,8 - 1,6
	zwarty	> 25	>16

Wartości współczynnik reologicznego α_p dla różnych warunków gruntowych

Rodzaj gruntu	**Torf**	**Ił, pył**		**Osadowy**		**Piasek**		**żwir i pospółka**	
	α_p	$\frac{E_m}{P_{lim}}$	α_p	$\frac{E_m}{P_{lim}}$	α_p	$\frac{E_m}{P_{lim}}$	α_p	$\frac{E_m}{P_{lim}}$	α_p
prekonsolidowane	1	> 16	1,0	> 14	0,67	> 12	0,5	> 10	0,33
normalnie skonsolidowane	1	9 - 16	0,67	8 - 14	0,5	7 - 12	0,33	6 - 10	0,25
nieskonsolidowane	-	7 - 9	0,5	5 - 8	0,5	5 - 7	0,5	-	0,25

Literatura:

Menard, L. F.: Proceedings of the 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montreal, Vol. 2, 1965, pp. 295 - 299 (table 2.29 a 2.30).

Wartości modułu reakcji podłoża gruntowego Ep

Wartości modułu reakcji podłoża gruntowego $E_p = k_h$ $[MN/m3]$

Grunt	E_p *Min/Max* $[MN/m^3]$	**Wartość średnia** $k_h = E_p$

		$[MN/m^3]$
ił miękkoplastyczny	2,0 - 5,0	3,5
ił twardoplastyczny	3,0 - 8,0	5,5
ił zwarty	6,0 - 16,0	11,0
piasek luźny o naturalnej wilgotności	6,0 - 13,0	9,5
piasek średnio zagęszczony o naturalnej wilgotności	20,0 - 40,0	30,0
piasek zagęszczony o naturalnej wilgotności	45,0 - 90,0	67,5
piasek luźny nawodniony	4,0 - 8,0	6,0
piasek średnio zagęszczony nawodniony	10,0 - 20,0	15,0
piasek zagęszczony nawodniony	30,0 - 60,0	45,0
ił piaszczysty miękkoplastyczny	3,0 - 6,0	4,5
ił piaszczysty twardoplastyczny	5,0 - 9,0	7,0
ił piaszczysty zwarty	8,0 - 17,0	12,5
piasek ilasty luźny o naturalnej wilgotności	4,0 - 9,0	6,5
piasek ilasty średnio zagęszczony o naturalnej wilgotności	12,0 - 32,0	22,0
piasek ilasty zagęszczony o naturalnej wilgotności	24,0 - 44,0	34,0
piasek ilasty luźny nawodniony	3,5 - 6,5	5,0
piasek ilasty średnio zagęszczony nawodniony	7,0 - 11,0	9,0
piasek ilasty zagęszczony nawodniony	11,5 - 13,5	12,5

Nośność buławy mikropala

Nośność mikropala można obliczyć korzystając z jednej z metod dostępnych w literaturze i normach. Program "**Mikropal"** udostępnia zestaw metod reprezentujących podstawowe podejścia do obliczania nośności buławy mikropala. Wyboru metody analizy dokonuje się wybierając odpowiednie ustawienie w zakładce "Mikropale". Do wyboru dostępne są następujące metody:

metoda Lizzi	-	definiowana jest średnia wartość tarcia granicznego na powierzchni buławy
metoda Littlejohna	-	definiowana jest wartość ciśnienia iniekcji
metoda Zwecka	-	metoda wykorzystuje naprężenie geostatyczne i parametry otaczającego gruntu
metoda Bowlesa		metoda wykorzystuje naprężenie geostatyczne i parametry otaczającego gruntu
metoda Véas'a	-	uwzględnia konstrukcję pala i parametry otaczającego gruntu
buława w skale	-	definiowane są parametry skały w otoczeniu
metoda Bustamante		metoda bazująca na parametrach uzyskanych z sondowań presjometrycznych (PMT) oraz sondowań SPT

Metoda Lizzi

Metoda Lizzi jest obecnie najczęściej stosowaną metodą. Nośność buławy jest wyznaczana wg równania:

$$Q = \pi.d.l.\tau_m.J$$

gdzie:
- d - średnica buławy
- l - długość buławy
- τ_m - średnie tarcie graniczne na pobocznicy buławy
- J - współczynnik uwzględniający wpływ wielkości otworu

Współczynnik J uwzględnia wpływ średnicy otworu wiertniczego - jego wartość mieści się w zakresie od 1,0 dla otworów o średnicy 100 mm i mniejszej, do 0,8 dla otworów o średnicy 200 mm i większej.

Średnią wartość granicznego tarcia na pobocznicy buławy mikropala można znaleźć w literaturze. W programie dostępne są trzy tabele z wartościami referencyjnymi granicznego tarcia na pobocznicy. Pierwsza tabela została opracowana przez autorów programu wg różnych źródeł literaturowych, druga zawiera wartości τ_m wg DIN 4128, a trzecia tabela przedstawia wartości opublikowane przez Klein'a i Mišov'a ("Inženýrskie stavby" 1984). Tabela trzecia zawiera zmierzone wartości tarcia na pobocznicy buław kotew, dla różnych rodzajów gruntu, średnic buławy oraz liczby iniekcji, itp. (stosowanie tej tabeli pozwala uzyskać stosunkowo realistyczne wyniki).

Literatura:

Lizzi, F. (1982). "The pali radice (root piles)". Symposium on soil and rockimprovement techniques including geotextiles, reinforced earth and modern pilingmethods, Bangkok, D-3.

Tarcie na pobocznicy buławy

Wartości referencyjne granicznego tarcia na pobocznicy (zalecane przez autorów)

Grunt	**Tarcie powierzchniowe** [kPa]
ił miękkoplastyczny	40 - 60
ił twardoplastyczny	65 - 85
ił zwarty	130 - 170
piasek luźny o naturalnej wilgotności	110 - 150
piasek średnio zagęszczony o naturalnej wilgotności	140 - 180
piasek zagęszczony o naturalnej wilgotności	170 - 230
piasek luźny nawodniony	80 - 130
piasek średnio zagęszczony nawodniony	120 - 160
piasek zagęszczony nawodniony	160 - 200
ił piaszczysty miękkoplastyczny	50 - 70
ił piaszczysty twardoplastyczny	75 - 95
ił piaszczysty zwarty	125 - 165
piasek ilasty luźny o naturalnej wilgotności	90 - 135
piasek ilasty średnio zagęszczony o naturalnej wilgotności	135 - 165
piasek ilasty zagęszczony o naturalnej wilgotności	150 - 170
piasek ilasty luźny nawodniony	80 - 105
piasek ilasty średnio zagęszczony nawodniony	90 - 130
piasek ilasty zagęszczony nawodniony	115 - 155

Wartości granicznego tarcia na pobocznicy wg DIN 4128

Grunt	**Średnie tarcie graniczne na pobocznicy**	
	pale wciskane [kPa]	**pale wyciągane** [kPa]
piasek średni do grubego	200	100
piasek i żwir piaszczysty	150	80
grunty spoiste	100	50

Zalecane parametry buław kotew (Mišove, Klein, Inženýrské stavby 5/1986)

Rodzaje podparcia głowicy mikropala	**Końcowe ciśnienie iniekcji** [MPa]	**Liczba iniekcji**	**Średnica buławy** [mm]	**Długość buławy** [m]	**Tarcie na pobocznicy** [kPa]
skały twarde	-	0	120	5 - 3	1000 - 1600
skały miękkie	0,5 - 3,0	0 - 1	120 - 220	7 - 3	300 - 1000
żwir, grunty iniektowalne	1,0	1 - 2	250 - 400	7 - 5	250 - 320
żwir, grunty nieiniektowalne	2,0 - 4,0	1 - 2	280 - 350	7 - 5	230
piasek średni i drobny	1,5 - 4,0	2 - 3	220 - 350	12 - 7	150 - 180
grunty spoiste twardoplastyczne i zwarte	1,5 - 3,0	1 - 3	200 - 280	17 - 8	130 - 190
grunty spoiste półzwarte i twardoplastyczne	1,0 - 2,5	2 - 3	150 - 400	20 - 9	100 - 130
grunty spoiste miękkoplastyczne	0,5 - 2,0	3 - 4	300 - 450	27 - 13,5	50 - 70

Metoda Littlejohna

W metodzie Littlejohnna nośność buławy jest wyznaczana wg równania:

$$Q = \pi.d.l.p_i$$

gdzie: d -średnica buławy

l -długość buławy

p_i -wartość ciśnienia iniekcji

Wyniki badań doświadczalnych mikropali wskazują, że ich nośność zależy również od metody iniekcji oraz od ciśnienia iniekcji (metoda iniekcji ma często wpływ na nośność mikropali).

Nośność wzrasta znacznie w przypadku zastosowania iniekcji wielokrotnej. Wartość ciśnienia iniekcji mieści się w zakresie od 0,1 do 3 MPa, w pewnych przypadkach może osiągać do 5-7 MPa. Według metody Littlejohna, nośność jest wprost proporcjonalna do ciśnienia iniekcji.

Literatura:

LITTLEJOHN, G. S. y BRUCE, D. A. (1975).: "Rock Anchors -State of the Art. Part 1. Design". En Ground Engineering, Vol. 8, N° 4.

Metoda Zwecka

Opisane tu metody zostały opracowane do analizy buław kotew - opierają się one głównie na wartości naprężenia geostatycznego w miejscu lokalizacji buławy mikropala. Metody Zwecka i Bowlesa opierają się na tych samych założeniach - jednakże wartość parcia jest w tych metodach redukowana z zastosowaniem współczynnika parcia spoczynkowego K_O:

$$Q = \pi.d.l.\frac{1+K_o}{2}.\sigma_z.\tan\varphi$$

$$K_o = 1-\sin\varphi$$

gdzie:
- d - średnica buławy
- l - długość buławy
- K_O - wartość współczynnika parcia spoczynkowego
- σ_z - średnie naprężenie geostatyczne w otoczeniu buławy mikropala
- φ - średnia wartość kąta tarcia wewnętrznego w otoczeniu buławy mikropala

Metoda Bowlesa

Metoda Bowlesa pozwala na uwzględnienie wpływu spójności na nośność buławy, z tego względu metoda nadaje się lepiej w przypadku gruntów spoistych.

$$Q = \pi.d.l.\sigma_z.K_o.\tan\varphi + \pi.d.l.c$$

$$K_o = 1-\sin\varphi$$

gdzie:
- d - średnica buławy
- l - długość buławy
- K_O - współczynnik parcia spoczynkowego gruntu
- σ_z - średnie naprężenie geostatyczne w otoczeniu buławy mikropala
- φ - średnia wartość kąta tarcia wewnętrznego w otoczeniu buławy mikropala

Literatura:

J.E. Bowles - Foundation Analysis and Design, McGraw Hill book Company.

Metoda Véas'a

Metoda uwzględnia wpływ naprężenia geostatycznego w otoczeniu buławy mikropala oraz metode iniekcji.

Nośność w otoczeniu buławy mikropala obliczana jest wg wzoru:

$$Q = R_{bk} + R_{sk}$$

gdzie: R_{bk} -nośność buławy mikropala

R_{sk} -nośność pobocznicy buławy mikropala

Nośność pobocznicy buławy mikropala:

$$R_{sk} = \sum_{i-1}^{n} A_{si}.q_{si}$$

gdzie: n -liczba warstw, przez które przechodzi buława mikropala

A_{si} -pole powierzchni pobocznicy mikropala w i-tej warstwie

q_{si} -tarcie powierzchniowe (na pobocznicy) w i-tej warstwie

Nośność buławy mikropala obliczana jest wg wzoru:

$$R_{bk} = 0{,}15.R_{sk}$$

Tarcie powierzchni q_S na głębokości z poniżej powierzchni terenu:

$$q_s(z) = \frac{c}{F_c} + \sigma_h(z)\frac{tg\delta}{F_\varphi}$$

gdzie: z -głębokość z poniżej powierzchni terenu, na której określana jest wartość tarcia na pobocznicy

c -spójność efektywna gruntu na głębokości z

δ -kąt tarcia między pobocznicą buławy mikropala a gruntem na głębokości z:

$$\delta \in \left\langle \tfrac{2}{3}\varphi'; \varphi' \right\rangle$$

φ' -efektywny kąt tarcia wewnętrznego gruntu na głębokości z

$\sigma_h(z)$ -składowa pozioma naprężenia geostatycznego na głębokości z:

-dla metod iniekcji typu IR i IRS (z kontrolą ciśnienia) przy głębokości $z \geq 5\ m$:

$$\sigma_h(z) = K_o.\sigma_v(z) + \frac{p_i}{3}$$

-inne przypadki:

$$\sigma_h(z) = K_o.\sigma_v(z)$$

K_o - współczynnik parcia spoczynkowego gruntu

- dla gruntów normalnie skonsolidowanych:

$$K_o = 1 - \sin\varphi'$$

- dla gruntów prekonsolidowanych:

$$K_o = (1 - \sin\varphi).\sqrt{OCR}$$

$\sigma_v(z)$ - składowa pionowa naprężenia geostatycznego na głębokości z

p_i - ciśnienie iniekcji dla metod iniekcji typu IR i IRS, oraz głębokości $z \geq 5\ m$, dla pozostałych przypadków $p_i = 0$

F_c, F_φ - współczynniki sposobu wykorzystania mikropala

Literatura:

Véase, Souche: Étude du fla,berment de pieux partiellernent immergés dans offrant latéralement une réaction élastique pure, Annales de I'ITBTP, No. 423, Sene Soils et Foundations, 187, mars - avril 1984, str. 38 - 60 (French).

Współczynniki sposobu wykorzystania mikropala

Współczynniki sposobu wykorzystania mikropala

Sposób wykorzystania mikropala	F_c [-]	F_φ [-]
Fundamenty nowobudowane	1,50	1,50
Existing foundations	1,20	1,20

Nośność buławy mikropala w skale

Metoda jest odpowiednia dla buławy mikropala sięgającej w podłoże skalne o wskaźniku $RQD > 60$ lub o wytrzymałości na ściskanie proste $\sigma_c > 20\ MPa$ (ISRM < III). Nośność buławy jest wyznaczana wg równania:

$$Q = A_s.q_{sr} + A_b.q_{br}$$

gdzie:

A_S - pole pobocznicy buławy mikropala

q_{sr} - tarcie powierzchniowe (na pobocznicy) w skale

A_b - pole powierzchni buławy mikropala

q_{br} - nośność buławy mikropala w skale

Literatura:

Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera, Ministerio de

fomento, 2005 (Spanish).

Tarcie na pobocznicy i nośność buławy mikropala w skale

Tarcie na pobocznicy w skale q_{sr} oraz nośność buławy mikropala w skale q_{br}

Rodzaj skały	q_{sr} $[MPa]$	q_{br} $[MPa]$ [1)]
Osadowe	0,15 - 0,40	$0{,}07\sigma_c$
Łupki i fylity	0,20 - 0,30	$0{,}07\sigma_c$
Piaskowce	0,30 - 0,45	$0{,}07\sigma_c$
Wapienie i dolomity	0,40 - 0,50	$0{,}10\sigma_c$
Granity, bazalty	0,40 - 0,60	$0{,}10\sigma_c$

1) σ_c - wytrzymałość w prostym rozciąganiu w MPa

Metoda Bustamante (SPT, presjometer PMT)

W metodzie Bustamante obliczenia nośności buławy mikropala prowadzone są na podstawie wyników sondowań SPT lub sondowań presjometrycznych (PMT).

Wartość **tarcia na pobocznicy buławy mikropala** q_s $[MPa]$ mozna odczytać z wykresów Bustamante, które zależą od rodzaju gruntu, w którym znajduje się buława oraz metody iniekcj

Nośność pobocznicy buławy mikropala R_s wyznacza się ze wzoru:

$$R_s = \sum \pi d_r l_r q_s$$

gdzie: d_r -średnica buławy mikropala

l_r -długość buławy mikropala

q_s -tarcie na pobocznicy buławy mikropala wyznaczone z wykresu)

$$R_b = 0{,}15 R_s$$

gdzie: R_s -Nośność pobocznicy buławy mikropala

W programie, nośność podstawy buławy mikropala R_b przyjmowana jest ze wzoru:

$$R_b = A_p k_p p_{LM}$$

gdzie: A_p -pole przekroju podstawy buławy mikropala

k_p -współczynnik zalezny od rodzaju gruntu wokół podstawy mikropala

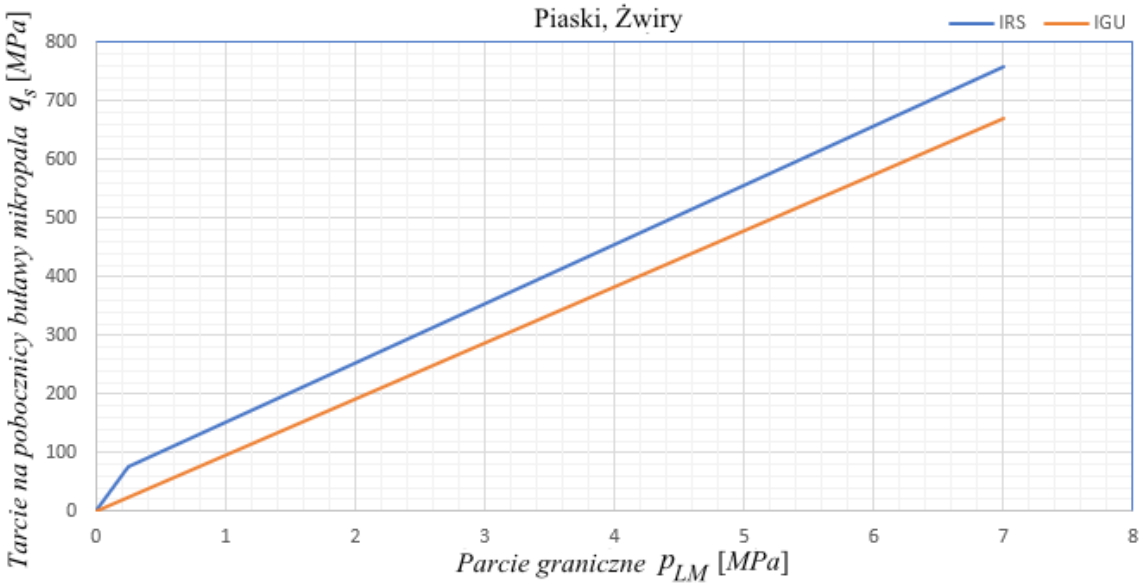
pLM -parcie graniczne według Menarda

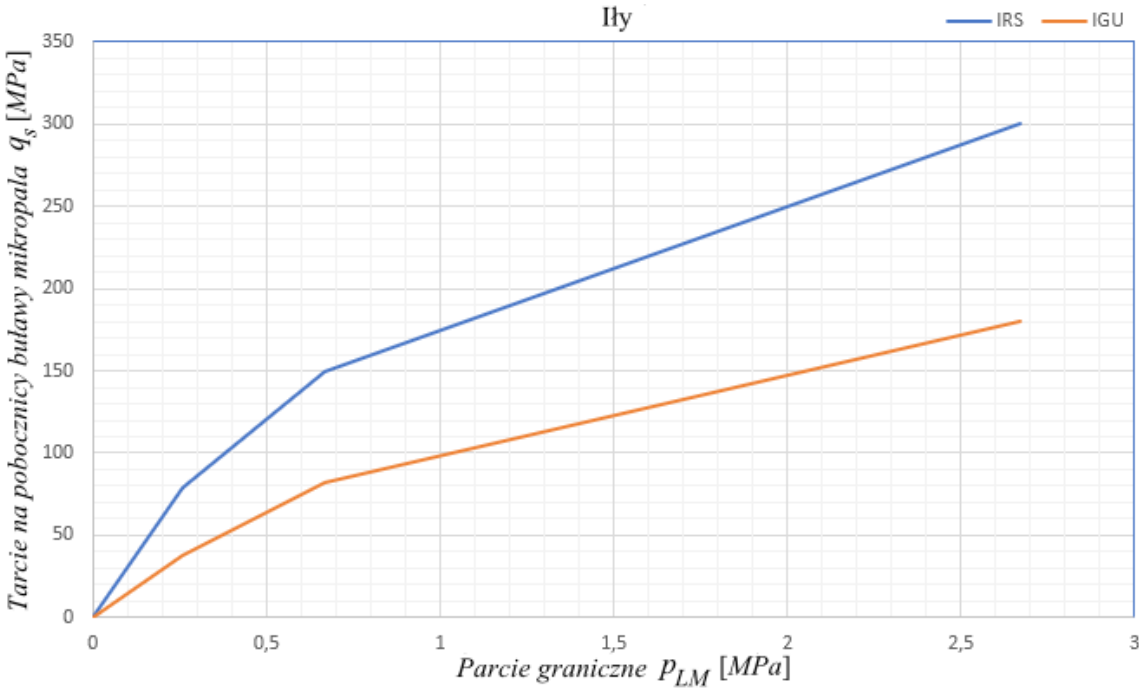
Tarcie na pobocznicy buławy mikropala - wykresy

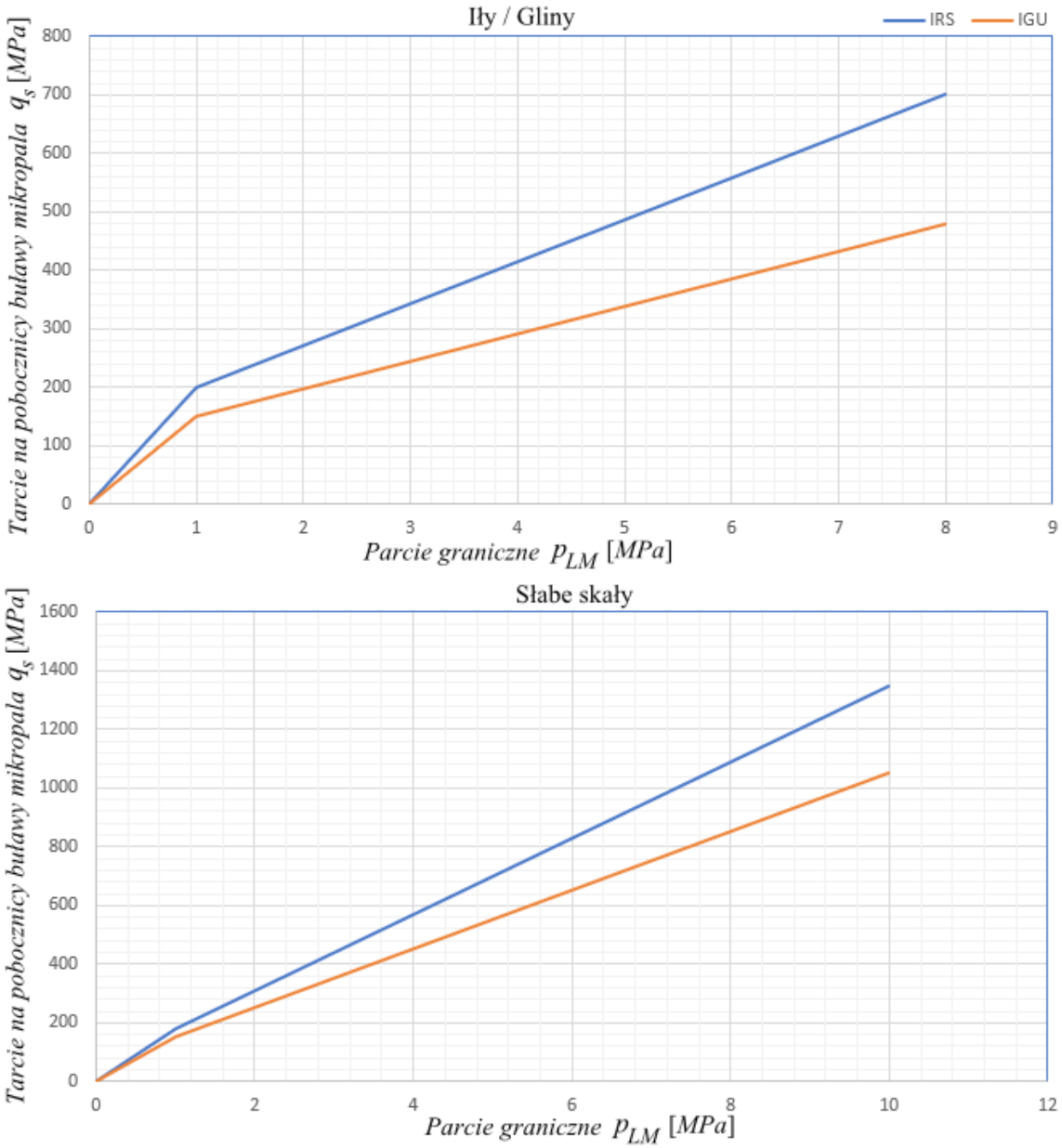
Analiza nośności pobocznicy buławy mikropala R_S w znacznym stopniu zależy od **rodzaju iniekcji** formującej buławę. Następujące rodzaje iniekcji uwzględniane są w programie:

- **IRS**: selektywna, powtarzalna iniekcja mankietowa buławy mikropala, wykonywana lokalnie (**Tube-á-Manchette**),
- **IGU**: ogólna iniekcja o ujednoliconym ciśnieniu (**Looped Tube Systems**).

W programie wbudowane są następujące wykresy służące do analizy **tarcia na pobocznicy buławy mikropala** q_S $[MPa]$:







Przedstawione wykresy uwzględniają na osi poziomej parcie graniczne pLM wyznaczone z sondowań presjometrycznych (PMT). W przypadku sondowań SPT wykorzystuje się te same wykresy, jedynie parcie graniczne pLM $[MPa]$ jest wówczas określane jako n**-krotność** liczby uderzeń sondy N na interwał głębokości penetracji $d = 0{,}3\ m$, np. SPT $[N/0{,}3\ m]$. Dla poszczególnych rodzajów gruntu wartości parcia granicznego pLM według Menarda są następujące:

- **piasek, żwir, pył** oraz **słaba skała:** $pLM = SPT / 20$.
- **iły**: $pLM = SPT / 15$.

Przykładowo, dla gruntów piaszczystych i wartości wielokrotności liczby uderzeń sondy $SPT = 120$ parcie graniczne wyznaczane jest jako: $pLM = SPT / 20 = 120 / 20 = 6{,}0\ MPa$.

Kolejny przykład, dla gruntów ilastych i wartości wielokrotności liczby uderzeń sondy $SPT = 30$ parcie graniczne wyznaczane jest jako: $pLM = SPT / 15 = 30 / 15 = 2{,}0\ MPa$.

Na osi pionowej wykresu podana jest natomiast wartość tarcia na pobocznicy buławy mikropala q_S zależna od wartości presjometrycznego parcia granicznego p_{LM} oraz rodzaju zastosowanej iniekcji (**IRS** lub **IGU**, odpowiednio).

Badania polowe

Program "Stratygrafia 3D" oraz niektóre inne programy pakietu GEO5 wykorzystują jako dane wejściowe do obliczeń wyniki następujących badań polowych gruntu (in-situ):

- CPT - **Sondowanie statyczne -** programy Pal CPT i "Fundamenty bezpośrednie CPT"
- DPT - **Sondowanie dynamiczne**
- SPT - **Standard penetration test -** programy "Mikropal" i "Fundamenty bezpośrednie CPT"
- PMT - Sondowanie presjometryczne - programy "Ściana analiza", "Pal stabilizujący" i "Mikropal"
- DMT - **Sondowanie dylatometryczne** - programy: "Fundamenty bezpośrednie", "Ściana analiza" i "Pal stabilizujący"

Sondowanie statyczne CPT (Cone Penetration Test)

Sondowanie sondą statyczną (CPT, CPTu) polega na pionowym wciskaniu w grunt ze stałą prędkością wynoszącą (20 - 25 mm/s) żerdzi zakończonych specjalną końcówką stożkową. Podczas badania zapisywane są wartości **oporu na stożku** q_c oraz **lokalne tarcie na pobocznicy** f_S. Opór na stożku reprezentuje opór penetracji stożka w grunt (podłoże). Średnica wierzchołka stożka ma zwykle 25 - 50 mm.

Opór na stożku q_C $[MPa]$ reprezentuje stosunek zmierzonej siły na końcu stożka Q_C do powierzchni A_C.

Lokalne tarcie na pobocznicy f_S $[kPa]$ reprezentuje stosunek zmierzonej siły tarcia na mankiecie F_S oraz powierzchni pobocznicy A_S.

Wynikiem sondowania statycznego CPT jest jego rozkład wykreślony w postaci wykresu.

Wyniki sondowań CPT służą jako dane wejściowe do obliczeń w programach "Pal CPT" i "Fundamenty bezpośrednie CPT", a także do modelowania masywu gruntowego w programie "Stratygrafia 3D".

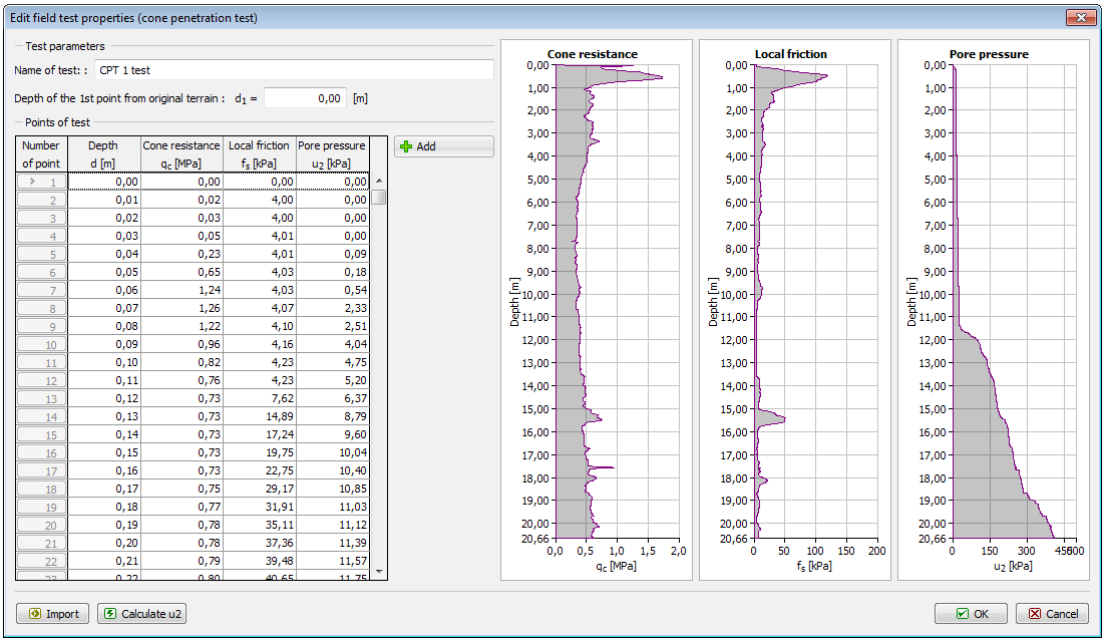
Wyniki badań CPT można importować do programów wykorzystując przycisk "**Importuj**". Procedurę importu danych tabelarycznych (*.txt) opisana jest szczegółowo tutaj.

W oknie dialogowym "**Nowe badanie polowe**" definiuje się nazwę badania oraz zagłębienie pierwszego punktu badania CPT poniżej poziomu terenu. W programie "Stratygrafia 3D" wymagane jest także zdefiniowanie współrzędnych x, y, z badania.

Wartości zmierzonych oporów na stożku q_C wprowadzane są w tabeli.

Przy obliczaniu nośności pionowej pala według teorii Schmertmanna, należy także zdefiniować lokalne tarcie na pobocznicy f_S.

Natomiast do wykonania klasyfikacji gruntów, należy ponadto zdefiniować wartości ciśnienia porowego u_2. Jeśli ciśnienie porowe nie było mierzone (CPTu), może zostać wyznaczone na podstawie zdefiniowanego ZWG po przyciśnięciu przycisku "**Wyznacz u2"**.



Okno dialogowe "Nowe badanie polowe"

Literatura:

EN ISO 22476-1: Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test, 2013.

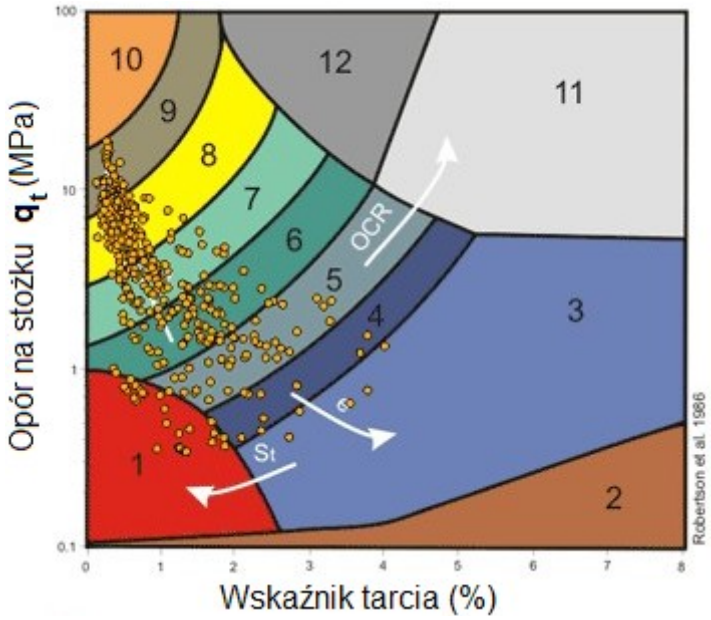
EN ISO 22476-12: Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 12: Mechanical cone penetration test (CPTM), 2009.

Roy E. Hunt: Geotechnical Engineering Investigation Handbook, Second Edition (CRC Press, 2005)

Klasyfikacja gruntów według Robertsona

Przy zastosowaniu klasyfikacji gruntów według Robertsona (1986 lub 2010) nie ma konieczności definiowania parametrów gruntów. Program przeprowadza ten krok automatycznie przypisując je do profilu geologicznego. Z tego powodu oszacowanie przeprowadzonego badania CPT jest bardzo szybkie i klarowne.

Klasyfikacja gruntów według Robertsona (1986 lub 2010) opracowana została na podstawie wartości odpowiednio oporu na stożku q_c, lokalnego tarcia na pobocznicy f_s, ciśnienia porowego u_2. Na podstawie **skorygowanej wartości oporu na stożku** $q_t = q_c + u_2 * (1 - a)$, lub wskaźnika procentowego q_c / p_a i wskaźnika tarcia $R_f = f_s / q_t$ program automatycznie przeprowadza oszacowanie typu zachowania gruntu (SBT) według wykresów przedstawionych poniżej. p_a - ciśnienie atmosferyczne $= 100\ kPa$ ($= 1\ tsf$).

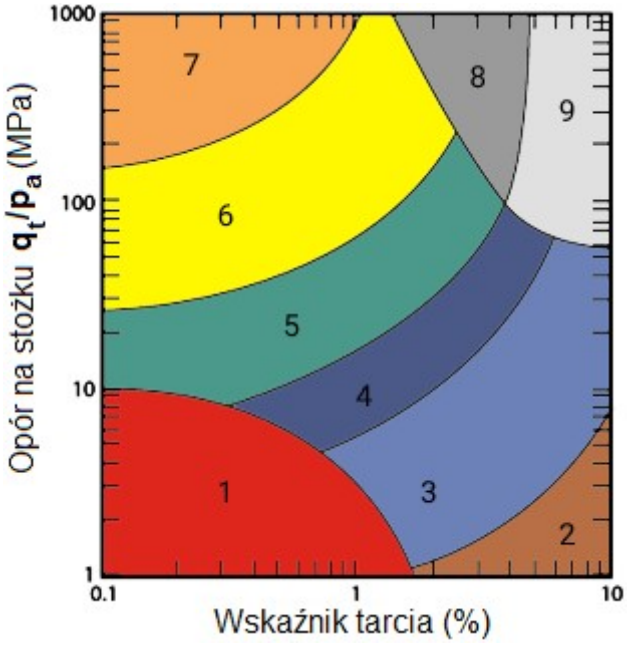


Nieznormalizowany wykres Typów Zachowania Gruntu (SBT) na podstawie CPT według Robertsona, 1986 (źródło: Robertson et al., 1986)

Klasyfikacja gruntów według Robertsona, 1986 (źródło: Robertson et al., 1986)

Strefa	**Typ Zachowania Gruntu (SBT)**
1	Wrażliwy drobnoziarnisty
2	Materiał organiczny
3	Ił
4	Ił pylasty do iłu
5	Pył ilasty do iłu pylastego
6	Pył piaszczysty do pyłu ilastego
7	Piasek pylasty do pyłu piaszczystego
8	Piasek do piasku pylastego
9	Piasek
10	Piasek gruby do piasku
11	Bardzo zwięzły drobnoziarnisty*
12	Piasek do piasku ilastego*

* Grunt prekonsolidowany lub scementowany



Nieznormalizowany wykres Typów Zachowania Gruntu (SBT) na podstawie CPT według Robertsona, 2010 (źródło: [4], Rysunek 21, str. 26)

Klasyfikacja gruntów według Robertsona, 2010 (źródło: [4], Rysunek 21, str. 26)

Strefa	**Typ Zachowania gruntu (SBT)**
1	Wrażliwy, drobnoziarnisty
2	Grunty organiczne - ił
3	Ił - ił pylasty do iłu
4	Mieszaniny Pyłu - pył ilasty do iłu pylastego
5	Mieszaniny piasku - piasek pylasty do pyłu piaszczystego
6	Piaski - czysty piasek do piasku pylastego
7	Piasek gruby do piasku zagęszczonego
8	Bardzo zagęszczony piasek do piasku ilastego*
9	Bardzo zwięzłe drobnoziarniste *

* Bardzo prekonsolidowany lub scementowany

Nowsza klasyfikacja gruntow według Robertsona (2010) zawiera mniejszą liczbę poszczególnych klas gruntów niż oryginalna klasyfikacja gruntów z 1986. Niemniej jednak, klasyfikacja gruntów według Robertsona (2010) jest teraz bardziej precyzyjna i szerzej stosowana na świecie.

W przypadku, gdy w ramce "**Klasyfikacja gruntu**" wybrana jest opcja "**oblicz**" dla ciężaru objętościowego gruntu, wówczas **ciężar objętościowy gruntu** γ wyznaczany jest z następującego wzoru:

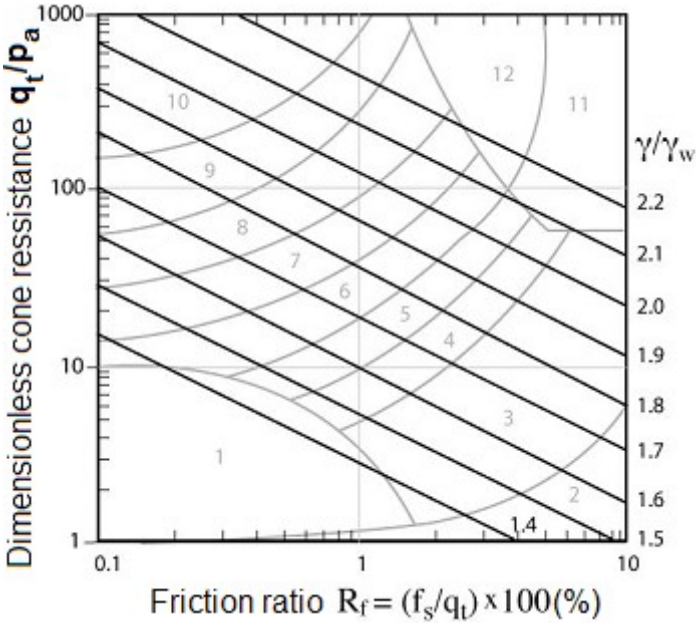
$$\frac{\gamma}{\gamma_w} = 0{,}27\left(\log R_f\right) + 0{,}36\left(\log \frac{q_t}{p_a}\right) + 1{,}236$$

gdzie: γw ciężar objętościowy wody (≈10) $[kN/m^3]$

pa ciśnienie atmosferyczne (≈100) $[kPa]$

$$R_f = \frac{f_s}{q_t} 100\ \%$$

gdzie: Rf wskaźnik tarcia pomiędzy tarciem na pobocznicy i oporem na stożku



Bezwymiarowy ciężar jednostkowy gruntu γ/γ_w według badania CPT (źródło: [4], Rysunek 28, str. 36)

Definiowana miąższość warstw gruntu wpływa na to jaka jest minimalna miąższość i^{tego} gruntu. W przypadku **zerowej warstwy gruntu** do profilu geologicznego przypisane są wszystkie warstwy gruntu na podstawie klasyfikacji według Robertsona (1986 lub 2010).

Jeśli zdefiniowana jest **niezerowa miąższość minimalna warstwy**, wówczas liczba warstw gruntu w profilu jest redukowana. Rozkład oraz liczba warstw gruntu wpływa na nośność pionową i osiadanie pali i fundamentów bezpośrednich określanych na podstawie CPT.

Literatura:

[1] EN ISO 22476-1: Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test, 2013.

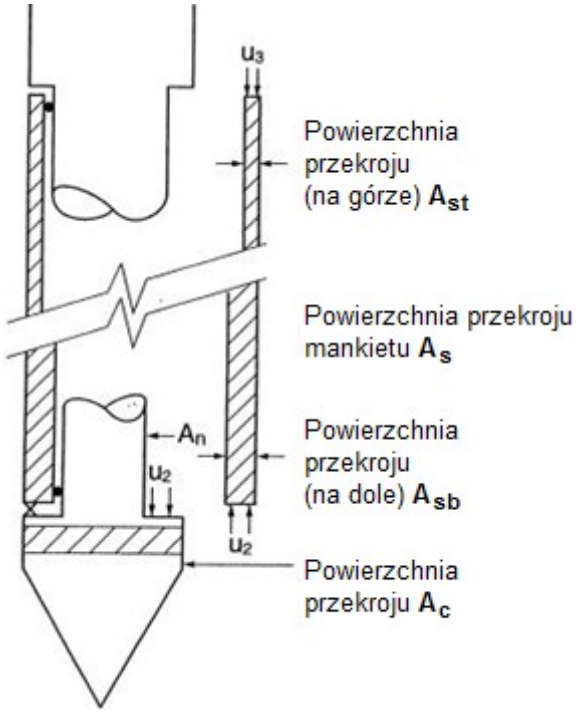
[2] EN ISO 22476-12: Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 12: Mechanical cone penetration test (CPTM), 2009.

[3] Robertson, P. K.: Interpretation of Cone Penetration Tests – a unified approach. Canadian Geotechnical Journal, 2009, No. 46, pp. 1337 – 1355.

[4] Robertson, P. K. and Cabal, K. L.: Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering. Gregg Drilling & Testing, Inc., USA, 6th edition, 2014, 133 p.

Współczynnik penetrometru (przekroju netto)

Współczynnik α [-] reprezentuje **współczynnik powierzchni przekroju netto,** ktory jest określany w pomiarach kalibracyjnych w laboratorium (w celu eliminacji negatywnych skutków niedopasowanego stożka do mankietu). Typwe wartości tego współczynnika mieszczą się w zakresie od 0.7 do 0.85.



Efekty nierównych powierzchni na stożku i mankiecie (źródła: [6], Rysunek 20, str. 22)

Literatura:

[1] EN ISO 22476-1: Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test, 2013.

[2] EN ISO 22476-12: Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 12: Mechanical cone penetration test (CPTM), 2009.

[3] Robertson, P. K.: Interpretation of Cone Penetration Tests – a unified approach. Canadian Geotechnical Journal, 2009, No. 46, pp. 1337 – 1355.

[4] Robertson, P. K. and Cabal, K. L.: Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering. Gregg Drilling & Testing, Inc., USA, 6th edition, 2014, 133 p.

Import badania CPT

Program "**Pal CPT**"pozwala na importowanie wyników badania CPT w formacie **GEF** (***.gef**), **CPT** (***.cpt**), **TXT** (***.txt**) i **AGS** (***.ags**). Okno dialogowe "**Import CPT**" zawiera tabelę z listą importowanych badań. Lista rozwiajna służy wyborowi typu pliku oraz żądanego systemu jednostek.

***.txt, *.xlss, *.csv, *.ods** - a general text or table format

***.spe** - a data format used in Czech and Slovak Republic, originally from the

GeProDo software

***.CPT** - standardowy plik tekstowy w szczególności dla Holandii (stosowany, np. w programach Geodelft M-Serie), który służy do definiowania głębokości poszczególnych punktów oraz wartości oporu penetracji (może zawierać więcej badań CPT)

***.cpt** - a text file Geotech AB CPT

***.cpt** - a text file Gouda Geo CPT

***.cpt** - a text file Hogentogler CPT

***.GEF** - GEF (Geotechnical Exchange Format) jest ogólnym językiem przechowywania i przekazywania danych geotechnicznych.

Więcej informacji na ten temat można znaleźć w: https://publicwiki.deltares.nl/display/STREAM/GEF-CPT

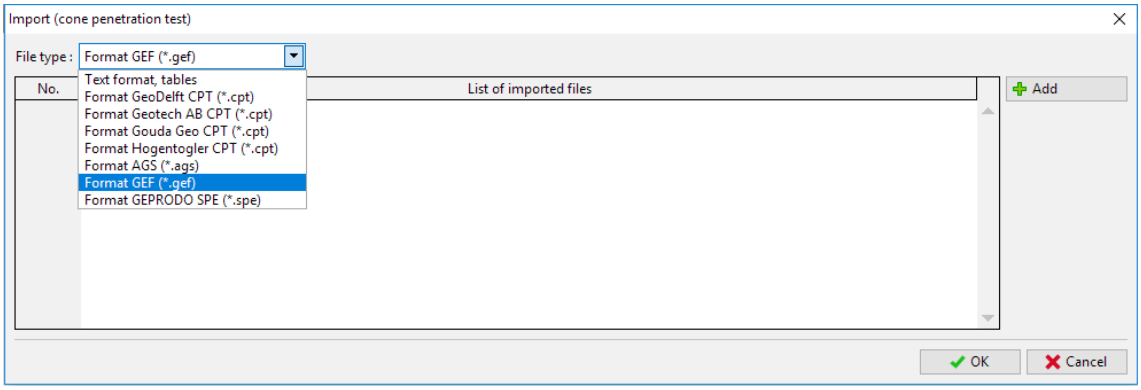
***.AGS** - format wykorzystywany do transferu danych geotechnicznych w Wielkiej Brytanii

Detailed information available online: http://www.agsdataformat.com/datatransferv4/intro.php

Format TXT pozwala na wybór konkretnego **systemu jednostek** do przechowywania danych badania. Przy imporcie program automatycznie konwertuje przyjęty system jednostek do używanego w programie.

W celu prawidłowego obliczenia badanie musi być wprowadzone do masywu gruntowego - w oknie wymagane jest zatem zdefiniowanie **rzędnej (poziomu) terenu pierwotnego**. Poszczególne badania są następnie wstawiane do masywu gruntowego w zależności od zdefiniowanej rzędnej punktu początkowego badania. Jeżeli nie zdefiniowano rzędnej punktu początkowego badania badanie jest automatycznie umieszczone w poziomie **terenu pierwotnego**.

W przypadku, gdy używacie Państwo innego typu pliku tekstowego badania CPT, nie obsługiwanego przez program, prosimy o kontakt na adres: **hotline@fine.cz** - zostanie wprowadzony w kolejnej wersji programu.



Okno dialogowe "Import (sondowanie statyczne)"

Sondowania dynamiczne DPT (Dynamic Penetration Test)

W wyniku przeprowadzonego **badania dynamicznego DPT** otrzymuje się liczbe uderzeń N,

niezbędną do pogrążenia urządzenia stożkowego w grunt lub skałę na tzw. **interwał głębokości penetracji**.

Interwał głębokości penetracji różni się w zależności od rodzaju badania dynamicznego:

- **DPL** – lekkie badanie dynamiczne
- **DPM** – średnie badanie dynamiczne
- **DPH** – ciężkie badanie dynamiczne
- **DPSH - A** – super ciężkie badanie dynamiczne
- **DPSH - B** – super ciężkie badanie dynamiczne

Interwal głębokości penetracji wynosi 100 mm dla badań **DPL**, **DPM** i **DPH oraz** 100 **lub** 200 mm dla badań **DPSH - A** i **DPSH - B.**

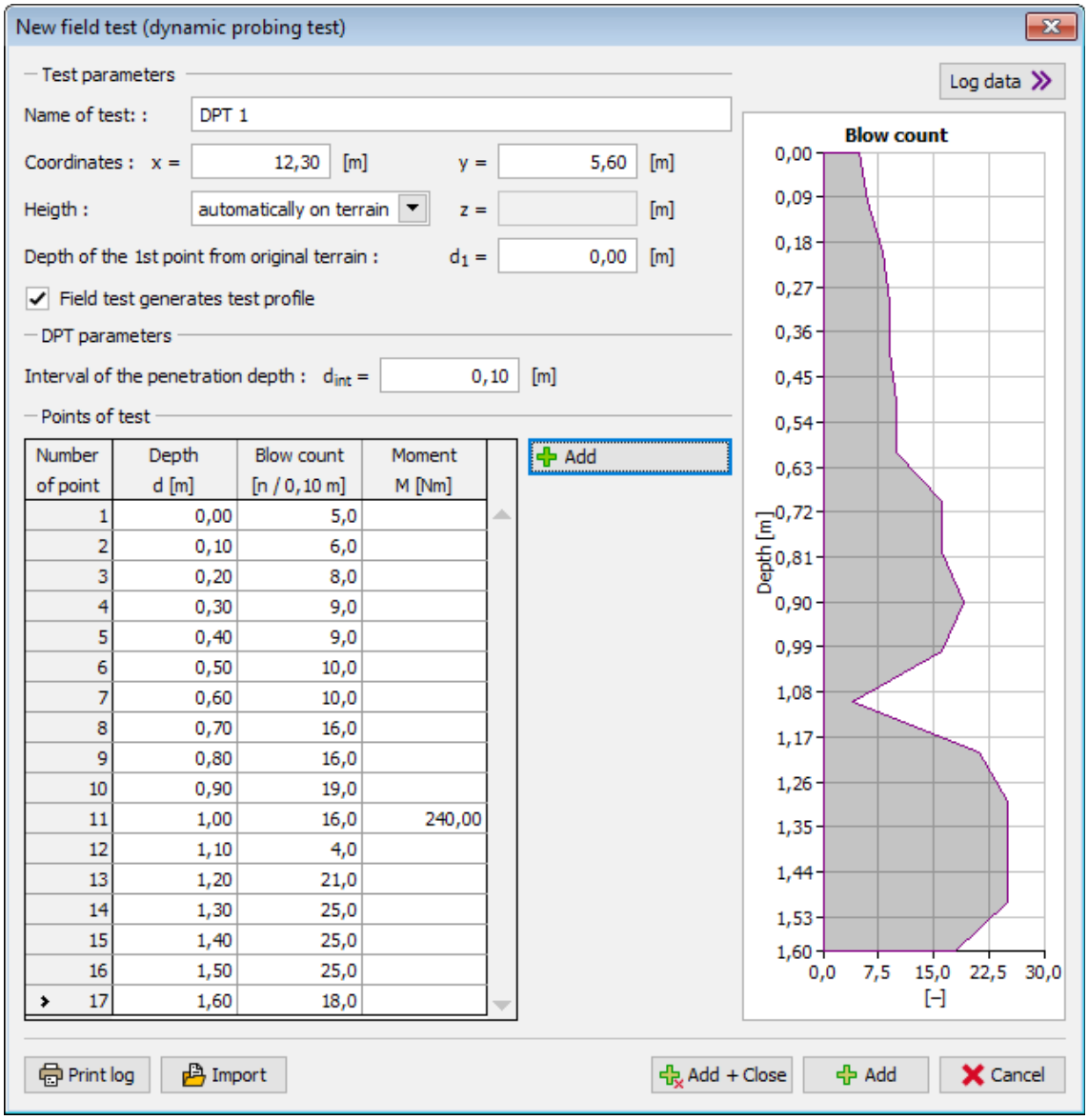
Niezbędny **moment obrotowy** do rotacji o 1,5 obrotu lub do uzyskania jego maksymalnej wartości powinien zostać zarejestorwny i zapisany minimum po każdym 1,0 m badania. Wartość ta służy do wyeliminowania tarcia ścinania.

Wynikiem sondowania DPT jest jego rozkład wykreślony w postaci wykresu. Opracowane wyniki sondowań DPT służą do modelowania masywu gruntowego w programie "Stratygrafia 3D".

Wyniki sondowań DPT można importować do programów w postaci plików .txt.

W oknie dialogowym "**Nowe badanie polowe**" definiuje się nazwę badania oraz zagłębienie pierwszego punktu badania DPT poniżej poziomu terenu. W programie "**Stratygrafia 3D**" wymagane jest także zdefiniowanie współrzędnych x, y, z badania.

Liczba uderzeń oraz **moment obrotowy** wprowadzane są w tabeli.



Okno dialogowe "Nowe badanie polowe"

Literatura:

EN ISO 22476-3: Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 2: Dynamic probing test, 2005.

