

Analiza stateczności zbocza

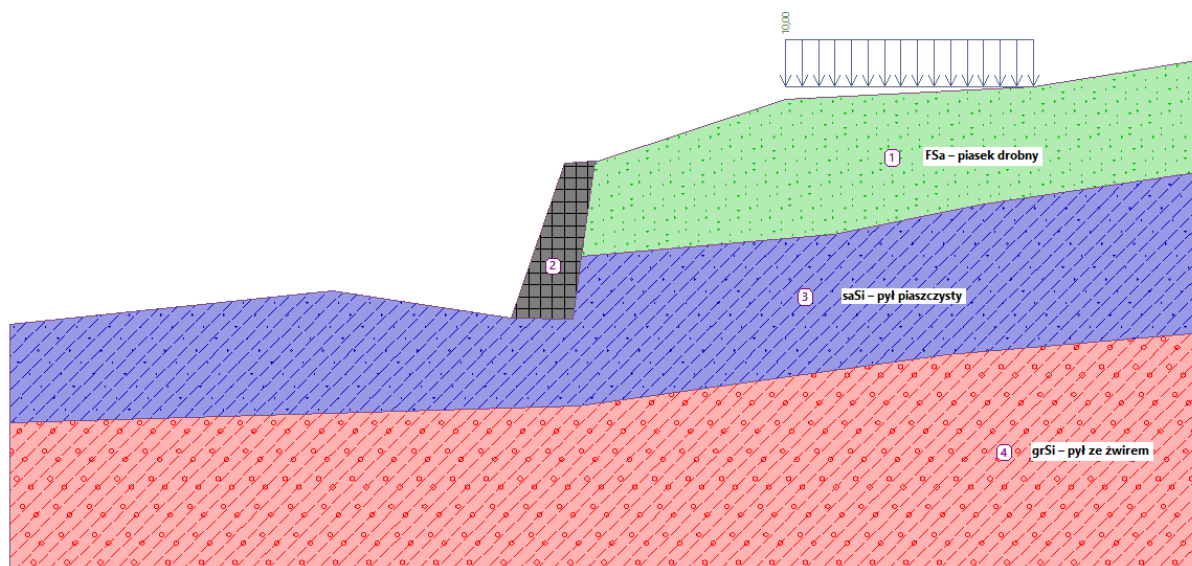
Program powiązany: Stateczność zbocza

Plik powiązany: Demo_manual_08.gst

Niniejszy przewodnik inżyniera przedstawia problematykę sprawdzania stateczności zbocza z założeniem krytycznej kołowej oraz łamanej powierzchni poślizgu (z zastosowaniem optymalizacji wyznaczania powierzchni). Przedstawione zostaną także różnice między odmiennymi metodami sprawdzania stateczności zbocza.

Zadanie

Przeprowadzić analizę stateczności zbocza dla zaprojektowanego zbocza ze ścianą oporową. Przeprowadź analizę dla trwałej sytuacji obliczeniowej. Przyjmij współczynnik bezpieczeństwa $SF = 1,50$. Brak zwierciadła wody gruntowej w rozpatrywanym profilu.



Schemat zadania

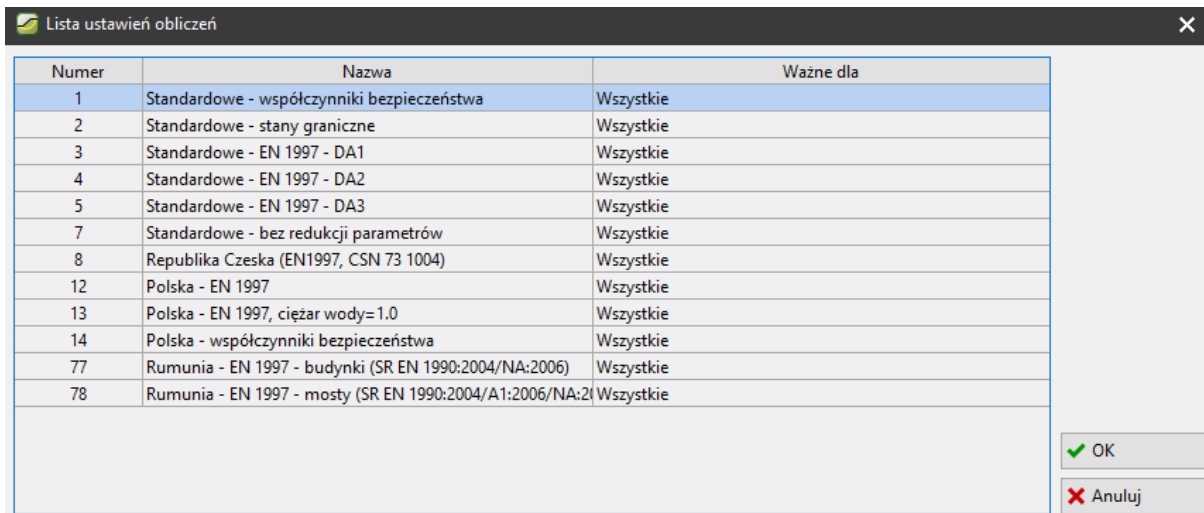
Rozwiązanie

W celu wykonania zadania skorzystaj z programu GEO5 Stateczność zbocza. Przewodnik przedstawia kolejne kroki obliczania przykładu:

- Analiza 1: kołowa powierzchnia poślizgu z optymalizacją (metoda Bishopa)
- Analiza 2: sprawdzenie stateczności zbocza a pomocą wszystkich metod obliczeniowych
- Analiza 3: łamana powierzchnia poślizgu z optymalizacją (metoda Specera)
- Wyniki obliczeń (podsumowanie)

