

Stateczność zbocza skalnego – ściana skalna

Program: Stateczność zbocza skalnego

Plik powiązany: Demo_manual_29.gsk

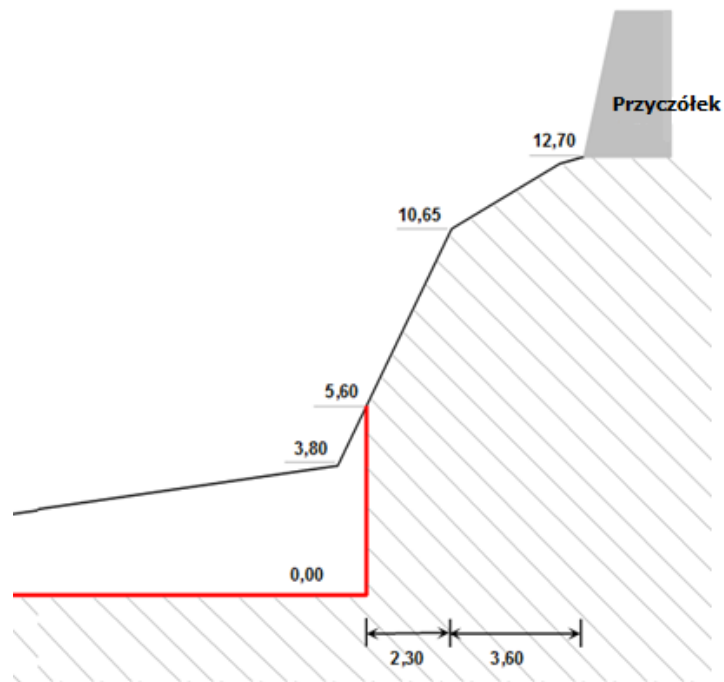
Niniejszy Przewodnik Inżyniera przedstawia sposób analizowania stateczności zbocza skalnego uformowanego z metabazaltów w wybranym przekroju poprzecznym (ściana stanowi lewą krawędź zaprezentowanego na kolejnym rysunku przekroju). Analizowana ściana skalna powstała w wyniku podcięcia statecznego zbocza skalnego. U stóp zbocza zlokalizowany jest budynek apartamentowy, a na jego szczycie jest droga. Przeprowadzone wcześniej rozpoznanie geologiczne oraz nowe badania hydrogeologiczne zawierają opis nieciągłości oraz wytrzymałość skały.



Widok zbocza skalnego – analizowany przekrój poprzeczny

Zadanie

Oczekiwany współczynnik bezpieczeństwa stateczności zbocza skalnego wynosi 1.5 ze względu na założony długi okres eksploatacji. Jeżeli współczynnik bezpieczeństwa stateczności zbocza będzie niższy od 1.5 to zbocze wymaga dodatkowego zabezpieczenia. Analiza stateczności zbocza oraz projekt konstrukcji wzmacniającej zbocze przeprowadzone zostaną dla wybranego przekroju poprzecznego po wykonaniu wykopu.



Analizowany przekrój poprzeczny z zaznaczonym na czerwono podcięciem zbocza

Wykorzystując archiwalne oraz nowe rozpoznania geologiczne określono następujące parametry geotechniczne masywu skalnego (metabazaltu):

Ciężar objętościowy skały $\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$

Efektywny kąt tarcia wewnętrznego $\varphi' = 43^\circ$

Spójność efektywna $c' = 423 \text{ kPa}$

Średnia wytrzymałość skały na ściskanie jednoosiowe wynosi 60 MPa i została wyznaczona podczas badań in situ przy pomocy młotka Schmidta.

Rozpoznanie hydrogeologiczne nie stwierdziło występowania jakichkolwiek cieków podziemnych. Niewielkie zawilgocenia występujące u podnóża zbocza (na obszarze nieznacznie wyerodowanym) spowodowane są spływem wód powierzchniowych podczas opadów atmosferycznych.