Roy E. Hunt: Geotechnical Engineering Investigation Handbook, Second Edition (CRC Press, 2005)

Sondowanie SPT (Standard Penetration Test)

Wyniki **sondowania SPT** (Standard Penetration Test) prezentowane są w postaci liczby uderzeń N (opór penetracji) niezbędnej do wbicia urządzenia w grunt lub skałę na określoną głębokość. Głębokość ta nazywana jest **interwałem głębokości penetracji** 0,3 m **(**$1ft$**).**

Liczba uderzeń N mierzona podczas badania SPT korygowana jest ze względu na różnorodność dostępnych urządzeń badawczych oraz ze względu na wpływ ciężaru nadkładu gruntu w gruntach niespoistych. **W obliczeniach stosowana jest skorygowana** (skorelowana)

wartość N_{60}**.**

Skorygowana (skorelowana) liczba uderzeń N_{60} wyznaczana jest ze wzoru:

$$N_{60} = \frac{E_r}{60} C_N \lambda N$$

gdzie: E_r -współczynnik energetyczny urządzenia badawczego

N -liczba uderzeń zmierzona podczas badania SPT

C_N -wsp. korekcyjny do naprężenia pionowego

λ -współczynnik korekcyjny użytkownika

Współczynnik energetyczny urządzenia E_r stanowi stosunek rzeczywistej energii E_{meas} i energii wyznaczonej E_{theor} młota. Nie ma konieczności stosowania współczynnika korelacyjnego dla standardowej sondy SPT (Mohr), ponieważ efektywność tej maszyny wynosi 60% i korelacja wykonywana jest do tej wartości (wykorzystywane są wartości mierzone w czasie badania SPT).

Korelacja C_N **do naprężenia pionowego** $\sigma'V$ - reprezentuje wpływ ciężaru nadkładu gruntu w piaskach. Przy czym nie należy stosować wartości współczynnika korekcyjnego C_N większych niż 1.5 (według rekomendacji EN ISO 22476-3).

Tabela wbudowanych typów korelacji

Typ	**Rodzaj konsolidacji**	**Zagęszczenie względne** I_p **[%]**	**Współczynnik korelacji** C_N
Typ 1 - EN ISO 22476-3 (Tab. A2)	Normalnie skonsolidowane	40 - 60	$C_N = \frac{200}{100 + \sigma'_V}$
Typ 2 - EN ISO 22476-3 (Tab. A2)		60 - 80	$C_N = \frac{300}{200 + \sigma'_V}$
Typ 3 - EN ISO 22476-3 (Tab. A2)	Prekonsolidowane	-	$C_N = \frac{170}{70 + \sigma'_V}$
Typ 4 - EN ISO 22476-3	Normalnie skonsolidowane piaski	-	$C_N = \sqrt{\frac{98}{\sigma'_V}}$
Typ 5 - FHWA (1998), Peck (1974)	-	-	$C_N = \left(\frac{100}{\sigma'_V}\right)^{0,4}$

gdzie: $\sigma'V$ - Pionowe naprężenie efektywne

Korelacja użytkownika λ [-] - reprezentuje stratę energii ze względu na długość sytemu żerdzi, wpływ średnicy odwiertu, a także wpływ urządzenia do pobierania prób.

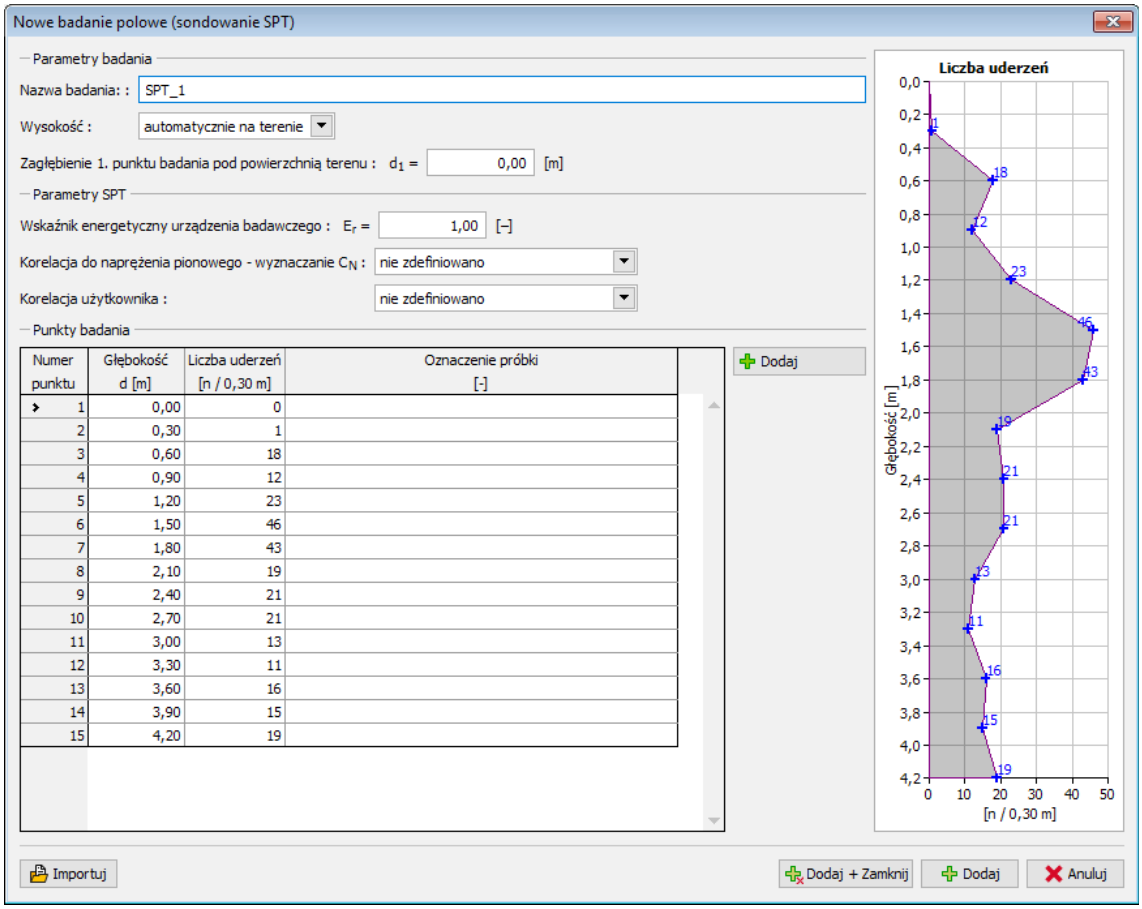
Wynikiem sondowania **SPT** jest jego rozkład wykreślony w postaci wykresu. Opracowane wyniki sondowań SPT służą jako dane wejściowe do obliczeń w programach "Mikropal" i

"Fundamenty bezpośrednie CPT" oraz do modelowania masywu gruntowego w programie "Stratygrafia 3D".

Wyniki sondowań SPT można importować do programów w postaci plików .txt.

W oknie dialogowym "**Nowe badanie polowe**" definiuje się nazwę badania oraz zagłębienie pierwszego punktu badania SPT poniżej poziomu terenu. W programie "**Stratygrafia 3D**" wymagane jest także zdefiniowanie współrzędnych x, y, z badania.

Liczba uderzeń wprowadzana jest w tabeli.



Okno dialogowe "Nowe badanie polowe"

Literatura:

EN ISO 22476-3: Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 3: Standard penetration test, 2005.

Roy E. Hunt: Geotechnical Engineering Investigation Handbook, Second Edition (CRC Press, 2005)

Sondowanie presjometryczne (PMT)

Badanie presjometryczne (PMT) polega na umieszczeniu sondy presjometrycznej w gruncie i systematycznym wypełnianiu komory sondy wodą. Następujące wówczas pełzanie gruntu lub skały w otoczeniu sondy wyznaczane jest jako zależność objętości wprowadzonej do sondy wody od przyrostu parcia zwiększanego stopniowo w interwałach czasowych wcześniej zdefiniowanych.

Z badania presjometrycznego uzyskuje się następujące parametry w funkcji głębokości:

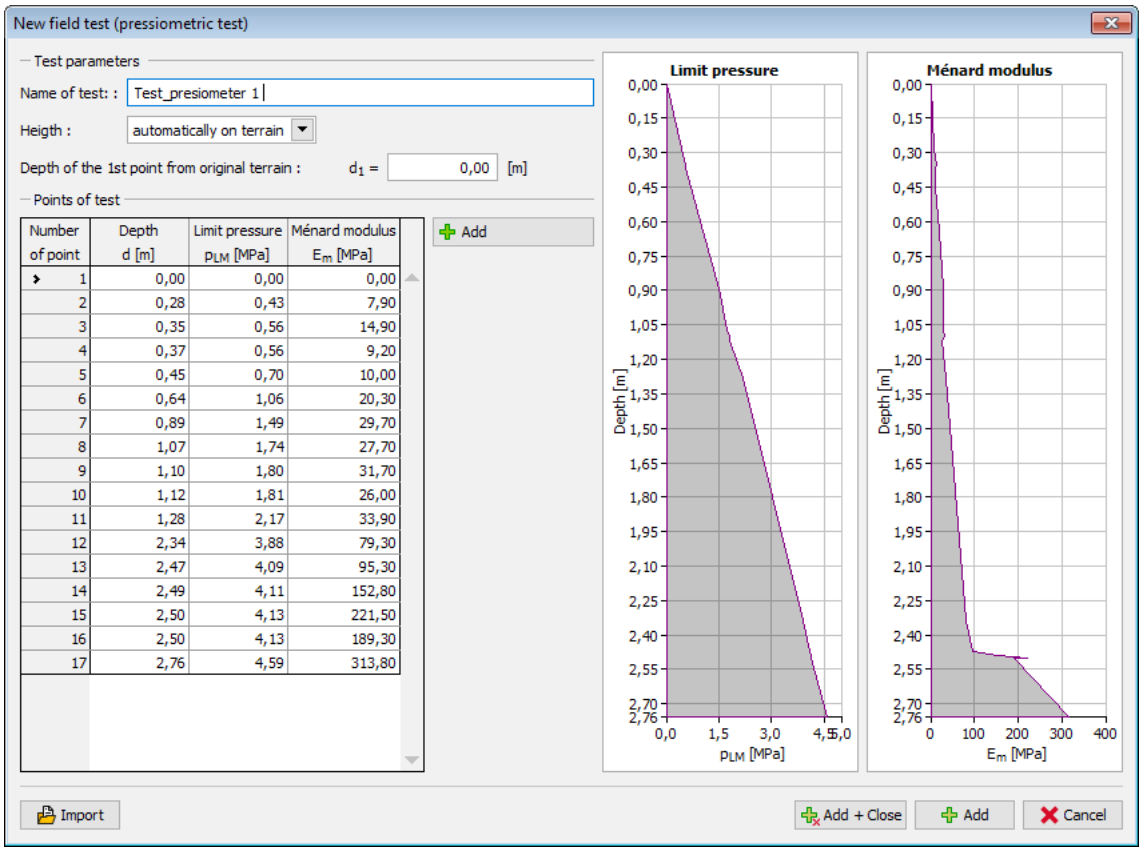
- **moduł presjometryczny (Menarda)** E_m - wyznaczany w badaniu presjometrycznym, zależy od rodzaju **płaszcza sondy** (mankiet gumowy, osłona perforowana).
- **parcie graniczne** p_{LM} - odwzorowuje przyrost parcia hydrostatycznego w komorze sondy w zależności od zmiany objętości odpowiednio gruntu lub skały.

Wynikiem sondowania presjometrycznego jest jego rozkład wykreślony w postaci wykresu. Opracowane wyniki sondowań presjometrycznych (PMT) służą jako dane wejściowe do obliczeń w programach "Ściana analiza", "Pal stabilizujący", "Mikropal" and "Spread Footing CPT" oraz do modelowania masywu gruntowego w programie "Stratygrafia 3D".

Wyniki sondowań presjometrycznych można importować do programów w postaci plików .txt.

W oknie dialogowym "**Nowe badanie polowe**" definiuje się nazwę badania oraz zagłębienie pierwszego punktu badania SPT poniżej poziomu terenu. W programie "Stratygrafia 3D" wymagane jest także zdefiniowanie współrzędnych x, y, z badania.

Parcie graniczne p_{LM} oraz moduł Menarda E_m wprowadzane są w tabeli.



Okno dialogowe "Nowe badanie polowe"

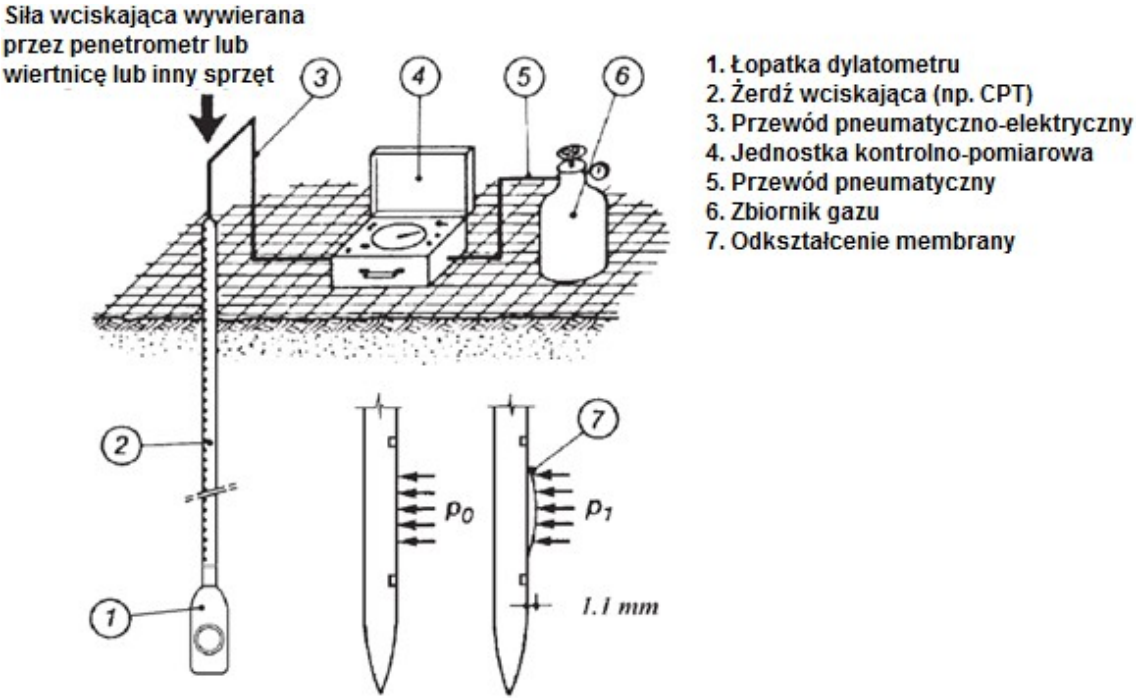
Literatura:

EN ISO 22476-4: Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 4: Menard pressuremeter test, 2005.

Roy E. Hunt: Geotechnical Engineering Investigation Handbook, Second Edition (CRC Press, 2005)

Badanie dylatometryczne (DMT)

Badanie dylatometryczne (DMT) wykonuje się z zastosowaniem dylatometru, który funkcjonuje bazując na zasadzie weryfikacji wartości z wykorzystaniem przemieszczeń czujników indukcyjnych (o czułości do 0.001 mm). Zaletą tych badań jest dokładniejszy opis przemieszczeń i odkształceń podłoża fundamentowego.



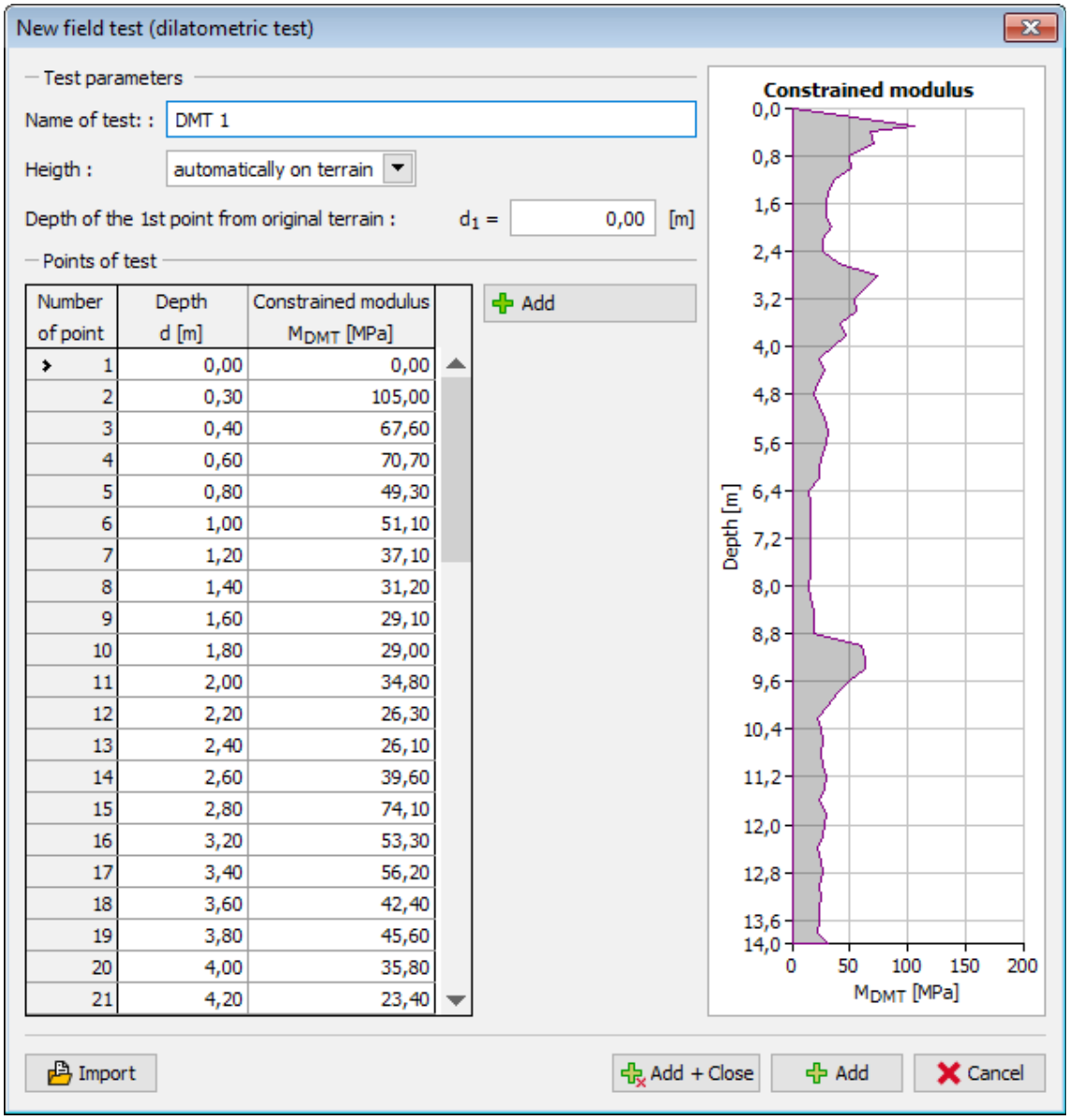
Ogólny Schemat Badania Dylatometrycznego (źródło: [1], Rysunek 2, str 10)

Wynikiem badania dylatometrycznego jest jego przebieg wykreślony w postaci wykresu. Opracowane wyniki badań dylatometrycznych (DMT) służą jako dane wejściowe do obliczeń w programach "Fundamenty Bezpośrednie", "Ściana Analiza" i "Pal Stabilizujący" oraz do modelowania masywu gruntowego w programie "Stratygrafia 3D".

Wyniki badań dylatometrycznych (DMT) można importować do programu wstawiając pliki w formacie UNI (***.uni)**. Jest to **znormalizowany i uniwersalny format** importu danych pomiarowych uzyskanych w badaniach dylatometrycznych, wykorzystywany powszechnie na świecie.

W oknie dialogowym "**Nowe badanie polowe**" definiuje się nazwę badania oraz zagłębienie pierwszego punktu badania DMT poniżej poziomu terenu. W programie "**Stratygrafia 3D**" wymagane jest także zdefiniowanie współrzędnych x, y, z badania.

Moduł dylatometryczny M_{DMT} definiuje się w tabeli.



Okno dialogowe "Nowe badanie polowe"

Literatura:

Marchetti, S., Monaco, P., Totani, G. & Calabrese, M.: The Flat Dilatometer Test (DMT) in soil investigations. A Report by the ISSMGE Committee TC16, University of L'Aquila, Italy, 2001, 48 p.

Roy E. Hunt: Geotechnical Engineering Investigation Handbook, Second Edition (CRC Press, 2005)

EN ISO 22476-11: Geotechnical investigation and testing - Field testing. Part 11: Flat dilatometer test

Analiza osiadania

Osiadanie można obliczać wykorzystując jedną z niżej wymienionych metod:

- Z zastosowaniem modułu edometrycznego
- Z zastosowaniem stałej ściśliwości
- Z zastosowaniem wskaźnika ściśliwości
- Według NEN (Buismann, Ladde)
- Według modelu Soft soil
- Z zastosowaniem teorii Janbu
- Na podstawie dylatometru Marchetiego DMT (modułu dylatometrycznego)

Program udostępnia dwie opcje ograniczenia głębokości strefy oddziaływania (strefy wpływu):

- Z zastosowaniem teorii wytrzymałości strukturalnej
- Jako procent naprężenia geostatycznego

Do określenia naprężenia w gruncie we wszystkich metodach dostępnych do analizy osiadania wykorzystano teorię sprężystości (teoria Bousinesqu'a).

Ogólne teorie analizy osiadania stanowią podstawę wszystkich w/w metod.

Podczas obliczania osiadania poniżej podstawy fundamentu program oblicza najpierw naprążenie w podstawie fundamentu, a następnie określa osiadanie całkowie oraz obrót fundamentu.

Ogólne podejście wykorzystywane we wszystkich teoriach wykorzystuje podział podłoża gruntowego na warstwy o różnej miąższości w oparciu o głębokość poniżej podstawy fundamentu lub powierzchni gruntu. Następnie, obliczane jest odkształcenie każdej warstwy - osiadanie całkowite definiowane jest jako suma osiadań częściowych poszczególnych warstw w strefie wpływu (odkształcenia poniżej strefy wpływu przyjmują wartość zerową lub są pomijane):

$$s = \sum \Delta s_i$$

gdzie: s - osiadanie

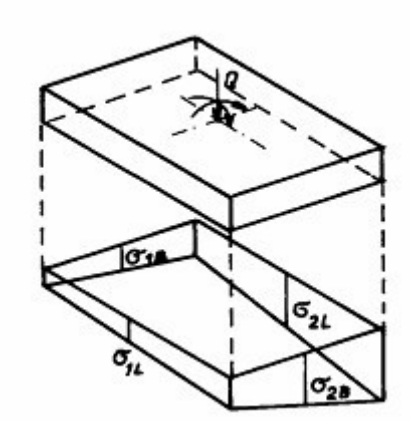
s_i - osiadanie w *i-tej* warstwie

Naprężenie pod fundamentem

Naprężenie pod fundamentem można założyć jako:

- **prostokątne** (jednolite pod fundamentem)
- **ogólne** (trapezowe) o różnych wartościach boków

Ogólny rozkład naprężenia wynika z rysunku:



Naprężenie pod fundamentem

gdzie:

$$\sigma_{b,,z} = \frac{Q}{l.b} \pm \frac{Q.e_b}{W_b} \qquad e_b = \frac{M_x + H_y.t + N.p_x}{Q} \qquad W_b = \frac{1}{6} l.b^2$$

$$\sigma_{l,,z} = \frac{Q}{l.b} \pm \frac{Q.e_t}{W_t} \qquad e_t = \frac{-M_y + H_x.t + N.p_y}{Q} \qquad W_t = \frac{1}{6} l.b^2$$

gdzie:

Q	-	pionowe obciążenie fundamentu
l,b	-	szerokość i długość fundamentu
e_b	-	mimośrodowość obciążenia
M	-	moment działający na fundament
H	-	siła pozioma
N	-	normalna siła na mimośrodowym fundamencie
p	-	przesunięcie osi kolumny od środka fundamentu

Jeżeli w niektórych punktach naprężenie staje się ujemne, program postępuje dalej z dostosowanymi wymiarami $b*l$ jednocześnie wykluczając rozciąganie z analizy. Przed obliczeniami, rozkład naprężenia na skutek obciążenia pod fundamentem jest redukowany przez naprężenie geostatyczne w następujący sposób:

$$\sigma_{sl} = \max\left(\sigma_{sl} - \sigma_{or,sp}; 0\right)$$

W programie istnieją trzy opcje do określenia naprężenia geostatycznego pod fundamentem:

- **Z pierwotnego gruntu** Rozważa się zatem, czy dno fundamentu w otworze z wydobytym gruntem mierzone od pierwotnego gruntu jest wolne od naprężeń w czasie krótszym niż niezbędny do pęcznienia gruntu oraz utraty naprężenia w podłożu.
- **Ze zmodyfikowanego terenu** Zastosowanie mają powyższe założenia.
- **Nie uwzględniane**

Całkowite osiadanie i obrót fundamentu

Na osiadanie fundamentu znacznie wpływa ogólna sztywność układu w postaci konstrukcji

fundamentu i podłoża gruntowego, którą można wyznaczyć z:

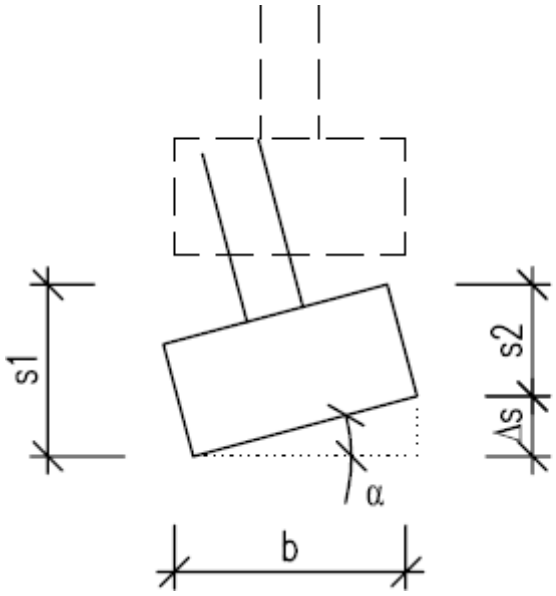
$$k = \frac{E_{zakl} \cdot t^3}{E_{def,prum} \cdot l^3}$$

gdzie:
- E_{zakl} – moduł sprężystości fundamentu
- t – grubość fundamentu
- $E_{def,prum}$ – średnia ważona modułu odkształcenia do głębokości aktywnej
- l – wymiary fundamentu w kierunku szukanej sztywności

Dla $k > 1$ zakłada się, że fundament jest sztywny i jako punkt reprezentacyjny do wyznaczenia jego osiadania zakłada się **punkt charakterystyczny** (odległy o $0{,}37$ razy wymiar fundamentu od swojej osi).

Dla $k < 1$ zakłada się, że fundament jest sztywny i jako punkt reprezentacyjny do wyznaczenia jego osiadania zakłada się **punkt środkowy fundamentu**.

Obrót fundamentu wyznacza się z różnicy osiadań środków poszczególnych boków.



$$\Delta s = s_1 - s_2$$

$$rotation = \frac{\Delta s}{b}\,(\tan{*}1000)$$

$$\alpha = \arctan\frac{\Delta s}{b}\,[\mathrm{deg}]$$

Obrót fundamentu bezpośredniego - obliczenie podstawowe

Wpływ głębokości posadowienia i podłoża nieściśliwego

Podczas obliczania osiadania istnieje możliwość uwzględnienia **wpływu głębokości posadowienia** poprzez wprowadzenie współczynnika redukcji κ_1:

dla fundamentu pasowego:

$$\kappa_1 = 1 + 0{,}61 \cdot arctg\frac{d}{z}$$

dla fundamentu bezpośredniego:

$$\kappa_1 = 1 + 0{,}35.arctg\left(1{,}55.\frac{d}{z}\right)$$

gdzie: d - głębokość dna fundamentu

z - głębokość pod fundamentem

Wpływ warstwy nieściśliwej wprowadza się do analizy poprzez współczynnik redukcji $\boldsymbol{\kappa_2}$:

$$\kappa_2 = 1 - e^{\left(\frac{z_{ic}}{z}.\ln 0{,}25 + \ln 0{,}8\right)}$$

gdzie: z_{ic} - głębokość sztywnej podstawy pod dnem fundamentu

z - głębokość pod fundamentem

Wprowadzenie powyższych współczynników umożliwia **przekształcenie** pionowej składowej naprężenia $\boldsymbol{\sigma_z}$ tak, że właściwa głębokość zastępowana jest **wartością zastępczą** z_r z:

$$z_r = \kappa_1.\kappa_2.z$$

gdzie: κ_1 - współczynnik głębokości dna fundamentu

κ_2 - współczynnik sztywnej podstawy

z - głębokość pod dnem fundamentu

Wpływ podsypki piaskowo-żwirowej

Jeżeli pod fundamentem bezpośrednim została określona podsypka piaskowo-żwirowa, wówczas parametry materiału X w poszczególnych warstwach są obliczane w następujący sposób:

Dla warstwy $h_{a,i}$:

$$X_i < X_c$$

gdzie: X_i - parametry materiału w warstwie i^{tej}

X_c - parametry materiału podsypki piaskowo-żwirowej

Dla warstwy $h_{b,i}$:

$$X_i = \frac{(A_i - A_c).X_c + A_i.X_c}{A_i}$$

$$A_i = b_i.l_i$$

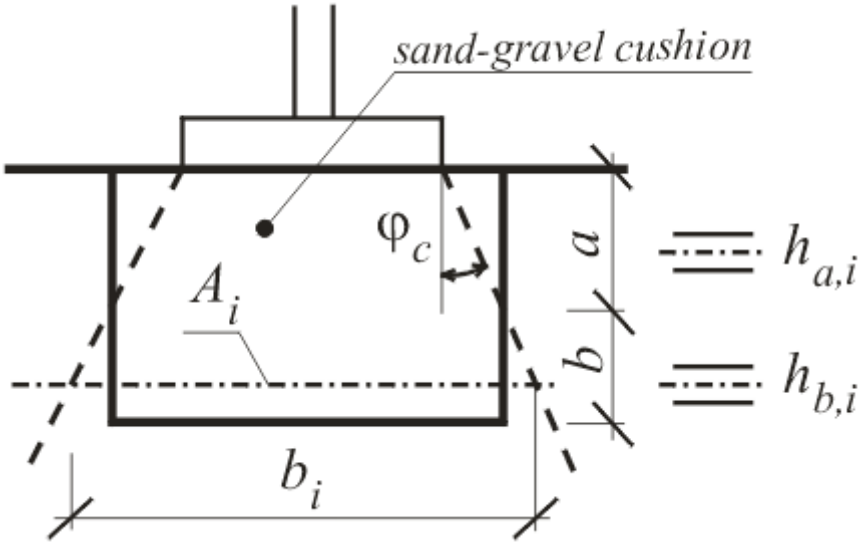
gdzie: A_c - pole podsypki piaskowo-żwirowej

X_c - parametry materiału podsypki piaskowo-żwirowej

$X_{b,i}$ - parametry materiału warstwy b,i

b_i - szerokości podsypki w warstwie i^{tej}

l_i - długość podsypki w warstwie i^{tej}



Analiza Xi w podsypce piaskowo-żwirowej

Analiza za pomocą modułu edometrycznego

Równanie do obliczania osiadania i^{tej} warstwy gruntu pod fundamentem posiadającej miąższość h wynika z definicji modułu edometrycznego E_{oed}:

$$s_i = \sum \frac{\sigma_{z,i} . h_i}{E_{oed,i}}$$

gdzie:

$\sigma_{z,i}$	-	składowa pionowa przyrostu naprężenia w środku i^{tej} warstwy
h_i	-	miąższość i^{tej} warstwy
$E_{oed,i}$	-	moduł edometryczny i^{tej} warstwy

Moduł edometryczny E_{oed} można określić dla każdego gruntu jako stały lub za pomocą krzywej edometrycznej (zależność σ_{ef}/ε). W przypadku zastosowania krzywej edometrycznej, program przyjmuje dla każdej warstwy wartość E_{oed} odpowiadającą danemu zakresowi naprężenia początkowego i końcowego. Jeżeli wartość modułu edometrycznego E_{oed} jest niedostępna, istnieje możliwość wprowadzenia modułu odkształcenia E_{def}, a program przeprowadza odpowiednie przekształcenie.

$$E_{oed} = \frac{E_{def}}{\beta}$$

gdzie:

$$\beta = 1 - \frac{2.\nu^2}{1-\nu}$$

gdzie:

ν	-	współczynnik Poisson'a
E_{def}	-	moduł odkształcenia

Analiza za pomocą stałej ściśliwości C

Równanie do obliczenia ścśliwości i^{tej} warstwy gruntu pod fundamentem, posiadającej miąższość h wynika z definicji stałej ściśliwości C:

$$s = \frac{h_i}{C_i} . \ln \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{or,i}}$$

gdzie:
- $\sigma_{or,i}$ - pionowa składowa początkowego naprężenia geostatycznego w środku i^{tej} warstwy
- $\sigma_{z,i}$ - pionowa składowa przyrostu naprężenia (np. naprężenia na skutek obciążenia konstrukcji) łączenie ze ściskaniem warstwy
- h_i - miąższość i^{tej} warstwy
- C_i - stała ściśliwości w i^{tej} warstwie

Program umożliwia wprowadzenie stałej ściśliwości C_i lub stałej ściśliwości C_{I0} (program sam przeprowadza przekształcenie).

Analiza za pomocą wskaźnika ściśliwości

Równanie osiadania przy zastosowaniu wskaźnika ściśliwości C_c i^{tej} warstwy wynika ze wzoru:

$$s_i = C_{c,i} \frac{h_i}{1 + e_0} . \log \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{or,i}}$$

gdzie:
- $\sigma_{or,i}$ - pionowa składowa początkowego naprężenia geostatycznego w środku i^{tej} warstwy
- $\sigma_{z,i}$ - pionowa składowa przyrostu naprężenia (np. naprężenia na skutek obciążenia konstrukcji) powodującego osiadanie warstwy
- e_o - początkowy wskaźnik porowatości
- h_i - miąższość i^{tej} warstwy
- $C_{c,i}$ - wskaźnik ściskania w i^{tej} warstwie

Analiza według NEN (Buismann, Ladd)

Metoda ta oblicza osiadanie pierwotne i wtórne. W obliczeniach, metoda uwzględnia grunty przekonsolidowane i rozróżnia dwa możliwe przypadki:

- Suma bieżącego, pionowego naprężenia efektywnego w gruncie i naprężenie na skutek zewnętrznego obciążenia jest mniejsza niż ciśnienie przed konsolidacją, a zatem tylko dodatkowe obciążenie jest rozważane.
- Suma bieżącego, pionowego naprężenia efektywnego w gruncie i naprężenie na skutek zewnętrznego obciążenia jest większa niż ciśnienie przed konsolidacją, a zatem tylko podstawowa konsolidacja jest ponownie ustawiana. Pierwotne osiadanie jest wówczas większe w porównaniu do pierwszego przypadku.

Pierwotne osiadanie

Pierwotne osiadanie i^{tej} warstwy przekonsolidowanego gruntu (OCR > 1) jest wyznaczane z:

dla: $\sigma_{or} + \sigma_z \leq \sigma_p$ (suma bieżących naprężeń pionowych i jej przyrost jest mniejsza niż ciśnienie przed konsolidacją):

$$s_i = C_{r,i} \frac{h_i}{1+e_0} . \log \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{or,i}}$$

dla: $\sigma_{or} + \sigma_z > \sigma_p$ (suma bieżących naprężeń pionowych i jej przyrost jest większa niż ciśnienie przed konsolidacją):

$$s_i = C_{r,i} \frac{h_i}{1+e_0} . \log \frac{\sigma_{p,i}}{\sigma_{or,i}} + C_{c,i} \frac{h_i}{1+e_0} . \log \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{p,i}}$$

gdzie:
- $\sigma_{or,i}$ - pionowa składowa początkowego naprężenia geostatycznego w środku i^{tej} warstwy
- $\sigma_{z,i}$ - pionowa składowa przyrostu naprężenia (np. naprężenia na skutek obciążenia konstrukcji) powodującego osiadanie warstwy
- $\sigma_{p,i}$ - ciśnienie przed konsolidacją w i^{tej} warstwie
- e_o - początkowy wskaźnik porowatości
- h_i - miąższość i^{tej} warstwy
- $C_{c,i}$ - wskaźnik ściśliwości w i^{tej} warstwie
- $C_{r,i}$ - wskaźnik ściśliwości wtórnej w i^{tej} warstwie

Pierwotne osiadanie i^{tej} warstwy normalnie skonsolidowanego gruntu (OCR = 1) wynosi:

$$s_i = C_{c,i} \frac{h_i}{1+e_0} . \log \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{or,i}}$$

gdzie:
- $\sigma_{or,i}$ - pionowa składowa początkowego naprężenia geostatycznego w środku i^{tej} warstwy
- $\sigma_{z,i}$ - pionowa składowa przyrostu naprężenia (np. naprężenia na skutek obciążenia konstrukcji) łączenie ze ściskaniem warstwy
- e_o - początkowy wskaźnik porowatości
- h_i - miąższość i^{tej} warstwy
- $C_{c,i}$ - wskaźnik ściskania w i^{tej} warstwie

Wtórne osiadanie

Wtórne osiadanie i^{tej} warstwy przyjmuje postać:

dla: $\sigma_{or} + \sigma_z \leq \sigma_p$ (suma bieżących naprężeń pionowych i jej przyrost jest mniejsza niż ciśnienie przed konsolidacją):

$$s_{i,d} = C_{\alpha r,i}.h_i.\left(\log\frac{t_s}{t_p}\right)$$

pro $\sigma_{or} + \sigma_z > \sigma_p$ (suma bieżących naprężeń pionowych i jej przyrost jest większa niż ciśnienie przed konsolidacją):

$$s_{i,d} = C_{\alpha,i}.h_i.\left(\log\frac{t_s}{t_p}\right)$$

gdzie:
- h_i - miąższość i^{tej} warstwy
- $C_{\alpha r,\,i}$ - wskaźnik ściśliwości wtórnej poniżej parcia prekonsolidacji the i^{th} layer
- C_α - wskaźnik ściśliwości wtórnej w i^{tej} warstwie
- t_p - czas do zakończenia podstawowej konsolidacji
- t_s - czas wymagany dla osiadania wtórnego

jeżeli określimy wartość wskaźnika prekonsolidacji ściśliwości wtórnej taką samą jak dla wskaźnika ściśliwości wtórnj, wówczas program nie uwzględni efektu parcia prekonsolidacyjnego w obliczeniach osiadania wtórnego.

Literatura:

Netherlandish standard NEN6740, 1991, Geotechniek TGB1990 Basisen en belastingen, Nederlands normalisatie-Institut

Analiza za pomocą modelu Soft Soil

W analizie tej wykorzystano zmodyfikowany wskaźnik ściśliwości $\boldsymbol{\lambda}$, a sama metoda oparta jest na sprężysto-plastycznym modelu Soft Soil opracowanym na uniwersytecie w Cambridge. Deformacja gruntu zakłada, że odkształcenie objętościowe jest liniowo zależne od zmiany średniego naprężenia efektywnego kreślonego na naturalnej skali logarytmicznej.

Osiadanie $\boldsymbol{i}^{tej}$ warstwy jest wówczas wyznaczane z:

$$s_i = \lambda_i.h_i.\ln\frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{or,i}}$$

kde:
- $\sigma_{or,i}$ - pionowa składowa naprężenia geostatycznego w środku i^{tej} warstwy
- $\sigma_{z,i}$ - pionowa składowa przyrostu naprężenia (np. naprężenia na skutek obciążenia konstrukcji) powodującego osiadanie warstwy
- h_i - miąższość i^{tej} warstwy
- λ - zmodyfikowany wskaźnik ściśliwości w i^{tej} warstwie

Analiza ta wymaga wprowadzenia zmodyfikowanego wskaźnika ściśliwości λuzyskiwanego zazwyczaj z laboratoryjnych pomiarów trójosiowych.

Jeżeli zmodyfikowany wskaźnik ściśliwości λ nie jest znany, istnieje wówczas możliwość określenia wskaźnika ściśliwości C_C razem ze średnią wartością wskaźnika porowatości e (jeżeli ten również nie jest znany, wystarczy wówczas podać początkowy wskaźnik porowatości e_o), a

program przeprowadzi przybliżone obliczenia zmodyfikowanego wskaźnika ściśliwości na podstawie dostępnych informacji.

Literatura:

Burland J.B. The yielding and dilatation of clay (correspondence), Géotechnique, 15 (2),1965, str. 211-214

Analiza osiadania według teorii Janbu

Analiza oparta jest na zasadach nieliniowej deformacji elastycznej, gdzie zależność naprężenie - odkształcenie opisane jest przez funkcję dwóch bezwymiarowych parametrów unikalnych dla danego gruntu. Parametry są wykładnikiem j, a moduł Janbu m. Równania opisujące osiadanie uzyskuje się poprzez określenie ε z definicji modułu deformacji E_t i całkowanie. Program umożliwia obliczenie osiadania dla następujących typów gruntu:

- Grunty niespoiste
- Grunty gruboziarniste
- Piaski i pyły
- Przekonsolidowane piaski i pyły
- Grunty spoiste
- Prekonsolidowane grunty spoiste

Literatura:

Method of settlement computation for various types of soils, Soil Mechanics and foundation engineering, Springer, 7 (3), 1970, str, 201-206.

Analiza osiadania gruntów niespoistych

Dla gruntów niespoistych, wykładnik naprężenia nie jest równy zero. Dla podłoża warstwowego, wynikowe osiadanie równa się sumie częściowych osiadań poszczególnych warstw:

$$s_i = \frac{h_i}{m_i \cdot j_i}\left[\left(\frac{\sigma_{or,i}+\sigma_{z,i}}{100}\right)^j - \left(\frac{\sigma_{or,i}}{100}\right)^j\right]$$

gdzie:

- $\sigma_{or,i}$ - pionowa składowa naprężenia geostatycznego w środku i^{tej} warstwy
- $\sigma_{z,i}$ - pionowa składowa przyrostu naprężenia (np. naprężenie na skutek obciążenia konstrukcji) łączenie ze ściskaniem warstwy
- j_i - wykładnik naprężenia w i^{tej} warstwie
- m_i - modul Janbu w i^{tej} warstwie
- h_i - miąższość i^{tej} warstwy

Analiza osiadania gruntów gruboziarnistych

Dla zwartych gruntów gruboziarnistych (np. grunt lodowy), zależność naprężenie - odkształcenie (osiadanie) jest zazwyczaj przyjmowana jako "sprężysta", tzn. wykładnik

naprężenia j jest równy jeden. Zatem, dla j = 1 i naprężenia wzorcowego σ_r = 100 kPa wynikowe osiadanie równa się sumie częściowych osiadań poszczególnych warstw:

$$s_i = \frac{h_i}{100.m_i}.(\sigma_{z,i})$$

gdzie:
- $\sigma_{z,i}$ - pionowa składowa przyrostu naprężenia (np. naprężenie na skutek obciążenia konstrukcji) łącznie ze ściskaniem warstwy - tzn. zmiana naprężenia efektywnego
- m_i - moduł Janbu w i^{tej} warstwie
- h_i - miąższość i^{tej} warstwy

Analiza osiadania dla piasków i pyłów

Dla piasków i iłów, wykładnik naprężenia j przyjmuje wartość około 0,5, dla naprężenia wzorcowego σ_r = 100 kPa wynikowe osiadanie równa się sumie częściowych osiadań poszczególnych warstw. Osiadanie można wyprowadzić z następującego wzoru:

$$s_i = \frac{h_i}{5.m_i}.\left(\sqrt{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}} - \sqrt{\sigma_{or,i}}\right)$$

gdzie:
- $\sigma_{or,i}$ pionowa składowa naprężenia geostatycznego w środku i^{tej} warstwy
- $\sigma_{z,i}$ pionowa składowa przyrostu naprężenia (np. naprężenie na skutek obciążenia konstrukcji) łącznie ze ściskaniem warstwy
- m_i moduł Janbu w i^{tej} warstwie
- h_i miąższość i^{tej} warstwy

Analiza osiadania prekonsolidowanych piasków i pyłów

Jeżeli końcowe naprężenie w gruncie przekracza parcie prekonsolidacyjne ($\sigma_{or} + \sigma_z > \sigma_p$), wówczas osiadanie podłoża warstwowego wyznacza się z następującego wzoru:

$$s_i = \frac{h_i}{5.m_{r,i}}.\left(\sqrt{\sigma_{p,i}} - \sqrt{\sigma_{or,i}}\right) + \frac{h_i}{5.m_i}.\left(\sqrt{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}} - \sqrt{\sigma_{p,i}}\right)$$

gdzie:
- $\sigma_{or,i}$ - pionowa składowa naprężenia geostatycznego w środku i^{tej} warstwy
- $\sigma_{p,i}$ - parcie prekonsolidacyjne w i^{tej} warstwie
- $\sigma_{z,i}$ - pionowa składowa przyrostu naprężenia (np. naprężenie na skutek obciążenia konstrukcji) łącznie ze ściskaniem warstwy
- m_i - moduł Janbu w i^{tej} warstwie
- $m_{r,i}$ - moduł Janbu dekompresji w i^{tej} warstwie
- h_i - miąższość i^{tej} warstwy

Jeżeli naprężenie na skutek obciążenia nie powoduje, że końcowe naprężenie przekracza parcia prekonsolidacyjne ($\sigma_{or} + \sigma_z \leq \sigma_p$), istnieje wówczas możliwość przyjęcia następujących postaci równań w celu obliczenia osiadania gruntu warstwowego lub podłoża ilastego:

$$s_i = \frac{h_i}{5\, m_{r,i}} \cdot \left(\sqrt{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}} - \sqrt{\sigma_{or,i}} \right)$$

gdzie:
- $\sigma_{or,i}$ - pionowa składowa naprężenia geostatycznego w środku i^{tej} warstwy
- $\sigma_{p,i}$ - parcie prekonsolidacyjne w i^{tej} warstwie
- $\sigma_{z,i}$ - pionowa składowa przyrostu naprężenia (np. naprężenie na skutek obciążenia konstrukcji) łącznie ze ściskaniem warstwy
- $m_{r,i}$ - moduł Janbu dekompresji w i^{tej} warstwie
- h_i - miąższość i^{tej} warstwy

Analiza osiadania gruntów spoistych

W przypadku gruntów spoistych, wykładnik naprężenia jest równy zero. Dla normalnie skonsolidowanych gruntów uzyskujemy z definicji styczny moduł deformacji (prze modyfikację i całkowanie) E_t równanie osiadania gruntu warstwowego utworzonego z gruntów spoistych w postaci:

$$s_i = \frac{h_i}{m_i} \cdot \ln \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{or,i}}$$

gdzie:
- $\sigma_{or,i}$ - pionowa składowa naprężenia geostatycznego w środku i^{tej} warstwy
- $\sigma_{z,i}$ - pionowa składowa przyrostu naprężenia (np. naprężenie na skutek obciążenia konstrukcji) łącznie ze ściskaniem warstwy
- m_i - moduł Janbu w i^{tej} warstwie
- h_i - miąższość i^{tej} warstwy

Analiza osiadania dla prekonsolidowanych gruntów spoistych

Najbardziej spoiste grunty w pierwotnym porządku - za wyjątkiem bardzo młodych lub organicznych glin - są przekonsolidowane. Jeżeli końcowe naprężenie w gruncie przekracza naprężenie przekonsolidacyjne ($\sigma_{or} + \sigma_z > \sigma_p$), wówczas osiadanie podłoża warstwowego powstałego z gruntów spoistych obliczane jest z następującego związku:

dla: $\sigma_{or} + \sigma_z > \sigma_p$

$$s_i = \frac{h_i}{m_{r,i}} \cdot \ln \frac{\sigma_{p,i}}{\sigma_{or,i}} + \frac{h_i}{m_i} \cdot \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{p,i}}$$

dla: $\sigma_{or} + \sigma_z \leq \sigma_p$

$$s_i = \frac{h_i}{m_{r,i}} \cdot \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{or,i}}$$

gdzie:
- $\sigma_{or,i}$ - pionowa składowa naprężenia geostatycznego w środku i^{tej} warstwy
- $\sigma_{p,i}$ - parcie prekonsolidacyjne w i^{tej} warstwie
- $\sigma_{z,i}$ - pionowa składowa przyrostu naprężenia (np. naprężenie na skutek obciążenia konstrukcji) łącznie ze ściskaniem warstwy
- m_i - moduł Janbu w i^{tej} warstwie
- $m_{r,i}$ - moduł Janbu dekompresji w i^{tej} warstwie
- h_i - miąższość i^{tej} warstwy

Analiza osiadania z wykorzystaniem DMT (modułu dylatometrycznego)

Moduł dylatometryczny gruntu M_{DMT} definiowany jest jako pionowy, ograniczony styczny moduł ściśliwości z odpływem przy σ_{vo}. M_{DMT} uzyskuje się z badań dylatometrycznych (DMT).

Jeżeli wartość modułu M_{DMT} jest niedostępna, istnieje wówczas możliwość zdefiniowania współczynnika ściśliwości objętościowej m_V (wyznaczanego na podstawie badań edometrycznych), a program przeprowadza odpowiednie przekształcenie:

$$M_{DMT} = \frac{1}{m_V}$$

gdzie:
- M_{DMT} - ograniczony styczny moduł ściśliwości gruntu
- m_V - współczynnik ściśliwości objętościowej

Analiza wykorzystuje moduł dylatometryczny gruntu M_{DMT} lub współczynnik ściśliwości objętościowej m_V i oparta jest na teorii Marchetti'ego. To oparte na sprężystości liniowej podejście podaje osiadanie proporcjonalne do obciążenia, nie może natomiast zapewnić przewidywań nieliniowych.

Osiadanie i^{tej} warstwy jest wówczas wyznaczane z:

$$s_i = \frac{\sigma_{z,i} h_i}{M_{DMT}}$$

gdzie:
- $\sigma_{z,i}$ - pionowa składowa przyrostu naprężenia w środku i^{tej} warstwy
- h_i - miąższość i^{tej} warstwy
- M_{DMT} - ograniczony styczny moduł ściśliwości gruntu

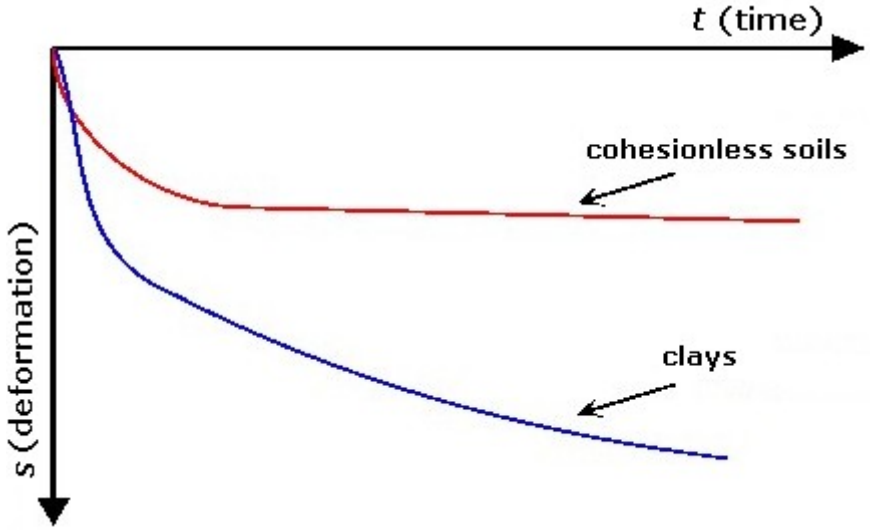
Literatura:

Marchetti, S., Monaco, P., Totani, G. & Calabrese, M.: The Flat Dilatometer Test (DMT) in soil investigations. A Report by the ISSMGE Committee TC16, University of L'Aquila, Italy, 2001,

48 p.

Teoria osiadania

Jeżeli naprężenie w gruncie spowodowane jest obciążeniem powierzchni gruntu, znana jest zmiana naprężenia gruntu lub aktualnie utworzonej konstrukcji ziemnej, istnieje wówczas możliwość wyznaczenia deformacji gruntu. Deformacja gruntu jest ogólnie nachylona, a jej pionowa składowa warunkuje osiadanie. Ogólnie rzecz biorąc, osiadanie jest niestacjonarnie zależne od czasu, co oznacza, że nie występuje natychmiast po wprowadzeniu obciążenia, lecz jest raczej zależne od właściwości konsolidacji gruntu. Przepuszczalnie, mniej ściśliwe grunty (piasek, żwir) odkształcają się szybciej, natomiast nawodnione grunty gliniaste o niskiej przepuszczalności doświadczają stopniowego odkształcenia zwanego konsolidacją.



Osiadanie gruntu zależne od czasu

Zastosowane obciążenie powoduje osiadanie, które można podzielić na podstawie odpowiedzi zależnej od czasu na trzy odrębne składowe:

- Osiadanie natychmiastowe (początkowe)
- Osiadanie pierwotne (konsolidacja)
- Osiadanie wtórne (pełzanie)

Osiadanie natychmiastowe

Podczas osiadania natychmiastowego, grunt doświadcza tylko deformacji pod wpływem naprężeń ścinających powodujących zmianę kształtu bez deformacji objętościowej. Utrata ciśnienia porowego w gruncie wynosi zero.

Osiadanie pierwotne

Ten etap deformacji gruntu charakteryzuje się odkształceniem szkieletowym na skutek ruchu i ściskania ziaren widocznych w formie zmian objętościowych. Jeżeli pory są wypełnione wodą (szczególnie w przypadku gruntów o niskiej przepuszczalności), woda zostanie przeniesiona ze ściśniętych porów do miejsc o niższym ciśnieniu (grunt przejdzie konsolidację). Pierwotne osiadanie konsolidacyjne jest zatem zależne od czasu i kończy się po osiągnięciu zerowego ciśnienia porowego.