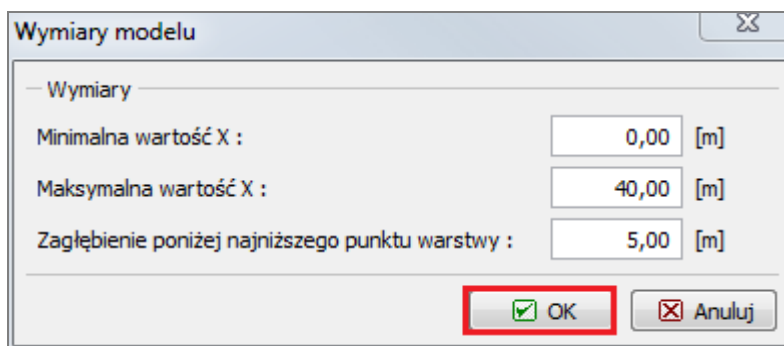
Wprowadzanie geometrii i danych wejściowych

W ramce "Ustawienia" naciśnij przycisk "Wybierz ustawienia", a następnie wybierz z listy dostępnych ustawień obliczeń numer 1 – "Standardowe – współczynniki bezpieczeństwa".



Okno dialogowe "Lista ustawień obliczeń"

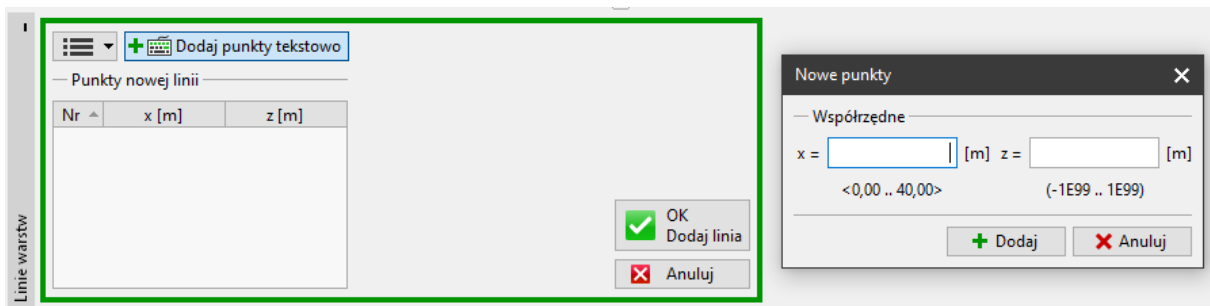
Następnie przejdź do ramki "Warstwa" i wprowadź wymiary modelu wybierając przycisk "Ustawienie zakresu". Opcja "Zagłębienie poniżej najniższego punktu warstwy" ma wpływ jedynie na wizualizację zadania, nie wpływa natomiast w żaden sposób na wyniki obliczeń.



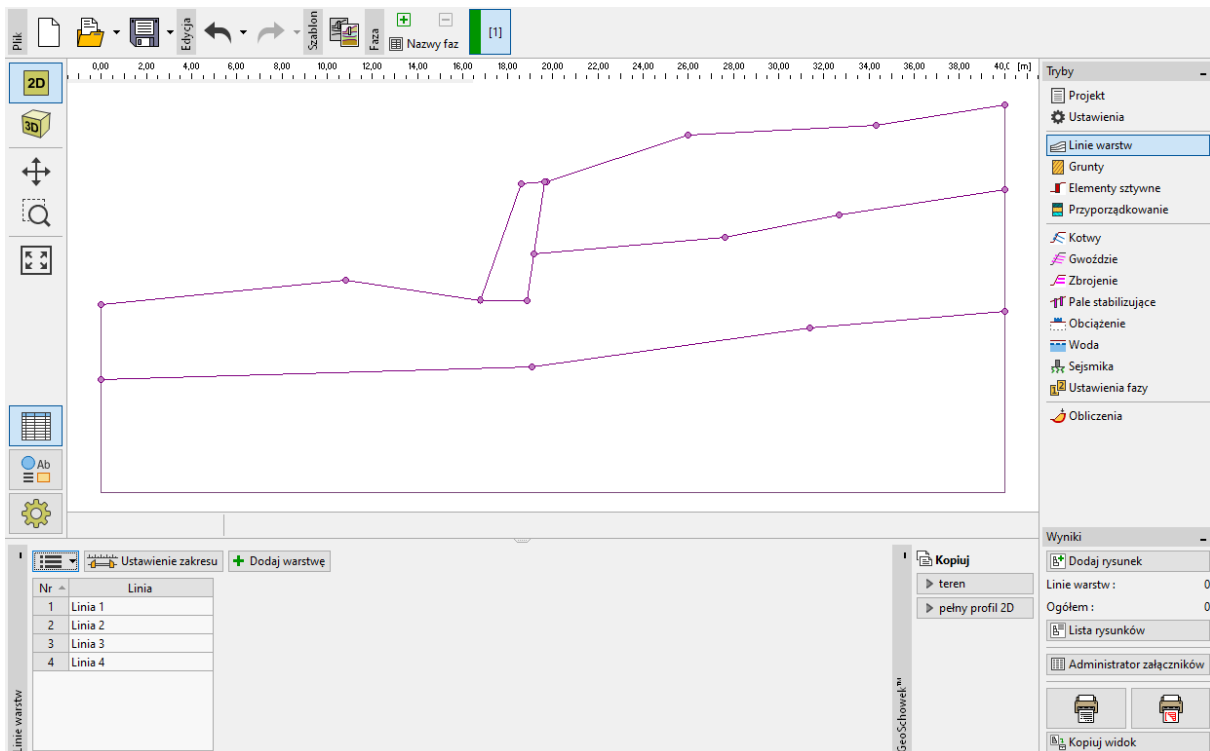
Teraz, klikając przycisk „Dodaj warstwę” zdefiniuj kolejne warstwy gruntu i powierzchnię terenu zgodnie z podanymi poniżej współrzędnymi. Dla każdej warstwy dodaj wszystkie punkty tekstowo, i na zakończenie kliknij przycisk „OK dodaj linia”.

