



„GIGA” Jan Damicz
ul. Iwaszkiewicza 33/31
10-089 Olsztyn

Zleceniodawca:
Gmina Stawiguda w Stawigudzie
ul. Olsztyńska 10
11-034 Stawiguda

Badania geologiczne i ocena stateczności skarp przydrożnych w Rusi

gmina Stawiguda
powiat: olsztyński
województwo: warmińsko-mazurskie

w y k o n a l i:

dr Jan Damicz
upr. geol. nr VII – 1225

dr hab. inż. Piotr E. Srokosz

Olsztyn, czerwiec 2017

SPIS TREŚCI

1. Wstęp
2. Opis warunków geologiczno-geomorfologicznych
3. Opis warunków geotechnicznych
4. Obliczenia stateczności skarp
5. Wnioski

ZAŁĄCZNIKI

1. Mapa dokumentacyjna w skali 1: 500 (Zał. nr 1)
2. Lokalizacja terenu badań w skali 1:1000 (Zał. nr 2)
3. Objasnienia symboli i znaków używanych w opracowaniu (Zał. nr 3)
4. Przekroje geotechniczne (Zał. nr 4)
5. Tabela parametrów geotechnicznych (Zał. nr 5)
6. Profile geotechniczne wierceń (Zał. nr 6)
7. Metryki sondowań (Zał. nr 7)

1. WSTĘP

Przedmiotem niniejszego opracowania jest określenie warunków geologicznych i geotechnicznych w rejonie skarp przydrożnych w Rusi, wraz z oceną ich stateczności. Badania geologiczne i opracowanie wykonano na podstawie umowy nr BiZ.272.057.2016 zawartej pomiędzy Gminą Stawiguda z siedzibą w Stawigudzie, ul. Olsztyńska 10 a wykonawcą. Wykonanie przedmiotu umowy mieści się w ramach zadania: „Dokumentacja projektowo-kosztorysowa umocnienia skarp w Rusi”. Umowę zawarto w dniu 01.12.2016r w Stawigudzie i aneksowano w dniu 29.12.2016r.

Opracowanie wykonano na podstawie wykonanych badań polowych i prac kameralnych oraz w oparciu o analizę materiałów archiwalnych.

Badania polowe przeprowadzono w lipcu 2016 roku i od kwietnia do czerwca 2017r.

W ramach badań polowych wykonano następujące prace:

- Wizje w terenie.
- Prace geodezyjne.
- 20 wierceń penetracyjnych o głębokości od 1,8 m p.p.t. do 8,1 m p.p.t.
- 14 sondowań SL o głębokości od 1,8 m n.p.m. do 6,0 m n.p.m.

Łącznie wykonano 115 mb wierceń i 70 mb sondowań.

Przeprowadzone badania koncentrowały się w trzech obiektach – skarpach przydrożnych, w miejscowości Ruś:

- obiekt I zlokalizowany w centrum wsi Ruś, stanowiący skarpe o północno-wschodniej ekspozycji, przy drodze będącej m. in. dojazdem do posesji o numerach 30, 31, 32, 33.
- obiekt II zlokalizowany w centrum wsi Ruś, stanowiący skarpe także o północno-wschodniej ekspozycji, przy drodze będącej m. in. dojazdem do posesji o numerach 39, 40, 41.
- obiekt III zlokalizowany na południowym krańcu wsi Ruś, stanowiący skarpe o wschodniej ekspozycji, przy drodze będącej m. in. dojazdem do posesji o numerze 35.

Rzędne terenu pomierzono w odniesieniu do reperu roboczego – studzienki kanalizacyjnej, znajdującej się w drodze przy obiekcie II, w sąsiedztwie posesji o numerze 40, o rzędnej 134,77 m n.p.m. W przypadku obiektu III jako reper roboczy przyjęto rzędną punktu wysokościowego, leżącego w obrębie posesji o numerze 35, o wartości 137,5 m n.p.m. Rzędne reperów roboczych przyjęto wg udostępnionej przez Zleceniodawcę mapy sytuacyjno – wysokościowej.