Osiadanie wtórne

Jeżeli konsolidacja pierwotna przechodzi nad szkieletem, wówczas deformacja nie powoduje

zmiany ciśnienia porowego (teoretycznie w nieskończonym czasie). Przy wzroście ciśnienia, ziarna stają się ciaśniej upakowane i zaczynają się odkształcać, po czym następuje zmiana objętościowa - zjawisko to nazywa się deformacją pełzaniową szkieletu lub konsolidacją wtórną (osiadaniem). W przeciwieństwie do konsolidacji pierwotnej, konsolidacja wtórna postępuje pod stałym naprężeniem efektywnym. Szczególnie w przypadku miękkich, plastycznych lub zmiażdżonych gruntów, nie należy pomijać konsolidacji wtórnej - w przypadku gruntów przekonsolidowanych, konsolidacja wtórna może wynosić około 10% ogólnego osiadania, natomiast dla normalnie skonsolidowanych gruntów nawet około 20%.

Osiadanie pierwotne

Końcowe osiadanie pierwotne jest często zastępowane terminem osiadania. Większość podejść obliczeniowych można przypisać do jednej z dwóch grup:

- **Liniowa deformacja sprężysta**
- **Nie liniowa deformacja sprężysta**

Liniowa deformacja sprężysta

Liniowa zależność naprężenie - odkształcenie wynika z prawa Hook'a:

$$\varepsilon = \frac{\Delta \sigma_{ef}}{E}$$

gdzie:
- ε - wywołane odkształcenie warstwy gruntu
- $\Delta\sigma_{ef}$ - wywołana zmiana naprężenia efektywnego w warstwie gruntu
- E - moduł Young'a w warstwie gruntu
- ν - liczba Poisson'a

Zastosowanie modułu sprężystości E Young'a jest zastępowane tylko w przypadkach, gdzie dopuszcza się rozszerzenie gruntu w kierunku poziomym. Jednak, jest to do przyjęcia tylko dla małych fundamentów bezpośrednich. Przy stosowaniu obciążenia na większej powierzchni, naprężony grunt nie może - za wyjątkiem krawędzi - odkształcać się na boki i doświadcza zatem tylko odkształcenia pionowego (jednowymiarowego) związanego z modułem edometrycznym E_{oed}, który jest większy od modułu sprężystości E.

Osiadanie warstwy gruntu s jest wyznaczane poprzez pomnożenie deformacji warstwy gruntu ε przez miąższość warstwy (wysokość) H_o:

$$s = \varepsilon . H_o$$

gdzie:
- ε - deformacja warstwy gruntu
- H_o - miąższość warstwy gruntu

W przypadku podłoża uwarstwionego otrzymujemy całkowite osiadanie przez dodanie osiadań poszczególnych warstw:

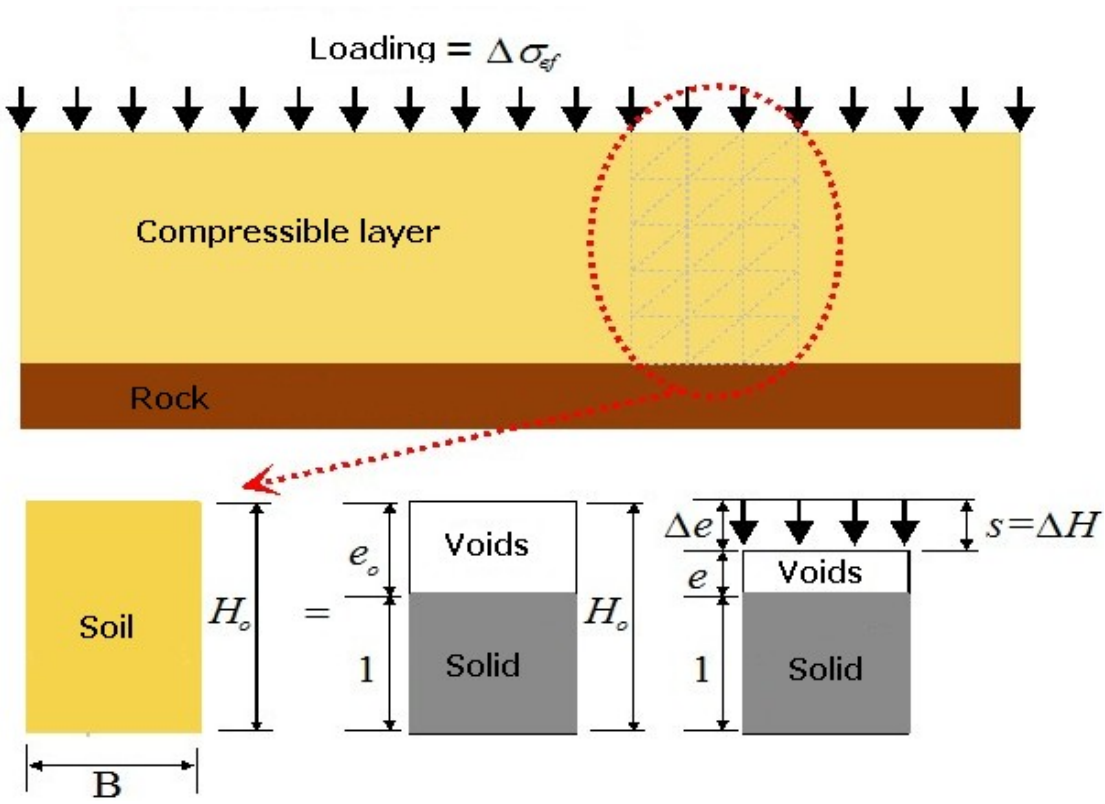
$$s = \sum s_i = \sum \varepsilon_i . H_{oi}$$

gdzie:
- s - osiadanie podłoża warstwowego
- ε_i - deformacja i^{tej} warstwy gruntu
- H_{oi} - miąższość i^{tej} warstwy gruntu

Nieliniowa deformacja sprężysta

Dla większości gruntów, zależność naprężenie - odkształcenie jest nieliniowe i często wpływa na nią historia obciążeń. Nie można pomijać tej nieliniowości zwłaszcza przy obliczaniu osiadania gruntów drobnoziarnistych (iły, gliny). Oczywiście, procedura oparta na zastosowaniu modułu sprężystości Young'a nie jest ogólnie stosowana. Nawet przy zastosowaniu modułu edometrycznego deformacji zależnego od naprężenia, nie można uzyskać rozsądnych danych szacunkowych zachowania pewnych gruntów prekonsolidowanych. Nieliniowa deformacja sprężysta jest modelowana za pomocą wskaźnika porowatości i właściwości deformacji uzyskanych z jednowymiarowego odkształcenia próbki gruntu (np. stała ściskania, wskaźnik ściśliwości, itp.).

Procedura obliczania osiadania nawodnionej warstwy gruntu za pomocą porowatości e została opisana na następującym elemencie gruntu posiadającym wysokość H_o i szerokość $B = 1m$:



Analiza osiadania z wykresu fazowego

Ze względu na fakt, że grunt jest medium trójfazowym (zawiera cząstki stale i pory wypełnione cieczą i gazem), istnieje zatem możliwość opisania cząstek stałych (cząstki skał i ziarna mineralne) poprzez ich objętość V_S (równa jedności), natomiast fazę porowatą można opisać współczynnikiem porowatości e.

Element gruntu poddawany jest w swej górnej powierzchni jednolitemu obciążeniu q powodującemu zamianę naprężenia wewnątrz próbki, a także przesunięcie pionowe ΔH, które z kolei prowadzi do redukcji porów V_p, a zatem także do redukcji współczynnika porowatości (od swej wartości początkowej e_o do nowej wartości e). Odkształcenie pionowe ε próbki gruntu dane jest ze stosunku ΔH do początkowej wysokości próbki H_o, i można je wyrazić za pomocą wskaźnika porowatości e:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_o} = \frac{s}{H_o} = \frac{\Delta e}{1+e}$$

gdzie:
- ε - pionowe ściskanie względne
- ΔH - deformacja pionowa
- H_o - pierwotna wysokość elementu
- s - osiadanie
- e - wskaźnik porowatości
- Δe - zmiana wskaźnika porowatości

Poprzez zmodyfikowanie tego równania otrzymujemy wzór opisujący osiadanie próbki za pomocą współczynnika porowatości:

$$s = \frac{\Delta e}{1+e} H_o = \varepsilon . H_o$$

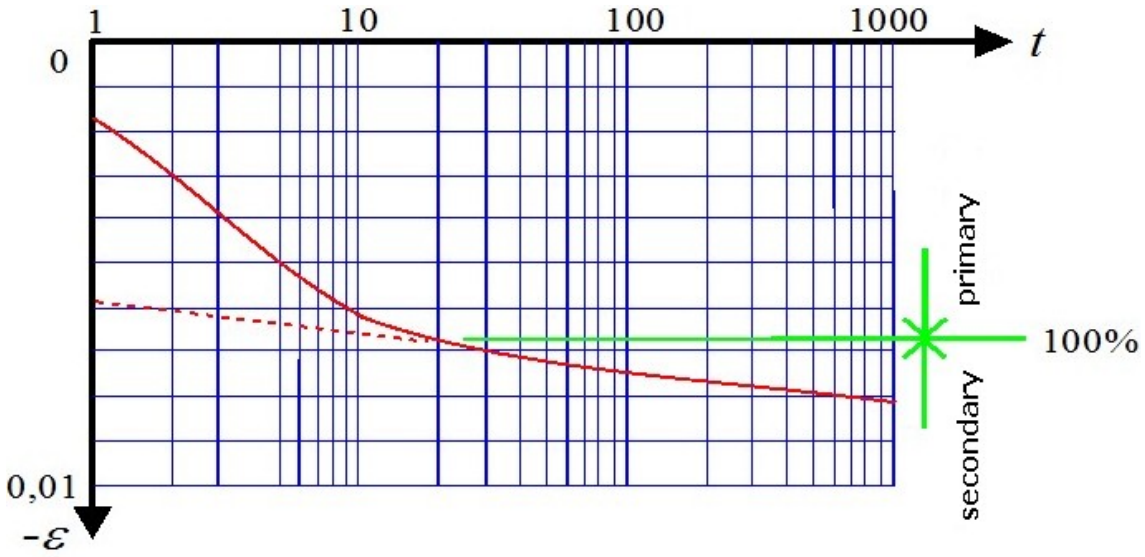
gdzie:
- ε - pionowe ściskanie względne
- H_o - pierwotna wysokość elementu
- s - osiadanie
- e - współczynnik porowatości
- Δe - zmiana współczynnika porowatości

Osiadanie wtórne

W celu opisania stopniowego pełzania gruntu podczas wtórnego osiadania, program stosuje metodą Buissman'a, która wykorzystuje wskaźnik wtórnego ściskania C_α według Lade'a. Z obserwacji, sugerujących, że deformacja gruntu podąża ścieżka liniową przy kreśleniu na pół-logarytmicznej skali do czasu, Buissman zaproponował zmianę ε na skutek naprężeń długoterminowych w postaci:

$$\varepsilon = \varepsilon_p + \varepsilon_s . \log\left(\frac{t}{t_o}\right)$$

gdzie:
- ε - całkowita deformacja
- ε_p - deformacja związana z konsolidacją pierwotną
- ε_s - deformacja związana z konsolidacją wtórną
- t - czas konsolidacji
- t_0 - czas wzorcowy



Zmiana odkształcenia zależna od czasu (konsolidacja pierwotna i wtórna)

Obliczenia konsolidacji

Program umożliwia przeprowadzenie obliczeń konsolidacji jeśli opcja ta zostanie aktywowana w ramce "Ustawienia". Warstwa konsolidacyjna, zbudowana z gruntu nieprzepuszczalnego lub w niewielkim stopniu przepuszczalnego osiada stopniowo w czasie. Konsolidacja zmienia wartości ciśnienia porowego w gruncie. Parametry gruntu związane z obliczeniami konsolidacji należy zdefiniować w ramce "Grunty, inne parametry konsolidacji definiuje się w ramce "Obliczenia" w poszczególnych fazach budowy.

Współczynnik konsolidacji, zależny od parametrów gruntu, wyznaczany jest następująco:

$$c_v = \frac{E_{oed}.k}{\gamma_w}$$

gdzie: E_{oed} - moduł edometryczny
k - współczynnik filtracji
γ_w - ciężar wody

W przypadku gdy podłoże gruntowe podlegające konsolidacji jest niejednorodne, wówczas współczynnik c_v wyznaczany jest jako średnia wartości współczynników poszczególnych warstw.

Na obliczenia konsolidacji ma również wpływ czynnik czasu, zależny od ścieżki wypływu wody. Ścieżka ta jest równa miąższości warstwy konsolidacyjnej w przypadku, gdy wypływ jest jednokierunkowy (do góry lub w dół) lub połowie warstwy konsolidacyjnej przy wypływie dwukierunkowym (do gory i do dołu). Rzeczywisty czynnik czasu określany jest na podstawie następującego wyrażenia:

$$T_v = \frac{c_v.t}{H^2}$$

gdzie: c_v - współczynnik konsolidacji

t - czas rzeczywisty

H - ścieżka odpływu wody

Czynnik czasu budowy jest zależny od czasu trwania obciążenia. Jeśli całe obciążenie przyłożone zostanie jednorazowo na początku fazy budowy, czas budowy wynosi zero. W przypadku, gdy obciążenie wzrasta liniowo w trakcie trwania fazy budowy, wówczas czas budowy jest równy czasowi trwania fazy budowy. Czynnik czasu budowy określany jest na podstawie następującego wyrażenia:

$$T_c = \frac{c_v.t_c}{H^2}$$

gdzie: c_v - współczynnik konsolidacji

t_c - czas budowy

H - ścieżka odpływu wody

Stopień konsolidacji określany jest na podstawie następujących wyrażeń:

dla: $t_v \le t_c$

$$U_{av} = \frac{T_v}{T_c}\left\{1 - \frac{2}{T_v}\sum_{m=0}^{m=\infty}\frac{1}{M^4}\left[1-\exp\left(-M^2.T_v\right)\right]\right\}$$

dla: $t_v > t_c$

$$U_{av} = 1 - \frac{2}{T_c}\sum_{m=0}^{m=\infty}\frac{1}{M^4}\left[\exp\left(M^2.T_c\right)-1\right]\exp\left(-M^2.T_v\right)$$

gdzie:

$$M = (2m+1)\frac{\pi}{2}$$

gdzie: T_v - czynnik czasu rzeczywistego

T_c - czynnik czasu budowy

W celu uzyskania wynikowej wartości deformacji wartość początkowa deformacji warstwy konsolidacyjnej w danej fazie budowy przemnażana jest przez odpowiedni stopień konsolidacji U_{av}, w sposób następujący

$$\varepsilon_{fin} = U_{av}.\varepsilon$$

gdzie: ε_{fin} - wynikowa wartość deformacji

ε - początkowa wartość deformacji

U_{av} - stopień konsolidacji

Obliczenia konsolidacji mają wpływ na wartości ciśnienia porowego w warstwie konsolidacyjnej. W momencie wprowadzania obciążenia wartości ciśnienia porowego są najwyższe. Gdy czas dąży do teoretycznej nieskończoności - ciśnienie porowe maleje do zera.

Ciśnienie porowe:

dla: $t_v \le t_c$

$$u = \sum_{m=0}^{m=\infty}\frac{2.u_0}{M^3.T_c}.\sin\frac{M.z}{H}\left[1-\exp\left(-M^2.T_v\right)\right]$$

dla: $t_v > t_c$

$$u = \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2.u_0}{M^3.T_c}.\left[\exp\left(M^2.T_c\right)-1\right]\sin\frac{M.z}{H}\exp\left(-M^2.T_v\right)$$

gdzie:

$$M = (2m+1)\frac{\pi}{2}$$

gdzie:

t_v - czynnik czasu rzeczywistego

t_c - czynnik czasu budowy

H - ścieżka wypływu wody

z - głębokość, na której wyznaczana jest wartość ciśnienia porowego

u_0 - zmiana naprężeń efektywnych względem poprzedniej fazy budowy (obciążenie)

Literatura:

Braja M. Das. Advanced Soil Mechanics; Taylor & Francis: London, 2008.pp278 - 316Verruijt A. Soil Mechanics, Delft University of Technology, 2010, pp97-123,

http://geo.verruijt.net/software/SoilMechBook.pd

Wyznaczanie głębokości aktywnej

Z teoretycznego punktu widzenia, przy obciążaniu powierzchni gruntu możemy oczekiwać zmiany naprężenia w podłożu do nieskończonej głębokości. Grunt, jednak, deformuje się tylko do pewnej głębokości, tak zwanej aktywnej.

Program oferuje dwie opcje do określenia głębokości aktywnej:

- Za popmocą teorii wytrzymałości strukturalnej
- Poprzez określenie pewnego procentu pierwotnego naprężenia geostatycznego

Teoria wytrzymałości strukturalnej

Wytrzymałość strukturalna reprezentuje wytrzymałość gruntu na deformacje na skutek obciążenia na początku rozerwania swojej wewnętrznej struktury. Przy zmniejszaniu współczynnika m odpowiedź gruntu dąży do liniowości.

Jeżeli wytrzymałość strukturalna uwzględniana jest w analizie osiadania, wówczas:

a) głębokość aktywna charakteryzuje się głębokością pod dnem fundamentu, na której przyrost naprężenia pionowego σ_z staje się równy wytrzymałości strukturalnej gruntu (wyznaczanej przez pomnożenie początkowego naprężenia geostatycznego σ_{or} przez współczynnik m):

$$\sigma_z = m.\sigma_{or}$$

gdzie:

m - współczynnik wytrzymałości strukturalnej

σ_{or} - początkowe naprężenie geostatyczne

b) podczas obliczania osiadania warstwy, przyrost naprężenia pionowego $\boldsymbol{\sigma_z}$ na skutek obciążenia zredukowany przez wytrzymałość strukturalną gruntu wyznaczany jest z:

$$\sigma_z = m.\sigma_{or}$$

gdzie: m -współczynnik wytrzymałości strukturalnej

σ_{or} -początkowe naprężenie geostatyczne

σ_z -przyrost naprężenia w środku warstwy

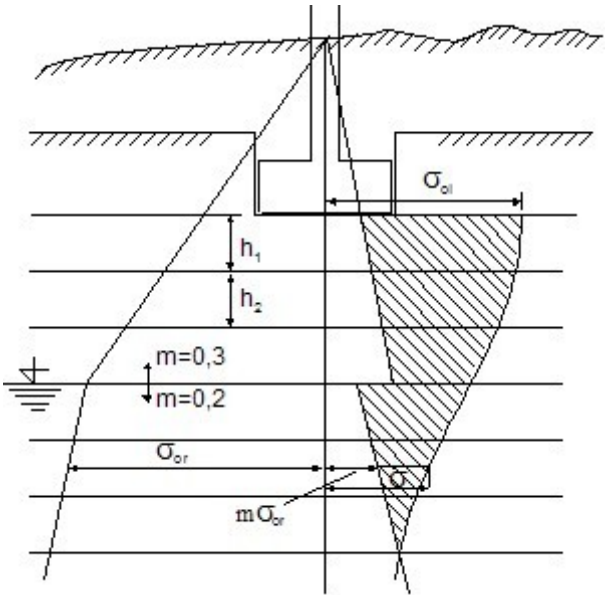
a osiadanie s wynika wówczas z naprężenia oznaczonego na rysunku kreskowaniem i wyznaczanego z:

$$s = f(\sigma_z, m, \sigma_{or})$$

gdzie: m -współczynnik wytrzymałości strukturalnej

σ_{or} -początkowe naprężenie geostatyczne

σ_z -przyrost naprężenia w środku warstwy



Głębokość aktywna na podstawie teorii wytrzymałości strukturalnej (pole efektywnego obciążenia jest kreskowane)

Metoda ograniczenia wartości naprężenia pierwotnego

Jeżeli w analizie osiadania przyjmiemy ograniczenia procentu pierwotnego naprężenia geostatycznego, wówczas:

a) głębokość aktywna reprezentowana jest głębokością pod fundamentem, gdzie przyrost naprężenia σ_z osiąga pewien procent początkowego naprężenia geostatycznego:

$$\sigma_z = x\%.\sigma_{or}$$

gdzie: $x\%$ - rozważana wartość naprężenia geostatycznego

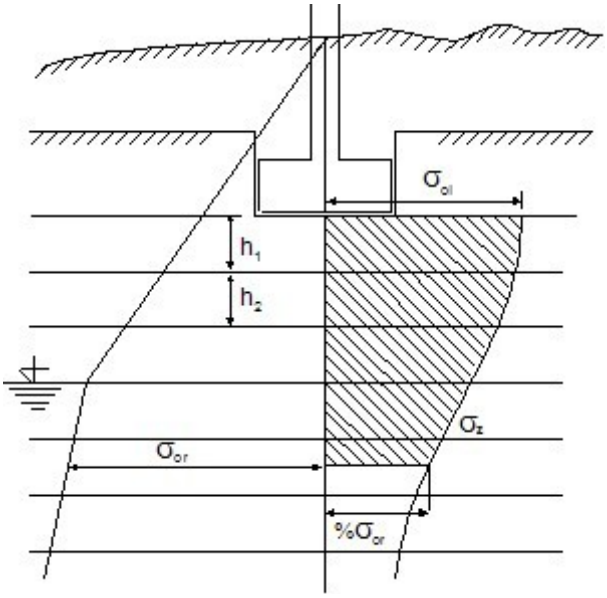
σ_{or} - naprężenie geostatyczne

b) osiadanie s wyprowadzone jest z wartości naprężenia oznaczonej kreskowaniem na rysunku i otrzymuje postać:

$$s = f(\sigma_z, \sigma_{or})$$

gdzie: σ_z - przyrost naprężenia

σ_{or} - naprężenie geostatyczne



Głębokość aktywna wyznaczona ograniczeniem wartości naprężenia pierwotnego

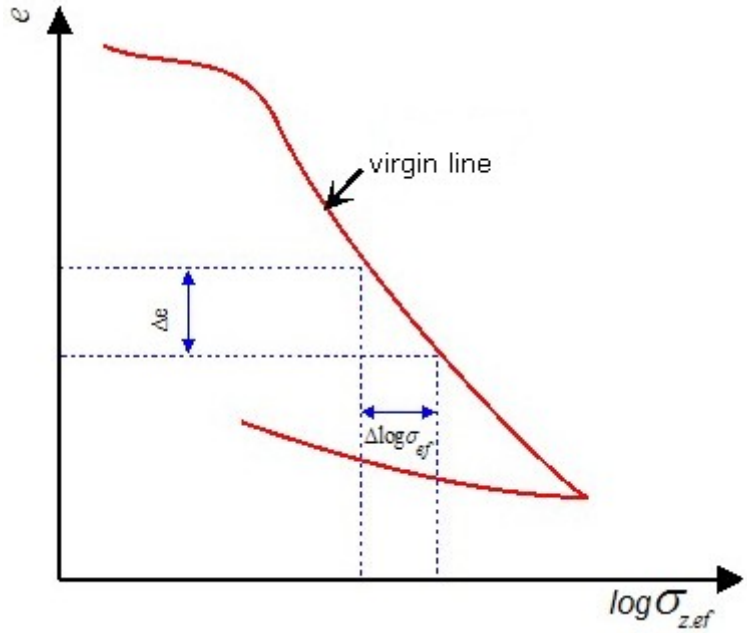
Parametry w analizie osiadania

W zależności od wybranej metody rozwiązania, program GEO5 stosuje następujące parametry do obliczenia osiadania, które mogą różnić się typem eksperymentu wymaganego do wyznaczenia lub sposobem przedstawienia zmierzonych zmiennych:

- Wskaźnik ściśliwości C_c
- Moduł edometryczny E_{oed}
- Moduł odkształcenia E_{def}
- Stała ściskania C
- Stała ściskania C_{10}
- Wskaźnik porowatości e
- Wskaźnik ściśliwości gruntuprzy powtórnym obciążeniu C_r
- Parametry Janbu
- Współczynnik korekcji m
- Zmodyfikowany wskaźnik ściśliwości λ
- Wskaźnik ściśliwości wtórnej C_α
- Wskaźnik prekonsolidacji ściśliwości wtórnej $C_{\alpha r}$

Wskaźnik ściśliwości

Wskaźnik opisuje zmianę wskaźnika porowatości e jako funkcję zmiany naprężenia efektywnego σ_{ef} kreślonego na skali logarytmicznej:



Wskaźnik porowatości e a naprężenie efektywne σ_{ef}

Zatem, wskaźnik reprezentuje charakterystyczne odkształcenie przekonsolidowango gruntu:

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma_{ef}}$$

gdzie: Δe - zmiana wskaźnika porowatości

$\Delta log\sigma_{ef}$ - zmiana naprężenia efektywnego

Zakres wskaźnika ściśliwości C_c *(Dowództwo Inżynierii Obiektów Okrętowych, Mechanika gruntu, PODRĘCZNIK PROJEKTOWANIA 7.01)*

Typowy zakres wskaźnika ściśliwości zawiera się od $0,1$ do 10. Przybliżone wartości dla jednorodnego piasku dla zakresu obciążenia od $95\ kPa$ do $3926\ kPa$ osiągają wartości od $0,05$ do $0,06$ dla stanu luźnego i od $0,02$ do $0,03$ dla stanu zagęszczonego. Dla iłów wartość ta wynosi $0,20$.

Dla lekko prekonsolidowanych iłów i pyłów testowanych w stanie Louisiana w USA, Kaufmann i Shermann (1964) podają następujące wartości:

Grunt	**Efektywne naprężenie konsolidacyjne** σ_{cef} $[kPa]$	**Końcowe naprężenie efektywne w gruncie** σ_{ef} $[kPa]$	**Wskaźnik ściśliwości** C_c [-]
CL ił plastyczny	*160*	*200*	*0,34*
CL ił zwarty	*170*	*250*	*0,44*
ML pył o niskiej plastyczności	*230*	*350*	*0,16*
CH ił o wysokiej plastyczności	*280*	*350*	*0,84*
CH ił plastyczny z warstwami pyłu	*340*	*290*	*0,52*

Prof. Juan M.Pestana-Nascimento (Uniwersytet Stanu Kalifornia w Berkeley) proponuje następujące typowe wartości wskaźnika ściśliwości C_c:

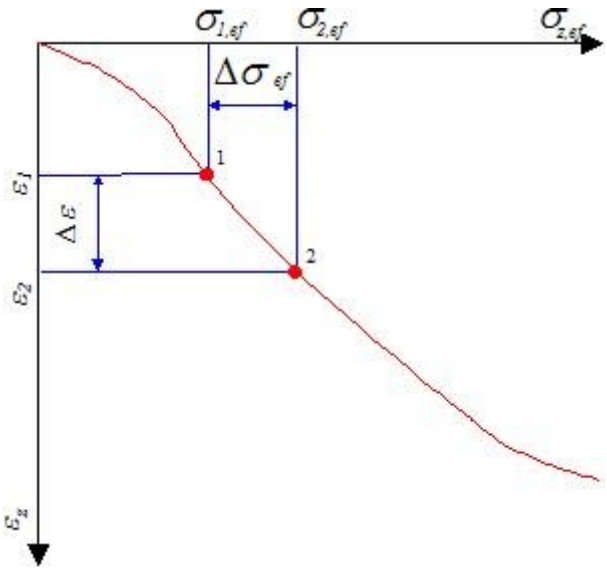
Grunt	**Wskaźnik ściśliwości** C_c [-]
Normalnie skonsolidowane iły	0,20 - 0,50
ił z pyłem z Chicago (CL)	0,15 - 0,30
niebieski ił z Bostonu (CL)	0,3 - 0,5
ił z Vickburga - suchy w grudkach (CH)	0,3 - 0,6
Szwedzki ił (CL - CH)	1 - 3
Kanadyjski ił z Ledy (CL - CH)	1 - 4
ił z miastaMexico (MH)	7 - 10
Iły organiczne (OH)	4 i więcej
Torfy (Pt)	10 - 15
Organiczne pyły i pyły ilaste (ML - MH)	1,5 - 4,0
Osady z San Francisco (CL)	0,4 - 1,2
Ił ze starej zatokice San Francisco	0,7 - 0,9
Ił z Bangkoku (CH)	0,4

Ponadto, istnieją empiryczne wyrażenia dostępne do wyznaczenia przybliżonych wartości C_c **dla pyłów, iłów i gruntów organicznych. Jednakże, ich zastosowanie jest mniej lub bardziej lokalne:**

Grunt	Równania	Według
Przekształcone iły	$C_c = 0,007\left(w_L - 7\%\right)$	Skempton 1944
Iły	$C_c = 1,15\left(e_0 - 0,35\right)$	Nishida 1956
Iły brazylijskie Iły Sao Paulo	$C_c = 0,256 + 0,43\left(e_0 - 0,84\right)$ $C_c = 0,0046\left(w_L - 9\%\right)$	Cozzolino 1961
Iły Nowy Jork	$C_c = 0,009\left(w_L - 10\%\right)$	Terzaghi a Peck 1948
Iły o niskiej plastyczności	$C_c = 0,75\left(w_0 - 0,50\right)$	Sowers 1970
Iły i pyły z Taipei	$C_c = 0,54\left(e_0 - 0,23\right)$ $C_c = 0,007\left(w_L - 7\%\right)$	Moh a kol. 1989
Iły	$C_c = ,2,303\rho_c e_0\left(1 - \left(\frac{0,4}{e_0}\right)^2\right)$ $C_c = \frac{a \cdot w_L}{100}\left(1 - \left(\frac{20}{w_L}\right)^2\right)$	Pestana 1994

Moduł edometryczny

Jeżeli wyniki badań edometrycznych przedstawiane są w postaci krzywej edometrycznej ($\Delta\varepsilon = f(\Delta\sigma_{ef})$), widać wówczas, że dla każdego punktu na krzywej otrzymujemy inny stosunek $\sigma_{ef} / \varepsilon$.



Wyznaczanie modułu edometrycznego Eoed

Jeżeli krzywa naprężenie - obciążenie zastępowana jest dla pewnego przedziału dwóch sąsiadujących naprężeń $\sigma_{1,ef}$ - $\sigma_{2,ef}$ sieczną, dopuszczalne jest przyjęcie liniowego zachowania gruntu w tym przedziale i reprezentowanie ściśliwości gruntu jako $\Delta\sigma_{ef}/\Delta\varepsilon$ - zwanym edometrycznym modułem ściśliwości. Edometryczny moduł ściśliwości jest zatem modułem siecznych połączonych z pewnym przedziałem naprężenia $\sigma_{1,ef}$ - $\sigma_{2,ef}$ wybranym na wykresie naprężenie - odkształcenie $\Delta\varepsilon = (\Delta\sigma_{ef})$:

$$E_{oed} = \frac{\Delta\sigma_{ef}}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_{2,ef} - \sigma_{1,ef}}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Ogólnie rzecz biorąc, edometryczny moduł ściśliwości E_{oed} dąży do zmniejszania swojej wartości zwiększając przedział naprężenia. Dlatego, należy rozważyć dla każdej warstwy określoną wartość E_{oed} dotyczącą danego przedziału naprężenia (od początkowego do końcowego stanu naprężenia). Jest to odzwierciedlone w programie przez sposób wprowadzania E_{oed}, gdzie istnieje możliwość określenia odpowiedniej krzywej edomerycznej dla każdego gruntu (wykres σ_{ef}/ε).

Doświadczenia sugerują jednak (np. dla iłów) kilka rzędów różnicy wartości pomiędzy wartością E_{oed} wyprowadzoną z modułu odkształcenia E_{def} a wartością określoną na podstawie krzywej obciążenia zmierzonej in situ.

Zależność pomiędzy E_{def} a E_{oed} jest następująca:

$$E_{oed} = \frac{E_{def}}{\beta}$$

$$\beta = 1 - \frac{2\,\nu^2}{1-\nu}$$

gdzie: ν - współczynnik Poissona

E_{def} - moduł odkształcenia

Przybliżone zakresy wartości edometrycznego modułu ściśliwości E_{oed} dla

poszczególnych gruntów oraz typowe zakresy naprężenia (Vaníček: Mechanika zemin (mechanika gruntów)):

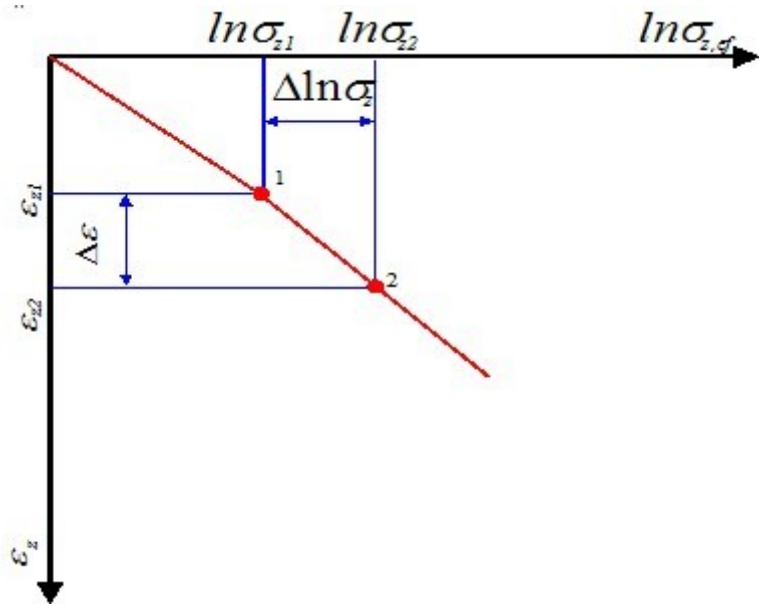
Grunt	**Moduł edometryczny** E_{oed} $[MPa]$
żwiry	*60 - 600*
średniozagęszczone piaski do zagęszczonych piasków	*7 - 130*
spoiste	*2 - 30*

Literature:

Vanicek, I.: Geomechanika 10: mechanika zemin. 3th edition, Prague, CTU, 2000, 229 s., ISBN 80-01-01437-1.

Stała ściśliwości

Podczas kreślenia efektywnego naprężenie pionowego do odkształcenia pionowego na pół-logarytmicznej skali uzyskujemy często liniową zależność.



Wyznaczanie stałej ściśliwości C

Nachylenie tej krzywej jest jednym z parametrów gruntu szczególnie w przypadku jednowymiarowego odkształcenia, zwanym stałą ściśliwości C:

$$C = \frac{1}{\Delta\varepsilon}.ln\frac{\sigma_{2,ef}}{\sigma_{1,ef}}$$

gdzie: σ_{1ef} - początkowe naprężenie efektywne gruntu w edometrze

σ_{2ef} - końcowe naprężenie efektywne gruntu w edometrze

Zakresy wartości stałej ściśliwości *C (J.Šimek: Mechanika zemin)*

Grunt	**Stała ściśliwości** C [-]
Pył lessowy	*15 - 45*
Ił	*30 - 120*
Pył	*60 - 150*
Średniozagęszczone i zagęszczone piaski	*150 - 200*
Piasek ze żwirem	*> 250*

Stała ściśliwości 10

W praktyce inżynieryjnej, naturalny logarytm z podstawą jest czasem zastępowany logarytmem z podstawą 10 przy kreśleniu naprężenia σ_{ef}. W takim przypadku, stałą ściśliwości powszechnie oznacza się indeksem dolnym 10: C_{10}, bowiem:

$$\log(x) = \frac{\ln(x)}{2,3}$$

istnieje możliwość wyprowadzenia zależności pomiędzy stałą ściśliwości C a C_{10}:

$$C_{10} = \frac{C}{2,3}$$

Arnold Verruijt (Mechanika gruntu) proponuje następujące wartości stałej ściśliwości:

Grunt	C	C_{10}
Piasek	50 - 500	20 - 200
Pył	25 - 125	10 - 50
Ił	10 - 100	4 - 40
Torf	2 - 25	1 - 10

Literatura:

Arnold Verruijt: Soil mechanics, Delft University of Technology, 2001, 2006, http://geo.verruijt.net/.

Wskaźnik porowatości

Wskaźnik porowatości e opisuje porowatość gruntu i wyznaczany jest z:

$$e = \frac{V_p}{V_s}$$

gdzie: V_p - objętość porów

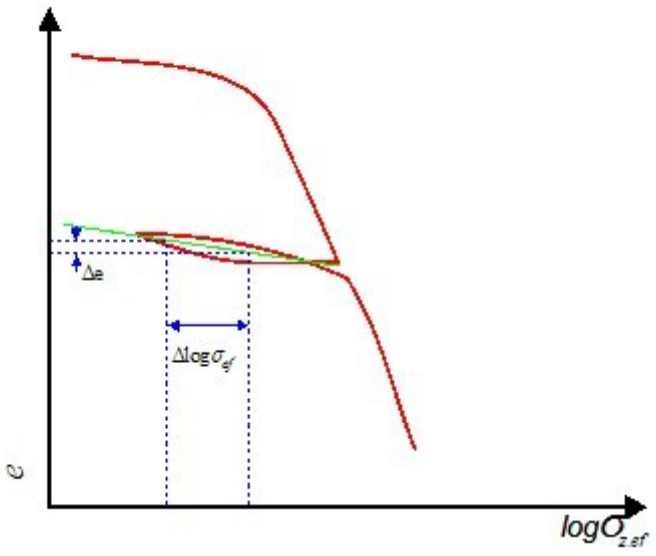
V_s - objętość ziaren gruntu

Zakresy wskaźnika porowatości e *(Braja M. DAS: Zasady inżynierii fundamentów)*

Grunt	**Wskaźnik porowatości** e [-]
Równoziarnisty piasek luźny	0,8
Różnoziarnisty piasek zagęszczony	0,45
Piasek luźny z okrągłymi ziarnami	0,65
Piasek zagęszczony z okrągłymi ziarnami	0,4
Ił zwarty	0,6
Ił plastyczny	0,9 - 1,4
Less	0,9
Organiczny ił plastyczny	2,5 - 3,2
Ił lodowcowy	0,3

Wskaźnik ściśliwości przy powtórnym obciążeniu

Wskaźnik ściśliwości przy powtórnym obciążeniu C_r wyznaczany jest z wykresu przedstawiającego zmianę wskaźnika porowatości e jako funkcję naprężenia efektywnego σ_{ef} kreśloną na skali logarytmicznej dla sekwencji odciążania - dociążania:



Wyznaczanie wskaźnika dekompresji Cr

$$C_r = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma_{ef}}$$

gdzie: Δe - zmiana wskaźnika porowatości dla krzywej odciążania-dociążania

$\Delta log\sigma_{ef}$ - zmiana naprężenia efektywnego dla krzywej odciążania-dociążania

W przypadku braku wyników laboratoryjnych lub pomiarów na miejscu, wskaźnik dekompresji C_r można w przybliżeniu wyprowadzić z:

$$C_r \cong \frac{1}{5} \sim \frac{1}{5} C_c$$

gdzie: C_c - wskaźnik ściśliwości

Parametry w teorii Janbu

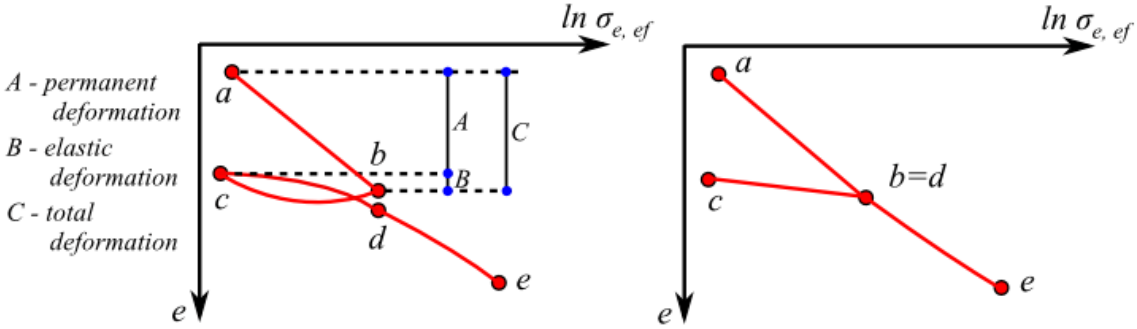
Wartości modułu Janbu m **oraz wykładnika naprężenia** j (zgodnie z Podręcznikiem Kanadyjskiej Inżynierii Fundamentów 1992).

Grunt	**Moduł Janbu** m	**Wskaźnik naprężenia** j
Ił zwałowy, lodowcowy zwarty i bardzo zwarty	*1000 - 300*	*1*
Żwir	*400 - 40*	*0,5*
Zagęszczony piasek	*400 - 250*	*0,5*
Średniozagęszczony piasek	*250 - 150*	*0,5*
Luźny piasek	*150 - 100*	*0,5*
Zwarty pył	*200 - 80*	*0,5*
Twardoplastyczny pył	*80 - 60*	*0,5*
Luźny pył	*60 - 40*	*0,5*
Ił półzwarty do zwartego	*60 - 20*	*0*
Ił twardoplastyczny do półzwartego	*20 - 10*	*0*
Miękkoplastyczny pył ilasty	*10 - 5*	*0*
Miękkoplastyczne iły morskie	*20 - 5*	*0*
Iły organiczne	*20 - 5*	*0*
Torfy	*5 - 1*	*0*

Wpływ historii obciążania

Historia obciążenia ma znaczny wpływ na rozkład krzywej deformacji, a zatem także na wartości parametrów odkształceniowych. Następujący rysunek przedstawia krzywą

odkształcenia ($\Delta e = f(\Delta\sigma_{ef})$ schemat) wyprowadzoną na podstawie edometrycznego badania obciążenia odpowiadającemu na przykład piaszczystemu, zagęszczonemu gruntowi naturalnemu.



Historia obciążenia a) Krzywa deformacji dla gruntów ilastych na podstawie badań edometrycznych b) Uproszczona interpretacja krzywej odkształcenia

Próbka gruntu była stopniowo obciążana w celu osiągnięcia poziomu naprężenia σ_{bef}, zależność naprężenie - odkształcenie (σ_{bef} - ε) w przedziale a-b jest liniowe i oznaczone jako pierwotne lub dziewicze (tzn. pojawiła się ściśliwość względna). Po przekroczeniu poziomu naprężenia σ_{bef} próbka została sprężyście odciążona, a grunt przesunął się w górę przedziału b-c krzywej deformacji. Po dociążeniu, grunt przesunął się dół przedziału b-c aż do osiągnięcia pierwotnego naprężenia σ_{bef} przed odciążeniem. Przy obciążeniu powyżej σ_{bef} krzywa deformacji zbliża się asymptotycznie w przedziale d-e, do linii pierwotnej, której towarzyszy niesprężysta deformacja próbki gruntu. Taka złożona krzywa naprężenia - odkształcenia jest często upraszczana idealizowaną krzywą deformacji (rys. b). Taka krzywa charakteryzuje tak zwane grunty prekonsolidowane, które w przeszłości były poddawane dużym naprężeniom, a następnie były odciążane. Stopień prekonsolidowania (**OCR**) reprezentuje wówczas stosunek pomiędzy maksymalnym naprężeniem przed konsolidacją, jakiego grunt kiedykolwiek doświadczył, a aktualnym naprężeniem pionowym. Prekonsolidowane grunty zazwyczaj posiadają krzywą deformacji wyznaczoną przez punkty c-d-e. Zmiana nachylenia wzdłuż tej linii (wyznaczona mniej więcej punktem d) odpowiada pionowemu naprężeniu geostatycznemu σ_O (normalnie skonsolidowane grunty) lub parciu przed konsolidacją σ_C (prekonsolidowane grunty). Punkt ten wpływa na odkształcenie gruntu, które jest mniejsza w przedziale c-d w porównaniu z przedziałem d-e (gdzie dla większego stopnia prekonsolidowania zwiększa się odkształcenie gruntu). Dodatkowe charakterystyki deformacji, takie jak moduł deformacji po odciążeniu E_e, jednowymiarowy wskaźnik pęcznienia C_e, wskaźnik ściśliwości przy powtórnym obciążeniu C_r, itp. zostały wprowadzone w celu opisania tak złożonego zachowania gruntu. Aktualnie, najczęściej stosowanym parametrem jest wskaźnik dekompresji C_r odpowiedni do obliczenia osiadania gruntów prekonsolidowanych.

Współczynnik m

Współczynnik korekcji obciążenia na skutek wytrzymałości strukturalnej m wyznacza wytrzymałość strukturalną gruntu.

Wartości współczynnika korekcji obciążenia m

Typ podłoża gruntowego	m
Bardzo ściśliwe grunty drobne klasy F1 -F8 - o module odkształcenia E_{def} < *4 MPa* - nieprekonsolidowane - o konsystencji od miękkiej do twardej (wszystkie 3 atrybuty muszą być spełnione), wypełnienie, grunt nasypowy osady drugorzędowe i trzeciorzędowe skały klasy R1, R2	0,1
grunty drobnoziarniste klasy F1-F8, nie należące do współczynnika m = 0,1 nor 0,4 nor 0,6 piaski i żwiry klasy S1, S2, G1, G2 poniżej ZWG skały klasy R3, R4	0,2
Piaski i żwiry klasy S1, S2, G1, G2 ponad ZWG piaski i żwiry z pyłem, iłem lub gruntem drobnoziarnistym grunty klasy S3, S4, S5, G3, G4, G5 skały klasy R5, R6	0,3
eluwium skał magmowych i metamorficznych	0,4

Zmodyfikowany wskaźnik ściśliwości

Analiza wykorzystująca model Soft Soil została oparta na modelu sprężysto - plastycznym opracowanym w uniwersytecie Cambridge. Tutaj, pionowa deformacja gruntu ε zakłada liniową różnicę w logarytmicznej zmianie efektywnego naprężenia w gruncie. Zastosowanie tego modelu wymaga wprowadzenia zmodyfikowanego wskaźnika ściśliwości λ zazwyczaj uzyskiwanego z testów trójosiowych.

Jeżeli zmodyfikowany wskaźnik ściśliwości λ jest niedostępny z pomiarów laboratoryjnych, wówczas można go aproksymować na podstawie wskaźnika ściściśliwości C_C:

$$\lambda = \frac{C_C}{2{,}3.(1+e)}$$

gdzie: C_C - wskaźnik ściśliwości

e - średni wskaźnik porowatości (jeżeli wartość ta jest niedostępna, można wówczas zastąpić ją początkowym wskaźnikiem porowatości e_o)

Wskaźnik ściśliwości wtórnej

Wskaźnik ściśliwości wtórnej jest proporcjonalny do logarytmu czasu i nachylenia pierwotnej konsolidacji (jest silnie zależny od końcowego naprężenia efektywnego w gruncie):

$$C_\alpha = \frac{\Delta \varepsilon}{\log t_2 - \log t_1}$$

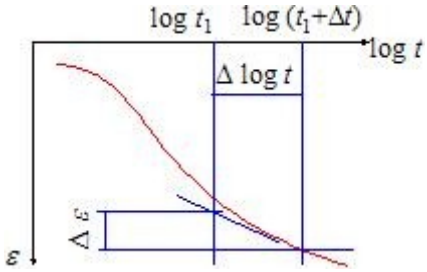
gdzie: $C\alpha$ - wskaźnik ściśliwości wtórnej

α - deformacja warstwy gruntu

t_1 - początkowy czas okresu monitorowania (mierzony od początku konsolidacji)

t_2 - końcowy czas okresu monitorowania

Wyznaczenie wartości wskaźnika ściśliwości wtórnej C_α wymaga pomiarów laboratoryjnych (np. jednowymiarowa konsolidacja w edometrze) lub na miejscu:



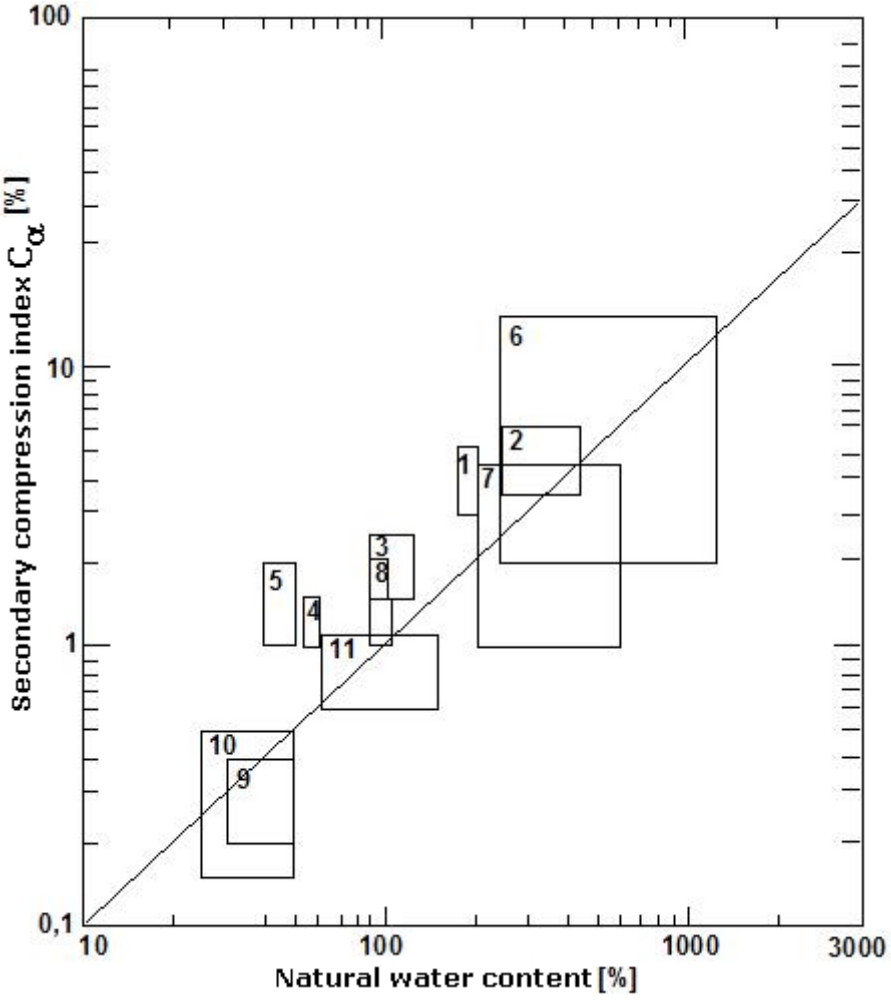
Wyznaczanie wskaźnika ściśliwości wtórnej Ca

Zakresy wartości wskaźnika ściśliwości wtórnej C_α

piasek	0,00003 - 0,00006
less pylasty	0,0004
ił	0,01

Stosunek pomiędzy wskaźnikiem ściśliwości wtórnej C_αa wskaźnikiem ściśliwości C_c jest mniej więcej stały dla większości normalnie skonsolidowanych glin dla obciążenia typowego w praktyce inżynierskiej. Jego średnia wartość wynosi 0,05.

Zmiana naturalnej wilgotności gruntu jako funkcja wskaźnika ściśliwości wtórnej C_α wyprowadzona przez Mesri'ego została przedstawiona na rysunku:



Zmiana naturalnej wilgotności gruntu jako funkcja wskaźnika ściśliwości wtórnej Ca wg Mesri'ego

1 Ił Whangamarino
2 Ił miasta Mexico
3 Wapienny pył organiczny
4 ił Leda
5 Norweski ił plastyczny
6 Amorficzny torf
7 Kanadyjski muskeg
8 Organiczne osady morskie
9 Niebieski ił z Bostonu
10 Niebieski ił z Chicago
11 Organiczna ił pylasty

Wskaźnik prekonsolidacji ściśliwości wtórnej

Wskaźnik prekonsolidacji ściśliwości wtórnej zależny jest od pomiarów laboratoryjnych (np. konsolidacja jednowymiarowa) i jest proporcjonalny do logarytmu czasu i linii nachylenia konsolidacji pierwotnej, jeżeli parcie prekonsolidacji nie zostało przekroczone:

$$C_{\alpha_r} = \frac{\Delta\varepsilon}{\log t_2 - \log t_1}$$

gdzie: $C\alpha_r$ - wskaźnik prekonsolidacji ściśliwości wtórnej

ε - deformacja warstwy gruntu

t_1 - początkowy czas okresu monitorowania (mierzony od początku konsolidacji)

t_2 - końcowy czas okresu monitorowania

Obliczenia w programie wyrobisko

Obliczenia wykonywane w programie "**Wyrobisko**" można podzielić na następujące grupy:

- Analiza kształtu niecki osiadania nad wyrobiskami
- Analiza uskodzeń budynków

Analiza uszkodzeń budynków przeprowadzana jest na podstawie kształtu niecki osiadania.

Analiza niecki osiadania

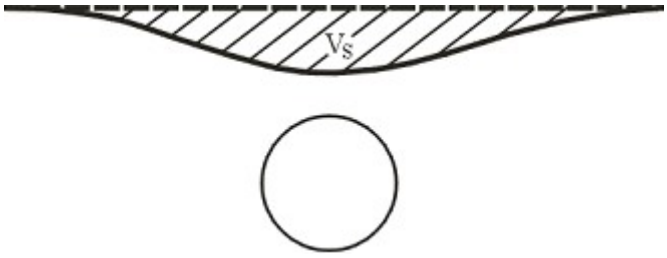
Analiza niecki osiadania składa się z kilku kolejnych kroków:

- Wyznaczenie **maksymalnego osiadania** i **wymiarów niecki osiadania** dla poszczególnych wyrobisk
- Analiza kształtu niecki osiadania
- Wsteczne obliczenie kształtu i wymiarów niecki osiadania pod warunkiem, że jest obliczana na danej głębokości poniżej powierzchni terenu
- Wyznaczenie ogólnego kształtu niecki osiadania dla kilku wyrobisk
- Wyznaczanie innych zmiennych (deformacja pozioma, pochylenie)

Obliczenia maksymalnego osiadania i wymiarów niecki osiadania można przeprowadzić za pomocą teorii straty objętości lub teorii klasycznych (Peck, Fazekas, Limanov).