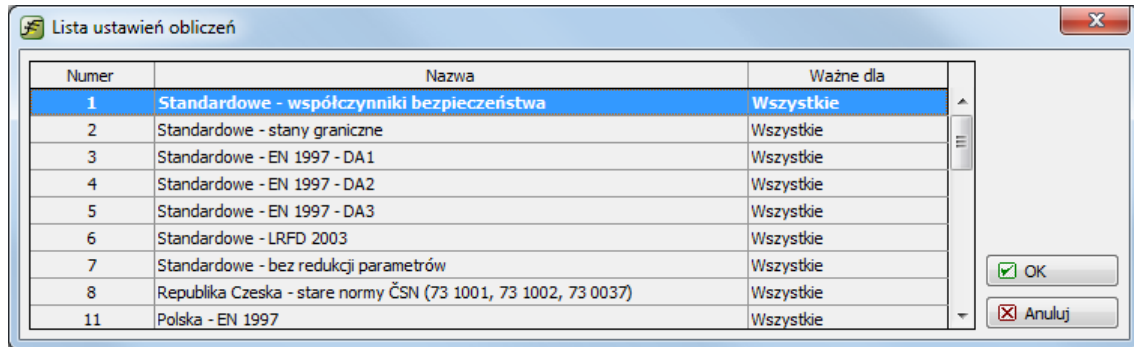
Rozwiązanie

W celu wykonania zadania należy skorzystać z programu GEO5 Stateczność zbocza skalnego. Obliczenia stateczności zbocza skalnego w analizowanym przekroju przeprowadzone zostaną z zastosowaniem współczynników bezpieczeństwa (ze względu na późniejsze sprawdzenie obliczeń metodą analityczną oraz z wykorzystaniem modelu numerycznego metody elementów skończonych). Niniejszy przewodnik przedstawia kolejne kroki obliczania przykładu - opisuje zadanie, obliczenia oraz wnioski.

Sformułowanie zadania

1) Wybór ustawień metodyki obliczeń zgodnie ze współczynnikami bezpieczeństwa oraz wybranym rodzajem obliczeń (typ powierzchni poślizgu).

Przechodzimy do ramki "Ustawienia" i wybieramy przycisk "Wybierz ustawienia", a następnie zaznaczamy opcję nr 1 "Standardowe – Współczynniki bezpieczeństwa" jako metodykę obliczeń i potwierdzamy klikając przycisk "OK".



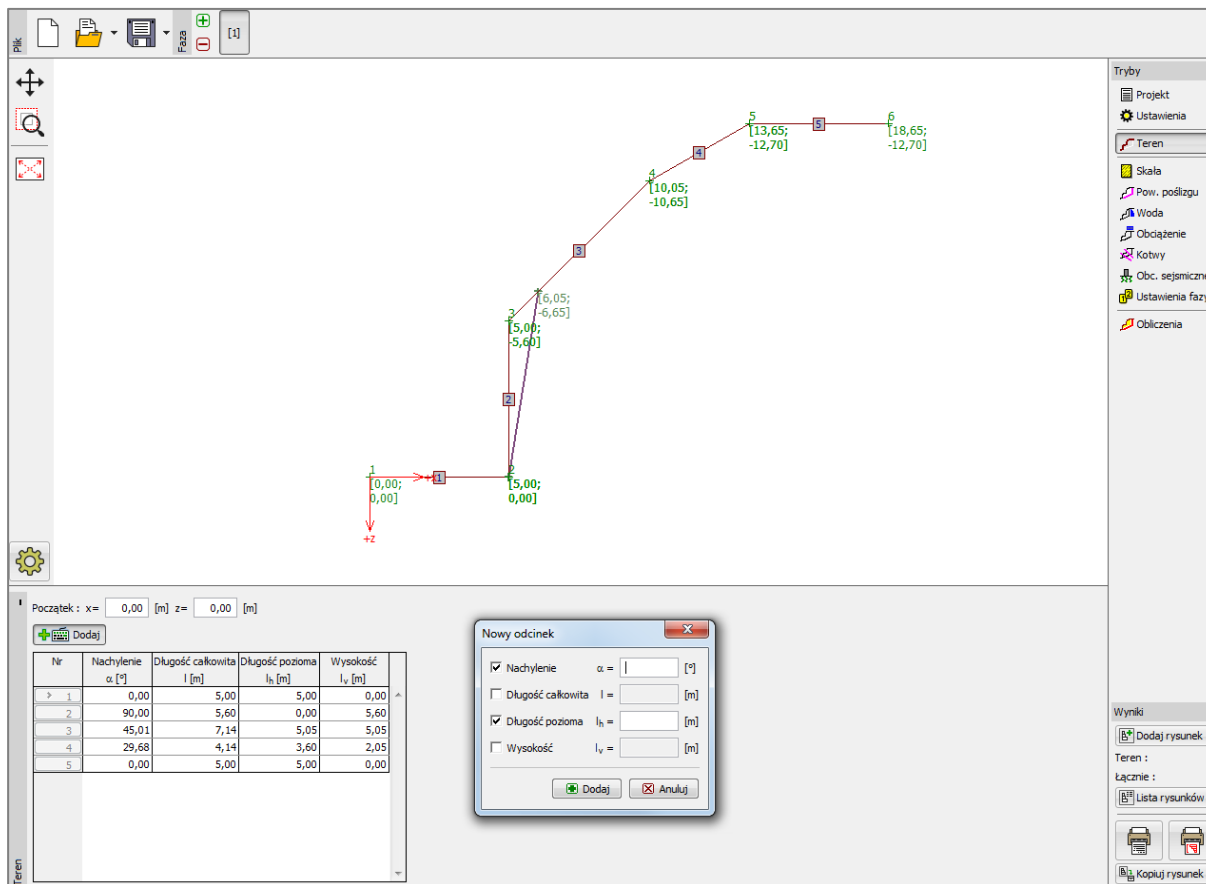
Okno dialogowe "Lista ustawień obliczeń"