	Warstwa 1		Warstwa 2		Warstwa 3		Warstwa 4	
	x [m]	z [m]	x [m]	z [m]	x [m]	z [m]	x [m]	z [m]
1	0,00	-4,75	16,80	-4,54	19,17	-2,48	0,00	-8,07
2	10,81	-3,64	18,87	-4,57	27,61	-1,75	19,06	-7,50
3	16,80	-4,54	19,17	-2,48	32,66	-0,74	31,40	-5,77
4	18,59	0,63	19,62	0,71	40,00	0,36	40,00	-5,05
5	19,62	0,71						
6	19,71	0,71						
7	26,00	2,80						
8	34,30	3,20						
9	40,00	4,12						

Dodawanie punktów kolejnych warstw gruntu



Ramka "Linie warstw" – dodaj punkty tekstowo



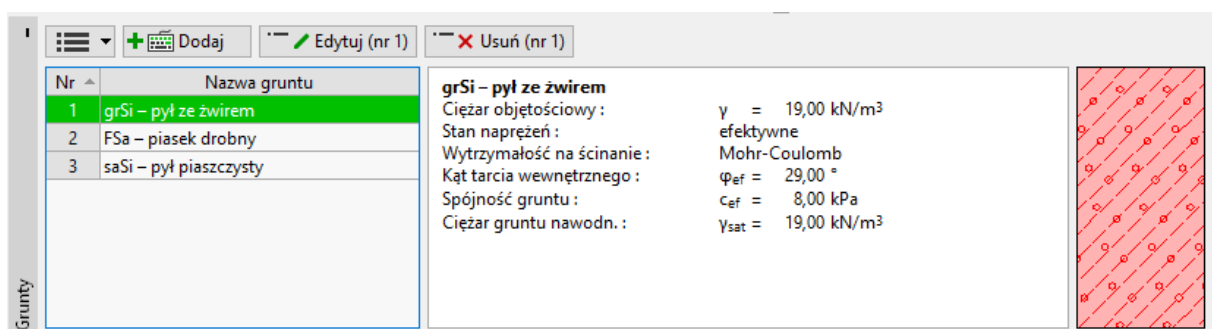
Ramka "Linie warstw" – dodane 4 warstwy

Następnie, w ramce „Grunty”, za pomocą przycisku „Dodaj”, dodaj 3 grunty z parametrami zgodnie z poniższą tabelą i przyporządkuj je do odpowiednich warstw. Przyjmujemy stan naprężeń efektywnych dla wszystkich gruntów, nie uwzględniamy foliacji.

Tabela z parametrami gruntu

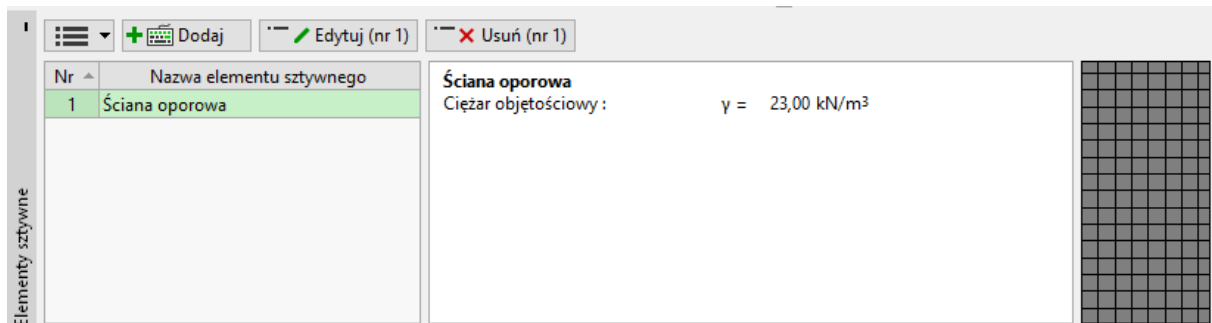
Grunt (Klasyfikacja gruntu)	Ciężar objętościowy γ [kN/m ³]	Efektywny kąt tarcia wewnętrznego φ_{ef} [°]	Efektywna spójność gruntu c_{ef} [kPa]
grSi – pył ze żwirem, konsystencja - plastyczny	19,0	29,0	8,0
FSa – piasek drobny, średniozagęszczony	17,5	31,5	0,0
saSi – pył piaszczysty, konsystencja - twardoplastyczny, $S_r > 0,8$	18,0	26,5	16,0

Uwaga: W niniejszym przykładzie sprawdzamy stateczność zbocza w trwałej sytuacji obliczeniowej, dlatego obliczenia zostaną przeprowadzone przy wykorzystaniu efektywnych wartości parametrów gruntów φ_{ef}, c_{ef} . Foliacja gruntów – gorsze lub inne wartości parametrów gruntów w jednym kierunku – nie zachodzi w przypadku rozpatrywanych gruntów.