Strata objętości

Metoda straty objętości jest pół-empiryczną metodą opartą częściowo na gruncie teoretycznym. Pomimo, że pośrednio, metoda ta wprowadza do analizy podstawowe parametry wyrobiska (w tym parametry mechaniczne ośrodka, obudowa wyrobiska, itp.) za pomocą 2 wyczerpujących parametrów (**współczynnik** k **do wyznaczania punktu przegięcia** oraz **procentu straty objętości** VL). Parametry te jednoznacznie definiują kształt niecki osiadania i są wyznaczane empirycznie na podstawie wieloletnich doświadczeń.



Osiadanie wyrażone w objętości

Maksymalne osiadanie S_{max}, oraz położenie punktu przegięcia L_{inf} są przedstawione następującymi wyrażeniami:

$$L_{inf} = k.Z$$

$$S_{max} = \frac{A.VL}{100}.\frac{1}{\sqrt{2.\pi.L_{inf}}}$$

gdzie:
- A - obszar wyrobiska
- Z - głębokość środkowego punktu wyrobiska
- k - współczynnik obliczania punktu przegięcia (stała materiału)
- VL - procent straty objętości

Deformacja stropu u_a wynika z:

$$u_a = \frac{2.r - \sqrt{4.r^2 - \frac{4.r^2.VL}{100}}}{2}$$

gdzie:
- r promień wyrobiska
- V_L procent straty objętości

Literatura:

"http://www.groundloss.com/"

Zalecane wartości parametrów do obliczeń straty objętości

Dane niezbędne do wyznaczenia niecki osiadania za pomocą metody straty objętości:

Współczynnik do obliczenia punktu przegięcia k

Grunt lub skała	k
Grunt niespoisty	0,3
normalnie skonsolidowana glina	0,5
przekonsolidowana glina	0,6 - 0,7
łupek ilasty	0,6 - 0,8
kwarcyt	0,8 - 0,9

Procent straty objętości VL

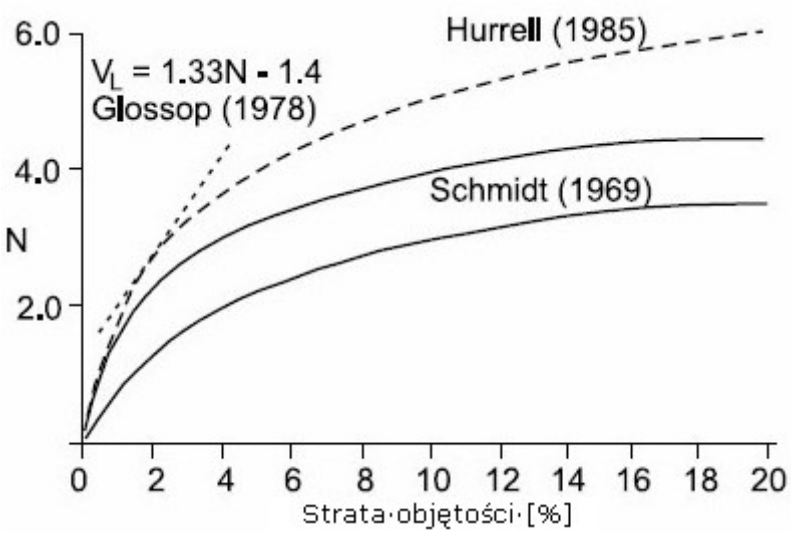
Technologia	VL
TBM	0,5 - 1
Metoda wyrobisk sekwencyjnych (NATM)	0,8 - 1,5

Kilka związków zostało również wyprowadzonych do wyznaczenia wartości straty objętości VL na podstawie współczynnika stateczności N zdefiniowanego przez Broms'a i Bennermarkem'a:

$$N = \frac{\sigma_v . \sigma_t}{S_u}$$

gdzie:
- σ_v ogólne naprężenie wzdłuż osi wyrobiska
- σ_t wytrzymałość obudowy wyrobiska (jeżeli zainstalowano)
- S_u niezdrenowana sztywność gliny

Zakłada się, że dla $N < 2$ grunt/skała obok wyrobiska jest elastyczna i stateczna. Dla $N \in < 2,4$ lokalne strefy plastyczne zaczynają powstawać w otoczeniu wyrobiska, dla $N \in < 4,6$ duże strefy plastyczne powstają dokoła wyrobiska, natomiast dla $N = 6$ występuje utrata stateczności lica tunelu. Rysunek przedstawia zależność stateczności i straty objętości VL.



Literatura:

Broms, B.B., Bennemark, H., 1967. Stability of clay at vertical openings. ASCE, Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, SMI 93, 71-94.

Teoria klasyczna

Analiza konwergencji wyrobiska i obliczenie maksymalnego osiadania w **jednorodnej bryle** są identyczne dla wszystkich teorii klasycznych. Natomiast, analizy niecki osiadania różnią się w zależności od przyjętej teorii (Peck, Fazekas, Limanov).

Podczas obliczania osiadania program najpierw wyznacza obciążenie promieniowe kolistego wyrobiska, jako:

$$p = \sigma_z . \frac{1 + K_r}{2}$$

gdzie:
- σ_z naprężenie geostatyczne w środku wyrobiska
- K_r współczynnika ciśnienia spoczynkowego gruntu spoistego

Deformacje stropu u_a i dna u_b wyrobiska wynikają z:

$$u_a = (1+\nu) . \frac{p}{E} . r . \frac{Z + (1-2\nu) . r}{Z + r}$$

$$u_b = -(1+\nu) . \frac{p}{E} . r . \frac{Z + (1-2\nu) . r}{Z + r}$$

gdzie:
- Z głębokość środka wyrobiska
- r promień wyrobiska
- E moduł sprężystości skały/gruntu w pobliżu wyrobiska
- ν współczynnik Poisson'a skały/gruntu w pobliżu wyrobiska

Maksymalne osiadanie terenu i długość niecki osiadania są wyznaczane w następujący sposób:

$$S_{max} = \left(1 - \nu^2\right) \frac{p}{E} . r . \frac{4.r^2 . Z}{Z^2 - r^2}$$

$$L = 2.\sqrt{Z^2 - r^2}$$

gdzie:
- Z głębokość środka wyrobiska
- r promień wyrobiska
- E moduł sprężystości skały/gruntu w pobliżu wyrobiska
- ν współczynnik Poisson'a skały/gruntu w pobliżu wyrobiska

Kiedy **wymaga się przemieszczenia stropu tunelu**, wówczas maksymalne osiadanie wyznaczane jest następującym wyrażeniem:

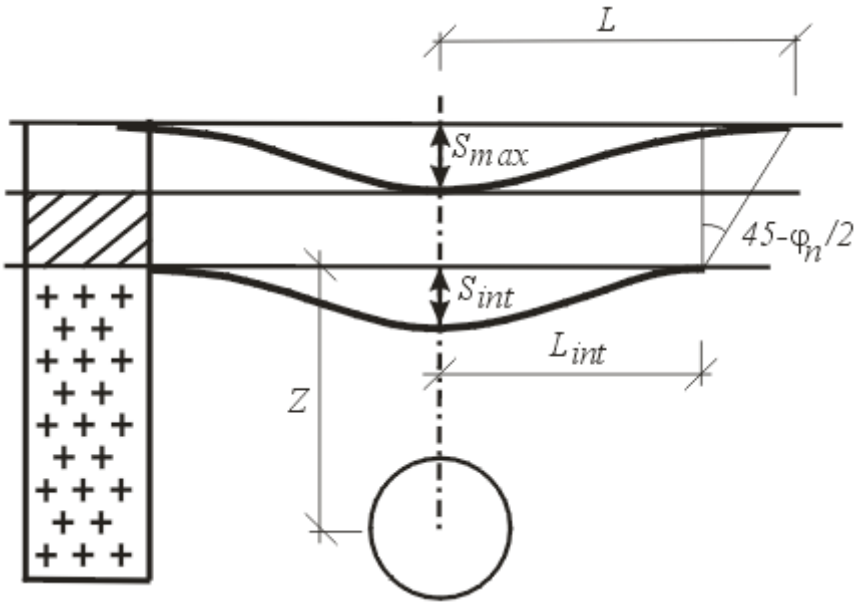
$$S_{max} = 4.u_a . \frac{Z.(1 - \nu)}{(Z + r).(Z + r + 2.\nu.r)}$$

gdzie:
- Z głębokość środka wyrobiska
- r promień wyrobiska
- u przemieszczenie stropu tunelu
- a
- ν współczynnik Poisson'a skały/gruntu w pobliżu wyrobiska

Analiza podłoża uwarstwionego

Podczas wyznaczania osiadania podłoża warstwowego program oblicza najpierw osiadanie na granicy pomiędzy pierwszą warstwą na wyrobiskiem a warstwami nadkładu S_{int} i wyznacza długość niecki osiadania wzdłuż granic warstw. W takim przypadku, podejście odpowiada podejściu stosowanemu dla gruntu jednorodnego.

Następnie (jak pokazano na Rysunku) program wyznacza długość niecki osiadania L na powierzchni terenu.



Analiza osiadania dla podłoża warstwowego

Następne obliczenie różni się w zależności od wybranej teorii:

Rozwiązanie według Limanova

Limanov opisał poziome przemieszczenie nad wyrobiskiem za pomocą utraconego obszaru F:

$$S_{max} = \frac{L}{F}$$

gdzie: L - długość niecki osiadania

F - strata objętości gruntu na 1 m bieżący wyznaczana z:

$$F = S_{int} . \pi . \frac{L_{int}}{2}$$

gdzie: L_{int} - długość niecki osiadania wzdłuż warstw nad wyrobiskiem

S_{int} - osiadanie odpowiedniej warstwy

Rozwiązanie według Fazekasa

Fazekas opisał poziome przemieszczenie na wyrobiskiem za pomocą następującego wyrażenia:

$$S_{max} = S_{int} . \frac{L_{int}}{L}$$

gdzie: L - długość niecki osiadania

L_{int} - długość niecki osiadania wzdłuż warstw nad wyrobiskiem

S_{int} - osiadanie odpowiedniej warstwy

Rozwiązanie według Pecka

Peck opisał poziome przemieszczenie na wyrobiskiem za pomocą następującego wyrażenia:

$$S_{max} = S_{int} \cdot \frac{L_{int}}{L_{inf}}$$

gdzie: L_{int} - długość niecki osiadania wzdłuż warstw nad wyrobiskiem

S_{int} - osiadanie odpowiedniej warstwy

L_{inf} - odległość punktu przegięcia niecki osiadania od osi wyrobiska na powierzchni terenu

Literatura:

Széchy, Károly, The art of tunelling,Budapest : Akadémiai Kiadó, 1966.

Kształt niecki osiadania

Program oferuje dwa poszczególne kształty niecek osiadania - według Gauss'a lub Aversin'a.

Krzywa według Gauss'a

Wiele badań przeprowadzonych w USA i Wielkiej Brytanii wykazało, że poprzeczny kształt niecki osiadania można dobrze oszacować za pomocą funkcji Gauss'a. Założenie to pozwala wyznaczyć poziome przemieszczenie w odległości x od poziomej osi symetrii, jako:

$$S_i = S_{max} \cdot e^{\left(\frac{-x_i^2}{2 \cdot L_{inf}^2}\right)}$$

gdzie: S_i - osiadanie w punkcie o współrzędnych x_i

S_{max} - maksymalne osiadanie terenu

L_{inf} - odległość punktu przegięcia

Krzywa według Aversin'a

Aversin wyprowadził - na podstawie badania wzrokowego i pomiarów konstrukcji podziemnych w Rosji - następujące wyrażenie na kształt niecki osiadania:

$$S_i = S_{\max} \cdot \left(1 - \frac{x_i}{L}\right)^4 \cdot e^{\left(\frac{4 \cdot x_i}{L}\right)}$$

gdzie: S_i - osiadanie w punkcie o współrzędnych x_i

S_{max} - maksymalne osiadanie terenu

L - zasięg niecki osiadania

Literatura:

Széchy, Károly, The art of tunelling,Budapest : Akadémiai Kiadó, 1966

Współczynnik obliczania punktu przegięcia

Kiedy stosowane są metody klasyczne, wprowadzony współczynnik k_{inf} pozwala na wyznaczenie położenia punktu przegięcia na podstawie $L_{inf} = L/k_{inf}$. W takim przypadku współczynnik k_{inf} reprezentuje bardzo ważny parametr wejściowy silnie wpływający na kształt i nachylenie niecki osiadania. Jego wartość zależy odpowiednio od średniego gruntu lub skały w nadkładzie - literatura oferuje wartości k_{inf} w zakresie 2,1 - 4,0.

Na podstawie szeregu obliczeń MES, zalecane są następujące wartości:

- grunty gruboziarniste G1-G3 $k_{inf} = 3,5$
- piaski i grunty gruboziarniste S1-S5,G4,G5, skały R5-R6 $k_{inf} = 3,0$
- grunty drobnoziarniste F1-F4 $k_{inf} = 2,5$
- grunty drobnoziarniste F5-F8 $k_{inf} = 2,1$

Współczynnik obliczania punktu przegięcia wprowadza się w ramce "Ustawienia".

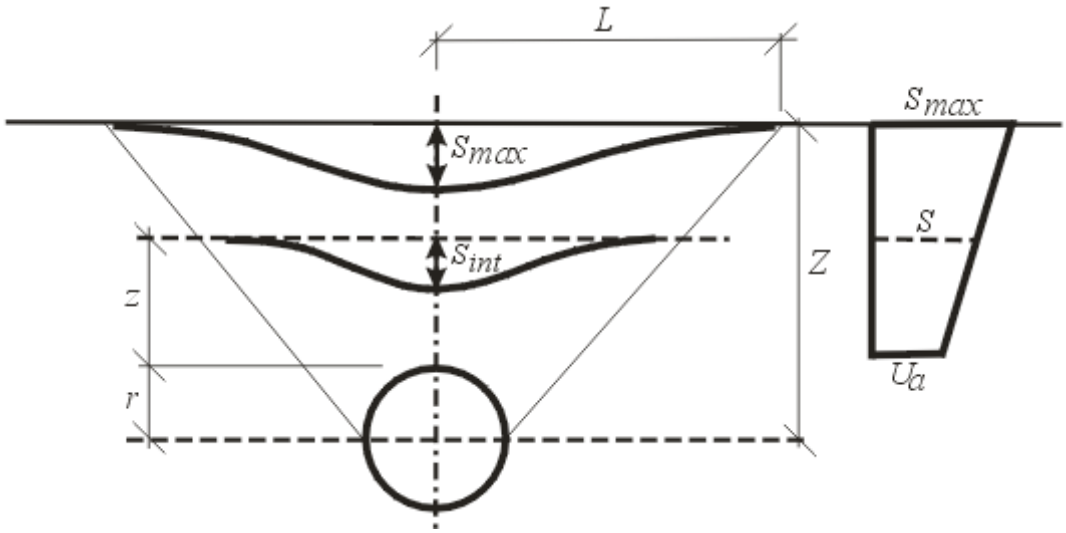
Niecka osiadania przy kilku wyrobiskach

Zasadę superpozycji stosuje się podczas obliczania osiadania spowodowanego strukturalnymi wyrobiskami lub kilkoma wyrobiskami. Na podstawie parametrów wejściowych, program najpierw wyznacza niecki osiadania i poziome przemieszczenia dla poszczególnych wyrobisk. Następnie wyznaczana jest ogólna/całkowita niecka osiadania.

Inne zmienne, takie jak naprężenie poziome i gradient niecki osiadania, są wyznaczane na podstawie ogólnej/całkowitej niecki osiadania.

Analiza niecki osiadania na głębokości

Liniowa interpolacja pomiędzy maksymalną wartością osiadania S_{max} na powierzchni terenu a przemieszczeniem stropu wyrobiska u_a jest używana do obliczenia maksymalnego osiadania S na głębokości h poniżej powierzchni terenu w gruncie jednorodnym.



Obliczanie niecki osiadania na głębokości

Szerokość niecki osiadania na nadkładzie l wyznaczana jest z:

$$l = \frac{(L-r).(z+r)}{Z} + r$$

gdzie:
- L - długość niecki osiadania na powierzchni terenu
- r - promień wyrobiska
- Z - głębokość środkowego punktu wyrobiska
- z - analiza głębokości

Wartości l i S są następnie stosowane do wyznaczenia kształtu niecki osiadania w nadkładzie nad wyrobiskiem.

Obliczanie innych zmiennych

Pionowemu osiadaniu towarzyszy rozwijanie się przesunięć poziomych, które mogą spowodować uszkodzenia pobliskich budynków. Poziome przemieszczenie można wyznaczyć z osiadania pionowego pod warunkiem, że powstałe wektory przemieszczenia są skierowane do środka wyrobiska. W takim przypadku, przemieszczenie poziome gruntu jest wyznaczane z następującego równania:

$$S_x = -\frac{s(x)}{Z}$$

gdzie:
- x - odległość punktu x od osi wyrobiska
- $s(x)$ - osiadanie w punkcie x
- Z - głębokość środkowego punktu wyrobiska

Przemieszczenia poziome wyznaczane są w sposób różnicowy wzdłuż osi x i w kierunku poprzecznym, można je wyrazić następującym wyrażeniem:

$$\varepsilon_x = \frac{s(x)}{Z}.\left(\frac{x^2}{L_{inf}^2} - 1\right)$$

gdzie:
- x - odległość punktu x od osi wyrobiska
- $s(x)$ - osiadanie w punkcie x
- Z - głębokość punktu środkowego wyrobiska
- L_{inf} - odległość punktu przegięcia

Analiza uszkodzeń budynków

Program najpierw wyznacza kształt i wymiary niecki osiadania, a następnie przeprowadza analizę ich wpływu na budynki.

Program oferuje cztery typy obliczeń:

- wyznaczenie zarysowania przy rozciąganiu

- wyznaczenie uszkodzenia gradientowego
- wyznaczenie względnego przemieszczenia budynków (do góry, do dołu)
- analiza fragmentu budynku

Zarysowanie przy rozciąganiu

Jedną z przyczyn uszkodzeń budynków jest poziome naprężenie przy rozciąganiu. Program zaznacza kolorowym wzorem poszczególne części budynku, które odpowiadają danej klasie uszkodzenia. Maksymalna wartość naprężenia przy rozciąganiu jest podana w polu tekstowym.

Program oferuje zdefiniowane strefy uszkodzeń dla budynków z cegły. Wartości te można modyfikować w ramce "Ustawienia fazy". Obszerne doświadczenie uzyskane przy wielu zrealizowanych tunelach pod terenami zabudowanymi pozwoliły wyprowadzić powiązania pomiędzy kształtem niecki osiadania a uszkodzeniami budynków do takiej dokładności, że na tej podstawie istnieje możliwość oszacowania zakresu kompensacji możliwych uszkodzeń spowodowanych wyrobiskami z dokładnością akceptowalną do przygotowania dokumentów umownych, a dla wykonawców do przygotowania ofert na roboty tunelowe.

Zalecane wartości dla budynków z cegły od jednego do sześciu pięter zostały podane w poniższej tabeli.

Naprężenia poziome (na milę)

Proporcjonalne h.s. (na milę)	**Uszkodzenia**	**Opis**
0.2 - 0.5	Mikro rysy	Mikro zarysowania
0.5 - 0.75	Bardzo małe uszkodzenia - powierzchowne	Pęknięcia tynku
0.75 - 1.0	Małe uszkodzenia	Małe pęknięcia ścian
1.0 - 1.8	Średnie uszkodzenia, funkcjonalne	Pęknięcia w ścianach, problemy z oknami i drzwiami
1.8 -	Duże uszkodzenia	Szeroko otwarte pęknięcia w ścianach nośnych i belkach

Gradient niecki

Jedną z przyczyn prowadzących do uszkodzenia budynków jest nachylenie niecki osiadania. Program zaznacza kolorowym wzorem poszczególne części budynku, które odpowiadają danej klasie uszkodzenia. Maksymalna wartość naprężenia przy rozciąganiu jest podana w polu tekstowym.

Program oferuje zdefiniowane strefy uszkodzeń dla budynków z cegły. Wartości te można modyfikować w ramce "Ustawienia fazy". Obszerne doświadczenie uzyskane przy wielu zrealizowanych tunelach pod terenami zabudowanymi pozwoliły wyprowadzić powiązania pomiędzy kształtem niecki osiadania a uszkodzeniami budynków do takiej dokładności, że na tej podstawie istnieje możliwość oszacowania zakresu kompensacji możliwych uszkodzeń

spowodowanych wyrobiskami z dokładnością akceptowalną do przygotowania dokumentów umownych, a dla wykonawców do przygotowania ofert na roboty tunelowe.

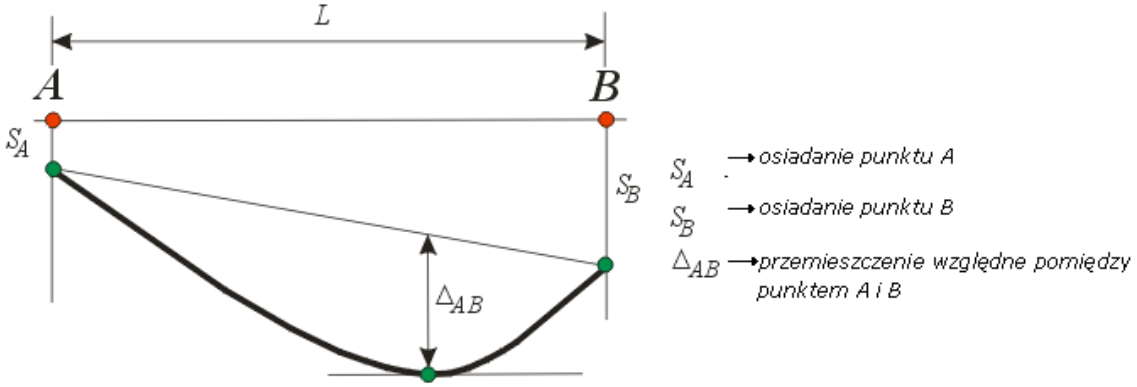
Zalecane wartości dla budynków z cegły od jednego do sześciu pięter zostały podane w poniższej tabeli.

Gradient:

Gradient	**Uszkodzenia**	**Opis**
1:1200 - 800	Mikro rysy	Mikro zarysowanie
1:800 - 500	Bardzo małe uszkodzenia - powierzchowne	Pęknięcia tynku
1:500 - 300	Małe uszkodzenia	Małe pęknięcia ścian
1:300 - 150	Średnie uszkodzenia, funkcjonalne	Pęknięcia w ścianach, problemy z oknami i drzwiami
1:150 - 0	Duże uszkodzenia	Szeroko otwarte pęknięcia w ścianach nośnych i belkach

Przemieszczenie względne

Definicja terminu przemieszczenia względnego wynika z rysunku. Program przeszukuje obszary na budynkach z maksymalnym względnym przemieszczeniem w górę, jak i w dół. Niewątpliwe, z punktu widzenia uszkodzeń budynku, najbardziej krytyczne jest uszkodzenie w górę prowadzące do "**otwarcia przy rozciąganiu**" budynku.



Przemieszczenie względne

Weryfikacja maksymalnego przemieszczenia względnego po lewej stronie - poniższe tabele przedstawiają listę najwyższych wartości zalecanych przez literaturę.

Typ budowli	**Typ uszkodzenia**	**Największe względne ugięcie** Δ/l			
		Burland i Wroth	Meyerhof	Polshin i Tokar	ČSN 73 1001
Niezbrojone ściany nośne	Pęknięcia w ścianach	Dla L/H = 1 - 0,0004 Dla L/H = 5 - 0,0008	0,0004	0,0004	0,0015
	Pęknięcie w konstrukcjach nośnych	Dla L/H = 1 - 0,0002 Dla L/H = 5 - 0,0004	-	-	-

Analiza fragmentu budynku

W danej części program wyznacza następujące zmienne:

- maksymalne odkształcenie
- maksymalny gradient
- maksymalne przemieszczenia względne
- **względny gradient** pomiędzy wprowadzonymi punktami budynku

Ocena analizowanego fragmentu pozostawiona jest użytkownikowi - poniższe tabele przedstawiają zalecane najwyższe wartości względnego obrotu i ugięcia.

Typ budowli	**Typ uszkodzenia**	**Największy gradient względny**				
		Skempton	Meyerhof	Polshin i Tokar	Bjerrum	ČSN 73 1001
Konstrukcje ramowe i zbrojone ściany nośne	Strukturalne	1/150	1/250	1/200	1/150	
	Pęknięcia w ścianach	1/300	1/500	1/500	1/500	1/500

Typ budowli	**Typ uszkodzenia**	**Największe ugięcie względne** Δ/l			
		Burland i Wroth	Meyerhof	Polshin i Tokar	ČSN 73 1001
Niezbrojone ściany nośne	Pęknięcia w ścianach	Dla L/H = 1 - 0,0004 Dla L/H = 5 - 0,0008	0,0004	0,0004	0,0015
	Pęknięcia w konstrukcjach nośnych	Dla L/H = 1 - 0,0002 Dla L/H = 5 - 0,0004	-	-	-

Wymiarowanie konstrukcji betonowych

Konstrukcje betonowe można wymiarować na podstawie następujących norm:

- EN 1992-1-1 (EC2) lub EN 1992-2
- CSN 73 1201R
- CSN 73 6206 (tylko dla Przyczółku)
- PN-B-03264:2002
- BS 8110:1997
- IS 456
- ACI 318-11
- AS 3600-2001
- SNiP 52-101-2003
- GB 50010-2002
- NZS 3101-2006
- CSA A23.3-14
- NBR 6118-2014

EN 1992-1-1 (EC2)

Pomoc ta zawiera następujące metody obliczeniowe:

- Materiały, współczynniki, oznaczenia
- Standardowe wartości współczynników
- Analiza przekroju poprzecznego z betonu niezbrojonego
- Analiza prostokątnego przekroju żelbetowego
- Analiza żelbetowego przekroju kołowego
- Analiza fundamentu bezpośredniego na przebicie
- Projektowanie zbrojenia podłużnego w płytach
- Projektowanie zbrojenia na ścinanie w płytach
- Sprawdzenie rozwarcia rys

Materiały, współczynniki, oznaczenia

Stosuje się następujące oznaczenie parametrów materiału:

f_{ck} - wartość charakterystyczna wytrzymałości cylindrycznej betonu na ściskanie

f_{cd} - wytrzymałość obliczeniowa betonu na ściskanie

f_{cm} - średnia wartość wytrzymałości betonu na ściskanie

f_{ctm} - średnia wartość wytrzymałości betonu na rozciąganie

$f_{ctk0,05}$ - niższa wartość charakterystycznej wytrzymałości betonu na rozciąganie

f_{ctd} - wytrzymałość obliczeniowa betonu na rozciąganie

f_{yk} - wytrzymałość charakterystyczna na rozciąganie pręta stalowego

f_{yd} - wytrzymałość obliczeniowa na rozciąganie pręta stalowego

Charakterystyczna wytrzymałość betonu na ściskanie jest podstawowym parametrem wejściowym wynikającym z klasy betonu - służy do wyprowadzenia pozostałych współczynników niezawodności (Tab. 3.1).

$$f_{cd} = \alpha_{cc}.\frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8$$

$$f_{ctm} = 0{,}3.(f_{ck})^{\frac{2}{3}}$$ pro: $f_{ck} \leq 50\ Mpa$

$$f_{ctm} = 2{,}12.ln\left(1 + \frac{f_{cm}}{10}\right)$$ pro: $f_{ck} > 50\ Mpa$

$$f_{ctk,005} = 0{,}7.f_{ctm}$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct}.\frac{f_{ctk,005}}{\gamma_c}$$

$$E_{cm} = 22.\left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

Standardowe wartości współczynników α_{cc}, γ_c, α_{ct}, γ_s są wbudowane w programie - wartości te mogą być również definiowane przez użytkownika w zależności od **wybranego Załącznika krajowego**.

Najbardziej powszechne oznaczenie dla parametrów geometrycznych:

b - szerokość przekroju poprzecznego

h - wysokość przekroju poprzecznego

d - wysokość efektywna przekroju poprzecznego

z - ramię dźwigni (ramię sił wewnętrznyc

Standardowe wartości współczynników częściowych

Norma ta zawiera kilka współczynników, które można dostosować w **załącznikach norm krajowych**. Tabela przedstawia opis poszczególnych współczynników, ich wartości oraz odpowiedni paragraf normy. W niektórych przypadkach wzór zawiera zmienną, która nie posiada symbolu w normie - w takim przypadku zmienna ta **jest oznaczona w wyrażeniu znakiem** X.

Współczyn.	Wartość	Uwagi	Paragraf
γ_c	*1,5*		2.4.2.4
γ_s	*1,15*		2.4.2.4
α_{cc}	*1*		3.1.6
α_{ct}	*1*		3.1.6
$\alpha_{cc,pl}$	*0,8*		12.3.1
$\alpha_{ct,pl}$	*0,8*		12.3.1
k	*1,5*		12.6.3
ρ_{min}	*0,0013*		9.2.1.1
X	*0,26*	$\rho_{min} = X.\frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$	9.2.1.1
ρ_{max}	*0,04*		9.2.1.1
ρ_{min}	*0,002*		9.5.2
X	*0,1*	$\rho_{\min} = \frac{X\,N_{Ed}}{f_{yd}\,A_s}$	9.5.2
ρ_{max}	*0,04*		9.5.2
X	*0,18*	$C_{Rd,c} = \frac{X}{\gamma_c}$	6.2.2
v_{min}	-	$0{,}035.k^{\frac{3}{2}}.f_{ck}^{\frac{1}{2}}$	6.2.2
X	*0,5*	$\nu_{max} = X.\nu.f_{cd}$	6.2.2
v	-	$\nu = 0{,}6.\left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$	6.2.2
$cotg\ \theta_{min}$	1		6.2.3
$cotg\ \theta_{max}$	*2,5*		6.2.3

Załącznik krajowy - Republika Czeska (CSN EN 1992-1-1 - 2010)

Współczyn.	Wartość	Uwagi	Paragraf
$\alpha_{ct,pl}$	*0,7*		12.3.1

pozostałe wartości standardowe

Załącznik krajowy - Słowacja (STN EN 1992-1-1 - 2008)

wszystkie wartości standardowe

Załącznik krajowy - Polska (PN EN 1992-1-1 - 2008)

Współczyn.	Wartość	Uwagi	Paragraf
γ_c	*1,4*		2.4.2.4
$cotg\ \theta_{max}$	*2,0*		6.2.3

pozostałe wartości standardowe

Załącznik krajowy - Norwegia (NS EN 1992-1-1 - 2004)

Współczyn.	Wartość	Uwagi	Paragraf
α_{cc}	*0,85*		3.1.6
α_{ct}	*0,85*		3.1.6

pozostałe wartości standardowe

EN 1992-2 - 2007

Współczyn.	Wartość	Uwagi	Paragraf
α_{cc}	*0,85*		3.1.6

pozostałe wartości standardowe

Analiza przekroju poprzecznego z betonu niezbrojonego

Przekrój poprzeczny jest prostokątny, obciążony momentem zginającym M_{Ed}, siłą normalną N_{Ed} (przyłożoną do środka przekroju poprzecznego) oraz siłą ścinającą V_{Ed}. Wytrzymałość na ścinanie wyznaczana jest z (Art. 12.6.3):

$$V_{Rd} = \frac{f_{cvd} \cdot A_{cc}}{k}$$

gdzie: A_{cc} - powierzchnia ściskana betonu

$$f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd}^2 + \sigma_{cp} \cdot f_{ctd} - \left(\frac{Max(0 ; \sigma_{cp} - \sigma_{c,lim})}{2} \right)^2}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_{cc}}$$

$$\sigma_{c,lim} = f_{cd} - 2.\sqrt{f_{ctd} \cdot (f_{cd} + f_{ctd})}$$

Standardowa wartość współczynnika k jest wprowadzona w programie (Art. 12.6.3) - wartość tę można modyfikować w zależności od **wybranego Załącznika krajowego**.

Wytrzymałość betonowego przekroju poprzecznego poddawana kombinacji momentu zginającego i siły normalnej wyznaczana jest z następujących wyrażeń (Art. 12.6.1) w zależności od mimośrodowości siły normalnej e:

Jako większa z:

$$N_{Rd} = b.x.\eta.f_{cd}$$

$$N_{Rd} = Min\left(\frac{b.h.f_{ctd}}{\frac{6.e}{h} - 1} ; \frac{b.h.f_{cd}}{\frac{6.e}{h} + 1} \right)$$

Formuła wyraża wytrzymałość z liniowym wykresem naprężenie-odkształcenie przekroju niezarysowanego.

$$\eta = 1{,}0 - \frac{Max(f_{ck};50) - 50}{200}$$

$$x = h - 2.e$$

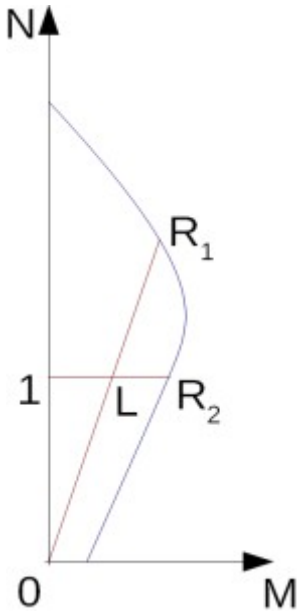
$$e = Max\left(abs\left(\frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \right) ; \frac{h}{30} ; 20mm \right)$$

Wartości minimalne mimośrodowości pochodzą z Art. 6.1(3).

$$f_{cd} = \alpha_{cc,pl} . \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct,pl} . \frac{f_{ctk,005}}{\gamma_c}$$

Standardowe wartości współczynników $\alpha_{cc,pl}$, $\alpha_{ct,pl}$, γ_c są wbudowane w programie - wartości te mogą być również definiowane przez użytkownika w zależności od **wybranego Załącznika krajowego**.



Wykres interakcji N-M

Wskaźnik wykorzystania przekroju betonowego poddanego kombinacji momentu zginającego i siły normalnej określa się jako $|0L|/|0R_1|$ lub $|1L|/|1R_2|$. Gdzie L stanowi obciążenie, R_1 - wytrzymałość z predefiniowanym mimośrodem oraz R_2 - wytrzymałość z predefiniowaną siłą normalną.

Analiza prostokątnego przekroju żelbetowego

Przekrój poprzeczny jest prostokątny, jednostronnie zbrojony i obciążony momentem zginającym i normalną siłą ściskającą. Program analizuje przekrój żelbetowy za pomocą metody odkształceń granicznych. Maksymalne dopuszczalne odkształcenie betonu przy ściskaniu wynosi 0,002 - 0,0035. Zbrojenia ściskane nie są uwzględniane. Przyjęto minimalny mimośród (Art. 6.1(3)):

$$e_0 = Min\left(\frac{h}{30}\ ;\ 20mm\right)$$

Wyznaczony stopień zbrojenia weryfikowany jest za pomocą następujących wyrażeń (Art. 9.2.1.1):

$$\rho_{min} \le \rho \le \rho_{max}$$

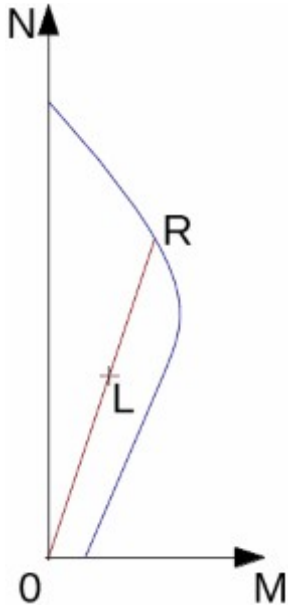
$$\rho = \frac{A_s}{b.d}$$

$$\rho_{min} = Max\left(0{,}0013\ ;\ 0{,}26.\frac{f_{ctm}}{f_{yk}}\right)$$

$$\rho_{max} = 0{,}04$$

Standardowe wartości współczynników ρ_{min}, ρ_{max} są wbudowane w programie - wartości te

mogą być również definiowane przez użytkownika w zależności od **wybranego Załącznika krajowego**.



Wykres interakcji N-M

Współczynnik wykorzystania przekroju betonowego poddanego kombinacji momentu zginającego i siły normalnej określany jest jako $|0L| / |0R|$. Gdzie L jest siłą R jest wytrzymałością z określonym mimośrodem.

Zginanie bez siły normalnej

Przekrój jest prostokątny, zbrojony jednostronnie i obciążony momentem zginającym M_{Ed}.

Dopuszczalny moment dla danego przekroju zbrojenia A_S wynosi (Art. 6.1, Art. 3.1.7(3)):

$$M_{Rd} = \lambda.x.b.\eta.f_{cd}.\left(d - \frac{\lambda}{2}.x\right)$$

$$x = \frac{A_s.f_{yd}}{\lambda.b.\eta.f_{cd}}$$

$$\lambda = 0{,}8 - \frac{Max(f_{ck};50) - 50}{400}$$

$$\eta = 1{,}0 - \frac{Max(f_{ck};50) - 50}{200}$$

Graniczna lokalizacja osi neutralnej określana jest z (Art. 5.6.3(2)):

$x_{max} = 0{,}45.d$ dla betonu C40/45 i słabszego

$x_{max} = 0{,}35.d$ dla betonu C45/50 i mocniejszego

Ścinanie

W pierwszej kolejności program wyznacza graniczną wytrzymałość na ścinanie betonu $V_{Rd,c}$ (Art. 6.2.2(1)).

$$V_{Rd,c} = Min\left[v_{\min}\,;\, C_{Rd,c}k(100\,\rho_l f_{ck})^{\frac{2}{3}}\right] d\,b$$

gdzie:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \le 2{,}0$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b\,d} \le 0{,}02$$

Jeśli graniczna wytrzymałość na ścinanie betonu jest przekroczona wówczas maksymalna graniczna wytrzymałość na ścinanie $V_{Rd,max}$ jest sprawdzana (Art. 6.2.3(3)).

$$V_{Rd,\max} = 0{,}5\,z\,v\,f_{cd}\,b$$

Następnie, niezbędna powierzchnia przekroju zbrojania jest wyznaczana jako (Art. 6.2.3(3)):

$$A_{sw,l} = \frac{V_{Ed}}{f_{ywd}\,z}\,b$$

Standardowe wartości współczynników v, v_{max} są wbudowane w programie - wartości te mogą być również definiowane przez użytkownika w zależności od **wybranego Załącznika Krajowego**.

Analiza żelbetowego przekroju kołowego

Program analizuje pal żelbetowy za pomocą metody odkształceń granicznych. Maksymalne dopuszczalne odkształcenie betonu przy ściskaniu wynosi $0{,}002$ - $0{,}0035$. Wytrzymałość betonu $\eta * f_{cd}$ jest redukowana o 10 procent na skutek kształtu przekroju poprzecznego (Art. 3.1.7).

Stopień zbrojenia jest sprawdzany za pomocą wzoru:

$$\rho_{min} \le \rho \le \rho_{max}$$

- **Pal** (Art. 9.8.5)

$$\rho = \frac{4A_s}{\pi d^2}$$

$A_c \le 0{,}5m^2$	$\rho_{min} = 0{,}005$
$0.5m^2 < A_c \le 1m^2$	$\rho_{min} = 0{,}0025m^2/A_c$
$A_c \ge 1m^2$	$\rho_{min} = 0{,}0025$

gdzie: A_c - powierzchnia przekroju porzecznego pala

$$\rho_{max} = 0.04$$

- **Słup** - sprawdzenie dominującego ściskania (Art. 9.5.2)

$$\rho = \frac{4A_s}{\pi d^2}$$

$$\rho_{min} = \text{Max}\left(0.002; \frac{0.1N_{Ed}}{f_{yd}A_s}\right)$$

$$\rho_{max} = 0.04$$

- **Belka** - sprawdzenie dominującego zginania (Art. 9.2.1.1)

$$\rho = 0.5\frac{4A_s}{\pi d^2}$$

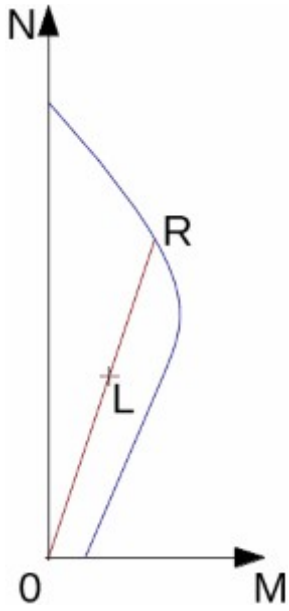
$$\rho_{min} = \text{Max}\left(0.0013; 0.26\frac{f_{ctm}}{f_{yk}}\right)$$

$$\rho_{max} = 0.04$$

gdzie: d - średnica pala

A_S - powierzchnia przekroju zbrojenia

Standardowe wartości współczynników ρ_{min}, ρ_{max} są wbudowane w programie - wartości te mogą być również definiowane przez użytkownika w zależności od **wybranego Załącznika krajowego**.



Wykres interakcji N-M

Współczynnik wykorzystania przekroju betonowego poddanego kombinacji momentu zginającego i siły normalnej określany jest jako $|0L| / |0R|$. Gdzie L jest siłą R jest wytrzymałością z określonym mimośrodem.

Ścinanie

W pierwszej kolejności program wyznacza graniczną wytrzymałość na ścinanie betonu $V_{Rd,c}$ (Art. 6.2.2(1)). Formuły pochodzą z Art. 6.2.2(1), gdzie szerokość przekroju (b_w) zastępowana jest $0.88 \times d$ a głębokość efektywna (d) zastępowana jest $0.8 \times d$.

$$V_{Rd,c} = \text{Min}\left[\nu_{min}; C_{Rd,c}k(100\rho_l f_{ck})^{\frac{2}{3}}\right] 0.704d^2$$

gdzie:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{0.8d}} \leq 2.0$$

$$\rho_l = 0.33\frac{A_{sl}}{0.25\pi d^2} \leq 0.02$$

W przypadku gdy graniczna wytrzymałość na ścinanie betonu jest przekroczona, graniczna wytrzymałość na ścinanie $V_{Rd,max}$ oraz wytrzymałość przekroju żelbetowego $V_{Rd,s}$ są sprawdzane (Art. 6.2.3(3)).

$$V_{Rd,max} = 0.5(0.72d)\nu f_{cd}0.88d$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s}0.72df_{ywd}$$

$$V_{Rd} = \mathrm{Max}(V_{Rdc}; \mathrm{Min}(V_{Rd,max}; V_{Rd,s}))$$

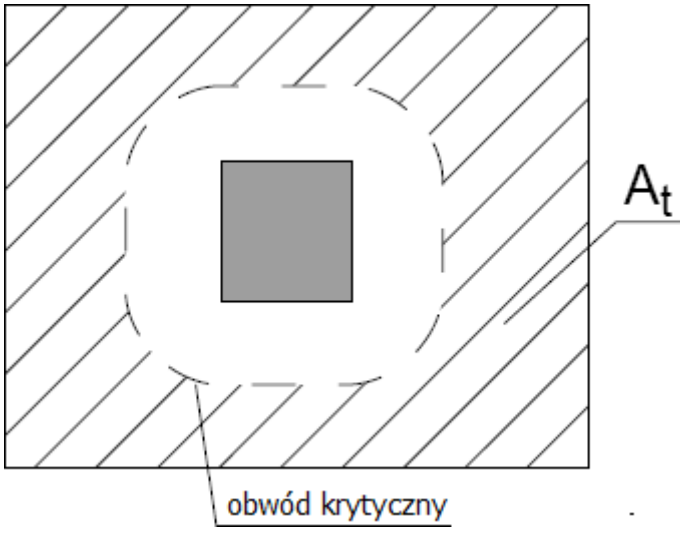
Standardowe wartości współczynników v, v_{max} są wbudowane w programie - wartości te mogą być również definiowane przez użytkownika w zależności od **wybranego Załącznika krajowego**.

Analiza fundamentu bezpośredniego na przebicie

Odcinek obciążany jest zdefiniowanymi momentami M_{Edx}, M_{Edy} oraz siłą ścinającą V_{Ed} wyznaczaną z:

$$V_{Ed} = \frac{VA_t}{A}$$

gdzie:
- A - pole fundamentu
- V - przypisana siła pionowa powstała w słupie
- A_t - pole kreskowane na rys**.**



Wymiarowanie przekroju zbrojenia na ścinanie A_t

Program tworzy **przekroje kontrolne** w **odległościach "**a**"** od $0{,}5d$ do $2d$ w

przypadku **fundamentu bez zbrojenia na ścinanie.** W przypadku **zbrojonego fundamentu, odległości wynoszą od** $0,5d$ **do** $4d$**,** gdzie d jest **efektywną (faktyczną) wysokością fundamentu**. Zbrojenie na ścinanie rozważane jest w przekrojach kontrolnych, znajdujących się w odległościach mniejszych niż $2d$ od kolumny. Przekroje kontrolne uwzględnia się w interwałach co $0,25d$.

Naprężenie v_{Ed} w każdym przekroju kontrolnym wyznacza się za pomocą 6.4.3 (3),

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_i d}$$

$$\beta = 1 + k \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \frac{u_1}{W_1}$$

$$v_{Rd,c} = \mathrm{Max}(C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3}; v_{min}) 2d/a$$

wytrzymałość na przebicie fundamentu bez zbrojenia na ścinanie $v_{Rd,c}$ wyznacza się z 6.4.4 (2)

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \rho_{ly}} \leq 0.02$$

$$C_{Rd,c} = 0.18/\gamma_c$$

Jeśli zachodzi taka potrzeba, wytrzymałość na przebicie fundamentów zbrojonych $v_{Rd,cs}$, uzyskujemy z 6.4.5 (1).

$$v_{Rd,cs} = \mathrm{Min}(0.75 v_{Rd,c} + 0.75 \frac{A_{sw} f_{ywd,eff}}{ud}; k_{max} v_{Rd,c})$$

$$f_{ywd,eff} = 250 + 0.25d \leq f_{ywd}$$

Dodatkowo, wyliczana jest **maksymalna wytrzymałość na ścinanie przy przebiciu na obwodzie słupa** $v_{Rd,max}$**,** zgodnie z 6.4.5 (3). $v_{Rd,max}$ zależy od rozmiarów słupa i grubości fundamentu.

$$v_{Rd,max} = 0.4 \nu f_{cd}$$

Dla $v_{Ed} < v_{Rd,c}$ zbrojenie na ścinanie nie jest wymagane.

Dla $v_{Ed} > v_{Rd,c}$ i $v_{Ed} < v_{Rd,max}$ zbrojenie na ścinanie musi byc wprowadzone.

Dla $v_{Ed} > v_{Rd,max}$ zbrojenie na ścinanie nie może być zaprojektowane. W tym przypadku konieczne jest wysokości zwiększenie przekroju.

Przekroje kontrolne o najgorszych stosunkach (współczynnikach) obciążenia i wytrzymałości, uważane są za krytyczne i są zaznaczane w programie.

Standardowe wartości współczynników v, v_{min} są wbudowane w programie - wartości te mogą być także wprowadzone przez użytkownika w zależnościod **wybranego Załącznika Krajowego**.

Projektowanie zbrojenia podłużnego w płytach

Projektowanie zbrojenia przeprowadzane jest dla obciążeń wywołanych momentem zginającym M_{Ed}. Program wyznacza wymagane powierzchnie przekroju zbrojenia na rozciąganie i ściskanie (jeśli zachodzi potrzeba). Przy wymiarowaniu program uwzględnia również warunki minimalnego i maksymalnego stopnia zbrojenia dla danego przekroju. W pierwszej kolejności program wyznacza położenie osi obojętnej (Art. 3.1.7, Art. 6.1):

$$x = \frac{d - \sqrt{d^2 - \frac{M_{Ed}}{0,5.b.\eta.f_{cd}}}}{\lambda}$$

Jeżeli położenie osi obojętnej jest poniżej wartości dopuszczalnej ($x < x_{max}$), program wyznacza przekrój zbrojenia na rozciąganie (A_{st}) ze wzoru:

$$A_{st} = \frac{\lambda.\eta.b.x.f_{cd}}{f_{yd}}$$

Jeżeli położenie osi obojętnej jest powyżej wartości dopuszczalnej ($x>x_{max}$), program wyznacza zarówno przekrój zbrojenia na ściskanie (A_{sc}) jak i zbrojenia na rozciąganie (A_{st}), korzystając z poniższego wzoru:

$$A_{sc} = \frac{M - F_{c,max}\left(d - 0,5.\lambda.x_{max}\right)}{f_{yd}.z}$$

$$A_{st} = \frac{F_{c,max} + A_{sc}.f_{yd}}{f_{yd}}$$

$$F_{c.max} = \lambda.\eta.b.x_{max}.f_{cd}$$

Położenie graniczne osi obojętnej uzyskujemy z (Art. 5.6.3(2)):

$x_{max} = 0,45.d$ Dla betonu C40/45 i poniżej

$x_{max} = 0,35.d$ Dla betonu C45/50 i powyżej

Wyznaczony stopień zbrojenia sprawdzany jest przy zastosowaniu następujących wzorów (Art. 9.3.1.1):

$$\rho_{min} \le \rho \le \rho_{max}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b.d}$$

$$\rho_{min} = Max\left(0,0013\ ;\ 0,26.\frac{f_{ctm}}{f_{yk}}\right)$$

$$\rho_{max} = 0,04$$

Standardowe wartości współczynników ρ_{min}, ρ_{max} są wbudowane w programie - wartości te mogą być również definiowane przez użytkownika w zależności od **wybranego Załącznika krajowego.**

Jeśli maksymalny stopień zbrojenia całkowitego ρ_{max} zostanie przekroczony, program informuje użytkownika, że dla danego przekroju nie można zaprojektować zbrojenia podłużnego.

Projektowanie zbrojenia na ścinanie w płytach

Program pozwala na wyznaczenie wymaganego zbrojenia na ścinanie w postaci strzemion i prętów odgiętych.

W pierwszej kolejności program wyznacza graniczną siłę tnącą dla danego przekroju - siłę tnącą przenoszoną przez beton $V_{Rd,c,}$ (Art. 6.2.2(1)) i maksymalną dopuszczalną siłę tnącą $V_{Rd,max}$ (Art. 6.2.3(3)).

$$V_{Rd,c} = Min\left[v_{min} \; ; C_{Rd,c}.k\left(100.\rho_l.f_{ck}\right)^{\frac{2}{3}} \right].d$$

gdzie:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2{,}0$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b.d} \leq 0{,}02$$

$$V_{Rd,max} = 0{,}5.z.v.f_{cd}$$

Dla strzemion, wymagany przekrój zbrojenia uzyskujemy z (Art. 6.2.3(3)):

$$A_{sw,l} = \frac{V_{Ed}}{f_{ywd}.z}$$

Dla prętów odginanych, wymagany przekrój zbrojenia uzyskujemy z (Art. 6.2.3(4)):

$$A_{sw,l} = \frac{V_{Ed}}{f_{ywd}.z.\sin\alpha.\left(1+\cot\alpha\right)}$$

Standardowe wartości współczynników v, v_{min} są wbudowane w programie - wartości te mogą być również definiowane przez użytkownika w zależności od **wybranego Załącznika krajowego**.

Sprawdzenie rozwarcia rys

Sprawdzenie rozwarcia rys wykonywane jest zgodnie z rozdziałem 7.3.4 normy.

W pierwszej kolejności, wyznaczane jest maksymalne naprężenie rozciągające w betonie w przekroju idealnym. Jeśli wartość naprężenia nie przekracza wytrzymałości betonu na rozciąganie f_{ctm} wówczas rysy nie powstają.