Wybieramy w tej ramce również rodzaj obliczeń. Program Stateczność zbocza skalnego pozwala na przeprowadzenie wstępnych obliczeń stateczności zbocza z wykorzystaniem płaskiej lub łamanej powierzchni poślizgu. Wyznaczenie krytycznej powierzchni poślizgu masywu skalnego jest trudne niezależnie od przypadku i wymaga konsultacji z geologiem. W analizowanym przypadku masyw skalny ma złożony układ nieciągłości, a zatem należy rozważyć poślizg wzdłuż płaszczyzny nachylonej do poziomu pod kątem $45^\circ + \varphi^* / 2$ (φ^* jest kątem tarcia wewnętrznego skały).

2) Wprowadzenie geometrii terenu oraz ściany skalnej

Geometrię terenu oraz ściany skalnej wprowadzimy w ramce "Teren". Przed zdefiniowaniem własnego przekroju zbocza można zmodyfikować domyślnie wprowadzone współrzędne punktu początkowego. Najlepszym rozwiązaniem przy wprowadzaniu geometrii jest ustawienie jako punktu początkowego podnóża zbocza lub punktu znajdującego się w niewielkiej odległości od czoła ściany skalnej. W analizowanym przypadku punkt początkowy znajduje się na odcinku poziomym w odległości 5m od czoła ściany skalnej, a jego współrzędne pozostawimy bez zmian ($x = 0, y = 0$).

Przechodząc do ramki "Teren" wybieramy przycisk "Dodaj", co spowoduje pojawienie się okna dialogowego dodawania nowych odcinków przekroju analizowanej ściany skalnej (zaczynając od punktu początkowego). Kolejne odcinki możemy wprowadzać jako kombinację następujących parametrów: nachylenie, długość całkowita, długość pozioma oraz wysokość. Program automatycznie przeliczy niezbędne wartości.



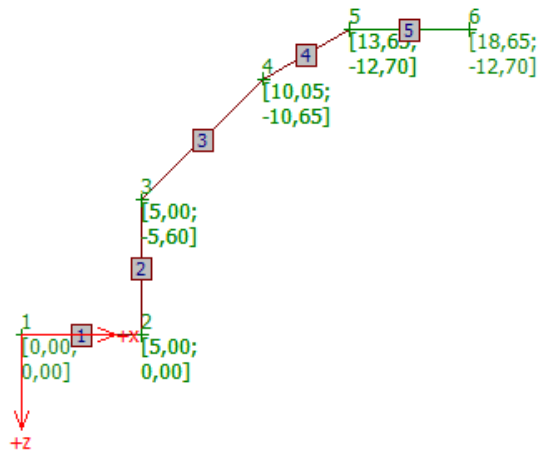
Wprowadzanie odcinków terenu oraz ściany skalnej w ramce "Teren"

Wprowadzamy przekrój poprzeczny zbocza skalnego wykorzystując współrzędne obliczone z przekroju poprzecznego:

Numer odcinka	Nachylenie α [°]	Długość całkowita l [m]	Długość pozioma l_h [m]	Wysokość l_v [m]
1	-	-	5,0	0,0
2	90	-	-	5,60
3	-	-	2,30	5,05
4	-	-	3,60	2,05
5	-	-	5	0,0

Wprowadzanie odcinków terenu (dane wejściowe)

Program przedstawia wprowadzony przekrój graficznie w oknie ramki "Teren". Wprowadzone dane odcinków widoczne są w tabeli w ramce "Teren".