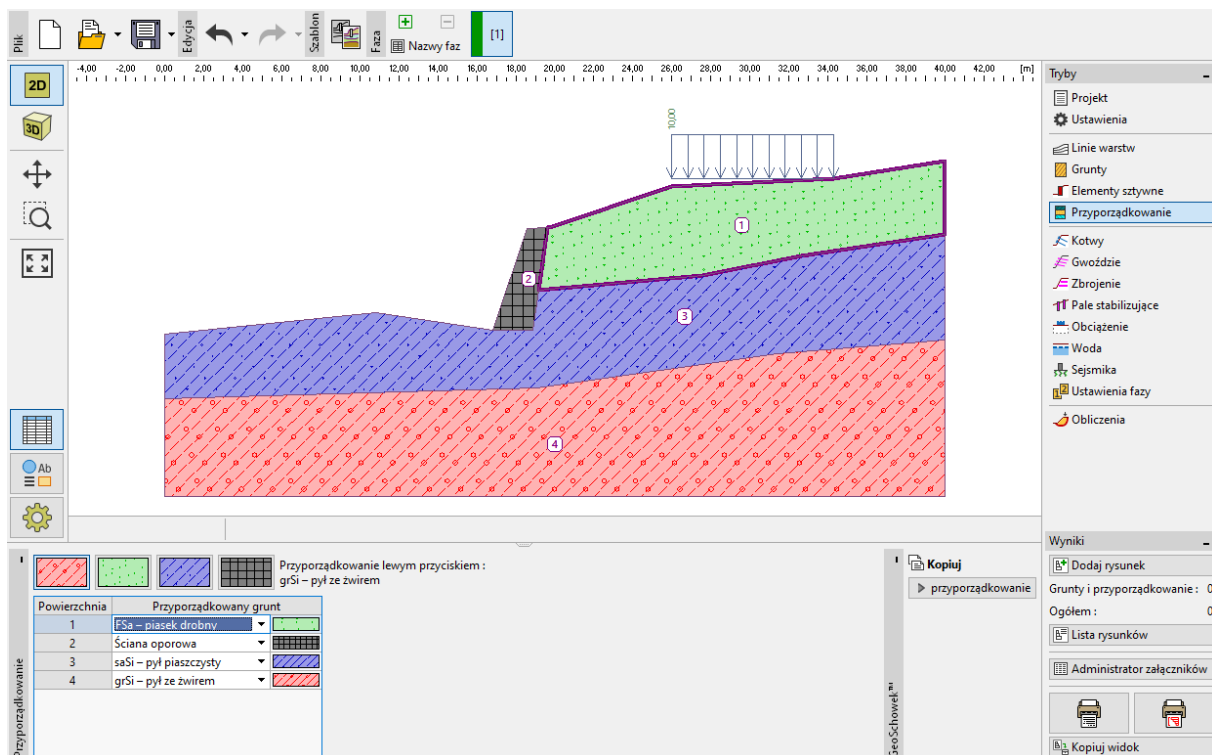
Ramka „Grunty” – dodane 3 nowe grunty

Następnie, przejdź do ramki „Elementy sztywne”. W tej ramce dodaj ścianę oporową jako "Element sztywny" o ciężarze objętościowym $\gamma = 23,0 \text{ kN/m}^3$. Powierzchnia poślizgu nie będzie przechodzić przez ścianę oporową, gdyż jest elementem o bardzo dużej wytrzymałości. (Więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).



Ramka "Elementy sztywne" – dodany nowy element sztywny (ściana oporowa)

Teraz przyporządkujemy grunty i element sztywny do przekroju w ramce „Przyporządkowanie”.



Ramka "Przyporządkowanie"

W następnym kroku, przejdź do ramki "Obciążenie" i zdefiniuj nowe obciążenie. Dodaj obciążenie "pasmowe" zlokalizowane na powierzchni terenu, jako rodzaj oddziaływania wybierz "stałe".

Nazwa:

— Charakterystyki obciążenia —

Rodzaj:

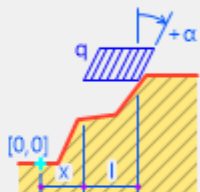
Oddziaływanie:

Lokalizacja:

Początek: $x =$ [m]

Długość: $l =$ [m]

Nachylenie: $\alpha =$ [°]