Jeśli powyższy warunek jest niespełniony wówczas rozwarcie rys wyznaczane jest według:

$$w_k = s_{r,max}\left(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}\right)$$

gdzie

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}}(1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

gdzie σ_s jest naprężeniem w zbrojeniu rozciąganym wyznaczonym w zarysowanym przekroju idealnym

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$$A_{c,eff} = b \times \text{Min}\left(2.5(h-d), (h-x)/3, h/2\right)$$

$$k_t = 0.4$$

Jeśli odległość między prętami zbrojeniowymi jest mniejsza lub równa $5(c+\phi/2)$:

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

gdzie: k_1 = 0,8

k_2 = 0,5

k_3 = 3,4

k_4 = 0,425

c - otulina

ϕ - średnica prętów zbrojeniowych

Jeśli odległość między prętami zbrojeniowymi jest większa niż $5(c+\phi/2)$:

$$s_{r,max} = 1.3(h - x)$$

CSN 73 1201 R

Pomoc ta zawiera następujące metody obliczeniowe:

- Materiały, współczynniki, oznaczenia
- Analiza przekroju poprzecznego z betonu niezbrojonego
- Analiza prostokątnego przekroju żelbetowego
- Analiza żelbetowego przekroju kołowego
- Analiza fundamentu bezpośrednego na przebicie
- Projektowanie zbrojenia podłużnego w płytach
- Projektowanie zbrojenia na ścinanie w płytach

Materiały, współczynniki, oznaczenia

Stosuje się następujące oznaczenie parametrów materiału:

R_{bd} - wytrzymałość obliczeniowa betonu na ściskanie

R_{btd} - wytrzymałość obliczeniowa betonu na rozciąganie

γ_u - współczynnik kształtu przekroju

z - ramię dźwigni (ramię sił wewnętrznych)

Współczynnik γ_u wyznaczany jest z równania (Art. 5.2.2):

$$\gamma_u = Max\left(1 - \frac{20}{1000.h + 50}\ ; 0{,}85\right)$$

Najbardziej powszechne oznaczenie dla parametrów geometrycznych:

b - szerokość przekroju poprzecznego

h - wysokość przekroju poprzecznego

h_e - wysokość efektywna przekroju poprzecznego

z - ramię dźwigni (ramię sił wewnętrznych)

Analiza przekroju poprzecznego z betonu niezbrojonego

Przekrój poprzeczny jest prostokątny, obciążony momentem zginającym M, normalną siłą N (przyłożoną w środku przekroju poprzecznego) oraz siłą ścinającą Q. Nośność przekroju poprzecznego poddanego działaniu momentu zginającego wyznaczana jest z (Art. 5.2.5):

$$M_u = \frac{b.h^2}{6}.R_{btd}.\gamma_u$$

Siła ścinająca wyznaczana jest z (Art. 5.3.3, Appendix 9):

$$Q_u = \frac{1}{3}.\kappa_h.\kappa_n.b.h.R_{btd}$$

$$\kappa_h = Max\left(1\ ;1{,}4 - \frac{2}{3}h\right)$$

$$\kappa_n = Min\left(2\ ;1 + 0{,}2.\frac{N}{b.h.R_{btd}}\right)$$

Wytrzymałość betonowego przekroju poprzecznego poddanego działaniu kombinacji momentu zginającego i normalnej siły wyznaczana jest z następujących wyrażeń w zależności od mimośrodowości siły normalnej e (Art. 5.2.5):

$$e < 0{,}9.a_{gc} \Rightarrow N_u = b.x.R_{bd}.\gamma_u$$

$$e > 0{,}9.a_{gc} \Rightarrow N_u = \frac{b.h.R_{btd}.\gamma_u}{\frac{6.e}{h} - 1}$$

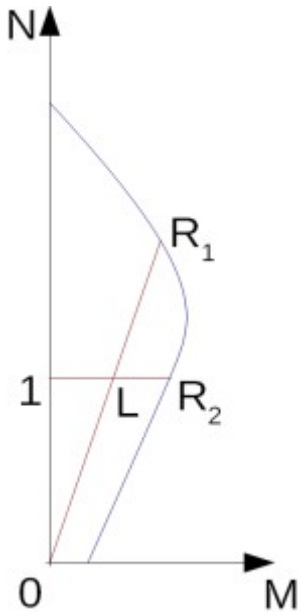
$$x_u = h - 2.e$$

$$e = \frac{abs(M)}{N}$$

$$a_{gc} = \frac{h}{2}$$

Nośność końcowa sprawdzana jest za pomocą następującego wzoru (Art. 5.2.5.5):

$$N_{lim} = 0{,}8.b.x_u.R_{btd}.\gamma_u$$



Wykres interakcji N-M

Wskaźnik wykorzystania przekroju betonowego poddanego kombinacji momentu zginającego i siły normalnej określa się jako $|0L|/|0R_1|$ lub $|1L|/|1R_2|$. Gdzie L stanowi obciążenie, R_1 - wytrzymałość z predefiniowanym mimośrodem oraz R_2 - wytrzymałość z predefiniowaną siłą normalną.

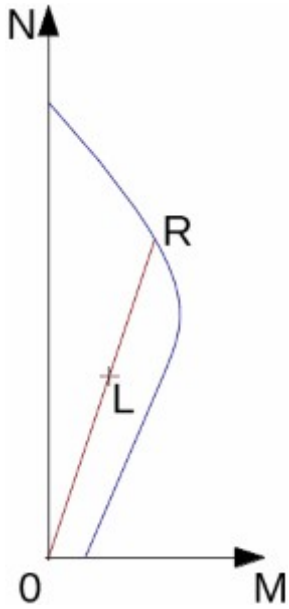
Analiza prostokątnego przekroju żelbetowego

Przekrój poprzeczny jest prostokątny, jednostronnie zbrojony i obciążony momentem zginającym i normalną siłą ściskającą. Program analizuje przekrój żelbetowy za pomocą metody odkształceń granicznych (Art. 5.2.8). Maksymalne dopuszczalne odkształcenie betonu na ściskanie wynosi 0,0025. Zbrojenie na ściskanie nie jest uwzględniane.

Wyznaczony stopień zbrojenia weryfikowany jest za pomocą następujących wyrażeń (Art. 3.1.4.3, Art. 3.1.4.6):

$$\mu_{st,min} = \frac{R_{btd}}{3.R_{sd}} < \mu_{st} < 0{,}03 = \mu_{st,max}$$

$$\mu_{st} = \frac{A_s}{b.h}$$



Interaction diagram N-M

Współczynnik wykorzystania przekroju betonowego poddanego kombinacji momentu zginającego i siły normalnej określany jest jako $|0L| / |0R|$. Gdzie L jest siłą R jest wytrzymałością z określonym mimośrodem.

Zginanie bez siły normalnej

Przekrój jest prostokątny, zbrojony jednostronnie i obciążony momentem zginającym M_d.

Dopuszczalny moment wynosi (Art. 5.2.7)

$$M_u = b.x_u R_{bd}.\left(h_e - \frac{x_u}{2}\right).\gamma_u$$

$$x_u = \frac{A_s.R_{sd}}{b.R_{bd}}$$

Następnie program sprawdza czy lokalizacja osi neutralnej x mieści się w granicach lokalizacji dopuszczalnej x_{lim} określonej jako (Art. 5.2.7.1):

$$x_{lim} = Min\left(0{,}533; \frac{1}{1{,}25 + \frac{R_{sd}}{420}}\right)$$

Ścinanie

W pierwszej kolejności program wyznacza graniczną wytrzymałość na ścinanie betonu Q_{bu} (Art. 5.3.3, Appendix 9).

$$Q_{bu} = \frac{1}{3} b\, h \kappa_q R_{btd}$$

gdzie: dla: $h \geq 0{,}3m$ is: $\kappa_q = 1{,}25$

dla:	$h > 0{,}15m$	je $\kappa_q = 1{,}50$
dla:	$h < 0{,}15m$	je $\kappa_q = 1{,}60$

Jeśli graniczna wytrzymałość na ścinanie betonu jest przekroczona wówczas graniczna wytrzymałość na ścinanie Q_{max} jest sprawdzana (Art. 5.3.2.1).

$$Q_{\max} = \frac{1}{3} b\, h Min\left(R_{bd}\,; 18\right)$$

Następnie, wymagana powierzchnia przekroju zbrojenia wyznaczana jest ze wzoru (Art. 5.3.4):

$$A_b = \frac{Q - Q_{bu}}{R_{swd}\, c} b$$

gdzie (Art. 5.3.5):

$$c = Max\left(\frac{1{,}2.b.R_{btd}.h_e^2}{Q - Q_{bu}}\,; z\right)$$

Wartość c jest ograniczona następującym wyrażeniem:

$$c < 0{,}18 \frac{R_{bd}.h}{\kappa_q.R_{btd}}$$

Analiza żelbetowego przekroju kołowego

Program analizuje zbrojony pal betonowy za pomocą metody odkształceń granicznych (Art. 5.2.8). Maksymalne dopuszczalne odkształcenie betonu na ściskanie wynosi 0,0025. Stopień zbrojenia sprawdza się za pomocą wzoru:

- **Słup** - sprawdzenie dominującego ściskania (Art. 3.1.4.3, Art. 3.1.4.6)

$$\mu_{st,min} = 0.0008 \leq \mu_{st} \leq 0.04 = \mu_{st,max}$$

$$\mu_{st} = \frac{4A_s}{\pi d^2}$$

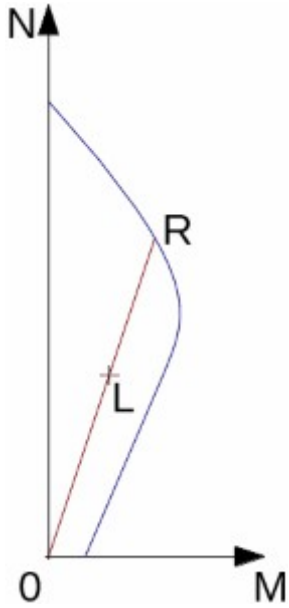
- **Belka** - sprawdzenie dominującego zginania

$$\mu_{st,min} = \frac{R_{btd}}{3R_{sd}} \leq \mu_{st} \leq 0.03 = \mu_{st,max}$$

$$\mu_{st} = 0.5\frac{4A_s}{\pi d^2}$$

gdzie: d - średnica pala

A_S - pole powierzchni przekroju zbrojenia



Wykres interakcji N-M

Współczynnik wykorzystania przekroju betonowego poddanego kombinacji momentu zginającego i siły normalnej określany jest jako $|0L| / |0R|$. Gdzie L jest siłą R jest wytrzymałością z określonym mimośrodem.

Ścinanie

W pierwszej kolejności program wyznacza graniczną wytrzymałość na ścinanie betonu Q_{bu} (Art. 5.3.3, App. 9).

$$Q_{bu} = \frac{1}{3}(0.88d)(0.88d)\kappa_q R_{btd}$$

gdzie:

dla:	$0.88d \geq 0.3m$	jest: $\kappa_q = 1.25$
dla:	$0.88d > 0.15m$	jest: $\kappa_q = 1.50$
dla:	$0.88d < 0.15m$	jest: $\kappa_q = 1.60$

Jeśli graniczna wytrzymałość na ścinanie betonu jest przekroczona, graniczna wytrzymałość na ścinanie Q_{max} oraz wytrzymałość przekroju zbrojonego Q_u są sprawdzane (Art. 5.3.2.1).

$$Q_{max} = \frac{1}{3}(0.88d)(0.88d)\text{Min}\,(R_{bd}; 18)$$
$$Q_u = Q_{bu} + A_b R_{swd} c$$

gdzie (Art. 5.3.5):

$$c = \text{Max}\left(\frac{1.2(0.88d)R_{btd}(0.8d)^2}{Q - Q_{bu}}; 0.9(0.8d)\right)$$

Wartość c jest ograniczona następującym wyrażeniem:

$$c \leq 0.18\frac{R_{bd}(0.88d)}{\kappa_q R_{btd}}$$

Analiza fundamentu bezpośredniego na przebicie

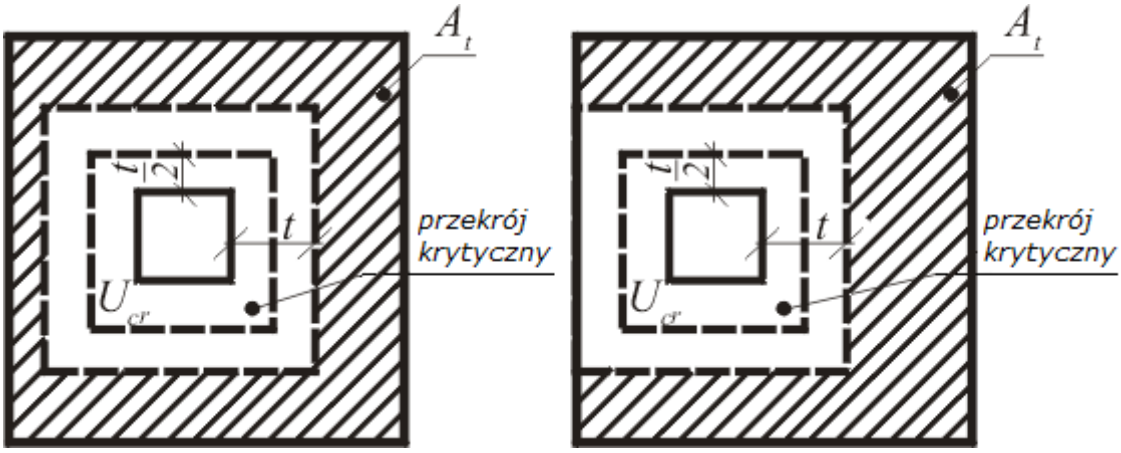
Program umożliwia analizę fundamentu bezpośredniego ze względu na wytrzymałość na przebicie lub zaprojektowanie wzmocnienia na ścinanie. Krytyczny odcinek obciążony ściskaniem U_{cr} odległy jest od krawędzi kolumny o jedną połowę szerokości fundamentu. Odcinek obciążany zalecanymi momentami M_x, M_y oraz siłą ścinającą Q_r wyznaczany jest z:

$$Q_{d\,max} = \frac{Q.A_t}{A}$$

gdzie: A - pole fundamentu

Q - przypisana siła pionowa powstała w słupie

A_t - pole kreskowane na rys.



Wymiarowanie przekroju zbrojenia na ścinanie At

Program oblicza maksymalną siłę ścinającą Q_{dmax} powstałą w krytycznym odcinku, siłą ścinającą przenoszoną w betonie przy braku zbrojenia na ścinanie Q_{bu}, oraz maksymalną siłę dopuszczalną Q_{max}:

$$Q_{bu} = 0{,}42.\kappa_h.\kappa_n.\kappa_s.t.R_{btd}$$

$$Q_{max} = 2.Q_{bu}$$

d

gdzie dla: $\mu_s > \mu_{min}$ jest: $\kappa_s = Min\left[1 + 50.(\mu_s - \mu_{min})\,;1{,}5\right]$ lub inaczej: $\kappa_s = 1$

$$\kappa_h = Max\left[1{,}4 - \frac{2}{3}.h\,;1\right]$$

$$\kappa_n = 1$$

Dla $Q_{dmax} < Q_{bu}$ zbrojenie na ścinanie nie jest potrzebne.

Dla $Q_{dmax} > Q_{bu}$ i $Q_{dmax} < Q_{max}$ należy wprowadzić zbrojenie na ścinanie. Końcowa siła ścinająca wynika z:

$$Q_u = Q_{su} + Q_{bu}$$

$$Q_{su} = \frac{A_s.R_{sd}.\sin\alpha}{U_{cr}}$$

gdzie: U_{cr} - rozpiętość krytycznego przekroju poprzecznego
α - kąt haków
A_S - całkowite pole haków w fundamencie

Dla $Q_{dmax} > Q_{max}$ zbrojenie na ścinanie nie może być zaprojektowane. Należy zatem zwiększyć wysokość przekroju poprzecznego.

Projektowanie zbrojenia podłużnego w płytach

Projektowanie zbrojenia wykonywane jest dla obciążeń wywołanych momentem zginającym M. Program wyznacza wymagane powierzchnie przekroju zbrojenia na rozciąganie i ściskanie (jeśli zachodzi potrzeba). Przy wymiarowaniu program uwzględnia również warunki minimalnego i maksymalnego stopnia zbrojenia dla danego przekroju. W pierwszej kolejności program wyznacza położenie osi obojętnej:

$$x = \frac{h_e - \sqrt{h_e^2 - \frac{M}{0,5.b.\gamma_u.R_{bd}}}}{0,8}$$

Jeżeli położenie osi obojętnej jest poniżej wartości dopuszczalnej ($x < x_{lim}$), program wyznacza przekrój zbrojenia na rozciąganie A_{st} ze wzoru:

$$A_{st} = \frac{0,8.b.x.R_{bd}}{R_{sd}}$$

Jeżeli położenie osi obojętnej jest powyżej wartości dopuszczalnej ($x > x_{lim}$), program wyznacza zarówno przekrój zbrojenia na ściskanie A_{sc} jak i zbrojenia na rozciąganie A_{st}, korzystając z poniższego wzoru:

$$A_{sc} = \frac{\frac{M}{\gamma_u} - N_{max}\left(h_e - 0,5.0,8.x_{lim}\right)}{R_{sd}.z}$$

$$A_{st} = \frac{N_{max} + A_{sc}.R_{scd}}{R_{sd}}$$

$$N_{max} = x_{lim}.0,8.b.R_{bd}$$

Położenie graniczne osi obojętnej uzyskujemy z:

$$x_{max} = Min\left(0,533\ ;\ \frac{1}{1,25 + \frac{R_{sd}}{420}}\right).h_e$$

Wyznaczony stopień zbrojenia weryfikowany jest z zastosowaniem następujących wyrażeń:

$$\mu_{st,min} = \frac{R_{btd}}{3.R_{sd}} < \mu_{st} < 0,03 = \mu_{st,max}$$

$$\mu_{st} = \frac{A_s}{b.h}$$

Jeśli maksymalny stopień zbrojenia na rozciąganie ($\mu_{st,max}$ = 0,03) lub odpowiednio całkowitego zbrojenia (μ_{max} = 0,04) zostanie przekroczony, program informuje użytkownika, że dla danego przekroju nie można zaprojektować zbrojenia podłużnego.

Projektowanie zbrojenia na ścinanie w płytach

Program pozwala na wyznaczenie wymaganego zbrojenia na ścinanie w postaci strzemion i prętów odgiętych.

W pierwszej kolejności program wyznacza graniczną siłę tnącą dla danego przekroju - siłę tnącą przenoszoną przez beton $Q_{bu,}$ i maksymalną dopuszczalną siłę tnącą Q_{max}.

$$Q_{bu} = \frac{1}{3} b.h.\kappa_q.R_{btd}$$

$$Q_{max} = \frac{1}{3} b.h.Min(R_{bd}\ ;18)$$

gdzie:

dla:	$h \geq 0{,}3m$	jest:	κ_q = 1,25
dla:	$h > 0{,}15m$	jest:	κ_q = 1,50
dla:	$h < 0{,}15m$	jest:	κ_q = 1,60

Dla strzemion, wymagany przekrój zbrojenia uzyskujemy z:

$$A_b = \frac{Q - Q_{bu}}{R_{swd}.c}$$

Dla prętów odginanych, wymagany przekrój zbrojenia uzyskujemy z:

$$A_b = \frac{Q - Q_{bu}}{R_{swd}(c.\sin\alpha + 0{,}8.h_e.\cos\alpha)}$$

gdzie:

$$c = Max\left(\frac{1{,}2.b.R_{btd}.h_e^2}{Q - Q_{bu}}\ ;z\right)$$

Wartość c jest ograniczona poniższym wyrażeniem:

$$c < 0{,}18\frac{R_{bd}.h}{\kappa_q.R_{btd}}$$

CSN 73 6206

Wybierając "**CSN 73 6206**", w ramce **"Projekt"**, analiza decydujących łączeń wykonywana jest zgodnie z normą CSN 73 6206 "Projektowanie betonowych i żelbetowych konstrukcji mostów", ze zmianami a-10/1989 a Z2/1994. Program umożliwia analizę przekrojów poprzecznych z betonu niezbrojonego lub betonu zbrojonego jednostronnie stalą. Wszystkie obliczenia związane z betonem przeprowadzane są za pomocą **teorii dopuszczalnych naprężeń**.

Główną różnicą w porównaniu do pozostałych norm jest wymiarowanie łączeń betonowych,

gdzie parcie gruntu obliczane jest **zawsze bez redukcji parametrów wejściowych** niezależnie od danych wprowadzonych w ramce "**Ustawienia**".

Podczas przeprowadzania analizy przekrojów poprzecznych wykonanych z betonu niezbrojonego lub zbrojonego stalą istnieje możliwość wprowadzenia **współczynnika dopuszczalnego naprężenia** zgodnie z art. 47 **CSN 73 6206** w celu zwiększenia dopuszczalnego naprężenia materiału.

Istnieje możliwość analizowania następujących łączeń w programie:

Trzon przyczółku - fundament, przekrój roboczy - ten przekrój poprzeczny może być wykonany z betonu niezbrojonego lub zbrojonego stalą. Łączenie jest analizowane ze względu na obciążenie siłą normalną i momentem zginającym. Sprawdzane są dopuszczalne naprężenia betonu, stali i betonu na parcie współosiowe. W przypadku betonu zbrojonego, program sprawdza również stopień zbrojenia, przekroje poprzeczne z betonu niezbrojonego są następnie sprawdzane na przewracanie ($h/2e < 1,35$) i przesunięcie ($N*f < 1,5$); tarcie beton - beton zakłada się jako $f = 0,5$).

Ściana zamykająca - blok nośny - ten przekrój poprzeczny jest analizowany ze względu na obciążenie siłą normalną i momentem zginającym. Zakłada się zawsze przekroje poprzeczne z betonu zbrojonego stalą. Sprawdzane są dopuszczalne naprężenia betonu i stali oraz stopień zbrojenia.

Skrzydło - przyczółek - łączenie to może być wykonane z betonu niezbrojonego lub betonu zbrojonego stalą. Sprawdzane są dopuszczalne naprężenia betonu, stali i betonu na parcie współosiowe. W przypadku betonu zbrojonego, program sprawdza również stopień zbrojenia.

Przednia odsadzka fundamentu przyczółka - przednia odsadzka przyczółka jest analizowana zgodnie z jej zabezpieczeniem. W przypadku zabezpieczenia odsadzki $v < 0,5h_z$ (h_z jest wysokością odsadzki fundamentu) program sprawdza wielkość naprężenia w rozciąganiu głównym na skutek sił powstałych na odsadzce nad fundamentem. Naprężenie wyznaczane jest jako:

$$\sigma = 0,15.\frac{N}{d - 2.\frac{M}{N}}$$

gdzie: d - szerokość łączenia nad fundamentem

M,N - moment i normalna siła w odsadce nad fundamentem

W przypadku zabezpieczenia odsadzki $v > 0,5h_z$ odsadzka analizowana jest jako ściana oporowa zginana reakcją (naprężeniem) gruntu fundamentowego. Łączenie to może być wykonane z betonu niezbrojonego lub betonu zbrojonego stalą. Sprawdzane są dopuszczalne naprężenia betonu, stali i betonu na parcie współosiowe. W przypadku betonu zbrojonego, program sprawdza również stopień zbrojenia.

PN-B-03264 : 2002

Pomoc ta zawiera następujące metody obliczeniowe:

- Materiały, współczynniki, oznaczenia
- Analiza przekroju poprzecznego z betonu niezbrojonego
- Analiza prostokątnego przekroju żelbetowego
- Analiza żelbetowego przekroju kołowego
- Analiza fundamentu bezpośredniego na przebicie

- Projektowanie zbrojenia podłużnego w płytach
- Projektowanie zbrojenia na ścinanie w płytach

Materiały, współczynniki, oznaczenia

Stosuje się następujące oznaczenie parametrów materiału:

f_{ck} - wytrzymałość charakterystyczna betonu na ściskanie

f_{cd} - wytrzymałość obliczeniowa betonu na ściskanie

f_{ctk} - wytrzymałość charakterystyczna betonu na rozciąganie

f_{ctd} - wytrzymałość obliczeniowa betonu na rozciąganie

f_{yk} - wytrzymałość charakterystyczna na rozciąganie pręta stalowego

f_{yd} - wytrzymałość obliczeniowa na rozciąganie pręta stalowego

f_{ctm} - wytrzymałość średnia na rozciąganie pręta stalowego

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}.\alpha_{cc}$$

$$f_{ctd} = \frac{0,7.f_{ctm}}{\gamma_c}.\alpha_{ct}$$

$$E_{cm} = 11000.\left(f_{ck} + 8\right)^{0,3}$$

$$f_{ctm} = 0,3.\left(f_{ck}\right)^{\frac{2}{3}}$$

gdzie: $\alpha_{cc} = 1$

$\alpha_{ct} = 1$

$\gamma_c = 1,5$ -dla konstrukcji betonowych zbrojonych stalą

$\gamma_c = 1,8$ -dla konstrukcji betonowych

Najbardziej powszechne oznaczenie dla parametrów geometrycznych:

gdzie: b -szerokość przekroju poprzecznego

h -wysokość przekroju poprzecznego

d -wysokość efektywna przekroju poprzecznego

z -ramię dźwigni (ramię sił wewnętrznych)

Analiza przekroju poprzecznego z betonu niezbrojonego

Przekrój poprzeczny jest prostokątny, obciążony momentem zginającym M_{Sd}, normalną siłą N_{Sd} (przyłożoną w środku przekroju poprzecznego) oraz siłą ścinającą V_{Sd}. Nośność przekroju poprzecznego poddanego działaniu momentu zginającego wyznaczana jest z:

$$M_{Rd} = \frac{b.h^2}{6}.f_{ctd}$$

Wytrzymałość na ścinanie wyznaczana jest z:

$$V_{Rd,1} = 0{,}35.f_{ctd}.k.1{,}2.b.d$$

gdzie:

$$k = Max(1{,}6 - d\ ;1)$$

Wytrzymałość betonowego przekroju poprzecznego poddanego działaniu kombinacji momentu zginającego i siły normalnej wyprowadzana jest z następujących wyrażeń w zależności od mimośrodowości siły normalnej e:

Jako większa z:

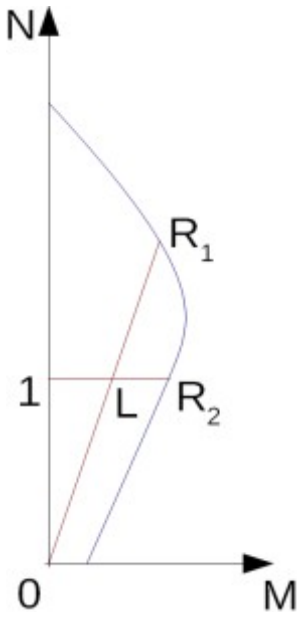
$$N_{Rd} = b.x.f_{cd}$$

$$N_{Rd} = Min\left(\frac{b.h.f_{ctd}}{\frac{6.e}{h} - 1}\ ;\frac{b.h.f_{cd}}{\frac{6.e}{h} + 1}\right)$$

gdzie:

$$x = h - 2.e$$

$$e = abs\left(\frac{M}{N}\right)$$



Wykres interakcji N-M

Wskaźnik wykorzystania przekroju betonowego poddanego kombinacji momentu zginającego i siły normalnej określa się jako $|0L|/|0R_1|$ lub $|1L|/|1R_2|$. Gdzie L stanowi obciążenie, R_1 - wytrzymałość z predefiniowanym mimośrodem oraz R_2 - wytrzymałość z predefiniowaną siłą normalną.

Analiza prostokątnego przekroju żelbetowego

Przekrój poprzeczny jest prostokątny, jednostronnie zbrojony i obciążony momentem zginającym i normalną siłą ściskającą. Program analizuje przekrój żelbetowy za pomocą metody odkształceń granicznych. Maksymalne dopuszczalne odkształcenie betonu na ściskanie wynosi 0,002 - 0,0035. Zbrojenie na ściskanie nie jest uwzględniane.

Wyznaczony stopień zbrojenia weryfikowany jest za pomocą następujących wyrażeń:

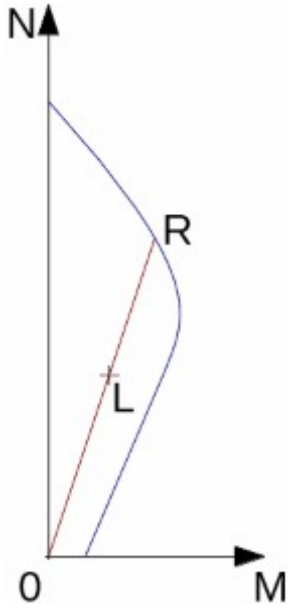
$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

gdzie:

$$\rho = \frac{A_s}{b.d}$$

$$\rho_{min} = Max\left(0{,}0013\ ;\ 0{,}26.\frac{f_{ctm}}{f_{yk}}\right)$$

$$\rho_{max} = 0{,}04$$



Wykres interakcji N-M

Współczynnik wykorzystania przekroju betonowego poddanego kombinacji momentu zginającego i siły normalnej określany jest jako $|0L| / |0R|$. Gdzie L jest siłą R jest wytrzymałością z określonym mimośrodem.

Zginanie bez siły normalnej

Przekrój jest prostokątny, zbrojony jednostronnie i obciążony momentem zginającym M_{Sd}.

Dopuszczalny moment dla danego przekroju zbrojenia A_S wynosi:

$$M_{rd} = 0{,}8.x.b.f_{cd}.(d - 0{,}4.x)$$

$$x = \frac{A_s . f_{yd}}{0{,}8 . b . f_{cd}}$$

Następnie program sprawdza czy lokalizacja osi neutralnej x mieści się w granicach lokalizacji dopuszczalnej x_{lim} określonej jako:

$$x_{max} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} . d$$

gdzie:

$$\varepsilon_{cv} = 0{,}0035$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

Ścinanie

W pierwszej kolejności program wyznacza graniczną wytrzymałość na ścinanie betonu V_{Rd1}.

$$V_{Rd1} = 0{,}35\, k\, f_{ctd} \left(1{,}2 + 40\, \rho_L\right) d\, b$$

gdzie:

$$k = 1{,}6 - d$$

$$\rho_L = \frac{A_{sL}}{b\, d} \leq 0{,}01$$

Jeśli graniczna wytrzymałość na ścinanie betonu jest przekroczona wówczas graniczna wytrzymałość na ścinanie V_{Rd2} jest sprawdzana.

$$V_{Rd2} = 0{,}5\, v\, f_{cd}\, z\, b$$

gdzie:

$$v = 0{,}6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$$

Następnie, wymagana powierzchnia przekroju zbrojenia wyznaczana jest ze wzoru:

$$A_{sw1} = \frac{V_{Ed}}{f_{ywd1}\, z} b$$

Analiza żelbetowego przekroju kołowego

Program analizuje zbrojony pal betonowy za pomocą metody odkształceń granicznych. Maksymalne dopuszczalne odkształcenie betonu na ściskanie wynosi 0,002 - 0,0035. Stopień zbrojenia jest sprawdzany za pomocą wzoru:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

- **Słup** - sprawdzenie dominującego ściskania

$$\rho = \frac{4 . A_s}{\pi . d^2}$$

$$\rho_{\min} = Max\left(0{,}003 \ ; \ \frac{0{,}15\ N_{Ed}}{f_{yd}\ A_s} \right)$$

$$\rho_{max} = 0{,}04$$

- **Belka** - sprawdzenie dominującego zginania

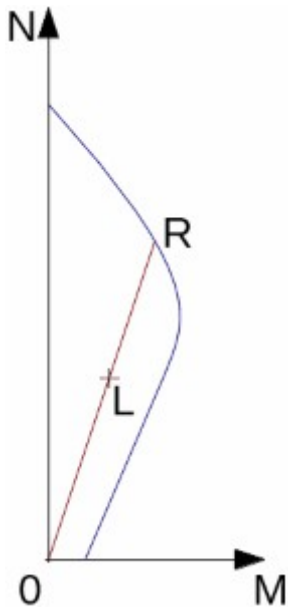
$$\rho = 0{,}5\ \frac{4\ A_s}{\pi\ d^2}$$

$$\rho_{min} = Max\left(0{,}0013 \ ; 0{,}26.\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right)$$

$$\rho_{max} = 0{,}04$$

gdzie: d - średnica pala

A_S - pole przekroju zbrojenia



Wykres interakcji N-M

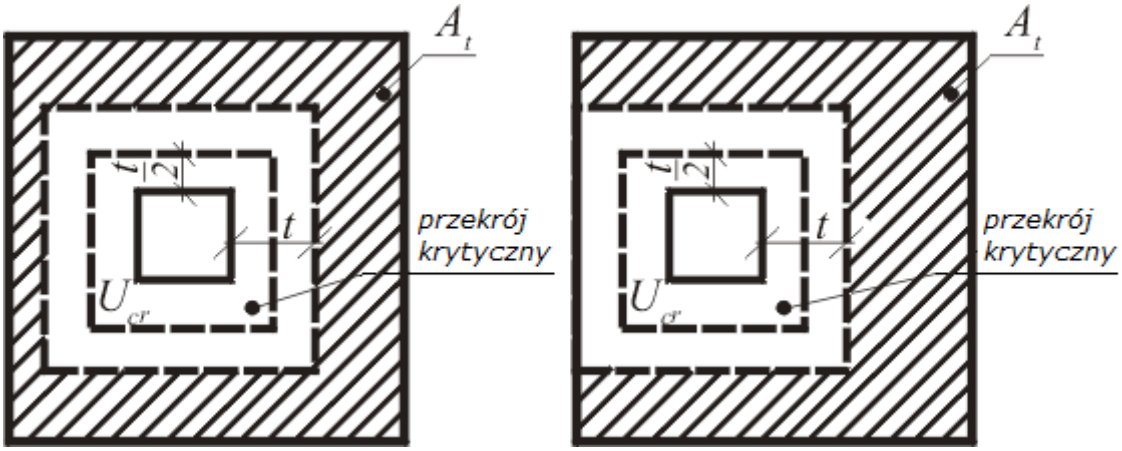
Współczynnik wykorzystania przekroju betonowego poddanego kombinacji momentu zginającego i siły normalnej określany jest jako $|0L| \ / \ |0R|$. Gdzie L jest siłą R jest wytrzymałością z określonym mimośrodem.

Analiza fundamentu bezpośredniego na przebicie

Odcinek krytyczny obciążany na ścinanie u jest odległy od krawędzi kolumny o połowę szerokości fundamentu. Odcinek obciążany jest zalecanymi momentami M_x, M_y oraz siłą ścinającą N_{Sd} wyznaczaną z:

$$N_{Sd} = \frac{Q.A_t}{A}$$

gdzie: A - pole fundamentu
V - przypisana siła pionowa powstała w kolumnie
A_t - pole kreskowane na rys.



Wymiarowanie przekroju zbrojenia na ścinanie At

Program oblicza maksymalną siłę ścinającą N_{Sd} powstałą w krytycznym odcinku, siłę ścinającą przenoszoną przez beton bez zbrojenia na ścinanie N_{Rd1} oraz maksymalną siłę dopuszczalną $N_{Rd,max}$:

$$N_{Rd} = f_{ctd}.d$$
$$N_{Rd,max} = 1{,}4.N_{Rd}$$

Dla $N_{Sd} < N_{Rd}$ zbrojenie na ścinanie nie jest wymagane.

Dla $N_{Sd} > N_{Rd}$ i $N_{Sd} < N_{Rd,max}$ należy wprowadzić zbrojenie na ścinanie. Końcowa siła ścinająca wyznaczana jest z:

$$N_{Rd} = \frac{\sum A_{sw}.f_{yd}.\sin\alpha}{u}$$

gdzie: u - krytyczna rozpiętość przekroju poprzecznego
α - kąt haków
A_{sw} - całkowite pole haków w fundamencie

Dla $N_{Sd} > N_{Rd,max}$ zbrojenie na ścinanie nie może być zaprojektowane. Należy zatem zwiększyć wysokość przekroju poprzecznego

Projektowanie zbrojenia podłużnego w płytach

Projektowanie zbrojenia wykonywane jest dla obciążeń wywołanych momentem zginającym M_{sd}. Program wyznacza wymagane powierzchnie przekroju zbrojenia na rozciąganie i ściskanie (jeśli zachodzi potrzeba). Przy wymiarowaniu program uwzględnia również warunki minimalnego i maksymalnego stopnia zbrojenia dla danego przekroju. W pierwszej kolejności program wyznacza położenie osi obojętnej:

$$x = \frac{d - \sqrt{d^2 - \frac{M_{sd}}{0,5.b.f_{cd}}}}{0,8}$$

Jeżeli położenie osi obojętnej jest poniżej wartości dopuszczalnej ($x < x_{max}$), program wyznacza przekrój zbrojenia na rozciąganie A_{st} ze wzoru:

$$A_{st} = \frac{0,8.b.x.f_{cd}}{f_{yd}}$$

Jeżeli położenie osi obojętnej jest powyżej wartości dopuszczalnej ($x > x_{max}$), program wyznacza zarówno przekrój zbrojenia na ściskanie A_{sc} jak i zbrojenia na rozciąganie A_{st}, korzystając z poniższego wzoru:

$$A_{sc} = \frac{M - F_{c,max}\left(d - 0,4.x_{max}\right)}{f_{yd}.z}$$

$$A_{st} = \frac{F_{c,max} + A_{sc}.f_{yd}}{f_{yd}}$$

$$F_{c,max} = 0,8.x_{max}.b.f_{cd}$$

Położenie graniczne osi obojętnej uzyskujemy z:

$$x_{max} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}}.d$$

gdzie:

$$\varepsilon_{cu} = 0,0035$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

Wyznaczony stopień zbrojenia weryfikowany jest z zastosowaniem następujących wyrażeń:

$$\rho_{min} \le \rho \le \rho_{max}$$

gdzie:

$$\rho = \frac{A_s}{b.d}$$

$$\rho_{min} = Max\left(0,0013\ ;\ 0,26.\frac{f_{ctm}}{f_{yk}}\right)$$

$$\rho_{max} = 0,04$$

Jeśli maksymalny stopień całkowitego zbrojenia ρ_{max} zostanie przekroczony, program informuje użytkownika, że dla danego przekroju nie można zaprojektować zbrojenia podłużnego.

Projektowanie zbrojenia na ścinanie w płytach

Program pozwala na wyznaczenie wymaganego zbrojenia na ścinanie w postaci strzemion i prętów odgiętych.

W pierwszej kolejności program wyznacza graniczną siłę tnącą dla danego przekroju - siłę tnącą przenoszoną przez beton $V_{Rd1,}$ i maksymalną dopuszczalną siłę tnącą V_{Rd2}.

$$V_{Rd1} = 0{,}35.k.f_{ctd}.(1{,}2 + 40.\rho_L).d$$

gdzie:

$$k = 1{,}6 - d$$

$$\rho_L = \frac{A_{sL}}{b.d} \leq 0{,}01$$

$$V_{Rd2} = 0{,}5.v.f_{cd}.z$$

gdzie:

$$v = 0{,}6.\left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$$

Dla strzemion, wymagany przekrój zbrojenia uzyskujemy z:

$$A_{sw1} = \frac{V_{Ed}}{f_{ywd1}.z}$$

Dla prętów odginanych, wymagany przekrój zbrojenia uzyskujemy z:

$$A_{sw2} = \frac{V_{Ed}}{f_{ywd2}.z.\sin\alpha.(1 + \cot\alpha)}$$

BS 8110 : 1997

This help contains the following computationals methods:

- Materials, coefficients, notation
- Verification of rectangular cross-section made of plain concrete
- Verification of rectangular RC cross-section
- Verification of circular RC cross-section
- Verification of spread footing for punching shear
- Design of longitudinal reinforcement for slabs
- Design of shear reinforcement for slabs

Materials, Coefficients, Notation

The following notation for material parameters is used:

f_{cu} - characteristic strength of concrete

f_y - characteristic strength of reinforcement

f_{yd} - design strength of steel in tension

$$f_{yd} = \frac{f_y}{1{,}05}$$

The characteristic compressive strength of concrete is the basic input parameter given by the class of concrete.

The most common notation for geometrical parameters:

b - cross-section width

h - cross-section depth

d - effective depth of cross-section

z - lever arm (arm of internal forces)

All computations are carried out according to the theory of limit states.

Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete

The cross-section is rectangular, loaded by the bending moment M, normal force N (applied in the cross-section centroid) and by the shear force V.

Strength of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force with eccentricity e is derived from the following expressions:

$$N_u = x.0{,}45.f_{cu}$$

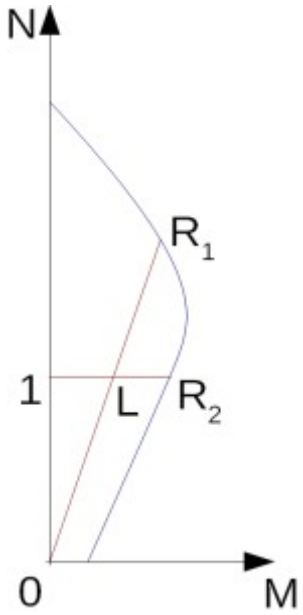
$$x = h - 2.e$$

$$e = Max\left(\frac{abs(M)}{N}\ ; 0{,}05.h\ ; 20mm\right)$$

The shear strength is provided by:

$$V_u = v_c.b.h$$

where: v_c - is the design value of shear stress in concrete for degree of longitudinal reinforcement $\rho = 0$ (see: Verification of spread footing for punching shear)



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L|/|0R_1|$ or $|1L|/|1R_2|$. Where L is loading, R_1 is strength with prescribed eccentricity and R_2 is strength with prescribed normal force.

Verification of Rectangular RC Cross-Section

The cross-section is rectangular, unilaterally reinforced and loaded by the bending moment and normal compression force. The program verifies a reinforced concrete section using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is 0,002 - 0,0035. Compression reinforcement is not taken into account. Minimum eccentricity is applied:

$$e_0 = Min(0{,}05.h\ ;\ 20mm)$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\rho_{min} \le \rho \le \rho_{max}$$

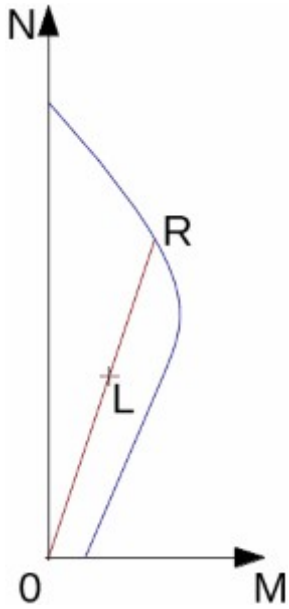
where:

$$\rho = \frac{A_s}{b.d}$$

$$\rho_{max} = 0{,}04$$

$\rho_{min} = 0{,}0013$ - for f_y = 460 N/mm^2

$\rho_{min} = 0{,}0024$ - for f_y = 250 N/mm^2



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L|\,/\,|0R|$. Where L is load and R is strength with prescribed eccentricity.

Bending without normal force

The cross-section is rectangular, reinforced on one side and loaded by the bending moment M_u.

The permissible moment for a given area of reinforcements A_S reads:

$$M_u = b.F_c.(d - 0{,}45.x)$$
$$F_c = 0{,}402\, f_{cu}\, x$$
$$x = \frac{A_s\, f_{yd}}{b\; 0{,}402\, f_{cu}}$$

The program further checks whether the location of neutral axis x is less than the limit location of neutral axis x_{max} given by:

$$x_{\max} = 0{,}5.d$$

Shear

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete V_C.

$$V_c = v_c d\, b$$

where:

$$v_c = \frac{0{,}79\left(\frac{100\, A_s}{b\, h}\right)^{\frac{1}{3}}\left(\frac{400}{d}\right)^{\frac{1}{4}}}{1{,}25}$$

The v_c values are for f_{cu} above 25 N/mm^2 multiplied by $(f_{cu}/25)^{1/3}$

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength V_{max} is checked.

$$V_{max} = Min\left(5\ ;\ 0{,}8\sqrt{f_{cu}}\right) d\, b$$

Next, the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sl} = \frac{V - V_c}{0{,}95\, f_{yv}\left(d - d'\right)} b$$

where:

$$f_{yv} \le 460\, MPa$$

Verification of Circular RC Cross-Section

The program verifies a reinforced concrete pile using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is 0,002 - 0,0035.

The degree of reinforcement is checked using the formula:

$$\rho_{min} \le \rho \le \rho_{max}$$

- **Column** - check for dominant compression

$$\rho = \frac{4.A_s}{\pi.d^2}$$

ρ_{max} = 0,04

ρ_{min} = 0,0013 - for f_y = 460 N/mm^2

ρ_{min} = 0,0024 - for f_y = 250 N/mm^2

- **Beam** - check for dominant bending

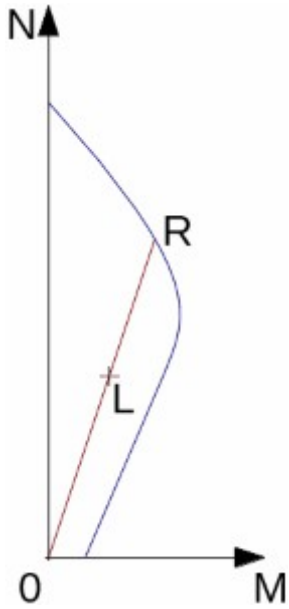
$$\rho = 0{,}5\,\frac{4\,A_s}{\pi\, d^2}$$

ρ_{max} = 0,06

ρ_{min} = 0,004

where: d - pile diameter

A_S - reinforcement area



Interaction diagram N-M

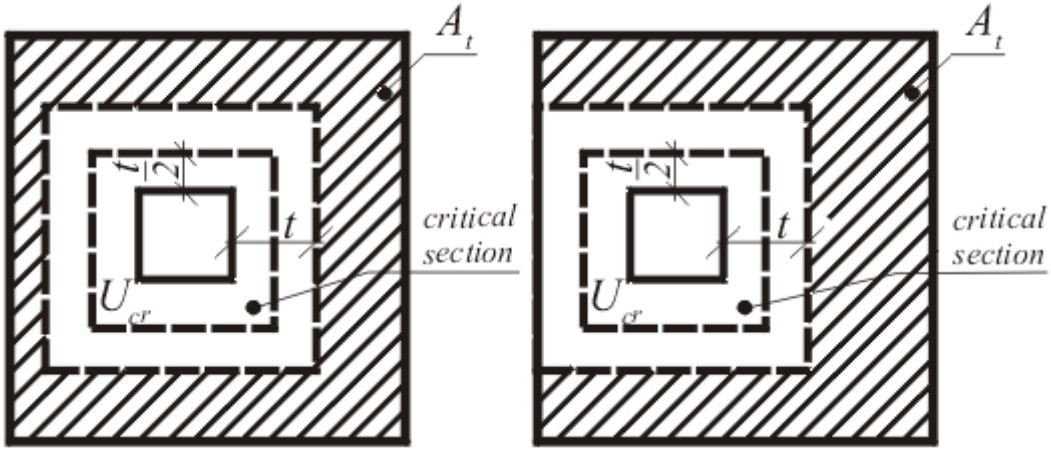
Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L|\,/\,|0R|$. Where L is load and R is strength with prescribed eccentricity.

Verification of Spread Footing for Punching Shear

The critical section loaded in shear U_{cr} is distant from the column edge by one half of the footing thickness. It is loaded by the prescribed moments M_x, M_y and by the shear force V provided by:

$$V = \frac{Q.A_t}{A}$$

where:
- A - area of footing
- Q - assigned vertical force developed in column
- A_t - hatched area in fig.



Dimensioning of shear reinforcement area At

The program computes the maximum shear force V developed in the critical section, the shear force transmitted by concrete with no shear reinforcement V_c, and the maximal allowable force V_u:

$$V_c = v_c.d$$
$$V_u = v_u.d$$

where:

$$v_c = \frac{0{,}79.\left(\frac{100.A_s}{b.h}\right)^{\frac{1}{3}}.\left(\frac{400}{d}\right)^{\frac{1}{4}}}{1{,}25}$$

The v_c values are for f_{cu} above 25 N/mm^2 multiplied by $(f_{cu}/25)^{1/3}$

$v_u = 0{,}8.\sqrt{f_{cu}}$ or 5 N/m^2

where: v_u is ultimate shear stress

For $V < V_c$ no shear reinforcement is needed.

For $V > V_c$and $V_c < V_u$ it is necessary to design shear reinforcement. The permissable shear force is given by:

$$V_{rd} = V_c + V_{us}$$
$$V_{us} = \frac{\sum 0{,}95 A_{us}.f_{yv}.\sin\alpha}{u}$$
$$f_{yv} = Min\left(f_y\ ;460\right)$$

where: u critical cross-section span

α angle of bends

A_{us} overall area of bends in footing

For $V > V_u$ the shear reinforcement cannot be designed. It is therefore necessary to increase the cross-section depth.

Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs

The design of reinforcement is performed for load caused by the bending moment M_d. The program provides the required area of tensile and compressive (if needed) reinforcement. It takes into account conditions for the minimum and maximum degree of reinforcement in a given cross-section. First, the program determines the location of neutral axis as:

$$x = \frac{d - \sqrt{d^2 - \frac{2.M_d}{0{,}402.b.f_{cu}}}}{0{,}9}$$

Providing the location of neutral axis is less than the allowable one ($x < x_{max}$), the program

determines the area of tensile reinforcement A_{st} from the expression:

$$A_{st} = \frac{0{,}402.b.f_{cu}.0{,}9.x}{f_{yd}}$$

Providing the location of neutral axis is greater than the allowable one ($x > x_{max}$), the program determines the areas of both compressive A_{sc} and tensile A_{st} reinforcement from the expressions:

$$A_{sc} = \frac{M - F_{c,max}\left(d - 0{,}45.x_{max}\right)}{f_{yd}.z}$$

$$A_{st} = \frac{F_{c,max} + A_{sc}.f_{yd}}{f_{yd}}$$

$$F_{c,max} = 0{,}9.x_{max}.0{,}67.\frac{f_{cu}}{1{,}5}$$

The limit location of neutral axis is found from:

$$x_{u,lim} = 0{,}5$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\rho_{min} \le \rho \le \rho_{max}$$

where:

$$\rho = \frac{A_s}{b.d}$$

$$\rho_{max} = 0{,}04$$

$$\rho_{min} = 0{,}0013 \quad \text{- for } f_y = 460\ N/mm^2$$

$$\rho_{min} = 0{,}0024 \quad \text{- for } f_y = 250\ N/mm^2$$

If the maximum degree of reinforcement ρ_{max} is exceeded, the program informs the user that the longitudinal reinforcement cannot be designed for a given cross-section.

Projektowanie zbrojenia na ścinanie w płytach

The program allows determination of the required amount of shear reinforcement form by stirrups and bends, respectively.

First, the program computes the ultimate shear strength in a given section - the shear force transmitted by concrete V_c and the maximum allowable shear force V_{max}.

$$V_c = v_c.d$$

where:

$$v_c = \frac{0{,}79.\left(\frac{100.A_s}{b.h}\right)^{\frac{1}{3}}.\left(\frac{400}{d}\right)^{\frac{1}{4}}}{1{,}25}$$

The v_c values are for f_{cu} above 25 N/mm^2 multiplied by $(f_{cu}/25)^{1/3}$

$$V_{max} = Min\left(5\ ;\ 0{,}8.\sqrt{f_{cu}}\right)d$$

As for stirrups the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sl} = \frac{V - V_c}{0{,}95.f_{yv}.(d - d')}$$

As for bends the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sb} = \frac{V - V_c}{0{,}95.f_{yv}.(\sin\beta + \cos\beta).(d - d')}$$

where:

$$f_{yv} \leq 460MPa$$

s

IS 456

This help contains the following computationals methods:

- Materials, coefficients, notation
- Verification of rectangular cross-section made of plain concrete
- Verification of rectangular RC cross-section
- Verification of circular RC cross-section
- Verification of spread footing for punching shear
- Design of longitudinal reinforcement for slabs
- Design of shear reinforcement for slabs

Materials, Coefficients, Notation

The following notation for material parameters is used:

f_{ck} - characteristic cube compressive strength of concrete

f_{cd} - design compressive strength of concrete

f_{ctk} - characteristic tensile strength of concrete

f_{ctd} - design tensile strength of concrete

f_y - characteristic strength of steel bar

f_{yd} - design tensile strength of steel bar

The characteristic compressive strength of concrete is the basic input parameter given by the class of concrete - it serves to derive the remaining coefficients of reliability.

$$f_{cd} = 0{,}67.\frac{f_{ck}}{1{,}5}$$

$$f_{ctk} = 0{,}7 \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{1{,}5}$$

$$E_c = 5000 \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{1{,}15}$$

The most common notation for geometrical parameters:

b - cross-section width

h - cross-section depth

d - effective depth of cross-section

z - lever arm (arm of internal forces)

All computations are carried out according to the theory of limit states.

Verification of Rectangular Cross-Sections Made of Plain Concrete

The cross-section is rectangular, loaded by the bending moment M, normal force N (applied in the cross-section centroid) and by the shear force V:

$$M_{rd} = \frac{b\,h^2}{6} f_{ctd}$$

The shear strength is provided by:

$$V_{rd} = \tau_c\, b\, h$$

where: τ_C - is the design value of stress in concrete obtained from table 19 of the IS456 standard for degree of longitudinal reinforcement $\rho = 0$.

Strength of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force with eccentricity e is derived from the following expressions:

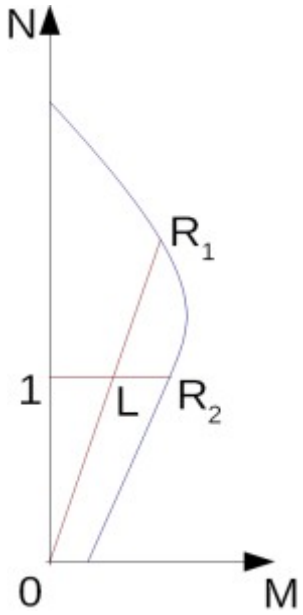
$$P_{rd} = b\, x\, f_{cd}$$

$$P_{rd} = Min\left(\frac{b\, h\, f_{ctd}}{\frac{6\, e}{h} - 1} \; ; \; \frac{b\, h\, f_{cd}}{\frac{6\, e}{h} + 1} \right)$$

where:

$$x = h - 2\, e$$

$$e = \frac{abs(M_u)}{P_u}$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L|/|0R_1|$ or $|1L|/|1R_2|$. Where L is load, R_1 is strength with prescribed eccentricity and R_2 is strength with prescribed normal force.

Verification of Rectangular RC Cross-Section

The cross-section is rectangular, unilaterally reinforced and loaded by the bending moment and normal compression force. The program verifies a reinforced concrete section using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is 0.002 - 0.0035. Compression reinforcement is not taken into account. Minimum eccentricity is applied:

$$e_0 = Max\left(\frac{h}{30}\ ; 20mm\right)$$

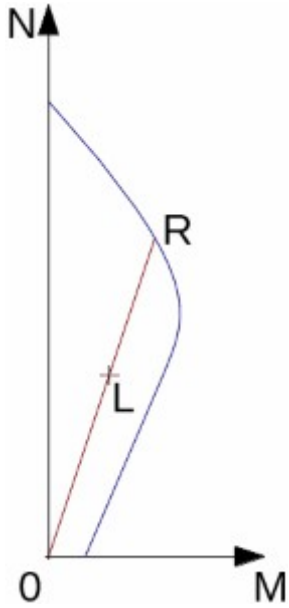
The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b\,d}$$

$$\rho_{min} = \frac{0{,}85}{f_y}$$

$$\rho_{\max} = 0{,}04$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L| / |0R|$. Where L is load and R is strength with prescribed eccentricity.

Bending without normal force

The cross-section is rectangular, reinforced on one side and loaded by the bending moment M.