Widok wprowadzanego zbocza w ramce "Teren"

3) Definiowanie parametrów skały

Przejdziemy następnie do ramki "**Skala**", w której zdefiniujemy parametry skały, z której zbudowane jest analizowane zbocze (parametry materiałowe). Opierając się na rozpoznaniu geologicznym określony został ciężar objętościowy skały oraz kąt tarcia wewnętrznego zgodnie z kryterium Mohra-Coulomba:

Ciężar objętościowy skały $\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$

Efektywny kąt tarcia wewnętrznego $\varphi = 43^\circ$

Spójność efektywna $c_{ef} = 423 \text{ kPa}$

Uwaga: Program pozwala też na przyjęcie parametrów materiałowych skały zgodnie z kryterium zniszczenia Bartona-Bandisa oraz Hoeka-Browna.

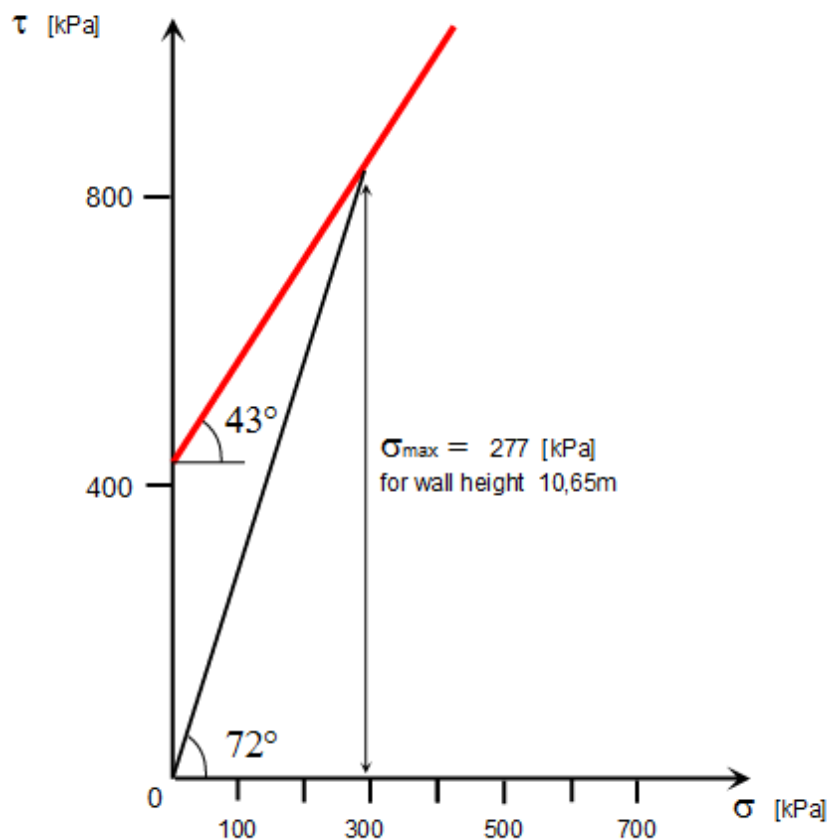
4) Definiowanie geometrii i właściwości powierzchni poślizgu

Powierzchnię poślizgu oraz jej parametry definiuje się w ramce "**Powierzchnia poślizgu**". Przeprowadzone badanie geologiczne pozwoliło na wyznaczenie początkowej płaszczyzny poślizgu nachylonej do poziomu pod kątem $45^\circ + \varphi^* / 2$. Wartość kąta tarcia wewnętrznego skały nie jest stała i zależy od stanu naprężenia masywu skalnego i może zostać wyznaczona graficznie z wykorzystaniem kryterium Mohra-Coulomba wytrzymałości gruntu na ścinanie (jako tangens kąta nachylenia). Należy zatem wyznaczyć wartość kąta tarcia wewnętrznego skały dla analizowanego zbocza. Na początku należy wyznaczyć wartość naprężenia normalnego w skale u podnóża ściany σ_{max} . Wysokość aktywna ściany skalnej wynosi $h = 10.65 \text{ m}$, a zatem wartość naprężenia normalnego wyraża się wzorem:

$$\sigma_{max} = \gamma \cdot h_a = 26 \cdot 10,65 = 277 \text{ kPa.}$$

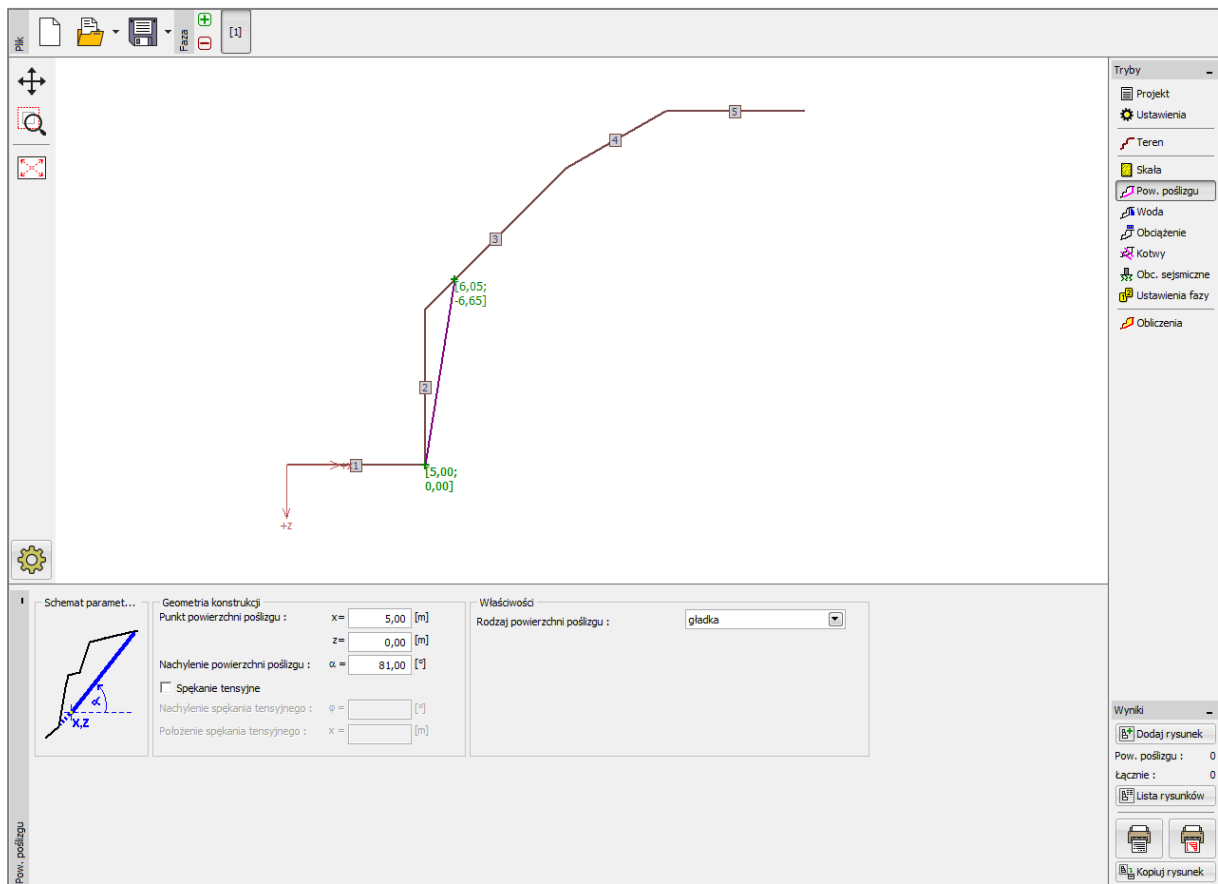
Wiemy z badań geologicznych, że spójność efektywna skały wynosi $c' = 423 \text{ kPa}$ oraz średnia wytrzymałość na ściskanie jednoosiowe wynosi 60 MPa . Obliczona maksymalna wartość naprężenia

normalnego $\sigma_{\max} = 277$ kPa jest niższa od maksymalnej wytrzymałości metabazaltu. Możemy zatem odczytać kąt tarcia wewnętrznej skały z interpretacji graficznej kryterium Mohra-Coulomba otrzymując wartość $\varphi^* = 72^\circ$ (w pierwszym przedziale naprężeń tj. zachowanie liniowe). Nachylenie płaszczyzny poślizgu do poziomu wynosi w takim przypadku $45^\circ + \varphi^* / 2 = 45 + 72/2 = 81^\circ$.