— Wartość obciążenia —

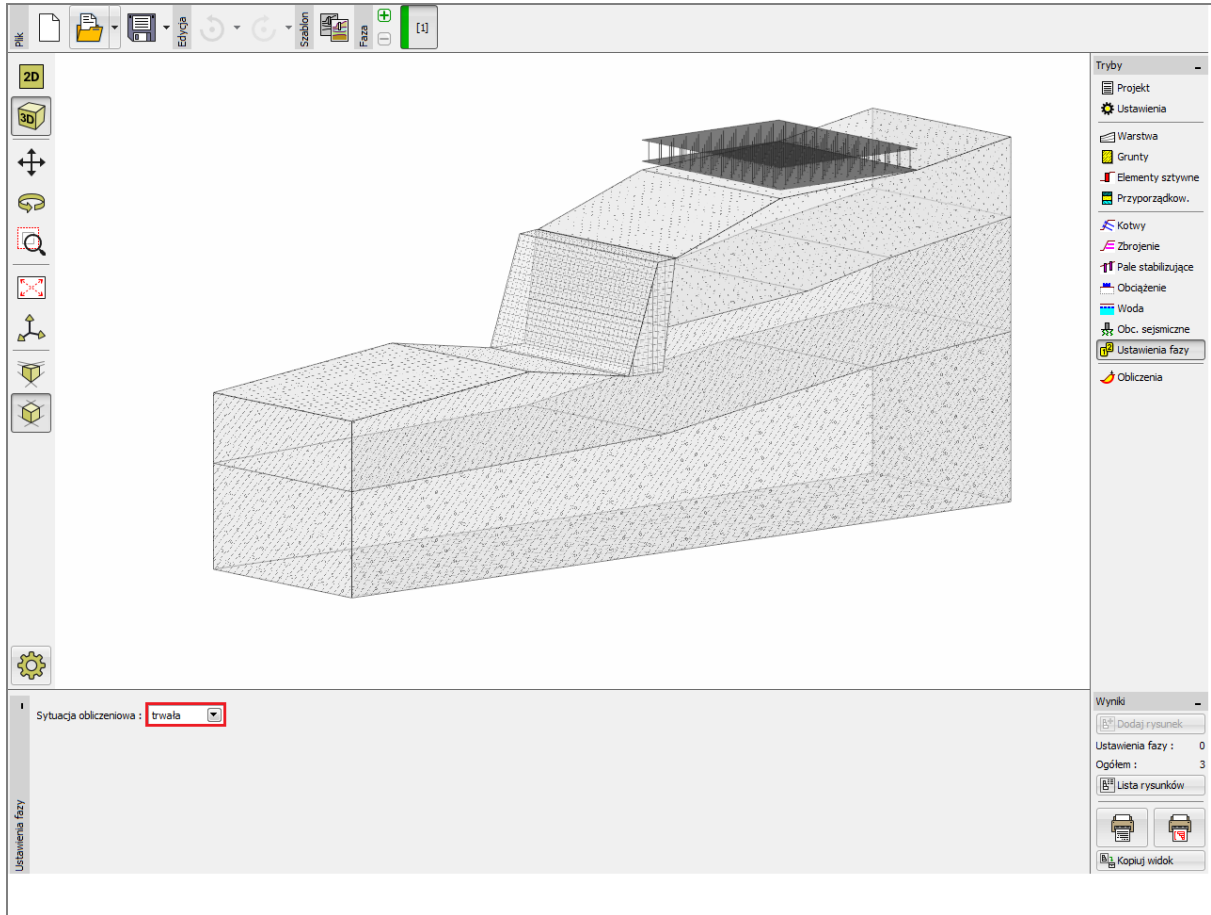
Wielkość: $q =$ [kN/m²]

Okno dialogowe "Nowe obciążenie"

Uwaga: Wprowadzane obciążenia definiowane są na 1,0 m bieżący projektowanej konstrukcji. Jedynym wyjątkiem jest obciążenie skupione, w przypadku którego program wyznacza efekt oddziaływania tego obciążenia na analizowany profil (Więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).

Pomiń zakładki "Kotwy", "Zbrojenie", „Pale stabilizujące”, "Woda". Ramka "Obciążenie sejsmiczne" również nie ma zastosowania w naszym przypadku, ponieważ zbocze nie znajduje się na obszarze aktywnym sejsmicznie.

Przejdź do ramki "Ustawienia fazy" i wybierz sytuację obliczeniową. Przyjmij trwałą sytuację obliczeniową.



Sytuacja obliczeniowa : trwała

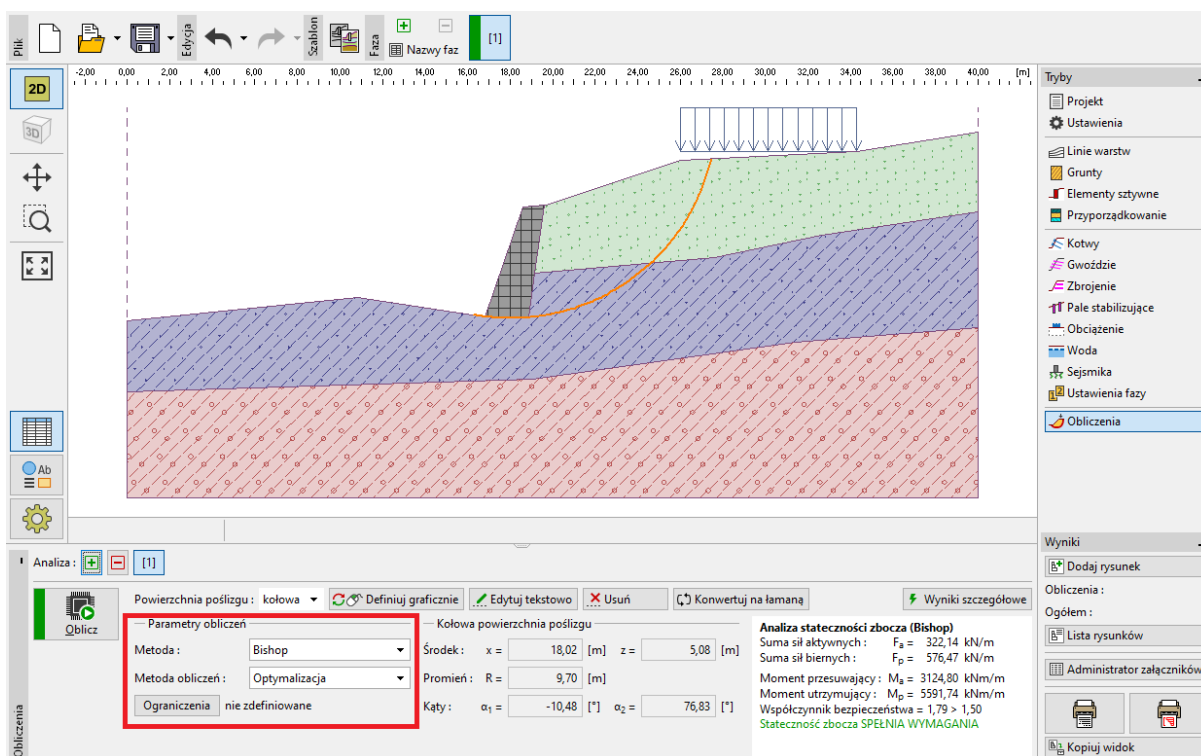
Ramka "Ustawienia fazy"