The permissible moment for a given area of reinforcements A_S reads:

$$M_{rd} = b F_c \left(d - 0{,}42\, x\right)$$
$$F_c = 0{,}36\, f_{ck}\, x$$
$$x = \frac{A_s\, f_{yd}}{b\, 0{,}36\, f_{ck}}$$

The program further checks whether the location of neutral axis x is less than the limit location of neutral axis x_{max} given by:

$x_{max} = 0.53d$ - for steel Fe 250

$x_{max} = 0.48d$ - for steel Fe 400

$x_{max} = 0.46d$ - for steel Fe 500

Shear

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete V_{uc}.

$$V_{uc} = \tau_c\, d\, b$$

where: τ_C is determined according to table 19 standard IS 456 : 2000.

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength $V_{uc,max}$ is checked.

$$V_{uc,\max} = \tau_{c,\max} d\, b$$

where: $\tau_{c,max}$ is determined according to table 20 standard IS 456 : 2000.

Next, the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sv} = \frac{V_u - V_{uc}}{0{,}87\, f_y\, d} b$$

where:

$$f_y \leq 415\, MPa$$

Verification of Circular RC Cross-Section

The program verifies a reinforced concrete pile using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is 0.002 - 0.0035.

The degree of reinforcement is checked using the formula:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

- **Column** - check for dominant compression

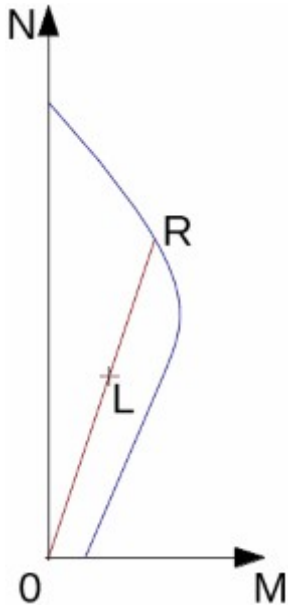
$$\rho = \frac{4.A_s}{\pi.d^2}$$
$$\rho_{\min} = 0{,}008$$
$$\rho_{max} = 0{,}04$$

- **Beam** - check for dominant bending

$$\rho = 0{,}5\,\frac{4\,A_s}{\pi\, d^2}$$
$$\rho_{min} = \frac{0{,}85}{f_y}$$
$$\rho_{max} = 0{,}04$$

where: d - pile diameter

A_S - reinforcement area



Interaction diagram N-M

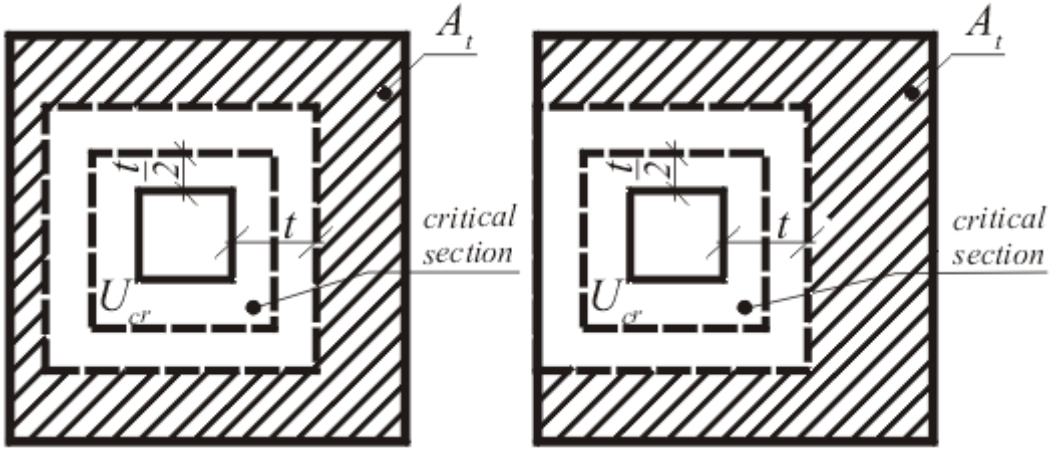
Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L|\,/\,|0R|$. Where L is load and R is strength with prescribed eccentricity.

Verification of Spread Footing for Punching Shear

The critical section loaded in shear U_{cr} is distant from the column edge by one half of the footing thickness. It is loaded by the prescribed moments M_x, M_y and by the shear force V_r provided by:

$$V_r = \frac{Q.A_t}{A}$$

where:
- A - area of footing
- Q - assigned vertical force developed in column
- A_t - hatched area in fig.



Dimensioning of shear reinforcement area At

The program computes the maximum shear force V developed in the critical section, the shear force transmitted by concrete with no shear reinforcement V_c, and the maximal allowable force V_{max}:

$$V_c = \tau_{rd}.k_s.h$$
$$V_{max} = 1{,}5.V_c$$

where:

$$\tau_c = 0{,}25.\sqrt{f_{ctk}}$$
$$k_s = Min\left(0{,}5 + \frac{c_x}{c_y}\ ;1\right)$$

where: c_x, c_y - are dimensions of footing column

For $V < V_c$ no shear reinforcement is needed.

For $V > V_c$ and $V < V_{max}$ it is necessary to design shear reinforcement. The permissable shear force is given by:

$$V_{rd,3} = \frac{1}{2}.V_c + V_{us}$$
$$V_{us} = \frac{\sum 0{,}87 A_{sv}.f_{yd}.\sin\alpha}{u}$$

where: u critical cross-section span

α is angle of bends

A_{sv} overall area of bends in footing

For $V > V_{max}$ the shear reinforcement cannot be designed. It is therefore necessary to increase the cross-section depth.

Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs

The design of reinforcement is performed for load caused by the bending moment M_{rd}. The program provides the required area of tensile and compressive (if needed) reinforcement. It takes into account conditions for the minimum and maximum degree of reinforcement in a given cross-section. First, the program determines the location of neutral axis as:

$$x = \frac{d - \sqrt{d^2 - \frac{M_{rd}}{0{,}96.b.f_{cd}}}}{0{,}84}$$

Providing the location of neutral axis is less than the allowable one ($x < x_{max}$), the program determines the area of tensile reinforcement A_{st} from the expression:

$$A_{st} = 0{,}36.b.x.f_{ck}$$

Providing the location of neutral axis is greater than the allowable one ($x > x_{max}$), the program determines the areas of both compressive A_{sc} and tensile A_{st} reinforcement from the

expressions:

$$A_{sc} = \frac{M - F_{c,max}\left(d - 0{,}42.x_{max}\right)}{f_{yd}.z}$$

$$A_{st} = \frac{F_{c,max} + A_{sc}.f_{yd}}{f_{yd}}$$

$$F_{c,max} = 0{,}36.x_{max}.b.f_{ck}$$

The limit location of neutral axis is found from:

$x_{max} = 0.53d$ for steel Fe 250

$x_{max} = 0.48d$ for steel Fe 400

$x_{max} = 0.46d$ for steel Fe 500

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\rho_{\min} \le \rho \le \rho_{\max}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b.d}$$

$$\rho_{\min} = \frac{0{,}85}{f_y}$$

$$\rho_{\max} = 0{,}04$$

If the maximum degree of tensile reinforcement ($\rho_{t,max} = 0.04$) or total reinforcement ($\rho_{max} = 0.08$), respectively, is exceeded, the program informs the user that the longitudinal reinforcement cannot be designed for a given cross-section.

Design of Shear Reinforcement for Slabs

The program allows determination of the required amount of shear reinforcement form by stirrups and bends, respectively.

First, the program computes the ultimate shear strength in a given section - the shear force transmitted by concrete V_{cu} and the maximum allowable shear force $V_{uc,max}$.

$$V_{uc} = \tau_c.d$$

where: τ_c is determined according to table 19 standard IS 456 : 2000.

$$V_{uc,max} = \tau_{c,max}.d$$

where: $\tau_{c,max}$ is determined according to table 20 standard IS 456 : 2000.

As for stirrups the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sv} = \frac{V_u - V_{uc}}{0{,}87.f_y.d}$$

As for bends the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sv} = \frac{V_u - V_{uc}}{0{,}87.f_y.(\sin\alpha + \cos\alpha).d}$$

where:

$$f_y \leq 415\,MPa$$

ACI 318-11

This help contains the following computationals methods:

- Materials, coefficients, notation
- Verification of rectangular cross-section made of plain concrete
- Verification of rectangular RC cross-section
- Verification of circular RC cross-section
- Verification of spread footing for punching shear
- Design of longitudinal reinforcement for slabs
- Design of shear reinforcement for slabs

Materials, Coefficients, Notation

The following notation for material parameters is used:

$f'c$ - specified compressive strength of concrete

E_c - modulus of elasticity of concrete

f_y - specified yield strength of reinforcing steel

The modulus of elasticity is provided by (Art. 8.5.1):

$$E_c = 57000.\sqrt{f'_c}$$

The most common notation for geometrical parameters:

b - cross-section width

h - cross-section depth

d - effective depth of cross-section

Analiza przekroju poprzecznego z betonu niezbrojonego

The cross-section is rectangular, loaded by the bending moment M, normal force P (applied in the cross-section centroid) and by the shear force V_n.

The shear strength is provided by (Art. 22.5.4, Art. 9.3.5):

$$\phi.V_n \geq V_u$$

$$V_n = \frac{4}{3}.\sqrt{f'_c}.b.h$$

$$\phi = 0,6$$

Strength of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is derived from the following expressions (Art. 22.5.3, Art. 9.3.5):

for compression side:

$$\frac{P_u}{\phi.P_n} + \frac{M_u}{\phi.M_n} \leq 1$$

where:

$$P_n = 0,6.f'_c.b.h$$
$$M_n = 0,85.f'_c.S$$
$$S = \frac{b.h^2}{6}$$
$$\phi = 0,6$$

for tension side:

$$\frac{M_u}{S} - \frac{P_u}{b.h} \leq 5.\phi.\sqrt{f'_c}$$

where:

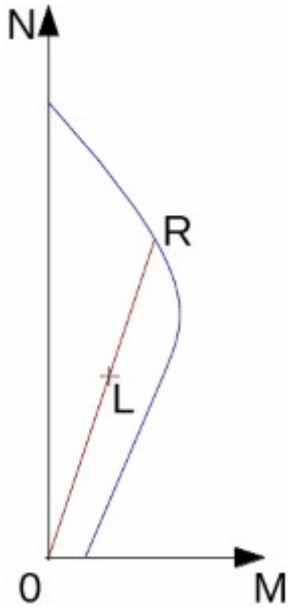
$$\phi = 0,6$$

Analiza prostokątnego przekroju żelbetowego

The cross-section is rectangular, unilaterally reinforced and loaded by the bending moment and normal compression force. The program verifies a reinforced concrete section using the method of limit deformation (Art. 10.3, Art. 10.4). The maximum allowable strain of concrete in compression is 0,003. Compression reinforcement is not taken into account.

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions (Art. 10.5.1):

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$
$$\rho = \frac{A_s}{b.d}$$
$$\rho_{min} = \frac{Max\left(3.\sqrt{f'_c}\ ;\ 200\right)}{f_y}$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L|/|0R|$. Where L is load and R is strength with prescribed eccentricity.

Bending without normal force

The cross-section is rectangular, reinforced on one side and loaded by the bending moment M_u.

The ultimate moment is provided by (Ch. 10, Art. 10.2.7.3, Art. 9.3.2.1):

$$M_u < \phi . M_n$$

$$M_n = A_s . f_y . \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = \frac{A_s . f_y}{b . 0{,}85 . f_c'}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$\beta_1 = 0{,}85 - 0{,}05 . \frac{f_c' - 4000}{1000}$$

$$0{,}65 < \beta_1 < 0{,}85$$

$$\phi = 0{,}9$$

The limit location of neutral axis is found from:

$$x_{u,lim} = \frac{0{,}003}{0{,}003 + 0{,}004} . d$$

Shear

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete V_c (Art. 11.2.1.1).

$$V_c = 2\sqrt{f_c'}\, d\, b$$

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength V_{max} is checked (Art. 11.2.1.1 + Art. 11.4.7.9).

$$V_{\max} = 10\sqrt{f_c'}\, d\, b$$

Next, the necessary reinforcement area is given by (Art. 11.4.7):

$$A_v = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi f_{yt} d} b$$

where (Art. 11.4.2, Art. 9.3.2.3):

$$f_{yt} \leq 60000\ psi$$
$$\phi = 0{,}75$$

Analiza żelbetowego przekroju kołowego

The program verifies a reinforced concrete pile using the method of limit deformation (Art. 10.3, Art. 10.4). The maximum allowable strain of concrete in compression is $0{,}003$. The degree of reinforcement is checked using the formula:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

- **Column** - check for dominant compression (Art. 10.9.1)

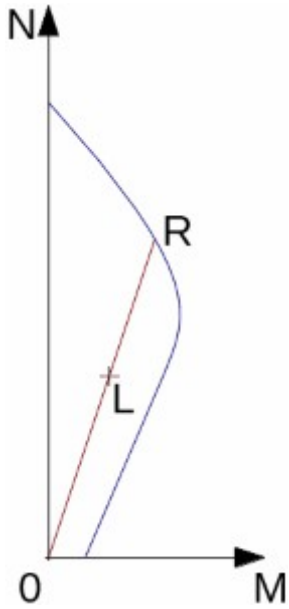
$$\rho = \frac{4A_s}{\pi d^2}$$
$$\rho_{min} = 0.01$$
$$\rho_{max} = 0.08$$

- **Beam** - check for dominant bending (Art. 10.5.1)

$$\rho = 0.5\frac{4A_s}{\pi d^2}$$
$$\rho_{min} = \frac{\mathrm{Max}\left(3\sqrt{f_c'}; 200\right)}{f_y}$$

where: d - pile diameter

A_S - reinforcement area



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L| / |0R|$. Where L is load and R is strength with prescribed eccentricity.

Shear

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete V_c (Art. 11.2.1.1, Art. 11.2.3).

$$V_c = 2\sqrt{f'_c}0.8d^2$$

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength V_{max} and strength of reinforced section V_s are checked (Art. 11.2.1.1 + Art. 11.4.7.9, Art. 11.2.3, Art. 11.4.7.2).

$$V_{max} = 10\sqrt{f'_c}0.8d^2$$
$$V_s = \frac{A_v f_{yt} 0.8d}{s}$$

where (Art. 11.4.2, Art. 9.3.2.3):

$$f_{yt} \leq 60000psi$$
$$\phi = 0.75$$

Analiza fundamentu bezpośredniego na przebicie

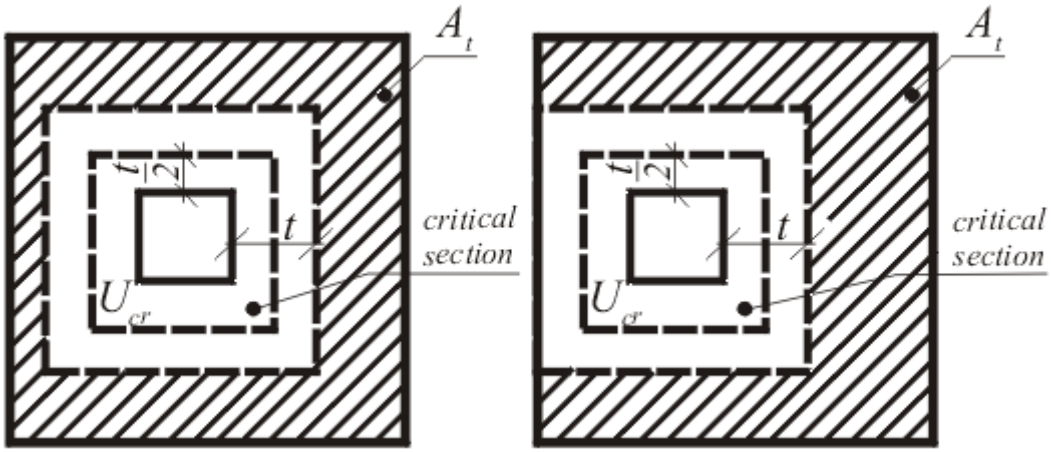
The program allows to verify spread footing for punching shear or for the design of shear reinforcement. The critical section loaded in shear b_o is distant from the column edge by one half of the footing thickness. It is loaded by the prescribed moments M_x, M_y and by the shear force V_u provided by:

$$V_u = \frac{V A_t}{A}$$

where: A - area of footing

V - assigned vertical force developed in column

A_t - hatched area in fig.



Dimensioning of shear reinforcement area A_t

The program computes the maximal shear force V_u developed in the critical section, the shear force transmitted by concrete with no shear reinforcement V_c as minimum of values (Art. 11.11.2.1):

$$V_c = \left(2 + \frac{4}{\beta_c}\right) \sqrt{f_c'} b_o d$$

where β_c is ratio of log side to short side od column.

$$V_c = \left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o}\right) \sqrt{f_c'} b_o d$$

where α_s = 40 - inner column

30 - edge column

20 - corner column

$$V_c = 4\sqrt{f_c'} b_o d$$

and the maximal allowable force V_{max} (Art. 11.11.3.2):

$$V_{max} = 6\sqrt{f_c'} b_o d$$

For $V_u < \phi \times V_c$ no shear reinforcement is needed.

For $V_u > \phi \times V_c$ and $V_u < \phi \times V_{max}$ the shear reinforcement must be introduced. The ultimate shear force is given by (Art. 11.11.3.1):

$$V_n = \phi \left(2\sqrt{f_c'} b_o d + A_v f_{yt} \sin\alpha\right)$$

$$\phi = 0.75$$

where: b_o - critical cross-section span

α - is angle of bends

A_v - overall area of bends in footing

For $V_u > \phi \times V_{max}$ the shear reinforcement cannot be designed. It is therefore necessary to increase the cross-section height.

Projektowanie zbrojenia podłużnego w płytach

The design of reinforcement is performed for load caused by the bending moment M. The program provides the required area of tensile and compressive (if needed) reinforcement. It takes into account conditions for the minimum and maximum degree of reinforcement in a given cross-section. First, the program determines the location of neutral axis as:

$$x = d - \sqrt{d^2 - \frac{2.M_d}{0{,}85.\phi.b.f_c'}}$$

Providing the location of neutral axis is less than the allowable one ($x < x_{lim}$), the program determines the area of tensile reinforcement A_{st} from the expression:

$$A_{st} = \frac{0{,}85.\phi.f_c'.b.x.\beta_1}{f_y}$$

Providing the location of neutral axis is greater than the allowable one ($x > x_{lim}$), the program determines the areas of both compressive A_{sc} and tensile A_{st} reinforcement from the expressions:

$$A_{sc} = \frac{\frac{M}{\phi} - F_{c,max}\left(d - 0{,}45.x_{max}\right)}{f_{yd}.z}$$

$$A_{st} = \frac{M - A_{sc}.f_y}{f_y}$$

$$F_{c,max} = 0{,}85.\phi.b.f_c'$$

where:

$$\phi = 0{,}9$$

The limit location of neutral axis is found from:

$$x_{u,lim} = \frac{0{,}003}{0{,}003 + 0{,}004}.d$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\rho_{min} \le \rho \le \rho_{max}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b.d}$$

$$\rho_{min} = \frac{Max\left(3.\sqrt{f_c'}\ ;\ 200\right)}{f_y}$$

Projektowanie zbrojenia na ścinanie w płytach

The program allows determination of the required amount of shear reinforcement form by stirrups and bends, respectively.

First, the program computes the ultimate shear strength in a given section - the shear force transmitted by concrete V_c (Art. 11.2.1.1) and the maximum allowable shear force V_{max} (Art. 11.2.1.1 + Art. 11.4.7.9).

$$V_c = 2.\sqrt{f'_c}.d$$

$$V_{max} = 10.\sqrt{f'_c}.d$$

As for stirrups the necessary reinforcement area is given by (Art. 11.4.7.2):

$$A_v = \frac{V_u - \phi.V_c}{\phi.f_{yt}.d}$$

As for hooks the necessary reinforcement area is given by (Art. 11.4.7.4):

$$A_v = \frac{V_u - \phi.V_c}{\phi.f_{yt}.(\sin\alpha + \cos\alpha).d}$$

where (Art. 11.4.2, Art. 9.3.2.3):

$$f_{yt} \leq 60000\ psi$$

$$\phi = 0{,}75$$

AS 3600 - 2001

This help contains the following computationals methods:

- Materials, coefficients, notation
- Verification of rectangular cross-section made of plain concrete
- Verification of rectangular RC cross-section
- Verification of circular RC cross-section
- Verification of spread footing for punching shear
- Design of longitudinal reinforcement for slabs
- Design of shear reinforcement for slabs

Materials, Coefficients, Notation

The following notation for material parameters is used:

f'_c - characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days

E_c - mean value of the modulus of elasticity of concrete at 28 days

f'_{cf} - characteristic flexural tensile strength of concrete

f'_{ct} - characteristic principal tensile strength of concrete

f_{sy} - yield strength of reinforcing steel

$$E_c = \rho^{1,5}.5{,}056.\sqrt{f_c'}$$
$$f_{cf}' = 0{,}6.\sqrt{f_c'}$$
$$f_{ct}' = 0{,}4.\sqrt{f_c'}$$

The characteristic compressive strength of concrete is the basic input parameter given by the class of concrete.

The most common notation for geometrical parameters:

b - cross-section width

D - cross-section depth

d - effective depth of cross-section

z - lever arm (arm of internal forces)

All computations are carried out according to the theory of limit states.

Verification of Rectangular Cross-Sections Made of Plain Concrete

The cross-section is rectangular, loaded by the bending moment M, normal force N (applied in the cross-section centroid) and by the shear force V.

The shear strength is provided by:

$$\phi.V_u < V$$
$$V_u = 0{,}15.b.D.(f_c')^{\frac{1}{3}}$$
$$\phi = 0{,}6$$

Strength of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is derived from the following expressions:

$$\frac{N}{\phi.N_u} + \frac{M}{\phi.M_u} \leq 1$$

where:

$$N_u = 0{,}45.f_c'.A_g$$
$$M_u = \frac{b.h^2}{6}.f_{cf}'$$
$$\phi = 0{,}6$$

where: A_g - loaded area

Verification of Rectangular RC Cross-Section

The cross-section is rectangular, unilaterally reinforced and loaded by the bending moment and normal compression force. The program verifies a reinforced concrete section using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is 0.002 - 0.0035. Compression reinforcement is not taken into account.

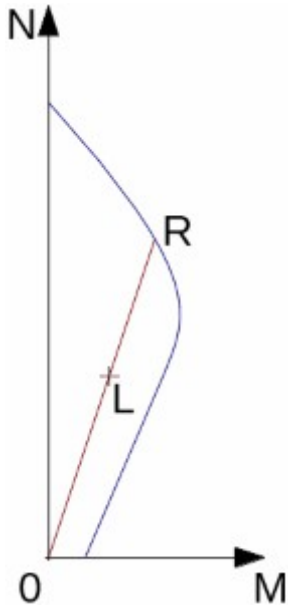
The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\rho_{min} \leq \rho$$

where:

$$\rho = \frac{A_s}{b.d}$$

$$\rho_{min} = \left[0{,}22.\left(\frac{D}{d}\right)^2 .\frac{f'_{cf}}{f_{sy}} \right] \leq \rho$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L| / |0R|$. Where L is load and R is strength with prescribed eccentricity.

Bending without normal force

The cross-section is rectangular, reinforced on one side and loaded by the bending moment M.

The permissible moment for a given area of reinforcements A_S reads:

$$M_x < \phi.M_{uo}$$

$$\phi = 0{,}8$$

$$M_{uo} = A_s.f_{sy}.\left(d - \frac{c}{2}\right)$$

$$c = \frac{A_s.f_{sy}}{b.0{,}85.f'_c}$$

$$\gamma = \left[0{,}85 - 0{,}007.\left(f'_c - 28\right)\right]$$

$$0{,}65 \leq \gamma \leq 0{,}85$$

The program further checks whether the neutral axis parameter k_u is less than the limit value:

$$k_u \leq 0,4$$
$$k_u = \frac{x}{d}$$
$$x = \frac{c}{\gamma}$$

where: x - depth of neutral axis

Shear

The program further checks ultimate shear strength:

$$V < \phi . V_{uc}$$
$$\phi = 0,7$$

where:

$$V_{uc} = \beta_1 . b.d . \left(\frac{A_s . f'_c}{b.d} \right)^{\frac{1}{3}}$$
$$\beta_1 = Max\left[1,1 \; ; \left(1,6 - \frac{d}{1000} \right) . 1,1 \right]$$

Verification of Circular RC Cross-Section

The program verifies a reinforced concrete pile using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is 0.002 - 0.0035. The degree of reinforcement is checked using the formula:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

- **Column** - check for dominant compression

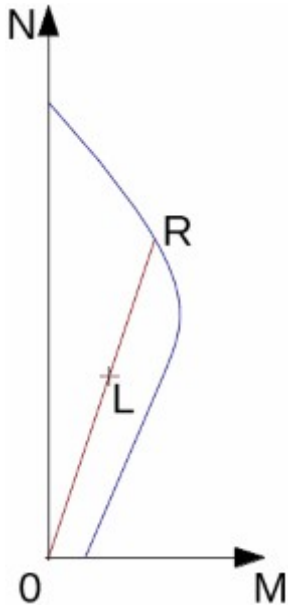
$$\rho = \frac{4 . A_s}{\pi . d^2}$$
$$\rho_{\min} = 0,01$$
$$\rho_{max} = 0,04$$

- **Beam** - check for dominant bending

$$\rho = 0,5 \frac{4 \, A_s}{\pi \, d^2}$$
$$\rho_{min} = \left[0,22 . \left(\frac{D}{d} \right)^2 . \frac{f'_{cf}}{f_{sy}} \right]$$
$$\rho_{max} = 0,04$$

where: D - pile diameter

A_S - reinforcement area



Interaction diagram N-M

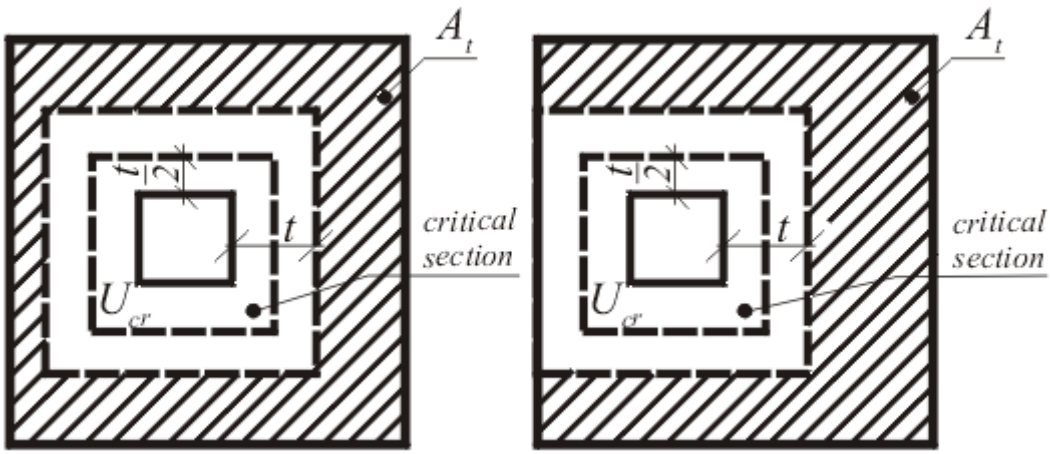
Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L| / |0R|$. Where L is load and R is strength with prescribed eccentricity.

Verification of Spread Footing for Punching Shear

The program allows to verify spread footing for punching shear. The critical section loaded in shear U_{cr} is distant from the column edge by one half of the footing thickness. It is loaded by the prescribed moments M_x, M_y and by the shear force V^* provided by:

$$V^* = \frac{V A_t}{A}$$

where:
A - area of footing
V - assigned vertical force developed in column
A_t - hatched area in fig.



Dimensioning of shear reinforcement area At

The program checks, whether the cross-section bursting strength is sufficient according to the relation:

$$V^* = \phi . V_u$$

where:

$$\phi = 0,7$$

$$V_u = \frac{V_{uo}}{1 + \frac{u.M_v^*}{8.V^*.a.d}}$$

$$V_{uo} = u.d.f_{cv}$$

$$f_{cv} = Min\left[0,34.\sqrt{f_c'}\ ;\ 0,17.\left(1 + \frac{2}{\beta_h}\right).\sqrt{f_c'}\right]$$

where:

- β_h - the ratio of the longest overall dimension of the effective loaded area, Y, to the overall dimension, X, measured perpendicular to Y
- a - the dimension of the critical shear perimeter measured parallel to the direction of M^*_v
- M^*_v - the bending moment transferred from the slab to a support in the direction being considered

The analysis is carried out independently in directions x and y, as the decisive one the lower value of V_u is accepted.

Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs

The design of reinforcement is performed for load caused by the bending moment M. The program provides the required area of tensile and compressive (if needed) reinforcement. It takes into account conditions for the minimum and maximum degree of reinforcement in a given cross-section. First, the program determines the location of neutral axis as:

$$x = d - \sqrt{d^2 - \frac{2.M_d}{0{,}85.\phi.b.f_c'}}$$

Providing the location of neutral axis is less than the allowable one ($x < k_u*d$), the program determines the area of tensile reinforcement A_{st} from the expression:

$$A_{st} = \frac{0{,}85.\phi.f_c'.b.x.\beta_1}{f_y}$$

Providing the location of neutral axis is greater than the allowable one ($x > k_u*d$), the program determines the areas of both compressive (A_{sc}) and tensile (A_{st}) reinforcement from the expressions:

$$A_{sc} = \frac{\frac{M}{\phi} - f_{c,max}\left(d - 0{,}45.k_u.d\right)}{f_{yd}.z}$$

$$A_{st} = \frac{M - A_{sc}.f_y}{f_y}$$

$$F_{c,max} = 0{,}85.\phi.b.f_c'$$

where:

$$\phi = 0{,}8$$

$$k_u = 0{,}4$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\rho_{min} \leq \rho$$

where:

$$\rho = \frac{A_s}{b.d}$$

$$\rho_{min} = \left[0{,}22.\left(\frac{D}{d}\right)^2.\frac{f_{cf}'}{f_{sy}}\right] \leq \rho$$

Design of Shear Reinforcement for Slabs

The program allows determination of the required amount of shear reinforcement form by stirrups and bends, respectively.

First, the program computes the ultimate shear strength in a given section - the shear force transmitted by concrete V_{uc} and the maximum allowable shear force $V_{u,max}$.

$$V_{uc} = \beta_1.d.\left(\frac{A_s.f_c'}{d}\right)^{\frac{1}{3}}$$

where:

$$\beta_1 = Max\left[1{,}1\ ;\left(1{,}6 - \frac{d}{1000}\right).1{,}1\right]$$

$$V_{u,max} = 2.f_c'.d$$

As for stirrups the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sv} = \frac{V^* - \phi.V_{uc}}{\phi.f_{sy,f}.d}$$

As for bends the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sv} = \frac{V^* - \phi.V_{uc}}{\phi.f_{sy,f}.(\sin\alpha + \cos\alpha).d}$$

where:

$$\phi = 0{,}7$$

SNiP 52-101 - 2003

This help contains the following computationals methods:

- Materials, coefficients, notation
- Verification of rectangular cross-section made of plain concrete
- Verification of rectangular RC cross-section
- Verification of circular RC cross-section
- Verification of spread footing for punching shear
- Design of longitudinal reinforcement for slabs
- Design of shear reinforcement for slabs

Materials, Coefficients, Notation

The following notation for material parameters is used:

R_{bd} - design strength of concrete in compression

R_{btd} - design strength of concrete in tension

R_{sc} - design strength of steel in compresion

R_s - design strength of steel in tension

The most common notation for geometrical parameters:

b - cross-section width

h - cross-section depth

h_e - effective depth of cross-section

z - lever arm (arm of internal forces)

Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete

The cross-section is rectangular, loaded by the bending moment M, normal force N (applied in the cross-section centroid) and by the shear force Q. The cross-section bearing capacity subjected to bending moment is given by:

$$M_{ult} = \frac{b.h^2}{6}.R_{bt}$$

The shear strength is provided by:

$$Q_{ult} = 1{,}5.b.h..R_b$$

Strength of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is derived from the following expressions depending on the normal force eccentricity e:

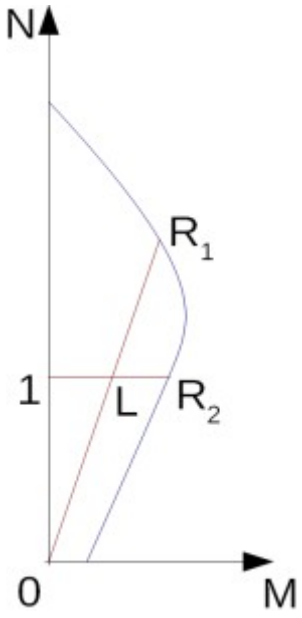
for:

$$N_{ult} = b.x.R_b$$

$$N_{ult} = Min\left(\frac{b.h.R_{bt}}{\frac{6.e}{h}-1}\ ;\ \frac{b.h.R_b.}{\frac{6.e}{h}+1}\right)$$

$$x_u = h - 2.e$$

$$e = \frac{abs(M)}{N}$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L|/|0R_1|$ or $|1L|/|1R_2|$. Where L is load, R_1 is strength with prescribed eccentricity and R_2 is strength with prescribed normal force.

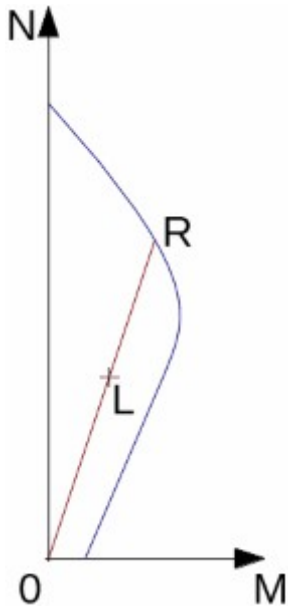
Verification of Rectangular RC Cross-Section

The cross-section is rectangular, unilaterally reinforced and loaded by the bending moment and normal compression force. The program verifies a reinforced concrete section using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is 0.002 to 0.0035. Compression reinforcement is not taken into account.

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\mu_{st,\min} = 0{,}001 < \mu_{st}$$

$$\mu_{st} = \frac{A_s}{b\, h_0}$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L| / |0R|$. Where L is load and R is strength with prescribed eccentricity.

Bending without normal force

The cross-section is rectangular, reinforced on one side and loaded by the bending moment M.

The ultimate moment is provided by:

$$M_{ult} = b\, x\, R_b \left(h_0 - \frac{x}{2} \right)$$

$$x = \frac{A_s R_s}{b\, R_b}$$

The program further checks whether the location of neutral axis x is less than the limit location of neutral axis x_R given by:

$$x_R = \frac{0,8\,h_0}{1+\frac{R_s}{700}}$$

Shear

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete Q_b.

$$Q_b = 2,5\,R_{bt}\,h_0\,b$$

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength Q_{max} is checked.

$$Q_{\max} = 0,3\,R_b\,h_0\,b$$

Next, the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sw} = \frac{Q - 1,5\,R_{bt}\,h_0}{0,75\,R_{sw}\,h_0}\,b$$

where:

$$R_{sw} = Min\left(0,8\,R_s\ ;\ 300\,MPa\right)$$

Verification of Circular RC Cross-Section

The program verifies a reinforced concrete pile using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is 0.0015 - 0.0035. The degree of reinforcement is checked using the formula:

- **Column** - check for dominant compression

$$\mu_{st,min} = 0,001 < \mu_{st}$$

$$\mu_{st} = \frac{4.A_s}{\pi.d^2}$$

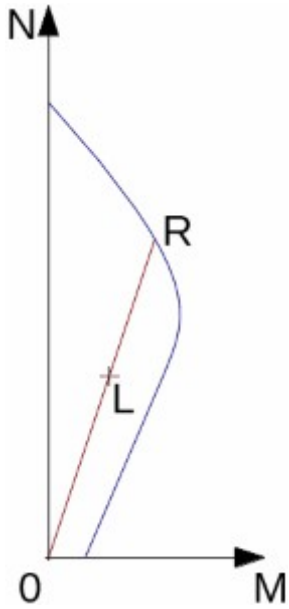
- **Beam** - check for dominant bending

$$\mu_{st,min} = 0,001 < \mu_{st}$$

$$\mu_{st} = 0,5\,\frac{4\,A_s}{\pi\,d^2}$$

where: d - pile diameter

A_S - reinforcement area



Interaction diagram N-M

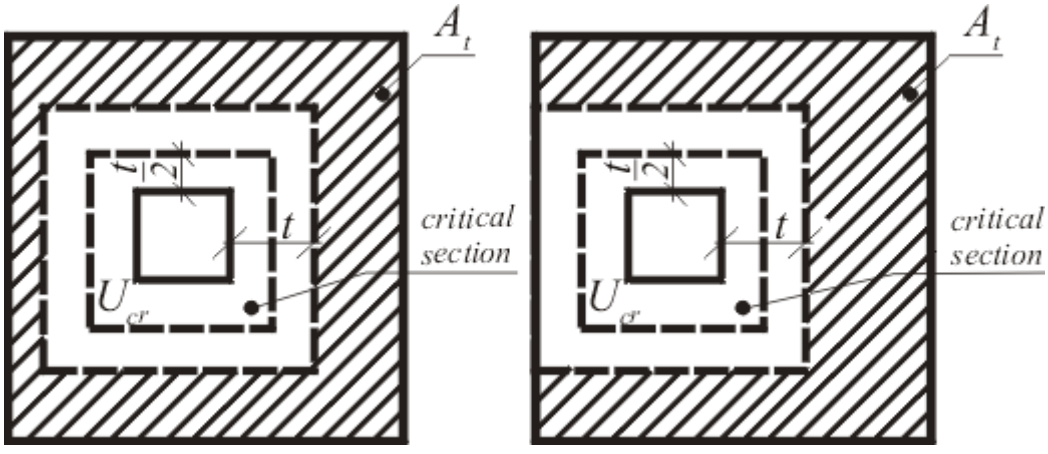
Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L|\,/\,|0R|$. Where L is load and R is strength with prescribed eccentricity.

Verification of Spread Footing for Punching Shear

The program allows to verify spread footing for punching shear or for the design of shear reinforcement. The critical section loaded in shear U_{cr} is distant from the column edge by one half of the footing thickness. It is loaded by the prescribed moments M_x, M_y and by the shear force F provided by:

$$F = \frac{Q.A_t}{A}$$

where:
- A - area of footing
- Q - assigned vertical force developed in column
- A_t - hatched area in fig.



Dimensioning of shear reinforcement area A_t

The program computes the maximal shear force F developed in the critical section, the shear force transmitted by concrete with no shear reinforcement $F_{b,ult}$, and the maximal allowable force $F_{ult,max}$:

$$F_{b,ult} = R_{bt}.h_0$$
$$F_{ult,max} = 2.F_{b,ult}$$

For $F < F_{b,ult}$ no shear reinforcement is needed.

For $F > F_{b,ult}$ and $F < F_{ult,max}$ the shear reinforcement must be introduced. The ultimate shear force is given by:

$$F_{ult} = F_{b,ult} + F_{sw,ult}$$
$$F_{sw,ult} = \frac{0,8.A_s.R_{sw}.\sin\alpha}{V_{cr}}$$

where: V_{cr} - critical cross-section span

α - is angle of bends

A_S - overall area of bends in footing

For $F > F_{ult,max}$ the shear reinforcement cannot be designed. It is therefore necessary to increase the cross-section height.

Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs

The design of reinforcement is performed for load caused by the bending moment M. The program provides the required area of tensile and compressive (if needed) reinforcement. It takes into account conditions for the minimum and maximum degree of reinforcement in a given cross-section. First, the program determines the location of neutral axis as:

$$x = h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{M}{0,5.b..R_b}}$$

Providing the location of neutral axis is less than the allowable one ($x < x_{max}$), the program determines the area of tensile reinforcement A_{st} from the expression:

$$A_{st} = \frac{b.x.R_{bd}}{R_{sd}}$$

Providing the location of neutral axis is greater than the allowable one ($x > x_{max}$), the program determines the areas of both compressive A_{sc} and tensile A_{st} reinforcement from the expressions:

$$A_{sc} = \frac{M - F_{c,max}\left(h_e - 0,5.x_{max}\right)}{R_{sd}.z}$$
$$A_{st} = \frac{F_{c,max} + A_{sc}.R_{sd}}{R_{sd}}$$
$$F_{c,max} = x_{max}.b.R_{bd}$$

The limit location of neutral axis is found from:

$$x_{max} = 0{,}533.h_e$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\mu_{st,\min} = 0{,}001 < \mu_{st}$$

$$\mu_{st} = \frac{A_s}{b\, h_0}$$

Design of Shear Reinforcement for Slabs

The program allows determination of the required amount of shear reinforcement form by stirrups and bends, respectively.

First, the program computes the ultimate shear strength in a given section - the shear force transmitted by concrete Q_b and the maximum allowable shear force Q_{max}.

$$Q_b = 2{,}5\, R_{bt}\, h_0$$
$$Q_{\max} = 0{,}3\, R_b\, h_0$$

As for stirrups the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sw} = \frac{Q - 1{,}5\, R_{bt}\, h_0}{0{,}75\, R_{sw}\, h_0}$$

As for bends the necessary reinforcement area is given by:

$$A_{sw} = \frac{Q - 1{,}5\, R_{bt}\, h_0}{0{,}75\, R_{sw}\, h_0 \sin\alpha}$$

where:

$$R_{sw} = Min\left(0{,}8\, R_s\ ;\ 300\, MPa\right)$$

GB 50010 - 2010

This help contains the following computationals methods:

- Materials, coefficients, notation
- Verification of rectangular cross-section made of plain concrete
- Verification of rectangular RC cross-section
- Verification of circular RC cross-section
- Verification of spread footing for punching shear
- Design of longitudinal reinforcement for slabs
- Design of shear reinforcement for slabs

Materials, Coefficients, Notation

The following notation for material parameters is used:

f_c - design strength of concrete in compression

f_t - design strength of concrete in tension

f'_y - design strength of steel in compresion

f_y - design strength of steel in tension

The most common notation for geometrical parameters:

b - cross-section width

h - cross-section depth

h_0 - effective depth of cross-section

Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete

The cross-section is rectangular, loaded by the bending moment M, normal force N (applied in the cross-section centroid) and by the shear force V. The cross-section bearing capacity subjected to bending moment is given by (Art. D.3):

$$M_u = \frac{bh^2}{6}\gamma f_{ct}$$

where (Art. 7.2.4, Art. D.2.2):

$$\gamma = \left(0.7 + \frac{120}{h}\right) 1.55$$

$$400\text{mm} \leq h \leq 1600\text{mm}$$

$$f_{ct} = 0.55 f_t$$

The shear strength is provided by (Art. 6.3.3):

$$V_u = 0.7 f_t b h$$

Strength of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is derived from the following expressions depending on the normal force eccentricity e_0 (Art. D.2.1):

As the greater of:

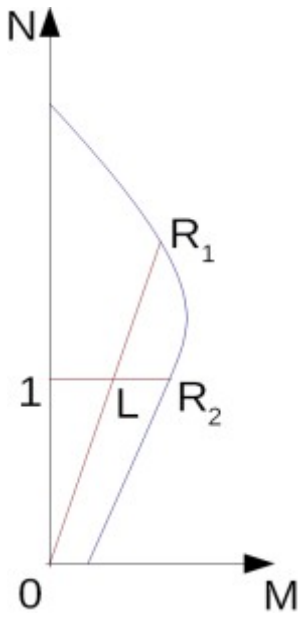
$$e_0 \leq 0.45h \Rightarrow N_u = f_{cc} b (h - 2e_0)$$

$$N_u = \text{Min}\left(\frac{bh\gamma f_{ct}}{\frac{6e_0}{h} - 1}; \frac{bh f_c}{\frac{6e_0}{h} + 1}\right)$$

where (Art. D.2.1):

$$f_{cc} = 0.85 f_c$$

$$e_0 = \left| \frac{M}{N} \right|$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L|/|0R_1|$ or $|1L|/|1R_2|$. Where L is load, R_1 is strength with prescribed eccentricity and R_2 is strength with prescribed normal force.

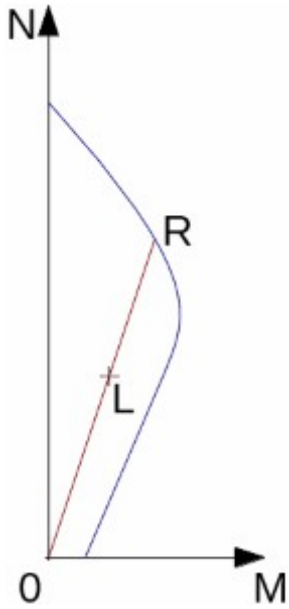
Verification of Rectangular RC Cross-Section

The cross-section is rectangular, unilaterally reinforced and loaded by the bending moment and normal compression force. The program verifies a reinforced concrete section using the method of limit deformation (Art. 6.2.1). The maximum allowable strain of concrete in compression is 0.002 to 0.0033. Compression reinforcement is not taken into account.

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions (Art. 8.5.1):

$$\rho_{min} = \mathrm{Max}\left(0.002; 0.45\frac{f_t}{f_y}\right) \leq \rho$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L| / |0R|$. Where L is load and R is strength with prescribed eccentricity.

Bending without normal force

The cross-section is rectangular, reinforced on one side and loaded by the bending moment M.

The ultimate moment is provided by (Art. 6.2.10):

$$M_u = \alpha_1 f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right)$$

$$x = \frac{f_y A_s}{\alpha_1 f_c b}$$

α_1 = 1 for: ≤ **C50**

α_1 = 0.94 for: ≥ **C80**, intermediate values are obtained using linear interpolation method (Art. 6.2.6).

The program further checks whether the depth of compression zone x is less than the limit depth of compression zone $\xi_b * h_0$ given by (Art. 6.2.7):

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{a + \frac{f_y}{E_s \varepsilon_{cu}}}$$

β_1 = 0.8 for: ≤ **C50**

β_1 = 0.74 for: ≥ **C80**, intermediate values are obtained using linear interpolation method (Art. 6.2.6).

Shear

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete V_c:

For flexural element (Art. 6.3.3):

$$V_c = 0.7 f_t b h$$

For compression element (Art. 6.3.12):

$$V_c = \frac{1.75}{\frac{M}{Vh_0} + 1} f_t bh + 0.07 \, \mathrm{Min}(N; 0.3 f_c A)$$

For tension element (Art. 6.3.14):

$$V_c = \frac{1.75}{\frac{M}{Vh_0} + 1} f_t bh - 0.2N$$

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength V_{max} is checked (Art. 6.3.1).

for $h_0/b \leq 4$

$$V_{max} = 0.25 \beta_c f_c b h_0$$

for $h_0/b \geq 6$

$$V_{max} = 0.2 \beta_c f_c b h_0$$

intermediate values are obtained using linear interpolation method

$\beta_c = 1$ for: ≤ **C50**

$\beta_c = 0.8$ for: ≥ **C80**, intermediate values are obtained using linear interpolation method.

Next, the necessary reinforcement area is given by (Art. 6.3.4).

$$A_{sv} = \frac{V - V_c}{f_{yv} h_0}$$

$$f_{yv} = \mathrm{Min} \, (360\mathrm{MPa}, f_y)$$

Verification of Circular RC Cross-Section

The program verifies a reinforced concrete pile using the method of limit deformation (Art. 6.2.1). The maximum allowable strain of concrete in compression is 0.002 - 0.0033. The degree of reinforcement is checked using the formula:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

- **Column** - check for dominant compression (Art. 8.5.1, Art. 9.3.1)

$$\rho = \frac{4 A_s}{\pi d^2}$$

for steel strength grade greater or equal to 500 MPa

$$\rho_{min} = 0.005$$

for steel strength grade greater or equal to 400 MPa

$$\rho_{min} = 0.0055$$

for steel strength grade less than 335 MPa

$$\rho_{min} = 0.006$$

ρ_{min} is increased by 0.001 for concrete strength grade greater than **C60**

$$\rho_{max} = 0.05$$

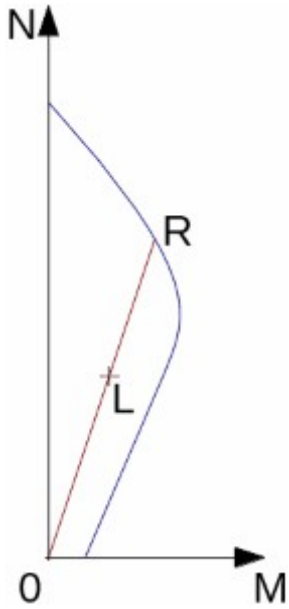
- **Beam** - check for dominant bending (Art. 8.5.1)

$$\rho = 0.5\frac{4A_s}{\pi d^2}$$

$$\rho_{min} = \mathrm{Max}\left(0.002; 0.45\frac{f_t}{f_y}\right)$$

where: d - pile diameter

A_S - reinforcement area



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L|\,/\,|0R|$. Where L is load and R is strength with prescribed eccentricity.

Shear

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete V_c:

For flexural element (Art. 6.3.3, Art. 6.3.15):

$$V_c = 0.7 f_t (0.88d)(0.8d)$$

For compression element (Art. 6.3.12, Art. 6.3.15):

$$V_c = \frac{1.75}{\frac{M}{Vh_0} + 1} f_t (0.88d)(0.8d) + 0.07\ \mathrm{Min}(N; 0.3 f_c A)$$

For tension element (Art. 6.3.14, Art. 6.3.15):

$$V_c = \frac{1.75}{\frac{M}{Vh_0} + 1} f_t (0.88d)(0.8d) - 0.2N$$

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength V_{max} (Art. 6.3.1, Art. 6.3.15) and strength of reinforced section V_S are checked (Art. 6.3.4, Art. 6.3.12, Art. 6.3.14, Art. 6.3.15).

for $h_0/b \leq 4$

$$V_{max} = 0.25\beta_c f_c(0.88d)(0.8d)$$

for $h_0/b \geq 6$

$$V_{max} = 0.2\beta_c f_c(0.88d)(0.8d)$$

β_c = 1 for: ≤ **C50**

β_c = 0.8 for: ≥ **C80**, intermediate values are obtained using linear interpolation method.

$$V_{cs} = V_c + f_{yv}\frac{A_{sv}}{s}(0.8d)$$
$$f_{yv} = \text{Min}\,(360\text{MPa}, f_y)$$

Verification of Spread Footing for Punching Shear

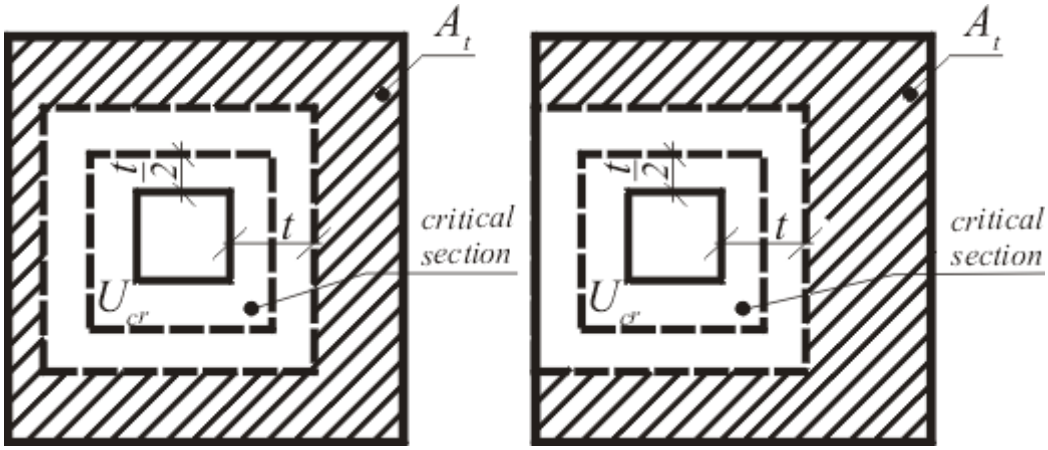
The program allows to verify spread footing for punching shear or for the design of shear reinforcement. The critical section loaded in shear U_{cr} is distant from the column edge by one half of the footing thickness. It is loaded by the prescribed moments M_x, M_y and by the shear force F_l provided by:

$$F_l = \frac{QA_t}{A}$$

where: A - area of footing

Q - assigned vertical force developed in column

A_t - hatched area in fig**.**



Dimensioning of shear reinforcement area A_t

The program computes the maximal shear force F_l developed in the critical section (the influence of unbalanced bending moment is added according to Appendix F of standard GB50010-2010), the shear force transmitted by concrete with no shear reinforcement F_c (Art. 6.5.1), and the maximal allowable force F_{max} (Art. 6.5.3). The shear forces are related to the unit length of critical section.

$$F_c = 0.7\beta_h f_t \eta h_0$$

$\beta_h = 0.9$ for $h \geq 2000mm$

$\beta_h = 1$ for $h \leq 800mm$, intermediate values are obtained using linear interpolation method.

$$\eta = \text{Min}\left(\eta_1, \eta_2\right)$$

$$\eta_1 = 0.4 + \frac{1.2}{\beta_s}$$

where β_S is the size ratio of long side and short side of action area.

$$2 \leq \beta_s \leq 4$$

$$\eta_2 = 0.5 + \frac{\alpha_s h_0}{4u_m}$$

where α_S: 40 - for interior column

30 - for edge column

20 - for corner column

$$F_{max} = 1.2 f_t \eta h_0$$

For $F_l < F_c$ no shear reinforcement is needed.