Maksymalna wytrzymałość skały zbocza na ścinanie

Nachylenie płaszczyzny poślizgu do poziomu wynosi $\alpha = 81^\circ$, a punkt początkowy płaszczyzny (u podnóża ściany) będzie miał współrzędne $x = 5.0$ m, $y = 0.0$ m. Jako rodzaj powierzchni poślizgu pozostawimy wartość domyślną (gładka), gdyż nie mamy żadnych szczegółowych danych dotyczących powierzchni poślizgu (dylatacja). Na podstawie przeprowadzonego rozpoznania geologicznego nie stwierdzono występowania spękań tensyjnych.



Wprowadzanie powierzchni poślizgu w ramce "Powierzchnia poślizgu"

5) Wpływ wody gruntowej

Wpływ wody gruntowej definiuje się w ramce "**Woda**". Nie zaobserwowano żadnych ciosów pozwalających na przepływ wody, a zatem pozostawiamy domyślne ustawienia - obliczenia bez wpływu wody gruntowej.

6) Definiowanie obciążenia

Przejdziemy teraz do ramki "**Obciążenie**", w której możemy zdefiniować obciążenie działające na zbocze oraz powierzchnię terenu. Na szczycie zbocza znajduje się mur oporowy oraz ścieżka. Można pominąć te obciążenia w obliczeniach, ponieważ nie działają na aktywny obszar klina skalnego.

7) Ustawienie sytuacji obliczeniowej

W ramce "**Ustawienia fazy**" możemy wybrać właściwą sytuację obliczeniową do analizy. Biorąc pod uwagę założony współczynnik bezpieczeństwa stateczności zbocza skalnego oraz bezterminowy okres eksploatacji należy wybrać trwałą sytuację obliczeniową.

Obliczanie zadania

Obliczanie przedstawionego zadania rozpoczyna się po wybraniu przycisku "Obliczenia". Podstawowe wyniki obliczeń oraz inne możliwe opcje wyświetlane są w ramce "**Obliczenia**".

Otrzymano współczynnik bezpieczeństwa o wartości $F = 37.7 \gg 1.5$. Wyniki szczegółowe obliczeń dostępne są po wybraniu przycisku "Szczegółowo" lub w raporcie z obliczeń.

Wyniki pośrednie	
Długość powierzchni poślizgu	= 6,74 m
Nachylenie powierzchni poślizgu	= 81,00 °
Siła ciężkości	$W_z = 76,72 \text{ kN/m}$
Siła normalna na powierzchni poślizgu	$N = 12,00 \text{ kN/m}$
Naprężenie ścinające na powierzchni poślizgu	$\tau = 424,66 \text{ kPa}$
Analiza gładkiej powierzchni poślizgu	
Siła utrzymująca T_{res}	= 2860,86 kN/m
Siła przesuwająca T_{act}	= 75,78 kN/m
Współczynnik bezpieczeństwa	= 37,75 > 1,50
Stateczność zbocza skalnego SPEŁNIA WYMAGANIA	

Szczegółowe wyniki obliczeń w ramce "Obliczenia"

Wnioski

Dla analizowanego przykładu otrzymano współczynnik bezpieczeństwa $FS = 37.75 \gg 1.5$. Biorąc pod uwagę założony okres eksploatacji przedmiotowego zbocza jego stateczność powinna być zachowana (wobec oczekiwanego współczynnika bezpieczeństwa na poziomie 1.5) długoterminowo. Zbocze nie wymaga projektowania dodatkowych środków technicznych mających poprawić jego stateczność. Jeżeli dojdzie do napływu wody gruntowej w szczeliny w zboczu, co może teoretycznie zmienić zachowanie analizowanego masywu skalnego, to jest to pomijalne z uwagi na następujące aspekty:

- Metabazalt jest wytrzymałą skałą, która nie jest istotnie podatna na ciosy (tj. nie zmieniają jej parametrów), a dodatkowo ciosy te nie są wypełnione żadnym materiałem.
- Poziom zwierciadła wody gruntowej może teoretycznie podnieść się aż do górnego poziomu aktywnego klina skalnego (z uwagi na później wzniesione konstrukcje), ale taki poziom wody gruntowej może zredukować wartość współczynnika bezpieczeństwa maksymalnie o kilka jednostek, co można sprawdzić obliczeniowo ($FS = 30.58$).
- Przyjmując nierealny poziom zwierciadła wody gruntowej na samej krawędzi ściany skalnej współczynnik bezpieczeństwa wyniesie 20.32.