Analiza 1 – kołowa powierzchnia poślizgu

Następnie przejdź do ramki "Obliczenia", w której określisz początkową kołową powierzchnię poślizgu tekstowo podając promień oraz współrzędne (x, y) środka powierzchni kołowej poślizgu lub graficznie zaznaczając na ekranie trzy punkty, przez które wybrana powierzchnia poślizgu ma przechodzić.

Uwaga: W przypadku gruntów spoiowych utrata stateczności zbocza występuje najczęściej w postaci osuwisk rotacyjnych, które modeluje się przy założeniu kołowej powierzchni poślizgu, co pozwala na wyznaczenie krytycznej powierzchni poślizgu. W przypadku gruntów niespoistych zaleca się ponadto wykonanie obliczeń stateczności zbocza z uwzględnieniem łamanej powierzchni poślizgu. (Więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).

Po zdefiniowaniu wyjściowej powierzchni poślizgu, wybierz jako metodę obliczania stateczności zbocza metodę Bishopa oraz wybierając rodzaj obliczeń w postaci "Optymalizacja". Następnie uruchom obliczenia klikając przycisk „Oblicz”.



Ramka "Obliczenia" – Bishop – optymalizacja krytycznej kołowej powierzchni poślizgu

Uwaga: Celem procesu optymalizacji jest znalezienie kołowej powierzchni poślizgu o najmniejszym współczynniku stateczności zbocza – krytycznej powierzchni poślizgu. Optymalizacja kołowej powierzchni poślizgu w programie Stateczność zbocza przeprowadza obliczenia dla całego zbocza, a

uzyskane wyniki są w najwyższym stopniu wiarygodne. Dla różnych początkowych powierzchni poślizgu otrzymujemy tę samą krytyczną powierzchnię poślizgu.

Wartość współczynnika bezpieczeństwa stateczności zbocza dla krytycznej powierzchni poślizgu przy wykorzystaniu metody Bishopa wynosi:

$$SF = 1,79 > SF = 1,5 \quad \text{SPEŁNIA WYMAGANIA}$$

Analiza 2 – porównanie różnych metod obliczeniowych

Następnie dodaj nową analizę w obrębie zadania korzystając z paska narzędzi znajdującego się w lewym górnym rogu ramki.



Pasek narzędzi "Analiza"

Przejdź do ramki "Obliczenia" i jako metodę prowadzenia obliczeń wybierz "Wszystkie metody", a rodzaj obliczeń wybierz "Standard". Następnie naciśnij przycisk "Oblicz".

Ramka "Obliczenia" – Wszystkie metody – obliczenia standardowe (bez optymalizacji)

Uwaga: Wykorzystując tę metodę, do obliczeń każdą z metod przyjęta zostanie krytyczna powierzchnia poślizgu uzyskana z poprzedniej analizy (1) metodą Bishopa. W celu uzyskania bardziej

miarodajnych wyników należy wybrać konkretną metodę i przeprowadzić dla niej obliczenia z uwzględnieniem optymalizacji powierzchni poślizgu.

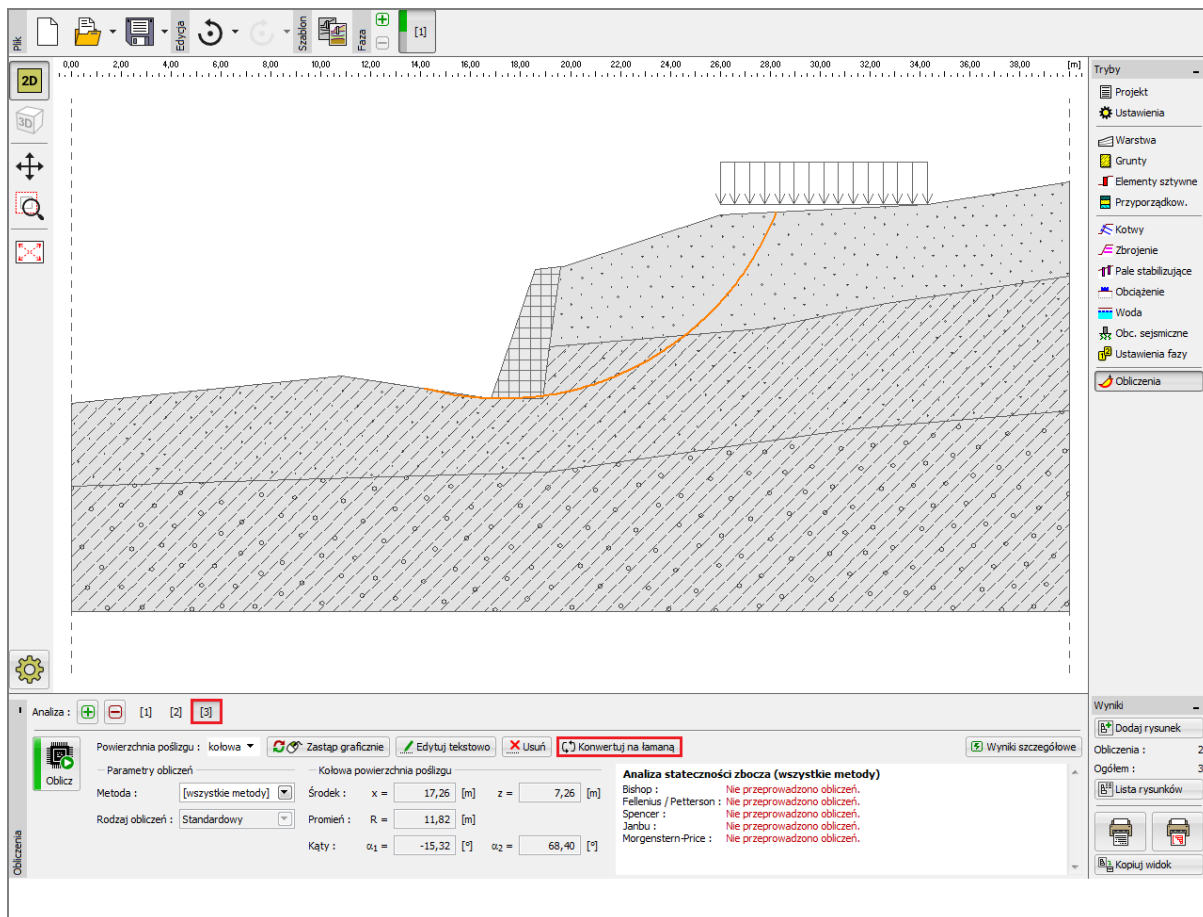
Uwaga: Wybór metody prowadzenia obliczeń zależy od doświadczenia użytkownika programu. Do najbardziej popularnych metod obliczeń należą metody paskowe, spośród których najczęściej używaną jest metoda Bishopa. Metoda Bishopa jest stosunkowo konserwatywna.