For $F_l > F_c$ and $F_l < F_{max}$ the shear reinforcement must be introduced. The ultimate shear force is given by:

$$F_u = 0.5 f_t \eta h_0 + 0.8 f_{yv} A_{sbu} \sin\alpha$$

$$f_{yv} = \text{Min}\left(360\text{MPa}, f_y\right)$$

where:

u_m - critical cross-section span

α - is angle of bends

A_{sb} - area of bends in unit length of critical section

u

For $F_l > F_{max}$ the shear reinforcement cannot be designed. It is therefore necessary to increase the cross-section height.

Additional check according to article 8.2.9 of standard GB50007-2011 is done for narrow footing or strip footing.

$$V_c = 0.7 \beta_h f_t b_0 h_0$$

where:

$$\beta_h = \left(\frac{800}{h_0}\right)^{\frac{1}{4}}$$

$$800\text{mm} \leq h_0 \leq 2000\text{mm}$$

b_0 is average width of footing.

Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs

The design of reinforcement is performed for load caused by the bending moment M. The program provides the required area of tensile and compressive (if needed) reinforcement. It

takes into account conditions for the minimum and maximum degree of reinforcement in a given cross-section. First, the program determines the depth of compression zone as (Art. 6.2.10):

$$x = h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{M}{0.5b\alpha_1 f_c}}$$

Providing the depth of compression zone is less than the allowable one ($x < \xi_b h_0$), the program determines the area of tensile reinforcement A_{st} from the expression:

$$A_{st} = \frac{\alpha_1 b x f_c}{f_y}$$

Providing the depth of compression zone is greater than the allowable one ($x > \xi_b h_0$), the program determines the areas of both compressive A_{sc} and tensile A_{st} reinforcement from the expressions:

$$A_{sc} = \frac{\frac{M}{h_0 - 0.5\xi_b h_0} - F_{c,max}}{f_y'}$$

$$A_{st} = \frac{F_{c,max} + A_{sc} f_y'}{f_y}$$

$$F_{c,max} = \alpha_1 b \xi_b h_0 f_c$$

The limit depth of compression zone $\xi_b h_0$ is found from (Art. 6.2.7):

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_y}{E_s \varepsilon_{cu}}}$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions (Art. 8.5.1):

$$\rho_{min} = \text{Max}\left(0.0015; 0.45\frac{f_t}{f_y}\right) \leq \rho$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

Design of Shear Reinforcement for Slabs

The program allows determination of the required amount of shear reinforcement form by stirrups and bends, respectively.

First, the program computes the ultimate shear strength in a given section - the shear force transmitted by concrete V_c (Art. 6.3.3) and the maximum allowable shear force V_{max} (Art. 6.3.1).

$$V_c = 0.7\beta_h f_t b h_0$$

where:

$$\beta_h = \left(\frac{800}{h_0}\right)^{\frac{1}{4}}$$

$$800\text{mm} \leq h_0 \leq 2000\text{mm}$$

for $h_0/b \leq 4$

$$V_{max} = 0.25\beta_c f_c b h_0$$

for $h_0/b \geq 6$

$$V_{max} = 0.2\beta_c f_c b h_0$$

intermediate values are obtained using linear interpolation method

$\beta_c = 1$ for: ≤ **C50**

$\beta_c = 0.8$ for: ≥ **C80**, intermediate values are obtained using linear interpolation method.

As for stirrups the necessary reinforcement area is given by (Art. 6.3.4):

$$A_{sv} = \frac{V - V_c}{f_{yv} h_0}$$

$$f_{yv} = \text{Min}\,(360\text{MPa}, f_y)$$

As for bends the necessary reinforcement area is given by (Art. 6.3.5):

$$A_{sb} = \frac{V - V_c}{0.8 f_{yv} h_0 \sin\alpha_s}$$

NZS 3101-2006

This help contains the following computationals methods:

- Materials, coefficients, notation
- Verification of rectangular cross-section made of plain concrete
- Verification of rectangular RC cross-section
- Verification of circular RC cross-section
- Verification of spread footing for punching shear
- Design of longitudinal reinforcement for slabs
- Design of shear reinforcement for slabs

Materials, Coefficients, Notation

The following notation for material parameters is used:

f'_c - specified compressive strength of concrete

E_c - modulus of elasticity of concrete at 28 days

f_y - lower characteristic yield strength of reinforcing steel

$$E_c = \left[3320\sqrt{f'_c} + 6900\right]$$

The characteristic compressive strength of concrete is the basic input parameter given by the class of concrete.

The most common notation for geometrical parameters:

b - cross-section width

h - cross-section depth

d - effective depth of cross-section

z - lever arm (arm of internal forces)

All computations are carried out according to the theory of limit states.

Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete

The cross-section is rectangular, loaded by the bending moment M^*, normal force N^* (applied in the cross-section centroid) and by the shear force V^*. The shear strength is provided by:

$$V^* \leq \phi V_n$$

where:

$$V_n = v_c.b.h$$

for cross-sections with height smaller than 200mm

$$v_c = 0.17\sqrt{f_c'}$$

for cross-sections with height greater than 400mm

$$v_c = 0.08\sqrt{f_c'}$$

intermediate values are obtained using linear interpolation method.

f_c' is limited to value $50MPa$.

$$\phi = 0.75$$

Strength of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is derived from the following expressions depending on the normal force eccentricity e:

$$N^* \leq \phi N_n$$

Where N_n is determined as the greater of:

$$N_n = bx\alpha_1 f_c'$$

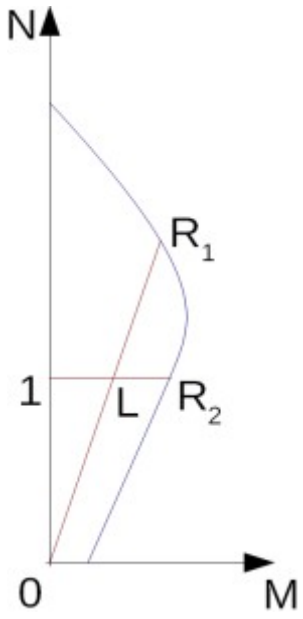
$$N_n = Min\left(\frac{bh0.36\sqrt{f_c'}}{\frac{6e}{h}-1}; \frac{bhf_c'}{\frac{6e}{h}+1}\right)$$

for $f_c' < 55MPa$ is $\alpha_1 = 0.85$

for concrete with greater strength is

$$\alpha_1 = \mathrm{Max}(0.85 - 0.004(f_c' - 55); 0.75)$$

$$x = h - 2e$$
$$\phi = 0.6$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L|/|0R_1|$ or $|1L|/|1R_2|$. Where L is load, R_1 is strength with prescribed eccentricity and R_2 is strength with prescribed normal force.

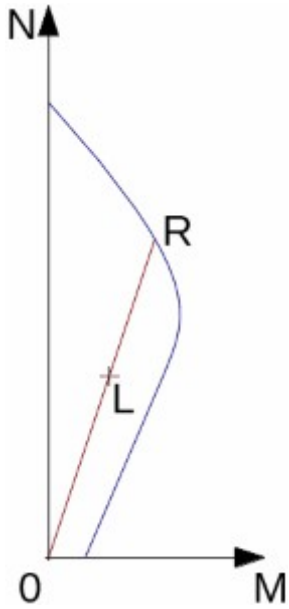
Verification of Rectangular RC Cross-Section

The cross-section is rectangular, unilaterally reinforced and loaded by the bending moment and normal compression force. The program verifies a reinforced concrete section using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is 0.003. Compression reinforcement is not taken into account.

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\rho_{min} = \frac{\text{Max}(0.25\sqrt{f_c'}; 1.4)}{f_y} < \rho < 0.04 = \rho_{max}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L| / |0R|$. Where L is load and R is strength with prescribed eccentricity.

Bending without normal force

The cross-section is rectangular, reinforced on one side and loaded by the bending moment M^*.

The ultimate moment is provided by:

$$M^* \leq \phi M_n$$
$$\phi = 0.85$$
$$M_n = \beta_1 c b \alpha_1 f_c^{'}(d - 0.5\beta_1 c)$$
$$c = \frac{A_s f_y}{\beta_1 b \alpha_1 f_c^{'}}$$

for $f_c^{'} < 55\ MPa$ is $\alpha_1 = 0.85$

for concrete with greater strength is

$$\alpha_1 = \mathrm{Max}(0.85 - 0.004(f_c^{'} - 55); 0.75)$$

for $f_c^{'} < 30\ MPa$ is $\beta_1 = 0.85$

for concrete with greater strength is

$$\beta_1 = \mathrm{Max}(0.65; 0.85 - 0.008(f_c^{'} - 30))$$

The program further checks whether the location of neutral axis c is less than the limit location of neutral axis $0.75 * c_b$ given by:

$$c_b = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}}$$

Shear

$$V^* \leq \phi V_n$$

where:

$$\phi = 0.75$$

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete V_c.

$$V_c = v_c b d$$

for cross-sections with height smaller than 200 mm

$$v_c = 0.17\sqrt{f_c'}$$

v_c is computed acording to following formulas for cross-sections with height greater than 400 mm, intermediate values are obtained using linear interpolation method.

$$v_c = k_n k_d v_b$$

$$k_n = 1 + \frac{N^*}{b h f_c'}$$

$$k_d = \mathrm{Max}(0.9; \mathrm{Min}(1; (400/d)^{0.25}))$$

$$v_b = \mathrm{Min}(0.2; \mathrm{Max}(0.08; 0.07 + 10\rho_w))\sqrt{f_c'}$$

where ρ_W is degree of reinforcement and $f_c^{'}$ is limited to value 50 MPa.

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength V_{max} is checked.

$$V_{max} = \mathrm{Min}(8\mathrm{MPa}; 0.2 f_c')bd$$

Next, the necessary reinforcement area is given by:

$$A_v = \frac{V^* - \phi V_c}{f_{yt} d} b$$

Verification of Circular RC Cross-Section

The program verifies a reinforced concrete pile using the method of limit deformation. The maximum allowable strain of concrete in compression is 0.003.

The degree of reinforcement is checked using the formula:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

- **Pile**

$$\rho = \frac{4A_s}{\pi d^2}$$

$A_g < 0.5m^2$ $\rho_{min} = 2.4 / fy$

$A_g > 2m^2$ $\rho_{min} = 1.2 / f_y$

where: A_g - cross-section area of pile

intermediate values are calculated according to:

$$\rho_{min} = \frac{2.4}{f_y \sqrt{2A_g}}$$
$$\rho_{max} = 0.08$$

- **Column** - check for dominant compression

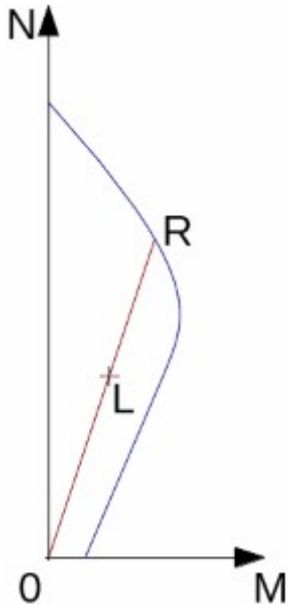
$$\rho = \frac{4A_s}{\pi d^2}$$
$$\rho_{min} = 0.008$$
$$\rho_{max} = 0.08$$

- **Beam** - check for dominant bending

$$\rho = 0.5\frac{4A_s}{\pi d^2}$$
$$\rho_{min} = \frac{\mathrm{Max}(0.25\sqrt{f_c'}; 1.4)}{f_y}$$
$$\rho_{max} = 0.04$$

where: d - pile diameter

A_S - cross sectional area of reinforcement



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L| / |0R|$. Where L is load and R is strength with prescribed

eccentricity.

Shear

$$V^* \leq \phi V_n$$

where:

$$\phi = 0.75$$

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete V_c.

$$V_c = v_c b d$$

for cross-sections with height smaller than 200mm

$$v_c = 0.17\sqrt{f_c'}$$

v_c is computed acording to following formulas for cross-sections with height greater than 400mm, intermediate values are obtained using linear interpolation method.

$$v_c = k_n k_d v_b$$

$$k_n = 1 + \frac{N^*}{b h f_c'}$$

$$k_d = \mathrm{Max}(0.9; \mathrm{Min}(1; (400/d)^{0.25}))$$

$$v_b = \mathrm{Min}(0.2; \mathrm{Max}(0.08; 0.07 + 10\rho_w))\sqrt{f_c'}$$

where ρ_W is degree of reinforcement and $f_c^{'}$ is limited to value 50 MPa.

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength V_{max} and strength of reinforced section V_S are checked.

$$V_{max} = \mathrm{Min}(8\mathrm{MPa}; 0.2 f_c')bd$$

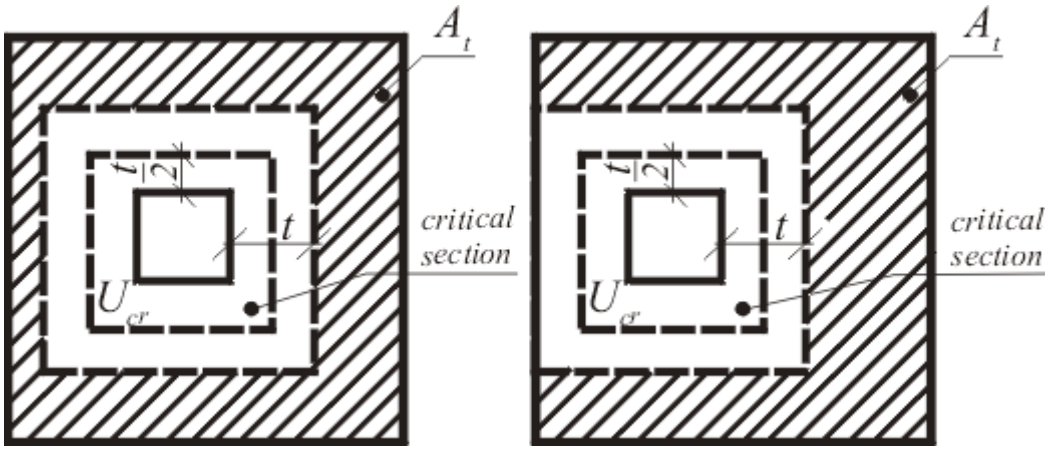
$$V_{cs} = \phi V_c + \phi A_v f_{yt}(0.8d)$$

Verification of Spread Footing for Punching Shear

The program allows to verify spread footing for punching shear or for the design of shear reinforcement. The critical section loaded in shear b_o is distant from the column edge by one half of the footing thickness. It is loaded by the prescribed moments M^*_x, M^*_y and by the shear force V^* provided by:

$$V^* = \frac{V A_t}{A}$$

where:
- A - area of footing
- V - assigned vertical force developed in column
- A_t - hatched area in fig**.**



Dimensioning of shear reinforcement area A_t

The program computes the maximal shear force V^* developed in the critical section, the shear force transmitted by concrete with no shear reinforcement V_c, and the maximal allowable force V_{max}:

$$V_c = v_c b_o d$$

where:

$$v_c = \frac{1}{6} k_{ds} \left(1 + \text{Min}\left(1; \frac{2}{\beta_c}; \frac{\alpha_s d}{b_o}\right)\right) \sqrt{f_c'}$$

where α_s: 20 - for interior column

15 - for edge column

10 - for corner column

β_c c is the ratio of the long side to the short side of the critical section

$$k_{ds} = \sqrt{\frac{0.2}{d}} \cdots \langle 0.5; 1 \rangle$$

$$V_{max} = 0.5\sqrt{f_c'}$$

For $V^* < \phi V_c$ no shear reinforcement is needed.

For $V^* > \phi V_c$ and $V^* < \phi V_{max}$ the shear reinforcement must be introduced. The ultimate shear force is given by:

$$V_n = \text{Min}\left(V_c; \frac{1}{6}\sqrt{f_c'}\right) + A_v f_{yv} sin\alpha$$

where: b_o - critical cross-section span

α - is angle of bends

A_v - overall area of bends in footing

For $V^* > \phi V_{max}$ the shear reinforcement cannot be designed. It is therefore necessary to increase the cross-section height.

Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs

The design of reinforcement is performed for load caused by the bending moment M^*. The program provides the required area of tensile and compressive (if needed) reinforcement. It takes into account conditions for the minimum and maximum degree of reinforcement in a given cross-section. First, the program determines the location of neutral axis as:

$$c = \frac{d - \sqrt{d^2 - \frac{M^*}{0.5 b \alpha_1 f_c^{'}}}}{\beta_1}$$

Providing the location of neutral axis is less than the allowable one ($c < 0.75 c_b$), the program determines the area of tensile reinforcement A_{st} from the expression:

$$A_{st} = \frac{\beta_1 \alpha_1 b c f_c^{'}}{f_y}$$

Providing the location of neutral axis is greater than the allowable one ($c > 0.75 c_b$), the program determines the areas of both compressive A_{sc} and tensile A_{st} reinforcement from the expressions:

$$A_{sc} = \frac{M^* - F_{c,max}(d - 0.5\beta_1 0.75 c_b)}{f_y z}$$

$$A_{st} = \frac{F_{c,max} + A_{sc} f_y}{f_y}$$

$$F_{c,max} = \beta_1 \alpha_1 b 0.75 c_b f_c^{'}$$

The limit location of neutral axis is found from:

$$c_b = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}}$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions:

$$\rho_{min} = \frac{\mathrm{Max}(0.25\sqrt{f_c^{'}}; 1.4)}{f_y} < \rho < 0.04 = \rho_{max}$$

If the maximum degree of total reinforcement ρ_{max} is exceeded, the program informs the user that the longitudinal reinforcement cannot be designed for a given cross-section.s

Design of Shear Reinforcement for Slabs

The program allows determination of the required amount of shear reinforcement form by stirrups and bends, respectively.

First, the program computes the ultimate shear strength in a given section - the shear force transmitted by concrete V_c and the maximum allowable shear force V_{max}.

$$V^* \leq \phi V_n$$

where:

$$\phi = 0.75$$
$$V_c = v_c b d$$

for cross-sections with height smaller than 200mm

$$v_c = 0.17\sqrt{f_c'}$$

v_c is computed acording to following formulas for cross-sections with height greater than 400mm, intermediate values are obtained using linear interpolation method.

$$v_c = k_d v_b$$
$$k_d = \mathrm{Max}(0.9; \mathrm{Min}(1; (400/d)^{0.25}))$$
$$v_b = \mathrm{Min}(0.2; \mathrm{Max}(0.08; 0.07 + 10\rho_w))\sqrt{f_c'}$$

where ρ_W is degree of reinforcement and $f_c^{'}$ is limited to value $50MPa$.

$$V_{max} = \mathrm{Min}(8\mathrm{MPa}; 0.2 f_c^{'}) b d$$

As for stirrups the necessary reinforcement area is given by:

$$A_v = \frac{V^* - \phi V_c}{f_{yt} d}$$

As for bends the necessary reinforcement area is given by:

$$A_v = \frac{V^* - \phi V_c}{f_{yt} d sin\alpha}$$

CSA A23.3-14

This help contains the following computationals methods:

- Materials, coefficients, notation
- Verification of rectangular cross-section made of plain concrete
- Verification of rectangular RC cross-section
- Verification of circular RC cross-section
- Verification of spread footing for punching shear
- Design of longitudinal reinforcement for slabs
- Design of shear reinforcement for slabs

Materials, Coefficients, Notation

The following notation for material parameters is used:

$f'c$ - specified compressive strength of concrete

E_c - modulus of elasticity of concrete at 28 days

f_r - specified tensile strength of concrete

f_y - lower characteristic yield strength of reinforcing steel

$$E_c = \left[3320\sqrt{f'_c} + 6900\right]$$

$$f_r = 0.6\sqrt{f'_c}$$

The most common notation for geometrical parameters:

b - cross-section width

h - cross-section depth

d - effective depth of cross-section

Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete

The cross-section is rectangular, loaded by the bending moment M_f, normal force P_f (applied in the cross-section centroid) and by the shear force V_f. The cross-section bearing capacity subjected to bending moment is given by (Art. 22.6.5):

$$M_r = \frac{bh^2}{6} 0.37 \phi_c \frac{f_r}{0.6}$$

where (Art. 8.4.2, Art. 8.6.4):

$$\phi_c = 0.65$$

$$f_r = 0.6\sqrt{f'_c}$$

The shear strength is provided by (Art. 22.6.5):

$$V_r = \frac{2}{3} 0.18 \phi_c \sqrt{f'_c} bh$$

where:

Strength of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is derived from the following expressions depending on the normal force eccentricity $e \geq 0.1h$ (Art. 22.6.5):

As the greater of:

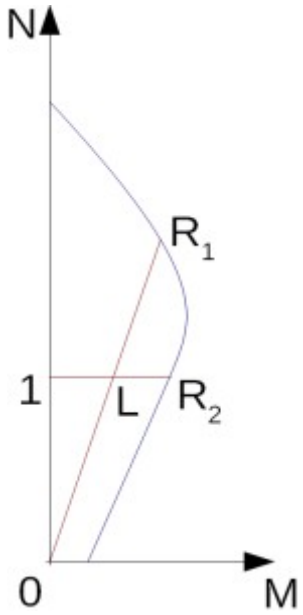
$$P_r = 0.45 \alpha_1 \phi_c f'_c b(h - 2e)$$

$$P_r = \text{Min}\left(\frac{bh0.37\phi_c \frac{f_r}{0.6}}{\frac{6e}{h} - 1}; \frac{bh0.75\phi_c f'_c}{\frac{6e}{h} + 1}\right)$$

where (Art. 8.4.2):

$$f_r = 0.6\sqrt{f'_c}$$

$$e = \left|\frac{M_f}{P_f}\right|$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L|/|0R_1|$ or $|1L|/|1R_2|$. Where L is load, R_1 is strength with prescribed eccentricity and R_2 is strength with prescribed normal force.

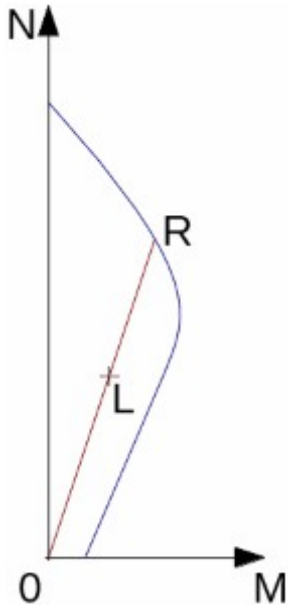
Verification of Rectangular RC Cross-Section

The cross-section is rectangular, unilaterally reinforced and loaded by the bending moment and normal compression force. The program verifies a reinforced concrete section using the method of limit deformation (Art. 10.1). The maximum allowable strain of concrete in compression is $0{,}0035$. Compression reinforcement is not taken into account.

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions (Art. 10.5.1.2):

$$\rho_{min} = \frac{0.2\sqrt{f_c'}}{f_y} < \rho < 0.04 = \rho_{max}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L|\,/\,|0R|$. Where L is load and R is strength with prescribed eccentricity.

Bending without normal force

The cross-section is rectangular, reinforced on one side and loaded by the bending moment M_f.

The ultimate moment is provided by (Art. 10.1.7, 8.4.2, 8.4.3):

$$M_r \leq M_f$$

$$M_r = \beta_1 c b \alpha_1 \phi_c f_c'(d - 0.5\beta_1 c)$$

$$c = \frac{A_s \phi_s f_y}{\beta_1 b \alpha_1 \phi_c f_c'}$$

$$\phi_c = 0.65$$

$$\phi_s = 0.85$$

$$\alpha_1 = \mathrm{Max}(0.85 - 0.0015 f_c'; 0.67)$$

$$\beta_1 = \mathrm{Max}(0.65; 0.85 - 0.008(f_c^{'} - 30))$$

$$\beta_1 = \mathrm{Max}(0.97 - 0.0025 f_c'; 0.67)$$

The program further checks whether the location of neutral axis c is less than the limit location of neutral axis c_{max} given by (Art. 10.5.2):

$$c_{max} = \frac{700}{700 + f_y} d$$

Shear

$$V_f \leq V_r$$

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete V_c (Art. 11.3.4):

$$V_c = 0.18\phi_c\sqrt{f_c'}bd_v$$

where

$$\sqrt{f_c'} \leq 8\text{MPa}$$
$$d_v = 0.9d$$

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength V_{max} is checked (Art. 11.3.3):

$$V_{r,max} = 0.25\phi_c f_c' bd_v$$

Next, the necessary reinforcement area is given by (Art. 11.3.5.1):

$$A_v = \frac{V_f - V_c}{\phi_s f_y d_v} b$$

Verification of Circular RC Cross-Section

The program verifies a reinforced concrete pile using the method of limit deformation (Art 10.1). The maximum allowable strain of concrete in compression is 0.0035.

The degree of reinforcement is checked using the formula:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

- **Column** - check for dominant compression (Art. 10.9.1, 10.9.2)

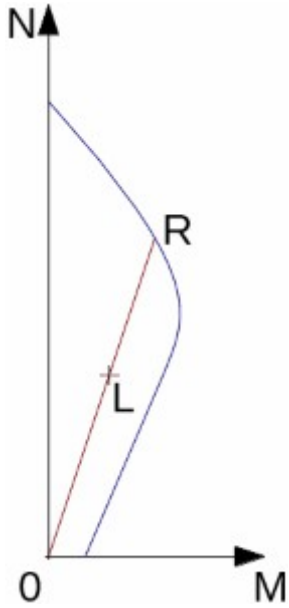
$$\rho = \frac{4A_s}{\pi d^2}$$
$$\rho_{min} = 0.01$$
$$\rho_{max} = 0.08$$

- **Beam** - check for dominant bending (Art. 10.5.1)

$$\rho = 0.5\frac{4A_s}{\pi d^2}$$
$$\rho_{min} = \frac{0.2\sqrt{f_c'}}{f_y}$$
$$\rho_{max} = 0.04$$

where: d - pile diameter

A_S - cross sectional area of reinforcement



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L|\,/\,|0R|$. Where L is load and R is strength with prescribed eccentricity.

Shear

$$V_f \leq V_r$$

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete V_c. Formulas are from Art. 11.3.4, where the section width (b) is replaced by $0.88d$ and effective depth (d_v) is replaced $0.8{*}0.9d$.

$$V_c = 0.18\phi_c\sqrt{f_c'}0.6336d^2$$

where

$$\sqrt{f_c'} \leq 8\text{MPa}$$

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength V_{max} and strength of reinforced section V_s are checked (Art. 11.5.1).

$$V_{r,max} = 0.25\phi_c f_c'0.6336d^2$$

$$V_s = \frac{A_v\phi_s f_y 0.72d}{s}$$

Verification of Spread Footing for Punching Shear

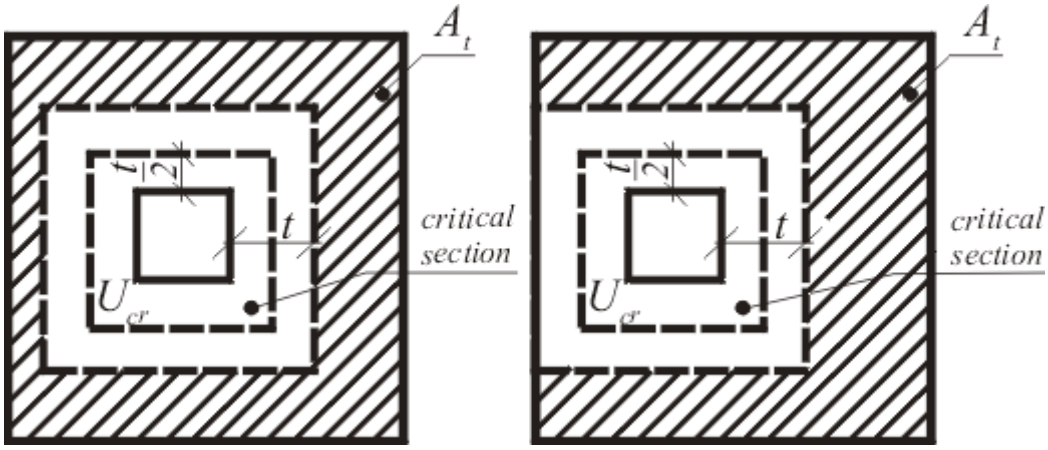
The program allows to verify spread footing for punching shear or for the design of shear reinforcement. The critical section loaded in shear b_o is distant from the column edge by one half of the footing thickness. It is loaded by the prescribed moments M_x, M_y and by the shear force V_f provided by:

$$V_f = \frac{VA_t}{A}$$

where: A - area of footing

V - assigned vertical force developed in column

A_t - hatched area in fig.



Dimensioning of shear reinforcement area A_t

The program computes the maximal shear force V_f developed in the critical section, the shear force transmitted by concrete with no shear reinforcement V_c as minimum of values (Art. 13.3.4.1):

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) 0.19 \phi_c \sqrt{f_c'} b_o d$$

where β_c is ratio of log side to short side od column.

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 0.19\right) \phi_c \sqrt{f_c'} b_o d$$

where α_s = 4 - inner column

3 - edge column

2 - corner column

$$V_c = 0.38 \phi_c \sqrt{f_c'} b_o d$$

where

$$\sqrt{f_c'} \leq 8\text{MPa}$$

and the maximal allowable force V_{max} (Art. 13.3.9.2):

$$V_{max} = 0.55 \phi_c \sqrt{f_c'} b_o d$$

For $V_f < V_c$ no shear reinforcement is needed.

For $V_f > V_c$ and $V_f < V_{max}$ the shear reinforcement must be introduced. The ultimate shear force is given by (Art. 13.3.9.4):

$$V_s = \left(0.19 \phi_c \sqrt{f_c'} b_o d + A_{vs} f_{yv} \sin\alpha\right)$$

where: b_o - critical cross-section span

α - is angle of bends

A_v - overall area of bends in footing

For $V_f > V_{max}$ the shear reinforcement cannot be designed. It is therefore necessary to increase the cross-section height.

Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs

The design of reinforcement is performed for load caused by the bending moment M_f. The program provides the required area of tensile and compressive (if needed) reinforcement. It takes into account conditions for the minimum and maximum degree of reinforcement in a given cross-section. First, the program determines the location of neutral axis as (Art 10.1):

$$c = \frac{d - \sqrt{d^2 - \frac{M_f}{0.5 b \alpha_1 f_c'}}}{\beta_1}$$

Providing the location of neutral axis is less than the allowable one (c_{max}), the program determines the area of tensile reinforcement A_{st} from the expression:

$$A_{st} = \frac{\beta_1 \alpha_1 b c f_c'}{f_y}$$

Providing the location of neutral axis is greater than the allowable one (c_{max}), the program determines the areas of both compressive A_{sc} and tensile A_{st} reinforcement from the expressions:

$$A_{sc} = \frac{M_f - F_{c,max}(d - 0.5\beta_1 c_{max})}{f_y z}$$

$$A_{st} = \frac{F_{c,max} + A_{sc} f_y}{f_y}$$

$$F_{c,max} = \beta_1 \alpha_1 b c_{max} f_c'$$

The limit location of neutral axis c_{max} is found from (Art. 10.5.2):

$$c_{max} = \frac{700}{700 + f_y} d$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions (Art. 10.5.1.2):

$$\rho_{min} = \frac{0.2\sqrt{f_c'}}{f_y} < \rho < 0.04 = \rho_{max}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

If the maximum degree of total reinforcement ρ_{max} is exceeded, the program informs the user that the longitudinal reinforcement cannot be designed for a given cross-section.

Design of Shear Reinforcement for Slabs

The program allows determination of the required amount of shear reinforcement form by stirrups and bends, respectively.

First, the program computes the ultimate shear strength in a given section - the shear force transmitted by concrete V_c (Art. 11.3.4) and the maximum allowable shear force V_{max} (Art. 11.3.3).

$$V_f \leq V_r$$

where:

$$V_c = 0.18\phi_c\sqrt{f_c'}bd_v$$
$$\sqrt{f_c'} \leq 8\text{MPa}$$
$$d_v = 0.9d$$
$$V_{r,max} = 0.25\phi_c f_c' bd_v$$

As for stirrups the necessary reinforcement area is given by (Art. 11.3.5.1):

$$A_v = \frac{V_f - V_c}{\phi_s f_y d_v}$$

As for bends the necessary reinforcement area is given by (Art. 11.3.5.1):

$$A_v = \frac{V_f - V_c}{\phi_s f_y d_v \sin\alpha}$$

NBR 6118-2014

This help contains the following computationals methods:

- Materials, coefficients, notation
- Verification of rectangular cross-section made of plain concrete
- Verification of rectangular RC cross-section
- Verification of circular RC cross-section
- Verification of spread footing for punching shear
- Design of longitudinal reinforcement for slabs
- Design of shear reinforcement for slabs

Materials, Coefficients, Notation

The following notation for material parameters is used:

f_{ck} - characteristic value of cylindrical compressive strength of concrete

f_{cd} - design compressive strength of concrete

f_{ctm} average value of tensile strength of concrete

f_{ctd} - design axial tensile strength of concrete

f_{yk} - characteristic tension strength of steel bar

f_{yd} - design tension strength of steel bar

The characteristic compressive strength of concrete is the basic input parameter given by the class of concrete - it serves to derive the remaining coefficients of reliability (Ch. 8.2).

for $f_{ck} \leq 50\ MPa$

$$E_{ci} = \alpha_E 5600 \sqrt{f_{ck}}$$

for $f_{ck} > 50\ MPa$

$$E_{ci} = \alpha_E 21500 \sqrt[3]{0.1 f_{ck} + 1.25}$$

$$\alpha_E = 1$$

$$E_{cs} = \alpha_i E_{ci}$$

$$\alpha_i = 0.8 + 0.2 \frac{f_{ck}}{80} \leq 1$$

$$G = \frac{E_{cs}}{2.4}$$

for $f_{ck} \leq 50\ MPa$

$$f_{ctm} = 0.3 f_{ck}^{2/3}$$

for $f_{ck} > 50\ MPa$

$$f_{ctm} = 2.12 \ln(1 + 0.11 f_{ck})$$

The most common notation for geometrical parameters:

b - cross-section width

h - cross-section depth

d - effective depth of cross-section

z - lever arm (arm of internal forces)

Verification of Rectangular Cross-Section Made of Plain Concrete

The cross-section is rectangular, loaded by the bending moment M_{Sd}, normal force N_{Sd} (applied in the cross-section centroid) and by the shear force V_{Sd}. The cross-section bearing capacity subjected to bending moment is given by (Art. 24.5.2):

$$M_{Rd} = \frac{bh^2}{6} f_{ctd}$$

where:

$$f_{ctd} = 0.85(0.7 f_{ctm}) / \gamma_C$$

$$\gamma_C = 1.68$$

The shear strength is provided by (Art. 24.5.2.3, 24.5.5.1):

$$V_{Rd} = \tau_{wRd} A_{cc}$$

where: A_{cc} - compressed area of concrete

$$\tau_{wRd} = 0.3 f_{ctd} \operatorname{Min}\left(1 + 3\frac{N_{Sd}}{bh}; 2\right)$$

Strength of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is derived from the following expressions depending on the normal force eccentricity e (Art. 24.5.2):

As the greater of:

$$N_{Rd} = f_{cd} b(h - 2e)$$

$$N_{Rd} = \operatorname{Min}\left(\frac{bhf_{ctd}}{\frac{6e}{h} - 1}; \frac{bhf_{cd}}{\frac{6e}{h} + 1}\right)$$

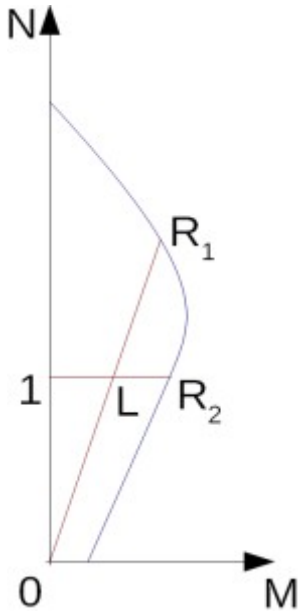
where:

$$f_{cd} = 0.85 f_{ck}/\gamma_C$$

$$f_{ctd} = 0.85(0.7 f_{ctm})/\gamma_C$$

$$\gamma_C = 1.68$$

$$e = \left|\frac{M_{Sd}}{N_{Sd}}\right|$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L|/|0R_1|$ or $|1L|/|1R_2|$. Where L is load, R_1 is strength with

prescribed eccentricity and R_2 is strength with prescribed normal force.

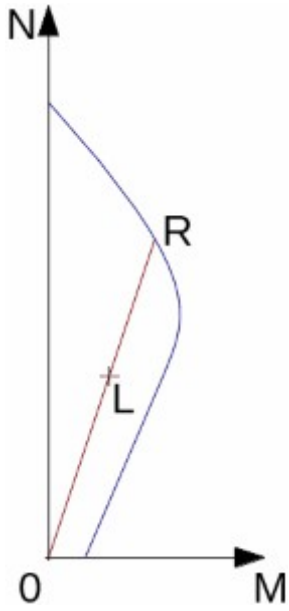
Verification of Rectangular RC Cross-Section

The cross-section is rectangular, unilaterally reinforced and loaded by the bending moment and normal compression force. The program verifies a reinforced concrete section using the method of limit deformation (Art. 17.2). The maximum allowable strain of concrete in compression is 0.0035 (Art. 8.2.10.1). Compression reinforcement is not taken into account.

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions (Art. 17.3.5.2.1, 17.3.5.2.4, ρ_{min} taken from table 17.3):

$$\rho_{min} < \rho < 0.04 = \rho_{max}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L| / |0R|$. Where L is load and R is strength with prescribed eccentricity.

Bending without normal force

The cross-section is rectangular, reinforced on one side and loaded by the bending moment M_{Sd}.

The ultimate moment is provided by (Art. 17.2.2):

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$

$$M_{Rd} = \lambda x b \alpha_c f_{cd} (d - 0.5 \lambda x)$$

$$x = \frac{A_s f_{yd}}{\lambda b \alpha_c f_{cd}}$$

$$\lambda = 0.8; f_{ck} \leq 50\text{MPa}$$

$$\lambda = 0.8 - (f_{ck} - 50)/400; f_{ck} > 50\text{MPa}$$
$$\alpha_c = 0.85; f_{ck} \leq 50\text{MPa}$$
$$\alpha_c = 0.85[1 - (f_{ck} - 50)/200]; f_{ck} > 50\text{MPa}$$

The program further checks whether the location of neutral axis x is less than the limit location of neutral axis x_{max} given by:

$$x_{max} = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{yd}} d$$

Shear

$$V_{Sd} \leq V_{Rd}$$

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete V_{Rd1} (Art. 17.4.2.2 - Model I):

$$V_{Rd1} = 0.6 f_{ctd} b_w d$$

where

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf}/\gamma_C$$
$$f_{ctk,inf} = 0.7 f_{ctm}$$
$$\gamma_C = 1.4$$

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength V_{Rd2} is checked (Art. 17.4.2.2):

$$V_{Rd2} = 0.27 \alpha_{v2} f_{cd} b_w d$$
$$\alpha_{v2} = (1 - f_{ck}/250)$$

Next, the necessary reinforcement area is given by (Art. 17.4.2.2):

$$A_{sw} = \frac{V_{Sd} - V_{Rd1}}{0.9 f_{ywd} d} b$$

Verification of Circular RC Cross-Section

The program verifies a reinforced concrete pile using the method of limit deformation (Art 17.2). The maximum allowable strain of concrete in compression is $0{,}0035$.

The degree of reinforcement is checked using the formula:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

- **Column** - check for dominant compression (Art. 17.3.5.3)

$$\rho = \frac{4A_s}{\pi d^2}$$
$$\rho_{min} = 0.15 \frac{N_d}{f_{yd} A_c} \geq 0.004$$
$$\rho_{max} = 0.08$$

- **Beam** - check for dominant bending (Art. 17.3.5.2)

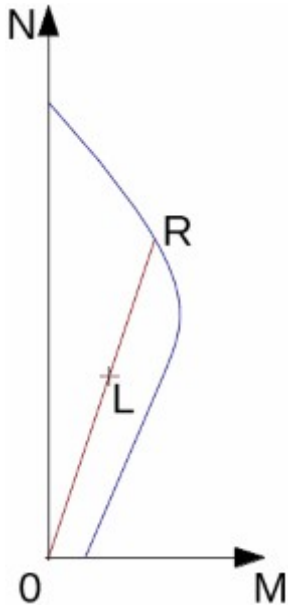
$$\rho = 0.5\frac{4A_s}{\pi d^2}$$

ρ_{min} obrained from table 17.3.

$$\rho_{max} = 0.04$$

where: d - pile diameter

A_S - cross sectional area of reinforcement



Interaction diagram N-M

Usage ratio of concrete cross-section subject to the combination of bending moment and normal force is determined as $|0L|/|0R|$. Where L is load and R is strength with prescribed excentricity.

Shear

$$V_{Sd} \leq V_{Rd}$$

First, the program computes the ultimate shear strength of concrete V_{Rd1}. Formulas are from Art. 17.4.2.2 - Model I, where the section width (b_w) is replaced by $0.88{\times}d$ and effective depth (d) is replaced $0.8{\times}0.9{\times}d$.

$$V_{Rd1} = 0.6 f_{ctd} 0.6336 d^2$$

where

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf}/\gamma_C$$
$$f_{ctk,inf} = 0.7 f_{ctm}$$
$$\gamma_C = 1.4$$

If the ultimate shear strength of concrete is exceeded, the ultimate shear strength V_{max} and strength of reinforced section V_S are checked (Art. 17.4.2.2).

$$V_{Rd2} = 0.27\alpha_{v2} f_{cd} 0.6336 d^2$$
$$\alpha_{v2} = (1 - f_{ck}/250)$$

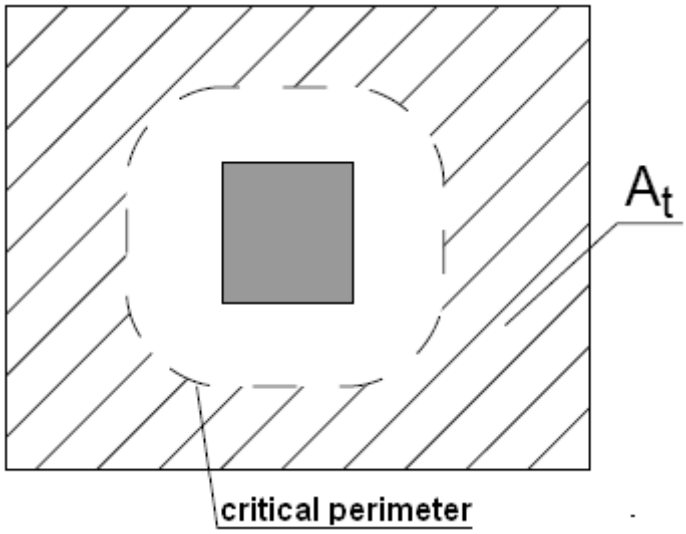
$$V_{Rd3} = V_{Rd1} + \frac{A_{sw} 0.9 f_{ywd} 0.72d}{s}$$

Verification of Spread Footing for Punching Shear

It is loaded by the prescribed moments M_{Sdx}, M_{Sdy} and by the shear force F_{Sd} provided by:

$$F_{Sd} = \frac{V A_t}{A}$$

where:
- A - area of footing
- V - assigned vertical force developed in column
- A_t - hatched area in fig**.**



Dimensioning of shear reinforcement area A_t

The program constructs **control sections** at **distances "a"** from $0{,}5d$ to $2d$ in case of **footing without shear reinforcement**. In case of **reinforced footing**, the distances are from $0{,}5d$ to $4d$, where d **is the effective depth of footing**. The shear reinforcement is considered in control sections, which are in the distance of less than $2d$ from the column. The control sections are considered in intervals of $0{,}25d$.

The load stress τ_{Sd} in each control section is found using 19.5.2,

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{ud} + \frac{K M_{Sd}}{W_p d}$$

$$W_p = \int_0^u |e| \, \mathrm{d}l$$

K is obtained from table 19.2

the punching shear resistance of footing without shear reinforcement τ_{Rd1} follows from 19.5.3.2

$$\tau_{Rd1} = 0.13(1 + \sqrt{20/d})(100\rho f_{ck})^{(1/3)} 2d/a$$

$$\rho = \sqrt{\rho_x \rho_y}$$

and if necessary the punching shear resistance of reinforced footing τ_{Rd3} is given by 19.4.2, 15.5.4.

$$\tau_{Rd3} = 0.10(1 + \sqrt{20/d})(100\rho f_{ck})^{(1/3)} 2d/a + 0.75\frac{A_{sw} f_{ywd} \sin\alpha}{ud}$$

Furthermore, the **compression chord resistance** at the column perimeter τ_{Rd2} is calculated according to 19.5.3.1. τ_{Rd2} depends on column dimensions and the footing thickness.

$$\tau_{Rd2} = 0.27\alpha_v f_{cd}$$
$$\alpha_{v2} = (1 - f_{ck}/250)$$

For $\tau_{Sd} < \tau_{Rd1}$ no shear reinforcement is needed.

For $\tau_{Sd} > \tau_{Rd1}$ and $\tau_{Sd} < \tau_{Rd2}$ the shear reinforcement must be introduced.

For $\tau_{Sd} > \tau_{Rd2}$ the shear reinforcement cannot be designed. It is therefore necessary to increase the cross-section height.

The control section with the worst ratio of load and resistance is considered as critical and marked in the program.

Design of Longitudinal Reinforcement for Slabs

The design of reinforcement is performed for load caused by the bending moment M_{Sd}. The program provides the required area of tensile and compressive (if needed) reinforcement. It takes into account conditions for the minimum and maximum degree of reinforcement in a given cross-section. First, the program determines the location of neutral axis as (Art 17.2):

$$x = \frac{d - \sqrt{d^2 - \frac{M_f}{0.5b\alpha_c f_{cd}}}}{\lambda}$$

Providing the location of neutral axis is less than the allowable one (x_{max}), the program determines the area of tensile reinforcement A_{st} from the expression:

$$A_{st} = \frac{\lambda\alpha_c b x f_{cd}}{f_{yd}}$$

Providing the location of neutral axis is greater than the allowable one (x_{max}), the program determines the areas of both compressive A_{sc} and tensile A_{st} reinforcement from the expressions:

$$A_{sc} = \frac{M_{Sd} - F_{c,max}(d - 0.5\lambda x_{max})}{f_{yd} z}$$
$$A_{st} = \frac{F_{c,max} + A_{sc} f_{yd}}{f_{yd}}$$
$$F_{c,max} = \lambda\alpha_c b x_{max} f_{cd}$$
$$\lambda = 0.8; f_{ck} \leq 50\text{MPa}$$
$$\lambda = 0.8 - (f_{ck} - 50)/400; f_{ck} > 50\text{MPa}$$

$$\alpha_c = 0.85; f_{ck} \leq 50\text{MPa}$$
$$\alpha_c = 0.85[1 - (f_{ck} - 50)/200]; f_{ck} > 50\text{MPa}$$

The limit location of neutral axis x_{max} is found from:

$$x_{max} = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{yd}} d$$

The computed degree of reinforcement is checked using the following expressions (Art. 10.5.1.2):

$$\rho_{min} < \rho < 0.04 = \rho_{max}$$
$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

If the maximum degree of total reinforcement ρ_{max} is exceeded, the program informs the user that the longitudinal reinforcement cannot be designed for a given cross-section.

Design of Shear Reinforcement for Slabs

The program allows determination of the required amount of shear reinforcement form by stirrups and bends, respectively.

First, the program computes the ultimate shear strength in a given section - the shear force transmitted by concrete V_{Rd1} (Art. 17.4.2.2 - Model I) and the maximum allowable shear force V_{Rd2} (Art. 17.4.2.2).

$$V_{Sd} \leq V_{Rd}$$

where:

$$V_{Rd1} = \tau_{Rd} k (1.2 + 40\rho_1) b_w d$$
$$\tau_{Rd} = 0.25 f_{ctd}$$
$$f_{ctd} = f_{ctk,inf}/\gamma_C$$
$$f_{ctk,inf} = 0.7 f_{ctm}$$
$$\gamma_C = 1.4$$
$$V_{Rd2} = 0.27 \alpha_{v2} f_{cd} b_w d$$
$$\alpha_{v2} = (1 - f_{ck}/250)$$

As for stirrups the necessary reinforcement area is given by (Art. 17.4.2.2):

$$A_{sw} = \frac{V_{Sd} - V_{Rd1}}{0.9 f_{ywd} d}$$

As for bends the necessary reinforcement area is given by (Art. 17.4.2.2):

$$A_{sw} = \frac{V_{Sd} - V_{Rd1}}{0.9 f_{ywd} d \sin\alpha}$$

Wymiarowanie przekrojów stalowych

Sprawdzanie przekrojów stalowych przeprowadzane jest w dwóch przypadkach obciążeniowych:

1. dla maksymalnej wartości momentu zginającego i odpowiadającej mu sile tnącej ($M_{max} + Q$)
2. dla maksymalnej wartości siły tnącej i odpowiadającemu jej momentowi zginającemu ($Q_{max} + M$)

W obydwu przypadkach, obciążenie przyjmowane w sprawdzeniu uwzględniane jest z wpływem siły normalnej, która definiowana jest osobno. Jej wartość jest taka sama dla obydwu przypadków obciążeniowych. Siły wewnętrzne, przed analizą, są przemnażane przez współczynnik redukcji nośności. Współczynnik ten reprezentuje stopień niepewności określania teoretycznych wartości sił wewnętrznych, dzięki czemu wprowadza do analizy poczucie pewnej niezawodności. Wartość tego współczynnika definiuje wyłącznie użytkownik.

Program "**Ściana analiza**" wykorzystuje do wymiarowania przekrojów stalowych następujące metody analizy:

- Sprawdzenie według EN 1993-1-1 (EC 3)
- Sprawdzenie według CSN 73 1401
- Sprawdzenie według teorii współczynnika bezpieczeństwa
- Sprawdzenie według teorii stanów granicznych
- Sprawdzenie według GB 50017-2003

Każdy przekrój sprawdzany jest na 3 rodzaje obciążenia:

1. Sprawdzenie na moment zginający i siłę normalną

Sprawdzane jest naprężenie normalne σ zmobilizowane na krawędzi przekroju według:

$$\sigma = \frac{M}{W} + \frac{N}{A}$$

gdzie: M - moment zginający
W - wskaźnik wytrzymałości przekroju
N - siła normalna
A - powierzchnia przekroju poprzecznego

2. Sprawdzenie na ścinanie

Sprawdzane jest naprężenie ścinające τ w środku ciężkości przekroju według:

$$\tau = \frac{Q S}{I t}$$

gdzie: Q - siła tnąca
S - 1. moment statyczny
I - moment bezwładności
t - szerokość (grubość) przekroju w środku ciężkości

3. Sprawdzenie płaskiego stanu naprężenia dla kombinacji naprężeń σ_1 i τ_1 w punkcie obciążenia krytycznego loading

Naprężenie ekwiwalentne w warunkach płaskiego stanu naprężenia definiowane jest w postaci:

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2}$$

Wszystkie sprawdzenia przeprowadzane są z założeniem sprężystego zachowania materiału, plastyczność nie jest uwzględniana.

Sprawdzenie I-profili stalowych obudowy

Siły wewnętrzne wyznaczone przez program "**Ściana analiza**" są uwzględniane na 1 m bieżący konstrukcji obudowy. W związku z powyższym jednostki sił tnących Q są kN/m a momentów zginających M odpowiednio kNm/m. W celu przeprowadzenia wymiarowania pojedynczych profili dwuteowych (I), przed rozpoczęciem analizy, siły te są automatycznie przemnażane przez rozstaw a [m] w celu otrzymania ich wartości w środku ciężkości przekroju wymiarowanego profilu, tzn. siły tnące Q w kN a momenty zginające M w kNm. Naprężenie normalne σ jest sprawdzane na zewnętrznej powierzchni półki (flange). Naprężenie ścinające τ sprawdzane jest w środku ciężkości, a zatem w środku wysokości środnika. Naprężenie ekwiwalentne σ_k sprawdzane jest w środniku w miejscu połączenia środnika i półki (przekrój 1).

Sprawdzenie ścianki z grodzic stalowych (ścianki szczelnej)

Wymiarowanie prowadzone jest dla przekroju ściany o jednostkowej długości. W związku z powyższym wszystkie parametry przekroju wyznaczane są nie dla poszczególnych brusów (grodzic), a na przekrój ścianki o jednostkowej długości. Naprężenie normalne σ sprawdzane jest na zewnętrznej powierzchni grzbietu grodzicy. Naprężenie ścinające τ sprawdzane jest w środku ciężkości przekroju, co oznacza, że w przypadku grodzic o profilu typu **U** jest to w miejscu zamków, a dla grodzic o profilu typu **Z** w środku pochylonego środnika profilu grodzicy. Naprężenie ekwiwalentne σ_k sprawdzane jest w środniku profilu grodzicy w miejscu połączenia z grzbietem grodzicy (przekrój 1).

Sprawdzenie według EN 1993-1-1 (EC 3)

Sprawdzenie na zginanie oraz naprężenie wywołane siłą normalną

Nośność na zginanie opisana jest wzorem:

$$M_{c,Rd} = \frac{W f_y}{\gamma_{M0}}$$

gdzie: W - wskaźnik wytrzymałości przekroju

f_y - granica plastyczności stali

γ_{M0} - współczynnik nośności przekroju

Nośność siły normalnej sprawdzana jest według:

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

gdzie: A - powierzchnia przekroju poprzecznego

f_y - granica plastyczności stali

γ_{M0} - współczynnik nośności przekroju

Nośność sprawdzana jest według:

$$\frac{M}{M_{c,Rd}} + \frac{N}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

a wartość wykorzystania podawana jest w postaci:

$$\left(\frac{M}{M_{c,Rd}}+\frac{N}{N_{c,Rd}}\right)100\%$$

Sprawdzenie na ścinanie

Nośność na ścinanie opisana jest wzorem:

$$V_{c,Rd}=\frac{I\,t}{S}\frac{f_y}{\sqrt{3}\,\gamma_{M0}}$$

gdzie: I - moment bezwładności

t - grubość przekroju w środku ciężkości

S - 1. moment statyczny

f_y - granica plastyczności stali

γ_{M0} - współczynnik nośności przekroju

Nośność sprawdzana jest według:

$$\frac{Q}{V_{c,Rd}}\le 1{,}0$$

Wartość wykorzystania podawana jest w postaci:

$$\frac{Q}{V_{c,Rd}}100\%$$

Sprawdzenie płaskiego stanu naprężeń:

Płaski stan naprężenia sprawdzany jest z wykorzystaniem następujących warunków:

$$\left(\frac{\sigma_1}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2+3\left(\frac{\tau_1}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2\le 1{,}0$$

gdzie: σ_1 - naprężenie normalne

τ_1 - naprężenie ścinające

Wartość wykorzystania podawana jest w postaci:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2+3\left(\frac{\tau_1}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2}\;100\%$$

Literatura:

Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych - Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.

Sprawdzenie według CSN 73 1401

Norma CSN 73 1401 (od roku 1998) przyjmuje jako parametr materiału R_d - wytrzymałość obliczeniową stali. Jeśli wartość ta nie jest bezpośrednio określona dla zastosowanej stali,

oblicza się ją na podstawie granicy plastyczności stali w sposób następujący:

$$R_d = R_y / \gamma_m$$

gdzie: γ_m - współczynnik materiałowy, którego wartość wynosi od 1.15 dla $R_y \leq 300\ MPa$ oraz 1.25 dla $R_y > 300\ MPa$

Sprawdzenie na zginanie

Naprężenie normalne σ sprawdzane jest za pomocą następującego wzoru:

$$\sigma \leq R_d$$

Wartość wykorzystania podawana jest w postaci:

$$\frac{\sigma}{R_d} 100\%$$

Sprawdzenie na ścinanie

Naprężenie ścinające τ sprawdzane jest za pomocą następującego wzoru:

$$\tau \leq 0{,}6 R_d$$

Wartość wykorzystania podawana jest w postaci:

$$\frac{\tau}{0{,}6 R_d} 100\%$$

Sprawdzenie płaskiego stanu naprężeń:

Płaski stan naprężenia sprawdzany jest z wykorzystaniem następujących warunków:

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} \leq 1{,}1 R_d$$

gdzie: σ_1 - naprężenie normalne

τ_1 - naprężenie ścinające w sprawdzanym przekroju

Wartość wykorzystania podawana jest w postaci:

$$\frac{\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2}}{1{,}1 R_d} 100\%$$

Literatura:

CSN 73 1401 (1998): Projektowanie konstrukcji stalowych.

Sprawdzenie według teorii współczynnika bezpieczeństwa

Sprawdzenie na zginanie

Naprężenie normalne σ sprawdzane jest za pomocą następującego wzoru:

$$\frac{f_y}{\sigma} \geq SF_s$$

gdzie: f_y - granica plastyczności stali

SF_S - współczynnik bezpieczeństwa nośności przekroju stalowego

Wartość wykorzystania podawana jest w postaci:

$$\frac{SF_s}{f_y/\sigma}100\%$$

Sprawdzenie na ścinanie

Naprężenie ścinające τ sprawdzane jest za pomocą następującego wzoru:

$$\frac{f_y}{\sqrt{3}\tau} \geq SF_s$$

Wartość wykorzystania podawana jest w postaci:

$$\frac{SF_s}{f_y/\left(\sqrt{3}\tau\right)}100\%$$

Sprawdzenie płaskiego stanu naprężeń:

Płaski stan naprężenia sprawdzany jest z wykorzystaniem następujących warunków:

$$\frac{f_y}{\sqrt{\sigma_1^2+3\tau_1^2}} \geq SF_s$$

gdzie: $\sigma 1$ - naprężenie normalne

$\tau 1$ - naprężenie ścinające w sprawdzanym przekroju

Wartość wykorzystania podawana jest w postaci:

$$\frac{SF_s}{f_y/\sqrt{\sigma_1^2+3\tau_1^2}}100\%$$

Sprawdzenie według teorii stanów granicznych

W przypadku sprawdzania przekrojów według teorii stanów granicznych, granica plastyczności stali - f_y jest redukowana z zastosowaniem współczynnika niezawodności materiału γ_{ss}.

Sprawdzenie na zginanie

Naprężenie normalne σ sprawdzane jest za pomocą następującego wzoru:

$$\sigma \leq \frac{f_y}{\gamma_{ss}}$$

Wartość wykorzystania podawana jest w postaci:

$$\frac{\sigma}{f_y/\gamma_{ss}}100\%$$

Sprawdzenie na ścinanie

Naprężenie ścinające τ sprawdzane jest za pomocą następującego wzoru:

$$\tau \leq \frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{ss}}$$

Wartość wykorzystania podawana jest w postaci:

$$\frac{\tau}{f_y/\sqrt{3}\gamma_{ss}} 100\%$$

Sprawdzenie płaskiego stanu naprężeń:

Płaski stan naprężenia sprawdzany jest z wykorzystaniem następujących warunków:

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{ss}}$$

gdzie: $\sigma 1$ - naprężenie normalne

$\tau 1$ - naprężenie ścinające w sprawdzanym przekroju

Wartość wykorzystania podawana jest w postaci:

$$\frac{\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2}}{f_y/\gamma_{ss}} 100\%$$

GB 50017-2003

The GB 50017-2003 standard adopts as the material parameter the steel design compressive, tension and bending strength f and shear strength f_y. If this value is not determined for the used steel directly, it is back calculated from the steel yield stress f_y as:

$$f = \frac{f_y}{\gamma_R}$$

$$f_v = \frac{f}{\sqrt{3}}$$

where: γ_R - resistance sub coefficient, which is 1,087 for $f_y \leq 240\ MPa$ and 1,111 for $f_y > 240\ MPa$

Check for bending with influence of normal force

The bending stress with influence of normal force is checked according to this expression:

$$\frac{M}{\gamma_x W} + \frac{N}{A} \leq f$$

where: A - area of cross-section

W - elastic modulus of cross-section

γ_x - section plasticity develop factor

f - design strength of steel

Section plasticity develop factor γ_x depends on shape of cross-section. For I-sections, sheet

piles and casing is considered as $\gamma_x = 1{,}05$. The value of utilization is provided by:

$$\frac{\frac{M}{\gamma_x W} + \frac{N}{A}}{f} 100^o/_o$$

Check for shear

The shear stress τ is checked based on the following expression:

$$\tau \leq f_v$$

and the value of utilization is provided by:

$$\frac{\tau}{f_v} 100^o/_o$$

State of plane stress verification

The state of plane stress is checked exploiting the following conditions:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \beta_1 f$$

where: σ_I - normal stress

τ_I - shear stress in the verified section

β_I - strength design value increase coefficient, which is 1,1

The value of utilization is provided by:

$$\frac{\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}}{\beta_1 f} 100^o/_o$$

Wymiarowanie przekrojów drewnianych

Wymiarowanie przekrojów drewnianych przeprowadzane jest dla obciążeń momentem zginającym, siłą normalna i siłą tnącą. Może być przeprowadzone dla wybranych obciążeń lub dla obciążenia krytycznego. Obciążenie krytyczne to takie obciążenie, które w powoduje maksymalne wykorzystanie przekroju.

Przekrój może być weryfikowany z zastosowaniem następujących metod:

- Sprawdzenie według EN 1995-1-1 (EC 5)
- Sprawdzenie według współczynnika bezpieczeństwa
- Sprawdzenie według teorii stanów granicznych

Każdy przekrój sprawdzany jest na dwa rodzaje obciążeń:

1. Sprawdzenie na moment zginający i siłę normalną

W obliczeniach sprawdzane jest naprężenie σ_m powstałe na krawędziach przekroju wywołane momentem zginającym:

$$\sigma_m = \frac{M}{W}$$

gdzie: M - moment zginający

W - wskaźnik wytrzymałości przekroju

oraz naprężenie wywołane siłą normalną σ_n :

$$\sigma_{\mathrm{n}} = \frac{N}{A}$$

gdzie: N - siła normalna

A - powierzchnia przekroju poprzecznego

Siła normalna może być zarówno ściskająca jak i rozciągająca.

2. Sprawdzenie na ścinanie

W obliczeniach sprawdzane jest naprężenie ścinające τ w środku ciężkości przekroju, według wzoru:

$$\tau = \frac{QS}{It}$$

gdzie: Q - siła tnąca

S - moment statyczny pola

I - moment bezwładności przekroju

t - szerokość (grubość) przekroju w jego środku ciężkości

EN 1995-1-1 (EC5)

Sprawdzenie na zginanie ze ściskaniem

Obliczeniowa wytrzymałość na zginanie drewna wyznaczana jest ze wzoru:

$$f_{\mathrm{m,d}} = k_{\mathrm{mod}} \frac{f_{\mathrm{m,k}}}{\gamma_{\mathrm{M}}}$$

gdzie: $f_{m,\,k}$ - charakterystyczna wytrzymałość na zginanie drewna

k_{mod} - współczynnik korekcyjny uwzględniający czas trwania obciążenia oraz wilgotność

γ_M - współczynnik częściowy do parametrów materiału

Obliczeniowa wytrzymałość na ściskanie drewna wyznaczana jest ze wzoru:

$$f_{\mathrm{c,0,d}} = k_{\mathrm{mod}} \frac{f_{\mathrm{c,k}}}{\gamma_{\mathrm{M}}}$$

gdzie: $f_{c,\,k}$ - charakterystyczna wytrzymałość na ściskanie drewna

k_{mod} - współczynnik korekcyjny uwzględniający czas trwania obciążenia oraz wilgotność

γ_M - współczynnik częściowy do parametrów materiału

Nośność przekroju sprawdzana jest następująco:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2+\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}}\le 1$$

gdzie: $\sigma_{c,0,d}$ - obliczeniowe naprężenie ściskające

$\sigma_{m,d}$ - obliczeniowe naprężenie zginające

Stopień wykorzystania przekroju podawany jest następująco:

$$\left[\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2+\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}}\right]100\,\%$$

Sprawdzenie na zginanie z rozciąganiem

Obliczeniowa wytrzymałość na rozciąganie drewna wyznaczana jest ze wzoru:

$$f_{t,d}=k_{mod}\frac{f_{t,k}}{\gamma_M}$$

gdzie: $f_{t,\,k}$ - charakterystyczna wytrzymałość na rozciąganie drewna

k_{mod} - współczynnik korekcyjny uwzględniający czas trwania obciążenia oraz wilgotność

γ_M - współczynnik częściowy do parametrów materiału

Nośność przekroju sprawdzana jest następująco:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}}+\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}}\le 1$$

gdzie: $\sigma_{t,0,d}$ - obliczeniowe naprężenie rozciągające

$\sigma_{m,d}$ - obliczeniowe naprężenie zginające

Stopień wykorzystania przekroju podawany jest następująco:

$$\left(\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}}+\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}}\right)100\,\%$$

Sprawdzenie na ścinanie

Obliczeniowa wytrzymałość na ścinanie drewna wyznaczana jest ze wzoru:

$$f_{v,d}=k_{mod}\frac{f_{v,k}}{\gamma_M}$$

gdzie

gdzie: $f_{v,\,k}$ - charakterystyczna wytrzymałość na ścinanie drewna

k_{mod} - współczynnik korekcyjny uwzględniający czas trwania obciążenia oraz wilgotność

γ_M - współczynnik częściowy do parametrów materiału

Nośność przekroju sprawdzana jest następująco:

$$\frac{\tau_d}{k_{cr}} \leq f_{v,d}$$

gdzie: τ_d - obliczeniowe naprężenie ścinające

k_{cr} - współczynnik korekcyjny do nośności na ścinanie

Stopień wykorzystania przekroju podawany jest następująco:

$$\frac{\tau_d}{k_{cr} f_{v,d}} 100\,\%$$

Sprawdzenie według współczynnika bezpieczeństwa

Sprawdzenie na zginanie i naprężenie wywołane siłą normalną

Sprawdzenie naprężeń normalnych wykonywane jest z wykorzystaniem następującego wyrażenia:

$$\left(\frac{\sigma_n}{f_n} + \frac{\sigma_m}{f_m} \right)^{-1} \geq SF_s$$

gdzie: σ_n - naprężenie normalne wywołane siłą rozciągającą lub ściskającą

σ_m - naprężenie zginające

f_n - wytrzymałość drewna odpowiednio - na ściskanie lub rozciąganie

f_m - wytrzymałość drewna na zginanie

SF_S współczynnik bezpieczeństwa do nośności przekroju drewnianego

Stopień wykorzystania przekroju podawany jest następująco:

$$SF_s \left(\frac{\sigma_n}{f_n} + \frac{\sigma_m}{f_m} \right) 100\,\%$$

Sprawdzenie na ścinanie

Sprawdzenie naprężenia ścinającego τ wykonywane jest z wykorzystaniem następującego wyrażenia:

$$\frac{f_v}{\tau} \geq SF_s$$

gdzie: f_v - wytrzymałość drewna na ścinanie

Stopień wykorzystania przekroju podawany jest następująco:

$$\frac{SF_s}{f_v / \tau} 100\,\%$$

Sprawdzenie według teorii stanów granicznych

W przypadku wykonywania obliczeń według teorii stanów granicznych, wytrzymałości drewna redukowane są za pomocą współczynnika niezawodności materiału γ_S.

Sprawdzenie na zginanie i naprężenie wywołane siłą normalną

Sprawdzenie naprężeń normalnych wykonywane jest z wykorzystaniem następującego wyrażenia:

$$\frac{\sigma_n}{f_n/\gamma_s}+\frac{\sigma_m}{f_m/\gamma_s}\leq 1$$

gdzie: σ_n - naprężenie normalne wywołane siłą rozciągającą lub ściskającą

σ_m - naprężenie zginające

f_n - wytrzymałość drewna odpowiednio - na ściskanie lub rozciąganie

f_m - wytrzymałość drewna na zginanie

Stopień wykorzystania przekroju podawany jest następująco:

$$\left(\frac{\sigma_c}{f_c/\gamma_s}+\frac{\sigma_m}{f_m/\gamma_s}\right)100\%$$

Sprawdzenie na ścinanie

Sprawdzenie naprężenia ścinającego τ wykonywane jest z wykorzystaniem następującego wyrażenia:

$$\tau\leq\frac{f_v}{\gamma_s}$$

gdzie: f_v - wytrzymałość drewna na ścinanie

Stopień wykorzystania przekroju podawany jest następująco:

$$\frac{\tau}{f_v/\gamma_s}100\%$$

Wymiarowanie konstrukcji murowanych

Konstrukcje murowane mogą być wymiarowane według następujących norm:

- AS 3700 - program Mur oporowy
- EN 1996-1-1 - program Mur oporowy
- EN 1996-1-1 - sprawdzenie przekroju murowanego w programie Ściana oporowa
- GB 50003-2011 - sprawdzenie przekroju murowanego w programie Ściana oporowa

Wymiarowanie ściany murowanej według AS 3700

Zbrojona ściana jest weryfikowana ze względu na obciążenia na skutek momentu zginającego, siły tnącej oraz połączenia siły normalnej i momentu zginającego. Jeżeli rozważane jest obciążenie na skutek siły normalnej, istnieje również konieczność określenia smukłości S_r.

Obliczenie elementów na ściskanie i zginanie

$$F_d \le 0{,}85.\phi.k_s\left(f'_m.A_b + f_{sy}.A_s\right)$$

$$f'_m = 0{,}35.f'_{mb}$$

$$f'_{mb} = 1{,}3.\sqrt{f'_{uc}}$$

gdzie: F_d - obliczeniowa siła ściskającą działająca na przekrój poprzeczny

ϕ - współczynnik redukcji wydajności - 0,75

k_s - współczynnik redukcji przyjęty jako 1,18 - 0,03S_r lecz nie większy niż 1,0

f'_{uc} - charakterystyczna, niewspółkończowa wytrzymałość na ściskanie ściany murowanej

f'_m - charakterystyczna wytrzymałość na ściskanie ściany murowanej

A_b - pole uwarstwowione murowanego przekroju poprzecznego

f_{sy} - obliczeniowa granica plastyczności zbrojenia

A_s - całkowite pole przekroju poprzecznego głównego zbrojenia

Obliczenie elementów na zginanie

$$M_d \le \phi.f_{sy}.A_{sd}.d\left(1 - \frac{0{,}6.f_{sy}.A_{sd}}{1{,}3.f'_m.d}\right)$$

$$f'_m = 0{,}35.f'_{mb}$$

$$f'_{mb} = 1{,}3.\sqrt{f'_{uc}}$$

gdzie: M_d - obliczeniowa siła ściskająca działająca na przekrój poprzeczny

ϕ - współczynnik redukcji wydajności - 0,75

f_{sy} - obliczeniowa granica plastyczności zbrojenia

A_{sd} - część pola przekroju poprzecznego głównego zbrojenia na rozciąganie zastosowana dla celów obliczeniowych w zbrojonym elemencie ściany murowanej

mniejszy od $\frac{0{,}29.1{,}3.f'_m.d}{f_{sy}}$ i A_{st}

f'_m - charakterystyczna wytrzymałość na ściskanie ściany murowanej

d - efektywna głębokość zbrojonego elementu ściany murowanej

f_{uc} - charakterystyczna, niewspółkończowa wytrzymałość na ściskanie ściany murowanej

Ścinanie w ścianie poza płaszczyzną

Ściana zbrojona poddana ścinaniu poza płaszczyzną powinna być taka, że:

$$V_d \le \phi.\left(f'_{vm}.d + f_{sv}.A_{st}\right)$$

ale nie większa niż:

$$4.\phi.f'_{vm}.d$$

gdzie: V_d - obliczeniowa siła ściskająca działająca na przekrój poprzeczny ściany murowanej

ϕ - współczynnik redukcji wydajności - 0,75

f'_{vm} - charakterystyczna wytrzymałość na ścinanie zbrojonej ściany murowanej - 0,35 Mpa

d - efektywna głębokość zbrojonej ściany murowanej

f_{vs} - obliczeniowa wytrzymałość na ścinanie głównego zbrojenia - 17,5 Mpa

f_{sv} - obliczeniowa granica plastyczności zbrojenia

A_{st} - pole przekroju poprzecznego całkowicie zakotwionego zbrojenia podłużnego w strefie naprężenia przekroju poprzecznego

Wymiarowanie muru zgodnie z EN 1996-1-1

Zbrojony mur jest weryfikowany pod kątem obciążeń spowodowanych kombinacją ściskających sił normalnych i momentów zginających, oraz obciążeń powodowanych siłami tnącymi.

Sprawdzenie parcia i zginania

Założenia analizy (Rozdział 6.6):

- Płaskie przekroje pozostają płaskie
- Odkształcenia stali są takie same, jak odkształcenia powiązanego muru
- Wytrzymałość na rozciąganie muru przyjmowana jest jako równa zeru
- Odkształcenia graniczne muru przy ściskaniu wynoszą 0,0035
- Odkształcenia graniczne stali przy rozciąganiu wynoszą 0,01
- Zmienność naprężeń, jako funkcja odkształceń muru, przyjmowana jest jako paraboliczno-prostokątna
- Zmienność naprężeń, jako funkcja odkształceń stali przyjmowana jest, jako ograniczona przez poziome górne odgałęzienie
- Właściwości betonu wypełniającego uważane są za takie same, jak właściwości muru (konieczne jest zastosowanie gorszego z tych dwóch materiałów)
- Wytrzymałość obliczeniowa muru (betonu) uzyskiwana jest z:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Gdzie: f_k - Wytrzymałość charakterystyczna muru (betonu) - siła tnąca

γ_M - 1.8

- Jeśli wskaźnik smukłości zapisany jako stosunek wysokości i szerokości ściany jest większy niż 12, pod uwagę brany jest efekt teorii II-rzędu, poprzez dołączenie dodatkowego, oblicznеiowego momentu zginającego, uzyskiwanego z:

$$M_{ad} = \frac{N_{Ed} h_{ef}^2}{2000t}$$

Gdzie: N_{Ed} - Wartość obliczeniowa siły normalnej

h_{ef} - Wysokość wyboczenia ściany

t - Grubość ściany

- Jeśli wskaźnik smukłości jest większy niż 27, przeprowadzenie analizy nie jest możliwe - konieczna jest zmiana geometrii w celu uzyskania bardziej odpowiedniego wskaźnika smukłości.

Sprawdzenie ścinania

Rozdział 6.7, Załącznik J

$$V_{Ed} \leq f_{vd} t l$$

$$f_{vd} = \frac{\mathrm{Min}(f_{vk} + 17.5\rho, 0.7)}{\gamma_M}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

Gdzie:

V_{Ed} - Wartość obliczeniowa siły tnącej

f_{vd} - Wartość obliczeniowa wytrzymałości muru (betonu) na ścinanie

ρ wskaźnik zbrojenia podłużnego

t - Grubość ściany

l - Długość ściany - 1 metr bieżący

Wymiarowanie ściany oporowej - konstrukcja murowana według EN 1996-1-1

Konstrukcje murowane weryfikowane są na obciążenia wywołane kombinacją siły normalnej ściskającej i momentu zginającego oraz na obciążenie siłą tnącą.

Sprawdzenie nośności na ściskanie

Rozdział 6.1.2.1

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$N_{Rd} = A_c f_k / \gamma_M$$

$$A_c = bh\left(1 - 2\frac{e}{h}\right)$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

gdzie:

N_{Ed} - wartość obliczeniowa siły normalnej

N_{Rd} - nośność na ściskanie

A_c - powierzchnia przekroju poddana ściskaniu

f_k - wartość charakterystyczna wytrzymałości na ściskanie konstrukcji murowanej

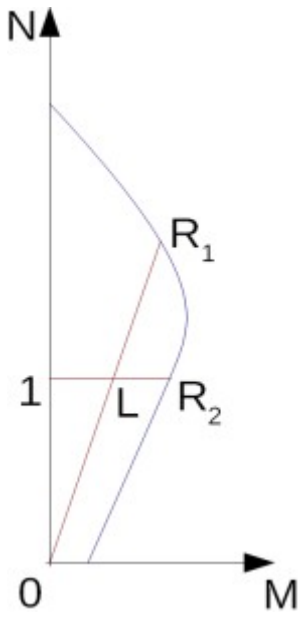
γ_M - współczynnik częściowy dla muru

b - szerokość przekroju

h - wysokość przekroju

e - mimośród siły normalnej

M_{Ed} - wartość obliczeniowa momentu zginającego



Wykres interakcji N-M

Wskaźnik wykorzystania przekroju betonowego poddanego kombinacji momentu zginającego i siły normalnej określa się jako $|0L|/|0R_1|$ lub $|1L|/|1R_2|$. Gdzie L stanowi obciążenie, R_1 - wytrzymałość z predefiniowanym mimośrodem oraz R_2 - wytrzymałość z predefiniowaną siłą normalną.

Sprawdzenie nośności na ścinanie

Rozdział 6.2

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

$$V_{Rd} = A_c f_{vk}/\gamma_M$$

$$f_{vk} = \text{Min}\left(f_{vko} + 0.4\frac{N_{Ed}}{A_c}; 0.065 f_b\right)$$

gdzie:

V_{Ed} - wartość obliczeniowa siły tnącej

V_{Rd} - nośność na ścinanie

f_{vk} - wartość charakterystyczna wytrzymałości na ścinanie konstrukcji murowanej

f_{vko} - wartość charakterystyczna wytrzymałości początkowej na ścinanie konstrukcji murowanej

f_b - wytrzymałość na ściskanie jednostkowego elementu muru

GB 50003-2011 - Gravity Wall

The masonry is verified for the load caused by the combination of the compressive normal force and the bending moment and for the load due to the shear force.

Verification of compression bearing capacity

Non-seismic design situation (Art 5.1.1):

$$\gamma_0 N \leq \varphi f A$$

Seismic design situation (Art 10.1):

$$N \leq \varphi f A / \gamma_{RE}$$

where:
- γ_0 - coefficient of importance of structure
- N - design value of normal force
- f - design value of compressive strength of masonry
- A - area of cross section
- φ - influence factor due to eccentricity of normal force and depth-thickness ratio of structure
- γ_{RE} - seismic adjusting coefficient for compressive strength of masonry

φ is provided by:

When $\beta \leq 3$ (Art D.0.1-1)

$$\varphi = \frac{1}{1 + 12\left(\frac{e}{B}\right)^2}$$

When $\beta > 3$ (Art D.0.1-2, D.0.1-3)

$$\varphi = \frac{1}{1 + 12\left[\frac{e}{B} + \sqrt{\frac{1}{12}\left(\frac{1}{\varphi_0} - 1\right)}\right]^2}$$

$$\varphi_0 = \frac{1}{1 + \alpha\beta^2}$$

where:
- e - eccentricity of normal force acting on the cross section
- B - depth of the cross section
- φ_0 - stability coefficient of structure loaded with axial pressure
- α - coefficient due to strength grade of mortar
- β - depth-thickness ratio of structure

β is provided by:

$$\beta = \gamma_\beta \frac{2H}{B}$$

$$\varphi_0 = \frac{1}{1 + \alpha\beta^2}$$

where: γ_β - adjusting coefficient of depth-thickness ratio based on the type of masonry material

H - height of the structure above cross section

Verification of shear bearing capacity

Non-seismic design situation (Art. 5.5.1-1):

$$\gamma_0 V \leq (f_v + \alpha\mu\sigma_0)\, A$$

Seismic design situation (Art. 10.1):

$$V \leq (f_v + \alpha\mu\sigma_0)\, A/\gamma_{RE}$$

When $\gamma_G \leq 1.2$ (Art 5.5.1-2):

$$\mu = 0.26 - 0.082\frac{\mathrm{Min}\,(0.8f;\sigma_0)}{f}$$

When $\gamma_G \geq 1.35$ (Art 5.5.1-3):

$$\mu = 0.23 - 0.065\frac{\mathrm{Min}\,(0.8f;\sigma_0)}{f}$$

Intermediate values are interpolated.

where: γ_0 - coefficient of importance of structure

V - design value of shear force

f_v - design value of shear strength of masonry

A - area of cross section

σ_0 - average value of normal stress on cross section

f - design value of compressive strength of masonry

γ_G - partial factor for permanent actions

α - correction factor; when $\gamma_G \leq 1.2$: $\alpha = 0.64$; $\gamma_G \geq 1.35$: $\alpha = 0.66$ Intermediate values are interpolated

μ - influence factor for shear-compression load

γ_{RE} - seismic adjusting coefficient for shear strength of masonry

Wymiarowanie grodzic plastikowych (winylowych)

Sprawdzenie grodzic winylowych

Producent grodzic winylowych *ESP* (*Everlast Synthetic Products) stwierdza, że grodzice winylowe powinny być sprawdzane na zginanie i ścinanie.* states that verification of vinyl sheet piles shall be performed for bending and shear. Zginanie sprawdzane jest dla momentu maksymalnego M_{max}, ścinanie dla maksymalnej siły tnącej Q_{max}. Siły wewnętrzne liczone są na sztukę.

Wyznaczone siły wewnętrzne mogą być przemnożone przez **współczynnik redukcyjny nośności** przed przeprowadzeniem wymiarowania. Współczynnik ten odzwierciedla stopień niepewności określania teoretycznych wartości sił wewnętrznych i zapewnia bezpieczeństwo konstrukcji.

Sprawdzenie na zginanie:

Nośność przekroju na zginanie wyznaczana jest z następującego wyrażenia:

$$\frac{M_{\max}}{M_u} \leq 1{,}0$$

gdzie: M_{max} - maksymalna wartość momentu zginającego

M_u - nośność na zginanie

Wartość nośności na zginanie M_u wyznaczana jest na sztukę i podawana przez producenta grodzic.

Stopień wykorzystania przekroju podawany jest następująco:

$$\frac{M_{\max}}{M_u}\,100\,\%$$

Sprawdzenie na ścinanie:

Nośność przekroju na ścinanie wyznaczana jest z następującego wyrażenia:

$$\frac{Q_{\max}}{Q_u} \leq 1{,}0$$

gdzie: Q_{max} - maksymalna wartość siły tnącej

Q_u - nośność na ścinanie

Wartość nośności na ścinanie Q_u wyznaczana jest na sztukę i podawana przez producenta grodzic.

Stopień wykorzystania przekroju podawany jest następująco:

$$\frac{Q_{\max}}{Q_u}\,100\,\%$$

Wytrzymałość winylu:

Nośności profili podawane są dla materiału o granicznej wytrzymałości na rozciąganie wynoszącej f_u = 6300 psi (43,44 MPa). Użytkownik może zmienić tę wartość. W przypadku, gdy użytkownik zmieni wartość wytrzymałości, wartości nośności redukowane są w stosunku odpowiadającym zmianie wartości wytrzymałości.

Literatura:

Grodzice dostępne w katalogu programu:

- *Catalog firmy Everlast Synthetic Products, LLC*

(online: https://everlastseawalls.com/seawall-products/vinyl-sheet-piling)

Indeks

ACI 318-11....1139, 1451
Aktywacja....69, 750, 758, 769, 771-773, 853, 932, 933
Aktywne wymiary i obiekty....43
Analiza...69, 95-97, 99, 121, 124, 126, 128-131, 133-137, 139, 140, 146-152, 156, 166, 167, 185-188, 191, 212-215, 217, 232-235, 238, 257-260, 262, 263, 278-281, 283, 284, 294, 304-311, 324, 325, 362, 379, 385, 386, 388, 389, 393, 405, 416, 417, 420, 421, 442, 444, 452, 453, 457, 461, 472, 479, 491, 508-511, 530-532, 534, 536, 538, 543, 552, 554, 560, 564, 572, 598, 613, 620-623, 626, 638-640, 649, 684-686, 699, 722, 723, 729, 859, 861-863, 865, 868-870, 896, 904, 928, 932, 974, 980, 985, 990, 997, 1017, 1082, 1090, 1094, 1102, 1122, 1124, 1125, 1139, 1143, 1154-1156, 1162, 1165, 1170, 1171, 1173-1175, 1181, 1182, 1186, 1189, 1230, 1238, 1251, 1252, 1264, 1269, 1275-1280, 1287-1289, 1291, 1324, 1337, 1340, 1343, 1345, 1362, 1365, 1366, 1371, 1374, 1376, 1390, 1404, 1410, 1413, 1414, 1417, 1420, 1436, 1439, 1442, 1444, 1451, 1464, 1473
Analysis - Gravity Wall....329
Analysis - MSE Wall....330
Assign....329, 337, 338, 805
Badania CPT....558, 580, 582, 585
Badania dylatometryczne (DMT)....383, 414
Badania polowe....626, 774, 790, 791, 800, 810
Badania presjometryczne (PMT)....383, 414
Badania SPT....626, 636
Badanie dylatometryczne (DMT)....389, 421, 1404
Badanie presjometryczne....387, 388, 419, 420, 637, 638, 1402
Barton - Bandis....482, 1238
Basic data....335, 337
Bearing capacity....329, 330, 349, 351-353, 356, 357, 1354
Bierne parcie gruntu....1029-1031, 1036, 1037, 1051, 1270
Bishop....455, 472, 535, 1171, 1192, 1196, 1199, 1209, 1210, 1251
Blocks....329, 331, 332
Budowa....750, 765, 767, 774, 786-788, 807, 816
Budowy liniowe....750, 758, 771, 772
Budowy punktowe....758, 769-771
Budynki....740-742
Creation of User-defined Template....780
CSA A23.3-14....1451
CSN 73 1002.131, 134, 561, 564, 572, 620, 1279, 1287, 1288, 1307, 1321, 1322, 1363, 1364
CSN 73 6206....308, 1451, 1472, 1473
Czynne parcie gruntu....1023-1025, 1027, 1028, 1051, 1052

Dane podstawowe158, 160, 172, 174, 200, 202, 221, 223, 244, 246, 267, 269, 291, 293, 316, 318, 363, 365, 390, 391, 421, 423, 446, 448, 460, 462, 519, 521, 541, 543, 563, 565, 587, 589, 612, 614, 629, 631, 706, 708, 731, 750, 752, 757, 1015, 1016

Definicja skali barw.....100, 102

Definiowanie parcia.....371, 372, 383, 393, 394, 425, 440, 1164

DG/TJ08-61-2010.....128, 1157, 1160, 1162

Dimensioning....152, 329, 330, 349-351, 353, 355, 356, 1487, 1495, 1502, 1509, 1516, 1523, 1533, 1541, 1549

DL/T 5219 - 2005.....1277

Dodaj....41, 49, 52, 55, 56, 58, 76, 79, 81-83, 92, 93, 96, 115, 122, 134, 156, 158, 160, 168, 172, 174, 192, 195, 200, 202, 218, 219, 221, 223, 239, 240, 244, 246, 264, 265, 267, 269, 285, 291, 293, 311, 316, 318, 362, 363, 365, 385, 389, 391, 416, 421, 423, 444, 446, 448, 457, 460, 462, 467, 476, 479, 480, 484, 510, 515, 519, 521, 539, 541, 543, 561, 563, 565, 582, 587, 589, 599, 602, 612, 614, 628, 629, 631, 642, 693, 695, 700, 706, 708, 724, 725, 729, 731, 742, 753, 755, 759, 763-765, 771, 790, 795, 797, 802, 803, 806, 814, 817, 837, 839-842, 871, 873, 905, 906, 996, 1003, 1121, 1280, 1284

Dodawanie nowej warstwy do modelu.....807

Druk i eksport dokumentu.....74, 1003, 1007, 1008, 1011

Druk i eksport rysunku.....52, 74, 1003

Edycja otworu.....818, 824, 825, 837-841, 843

Edycja warstw gruntu.....807

Edytor przekroju.....663, 664, 948, 1117

Edytuj. 45, 47, 48, 56, 59, 60, 67, 84, 106, 122, 156, 168, 192, 195, 219, 240, 264, 285, 311, 362, 366, 380, 385, 412, 416, 440, 444, 457, 479, 486-488, 510, 513, 515, 539, 561, 582, 599, 603, 628, 642, 667, 676, 682, 684, 693, 695, 700, 710, 711, 714, 715, 720, 724, 755, 759, 764, 769, 771, 837, 839, 851, 956, 959, 1005, 1121

Elementy belkowe.....640, 657, 658, 853, 862, 907, 938, 939, 942-944, 951

Elementy kontaktowe.....853, 907, 908, 943, 950-952

Elementy sztywne.....455, 462, 463, 852, 905

EN 1992-1-1 (EC2).....1139, 1451

Fazy budowy.....49, 118, 853, 919, 920, 932

Fellenius / Petterson.....1209

Foliacja.....460

Footing.....329, 333, 334, 558, 1403

Fundament 90, 97, 98, 102, 124, 130, 131, 137, 140, 145, 146, 154, 167, 175, 176, 186, 187, 191, 203, 204, 213, 214, 217, 224, 225, 233, 234, 238, 247, 248, 258, 259, 262, 270, 271, 279, 280, 283, 287, 295, 296, 305, 306, 325, 326, 389, 421, 532, 533, 537-539, 541, 542, 544-546, 554, 555, 583, 637, 665, 773, 774, 1021, 1068, 1091, 1257, 1269, 1270, 1273, 1274, 1278, 1287, 1288, 1297, 1328, 1388, 1392, 1402, 1404, 1434

Funkcje myszy.....43

GB 50017-2003.....1552, 1557

Generacja siatki.....640, 649-651, 853, 926, 927

Generator kombinacji.....679-681, 683, 717-719, 722

Generuj 101, 193, 196, 516, 517, 600, 604, 681, 719, 720, 750, 758, 765, 767, 768, 775, 812

Geo-zbrojenia.....1086, 1177

Geological Sections.....774, 804

Geometria.....51, 146, 155-157, 167, 169, 170, 175, 190, 192-198, 203, 217, 219, 220, 224, 235, 238, 240, 241, 247, 262, 265, 266, 270, 283, 285-288, 295, 309, 311-314, 360, 366, 367, 383, 391, 392, 415, 423, 424, 442, 444, 445, 478, 494-496, 498, 500, 502, 504, 506, 508, 510, 511, 538, 546, 547, 559, 567, 568, 577, 580, 593, 594, 598, 606, 607, 626, 631, 632, 691, 699, 702, 703, 740, 744, 745, 1097, 1101, 1152, 1225, 1226, 1233, 1324, 1326

Geometry.....329, 332, 333

GeoSchowek. .43, 67-70, 76, 82, 155, 158, 167, 172, 191, 200, 218, 221, 239, 244, 263, 267, 284, 291, 310, 316, 361, 363, 384, 388-390, 415, 420-422, 443, 446, 456-460, 462, 463, 469, 478, 509, 519, 538, 541, 542, 560, 563, 581, 583, 587, 598, 612, 627, 629, 637, 638, 641, 699, 704, 706, 708, 709, 724-729, 731, 733, 740, 743, 750, 753, 774, 797, 856, 870, 872, 905, 906, 937, 970

Grunt.....93, 94, 155, 158, 159, 167, 172, 173, 175, 176, 180, 190, 200, 201, 203, 204, 208, 217, 221, 222, 224, 225, 229, 238, 244, 245, 247, 248, 252, 262, 267, 268, 270, 271, 275, 283, 291, 292, 295, 296, 300, 309, 316, 317, 360, 363, 364, 383, 386, 389, 390, 395, 414, 418, 421, 422, 442, 446, 447, 455, 460, 461, 508, 512, 519, 520, 526, 537, 541, 542, 549, 559, 562-564, 580, 587, 588, 598, 612, 613, 626, 629, 630, 699, 701, 706, 707, 723, 729, 730, 740, 742, 743, 750, 753, 754, 774, 795, 797, 798, 802, 803, 852, 871, 872, 883, 898, 899, 901, 936, 958, 972, 1081, 1105-1107, 1171, 1172, 1174, 1227, 1258, 1264, 1278, 1281, 1296, 1323, 1333, 1337, 1365, 1366, 1372, 1376, 1380, 1381, 1384, 1385, 1394, 1395, 1414, 1422, 1424, 1428, 1429, 1431-1434, 1441

Grupa pali...124, 134, 137, 154, 187, 214, 234, 259, 280, 306, 592, 593, 598, 599, 609, 610, 612, 613, 620, 621, 624, 625, 1362

Hoek - Brown.....482, 1238

Import danych tabelarycznych.....76

Import DXF.....103-105, 108, 109

Import i eksport DXF.....76

Internal Stability.....330

IS 456.....1451, 1492, 1493, 1496

Janbu.....129, 455, 472, 1171, 1179, 1187, 1193, 1196, 1209, 1211, 1406, 1414-1417, 1426, 1434

Katalog profili.....662, 948, 949, 1114, 1116, 1117

Klin skalny.....479, 507, 508, 1214, 1231

Kombinacja SGN.....640, 676, 677, 682, 699, 715, 716

Kombinacja SGU.....640, 699, 720, 721

Konfiguracja rysunku. .43, 51, 53, 54, 56, 79, 98, 99, 166, 185, 187, 189, 212, 214, 216, 219, 233, 234, 236, 257, 259, 261, 265, 279-281, 304, 306, 308, 325-327, 374, 379, 405, 437, 441, 453, 455, 472, 476, 493, 506, 530, 531, 533-536, 554, 556, 572-575, 578, 579, 595, 596, 623, 638, 639, 685, 689, 735, 747, 748, 751, 756, 760-762, 764, 766, 767, 769, 771, 777, 791, 971, 991-993, 1003

Konsolidacja.....154, 852, 862, 863, 1422

Konstrukcja.....117, 196, 325, 580, 590-592, 598, 600-606, 610, 622, 909, 1094, 1112-1115, 1117, 1186, 1251

Konstrukcje oporowe.....91, 124, 126, 127, 168, 192, 219, 236, 240, 264, 285, 311, 510, 536, 1086, 1091, 1093, 1098-1100, 1102, 1253

Kopiowanie do schowka.....43, 67, 71, 76

Kotwienie fundamentu.....55, 167, 183, 184, 238, 255, 256, 1088

Kotwy...124, 131, 360, 368, 369, 383, 400, 401, 413-415, 433, 434, 441, 455, 464, 465, 478, 490, 491, 504-506, 853, 854, 938-940, 956, 1126, 1128, 1130, 1131, 1133, 1134, 1217

Kryterium konwergencji.....980

LCPC (Bustamante).....132, 588, 1326, 1335, 1336, 1340

Lico konstrukcji.....415, 428, 429

Linie.....513, 640, 643, 644, 852, 853, 911, 913, 914, 922, 955

Linie swobodne.....922

Lista zmiennych.....993-995

Lokalizacja.....46, 71, 699, 701, 705, 706, 911, 915, 917, 918, 1175

Makroelementy.....640, 644, 645

Maksymalna liczba iteracji.....980, 989

Material.....153, 331, 1089, 1105, 1481, 1489, 1497, 1504, 1511, 1517, 1526, 1535, 1543

Menu sterowania.....42, 45

Metoda Bowlesa.....1386

Metoda Lizzi.....1383

Metoda paraboliczna.....1157

Mikropal...124, 133, 137, 154, 388, 420, 601, 624-626, 628-630, 637, 638, 1369-1371, 1373-1375, 1383, 1392, 1401, 1403

Minimalne parcie do wymiarowania.....166, 1049

Model Druckera-Pragera.....879

Model geologiczny.....774-776, 798, 806, 807, 812-814, 816, 817, 823, 836, 842

Modele liniowe.....873, 874

Modyfikowanie szablonu podczas wprowadzania danych.....103

Mohr - Coulomb.....482, 1238

Monitory.....853, 995, 996

Morgenstern-Price.....472, 1179, 1188, 1196, 1197, 1199, 1200, 1209, 1211

Nasyp 55, 69, 91, 126, 154, 167, 176, 177, 191, 204, 205, 217, 225, 226, 238, 248, 249, 262, 271, 272, 283, 296, 297, 455, 458, 459, 508, 509, 532, 537, 723, 726, 727, 935, 1106, 1152

NAVFAC DM 7.2.....131, 132, 134, 561, 564, 572, 620, 1279-1283, 1363

NBR 6118-2014.....1451

NEN 6743.....132, 588, 1297, 1326-1329, 1334, 1335, 1337, 1339, 1343, 1345

Niwelacja terenu.....750, 763-765

Normy i metody obliczeniowe.....155, 167, 191, 217, 238, 262, 283, 309, 361, 384, 415, 442, 456, 478, 508, 538, 560, 580, 598, 626, 641, 699, 723, 740, 750

Numeracja stron.....1003, 1012, 1015

Numeryczna implementacja modeli MCC i GCC.....884

NZS 3101-2006.....1451

Obliczenia.98, 99, 127, 143-146, 155, 163, 165, 166, 179, 185, 189, 207, 212, 215, 228, 233, 235, 251, 257, 260, 274, 279, 281, 299, 304, 308, 321, 325, 360, 376, 378-380, 384, 398, 404, 406-409, 415, 426, 431, 437-440, 453, 455, 472-476, 478, 493, 494, 506-508, 530, 531, 534, 536, 572, 574, 575, 588, 622, 723, 734, 735, 737-740, 747, 748, 853, 857, 859, 928, 971, 972, 991-993, 999, 1000, 1003, 1020, 1100, 1134, 1137, 1258, 1280, 1328, 1352, 1362, 1422, 1423, 1439

Obszary bez redukcji.....1001

Obudowa.....852, 853, 910-912, 919, 920, 938, 1168, 1169

Odwierty.....750, 761-763

Okna dialogowe.....43, 466, 467

Okno aplikacji.....42

Opcje.....43, 44, 48, 67, 71-75, 1012

Osiadania.....124, 129, 130, 539, 541, 542, 725, 729, 734, 735, 774, 1356

Osiadanie....49, 72, 75, 102, 118, 128, 154, 405, 538, 541, 559, 574-576, 580, 596-598, 612, 621, 622, 706, 723, 736, 738, 739, 747, 771, 867, 1157, 1279, 1291, 1303, 1306, 1356, 1358, 1366, 1405, 1413, 1415, 1417-1419, 1440

Otwory.....640, 645, 646, 776, 790, 806, 835, 836, 838, 843, 1266

Pale.....90, 124, 131-133, 467, 561, 563, 564, 566, 572, 574, 575, 582, 587, 588, 600, 1162, 1180, 1282, 1283, 1288-1290, 1320, 1324, 1326-1328, 1332, 1334, 1337, 1339, 1343-1345, 1367

Palisada.....1112

Parametry wymiarowania.....640, 683, 690

Parcia gruntu.....155, 167, 191, 201, 217, 238, 263, 284, 310, 361, 384, 415, 509

Parcie hydrodynamiczne.....411, 1043, 1045, 1067

Plik.....45, 46, 102-105, 108, 110-115, 117, 1007, 1009

PMTs.....1360

Podparcie liniowe.....853, 954

Podparcie punktowe.....853, 952, 953

Podpory.....360, 370, 371, 383, 402, 403, 415, 434, 435, 640, 654-656, 691, 699, 710, 711, 1126

Pomiar.....740, 745, 746, 882, 901, 1293

Procedura analizy.....1048

Profil.....51, 119, 155, 157, 158, 160, 167, 171, 172, 175, 190, 199, 200, 203, 217, 220, 221, 224, 238, 243, 244, 247, 262, 266, 267, 270, 283, 290, 291, 295, 309, 315, 316, 329, 334, 335, 360, 362, 363, 383, 385, 386, 414, 417, 442, 445, 446, 463, 508, 518, 519, 537, 540, 548, 559, 561, 562, 580, 586, 587, 598, 611, 612, 626, 628, 629, 708, 740, 742, 774, 776, 785, 790, 797-799, 806, 812, 834, 849, 850, 1246, 1247

Profile.....776
Program Belka.....698
Program MES.....650, 852, 981
Program Pal.....1162
Programy.....42, 43, 52, 65, 98, 99, 102, 121, 137, 140, 153, 1003, 1092
Project.....329-331, 784
Projekt.....51, 66, 137, 143-146, 155, 167, 168, 190, 191, 217, 218, 238, 239, 262, 263, 283, 284, 308-310, 360, 361, 383, 384, 414-416, 442, 443, 455, 456, 478, 479, 508, 509, 537, 538, 559, 560, 580, 581, 598, 599, 626, 627, 640, 641, 699, 700, 723, 724, 740, 750, 751, 774, 775, 852, 856, 1013, 1015, 1068, 1258, 1262, 1264, 1287, 1451, 1462, 1464, 1471, 1472, 1474, 1479, 1554, 1555
Przekroje.....734, 735, 774, 776, 777, 797, 812, 849, 850, 1461
Przyrost parcia gruntu pod fundamentem.....1017
Punkty...82, 101, 117, 195, 325, 603, 693, 750, 755, 756, 763, 768, 774, 776, 786-788, 809, 852, 853, 911-913, 920, 953, 959, 961, 1207
Ramki.....43, 56, 95
Reinforcements.....329
Rozpory.....360, 369, 370, 383, 401, 402, 853, 959, 960
Sarma.....1187, 1190
Shahunyants.....472, 1171, 1188, 1200, 1209
Slip on Georeinforcement.....330
Soils.....329, 335, 336, 342, 345, 811, 1148, 1326, 1362, 1380, 1388
Spencer.....455, 472, 535, 1171, 1179, 1187, 1190-1192, 1196, 1197, 1209, 1211, 1251
Spoczynkowe parcie gruntu.....158, 172, 200, 221, 244, 267, 291, 316, 363, 390, 421, 1040, 1051
Sprawdzenie rozwarcia rys.....1451, 1463
Stability.....330, 349, 354, 359, 360, 1190, 1196, 1210, 1240, 1442
Stage Settings.....329
Standardowe warunki brzegowe.....931, 932
Status otworu.....834, 839
Steel 2xU-profile.....1117
Stopnie fundamentu.....283, 288, 289
Sytuacje obliczeniowe.....127, 128, 131-134
Szablon.....45, 48, 106
Szyb.....154, 442, 1165
Tabele.....43, 110, 162, 178, 206, 227, 250, 273, 298, 320, 397, 523, 1028, 1037
Tarcie negatywne.....559, 570, 616, 617
Tarcie ujemne.....571, 598, 1296
Templates.....774, 778-780, 791, 792

Teoria. .129, 155, 167, 191, 217, 238, 263, 283, 310, 361, 384, 415, 442, 456, 478, 509, 538, 560, 580, 598, 626, 641, 723, 740, 774, 880, 943, 1023, 1030, 1085, 1300

Teren...117, 154, 155, 157, 161, 162, 167, 171, 177, 178, 191, 199, 205, 206, 217, 220, 226, 227, 238, 243, 249, 250, 262, 266, 272, 283, 290, 297, 298, 309, 315, 319, 320, 360, 363, 374, 383, 386, 396, 397, 415, 417, 429, 430, 445, 478, 480-482, 508, 519, 522, 523, 540, 562, 586, 611, 628, 734, 742, 750, 753, 769, 772, 773, 809, 810

Terrain.....273, 329, 334, 342, 343, 774, 789, 790, 809

Tomlinson.....131, 561, 564, 572, 1279, 1285, 1331, 1336, 1337

Topologia.....852, 853, 932, 938

Tryby.....45, 51, 56, 92, 93

Tunele.....92, 862

Tworzenie modelu geologicznego.....807

Tworzenie soczewek gruntu.....807, 842

Typy zbrojenia.....508, 512, 513

Ujemne tarcie na pobocznicy.....1333

Ustawienia.....51, 54, 55, 71, 99, 100, 121-124, 134, 135, 138, 139, 147, 149, 153, 155, 156, 165, 167-169, 184, 185, 189-192, 211, 212, 217-219, 232, 238-240, 256, 257, 261-264, 278, 283-285, 303, 304, 308-311, 316, 323, 360-362, 374, 378, 383-386, 388, 389, 393, 404, 405, 413-417, 420, 421, 436, 441-444, 452, 455-457, 460, 471, 477-480, 492, 493, 506, 508-510, 529, 537-539, 541, 542, 545, 553-555, 559, 561, 564, 570-572, 580-582, 584, 591, 592, 598-600, 606, 612, 613, 619, 620, 624, 626-628, 640-642, 654, 656, 688, 691, 699-701, 703, 723-725, 734, 735, 737, 740-744, 746, 747, 774, 776, 777, 789, 799, 807, 809, 812, 849, 850, 852, 856, 857, 862, 864, 871, 910, 912, 915, 916, 938, 971, 980-982, 990-992, 995-998, 1000, 1003, 1012, 1013, 1015, 1083, 1091, 1214, 1232, 1237, 1274, 1320, 1324, 1344, 1345, 1362, 1367, 1368, 1422, 1446, 1448, 1473

Uszkodzenia.....740, 746, 748, 749, 1448, 1449

Verification....329, 330, 348-352, 354-358, 1481, 1482, 1489, 1497, 1504, 1511, 1517, 1526, 1535, 1543, 1567, 1568

Warstwa....82, 86, 87, 455, 457, 458, 699, 701, 704, 705, 723, 725, 726, 808, 821, 852, 870, 871, 1019, 1171, 1422

Wczytywanie danych do szablonu.....103, 104

Wczytywanie danych do warstw.....103, 105

Weryfikacja.....510, 533, 1362, 1449

Wizualizacja.....43, 45, 50, 52, 53, 60, 92, 454, 477, 573, 623, 687, 690, 747, 751, 756, 760-762, 764, 766, 767, 769, 771, 789, 791, 799, 807, 813, 849, 850, 910, 970, 991

Woda...53, 55, 57, 69, 155, 162, 163, 167, 178, 179, 191, 206, 207, 217, 227, 228, 238, 250, 251, 262, 273, 274, 283, 298, 299, 309, 320, 321, 360, 375, 383, 397, 398, 415, 430, 431, 442, 449, 450, 455, 469, 470, 478, 485-487, 500-502, 508, 523-525, 538, 551, 552, 559, 569, 570, 598, 615, 616, 626, 635, 636, 699, 701, 709, 710, 723, 733, 734, 750, 760, 761, 853, 863, 932, 933, 1044, 1066, 1172, 1209, 1223

Wykop.....69, 91, 383, 395, 396, 455, 459, 460, 723, 727, 728, 853, 933, 934, 1152

Wykresy.....748, 853, 997, 1150, 1314-1316, 1318, 1319, 1341, 1379

Wymiarowanie. 147, 167, 188-191, 215-217, 235, 236, 238, 260-262, 281-284, 286, 307-310, 327, 328, 360, 366, 380, 381, 384, 412-415, 440-442, 452-455, 508, 531, 532, 538, 545,

556, 557, 560, 578, 598, 623, 624, 640, 684, 1094, 1111, 1116, 1165, 1251, 1273, 1460, 1470, 1479, 1553, 1558

Wymiary modelu.....81, 89, 90

Wyniki.45, 52, 67, 145, 166, 185, 186, 189, 212, 213, 216, 233-236, 257, 258, 261, 279-281, 304, 305, 308, 325, 326, 366, 379, 388, 389, 420, 421, 453, 472, 493, 506, 530, 532, 535, 536, 541, 572-575, 578, 579, 583, 595, 596, 620-622, 636-640, 685, 688-690, 693, 722, 735, 851, 857, 863, 866, 867, 869, 882, 944, 971, 984, 991, 997, 1002, 1005, 1007, 1009, 1011, 1239, 1385, 1392, 1399-1404

Wzmocnienie gruntu.....1153

Zapisane widoki.....54, 75, 99, 992

Zbrojenie..261, 455, 466, 508, 516-518, 533, 534, 577, 623, 683, 853, 961, 963, 1251, 1461, 1466, 1476

ZWG + NSF.....583, 584

© Fine Ltd. 2018
www.finesoftware.pl