W przypadku zboczy zbrojonych lub kotwionych zaleca się korzystanie z innych, bardziej rygorystycznych, metod obliczeniowych, takich jak metoda Janbu, Spencera, czy Morgensterna-Price'a, które w założeniu spełniają warunki równowagi sił i momentów i lepiej odzwierciedlają rzeczywiste zachowanie zbocza.

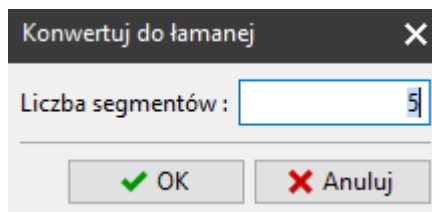
Nie ma potrzeby, lub wręcz nie należy, wykonywać analizy stateczności zbocza według wszystkich metod obliczeniowych. Przykładowo, szwedzka metoda Felleniusa – Pettersona prowadzi do bardzo zachowawczych wyników obliczeń, a uzyskany współczynnik bezpieczeństwa mógłby być znacząco zaniżony. Metoda została jednak uwzględniona w programie GEO5 z uwagi na jej popularność i wymóg stosowania w niektórych krajach.

Analiza 3 – łamana powierzchnia poślizgu

Ostatnim zadaniem jakie wykonamy w tym przykładzie, będzie jest dodanie nowej analizy w obrębie zadania i zamiana kołowej powierzchni poślizgu na łamaną za pomocą przycisku "Konwertuj na łamaną". Wprowadzamy odpowiednią liczbę segmentów (w tym przypadku – 5).

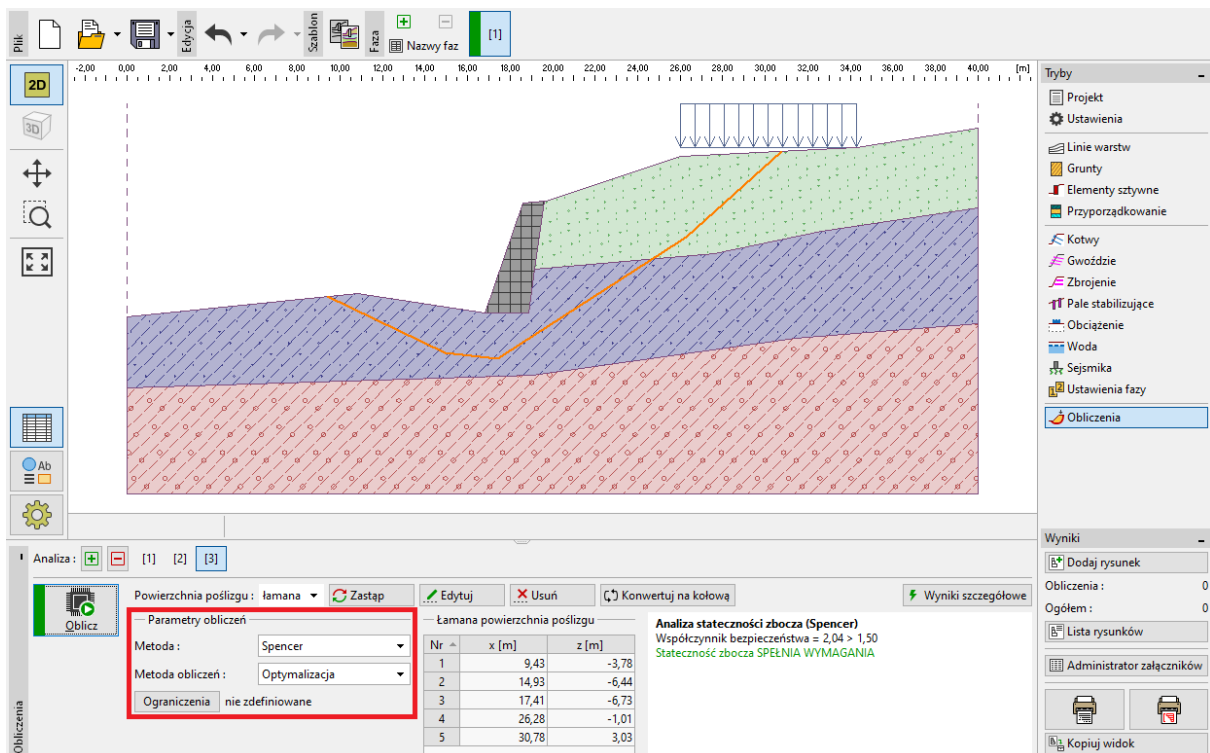


Ramka "Obliczenia" – konwersja do łamanej powierzchni poślizgu



Okno dialogowe "Konwertuj do łamanej"

Jako metodę prowadzenia obliczeń wybierz metodę "Spencera", przy opcji rodzaj obliczeń wybierz "Optymalizacja", wprowadź początkową łamaną powierzchnię poślizgu i wykonaj obliczenia.

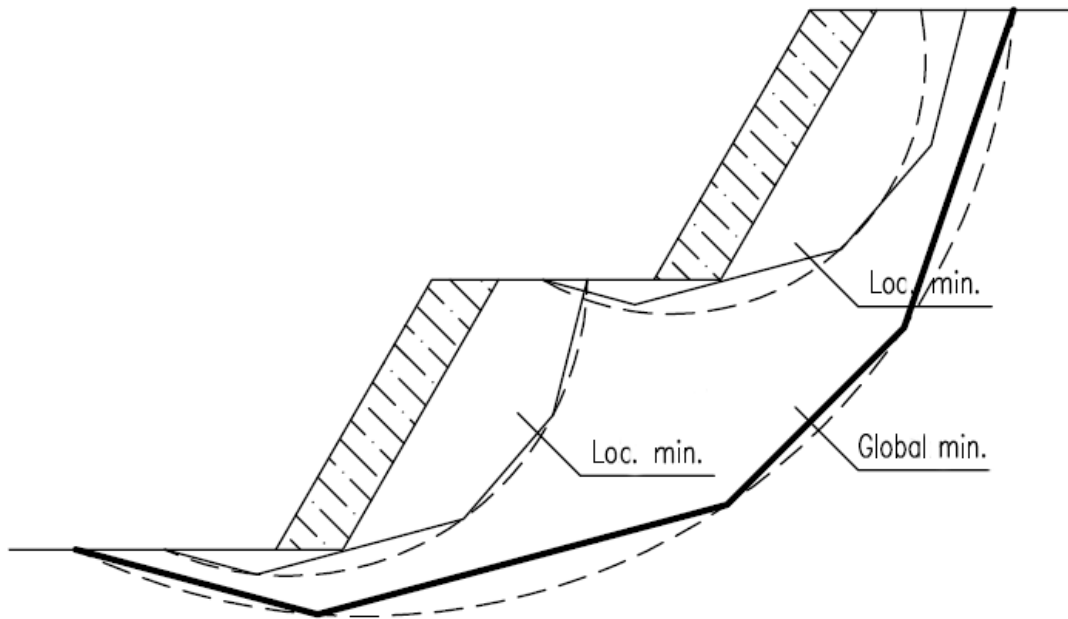


Ramka "Obliczenia" – Spencer – optymalizacja krytycznej łamanej powierzchni poślizgu

Wartość współczynnika bezpieczeństwa stateczności zbocza w obliczeniu z zastosowaniem łamanej powierzchni poślizgu wynosi:

$$SF = 1,52 > SF = 1,5 \quad \text{SPEŁNIA WYMAGANIA}$$

Uwaga: Optymalizacja łamanej powierzchni poślizgu wykonywana jest iteracyjnie i zależy od położenia początkowej powierzchni poślizgu. Zaleca się przeprowadzenie kilku obliczeń przyjmując różne początkowe powierzchnie poślizgu o różnej liczbie segmentów. 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 kończy się zlokalizowaniem krytycznej powierzchni poślizgu. Niekiedy bardziej efektywnym podejściem okazuje się wprowadzenie początkowej łamanej powierzchni poślizgu o podobnym kształcie i położeniu jak kołowa powierzchnia poślizgu uzyskana w wyniku optymalizacji.



Lokalne minima – łamana i kołowa powierzchnia poślizgu

Uwaga: Często zgłaszaną przez użytkowników uwagę jest znikanie powierzchni poślizgu po przeprowadzeniu optymalizacji. W przypadku gruntów niespoistych, w których wartość spójności wynosi $c_{ef} = 0 \text{ kPa}$, krytyczna powierzchnia poślizgu pokrywa się z powierzchnią skarpy o największym kącie nachylenia do poziomu. W takim przypadku, użytkownik powinien zmodyfikować parametry gruntu lub wprowadzić ograniczenia powierzchni poślizgu (obszar, którego powierzchnia poślizgu nie może przekroczyć).

Podsumowanie

Wartość współczynnika bezpieczeństwa stateczności zbrocza przy uwzględnieniu optymalizacji (poszukiwania najbardziej krytycznej powierzchni poślizgu):

- Bishop (kołowa - optymalizacja): SF=1,79 > SF=1,5 **SPEŁNIA WYMAGANIA**
- Spencer (łamana - optymalizacja): SF=1,52 > SF=1,5 **SPEŁNIA WYMAGANIA**

Zaprojektowane zbocze ze ścianą oporową ma zachowane warunki stateczności.