W ramach prac kameralnych wykonano:

- Mapę dokumentacyjną w skali 1:500 (Zał. nr 1-1 do 1-3)
- Przekroje geotechniczne przedstawiające sposób zalegania warstw geotechnicznych (Zał. nr 4)

- Tabelę parametrów geotechnicznych (Zał. nr 5)
- Profile geotechniczne wierceń (Zał. nr 6)
- Metryki sondowań sondą SL (Zał. nr 7)

Wykorzystane materiały archiwalne:

1. Decyzje Wójta gminy Stawiguda o ustaleniu lokalizacji inwestycji celu publicznego z dnia 8 kwietnia.2015r.: NR 8/15, NR 9/15, NR 10/15
2. Mapa Geologiczna Polski, A- Mapa utworów powierzchniowych w skali 1: 200000, arkusz Olsztyn, Wyd. Geol. 1978r.

2. OPIS WARUNKÓW GEOLOGICZNO-GEOMORFOLOGICZNYCH

Teren badań zlokalizowany jest w brzeżnej strefie wysoczyzny polodowcowej zbudowanej z wodnolodowcowych mułków i piasków ze żwirem, pochodzących z fazy pomorskiej stadiau głównego zlodowacenia północno-polskiego. Powierzchnia wysoczyzny jest falista i lokalnie pagórkowa, w rejonie badań stanowi strome zbocze opadające do doliny rzeki Łyny. Powierzchnia terenu badań obejmuje skarpy przydrożne o zróżnicowanej morfologii – będącej w istotnej części efektem przekształceń antropogenicznych. Skarpy charakteryzują się dużymi spadkami i wysokościami względnymi.

W obiekcie nr I (Zał. nr 1-1) analizie poddano trzy przekroje:

Przekrój I-I: stanowi skarpe o długości w poziomie 30,0 m, naziomie na wysokości 134,71 m n.p.m. i podnóżu na wysokości 117,26 m n.p.m. - różnicy wysokości: 17,45 m. Kształt skarpy jest generalnie wypukły (z lokalnymi zakłębłościami). Nachylenie średnie wynosi tu 30,2°, a lokalnie dochodzi w dolnej części skarpy do 54,5°. Powierzchnia skarpy pokryta jest roślinnością - drzewami o zróżnicowanym wieku i zakrzaczeniami (Zał. nr 4I-1).

Przekrój II-II stanowi skarpe o długości, w poziomie 14,0 m, naziomie na wysokości 134,15 m n.p.m. i podnóżu na wysokości 118,26 m n.p.m. - różnicy wysokości 15,89 m, o kształcie umiarkowanie wypukło-wklęsłym. Nachylenie średnie wynosi tu 48,6°, lokalnie dochodzi w środkowej części skarpy do 60,3°. Powierzchnia skarpy pokryta jest roślinnością - drzewami o zróżnicowanym wieku i zakrzaczeniami (Zał. nr 4I-2).

Przekrój III-III stanowi skarpe o długości w poziomie 11,8 m, naziomie na wysokości 131,83 m n.p.m. i podnóżu na wysokości 122,03 m n.p.m. - różnicy wysokości 9,80 m, o kształcie generalnie wyrównanym, lekko wypukło-wklęsłym. Nachylenie średnie wynosi tu 39,7°, lokalnie dochodzi w środkowej części do 45,0°. Powierzchnia skarpy pokryta jest roślinnością - drzewami o zróżnicowanym wieku i zakrzaczeniami (Zał. nr 4I-3).

W obiekcie nr II (Zał. nr 1-2) analizie poddano dwa przekroje:

Przekrój I-I: stanowi skarpe o długości w poziomie 14,5 m, naziomie na wysokości 139,14 m n.p.m. i podnóżu na wysokości 128,70 m n.p.m. - różnicy wysokości: 10,44 m. Kształt skarpy jest generalnie wyrównano-wypukły (z lokalnymi zakłębłościami). Nachylenie

średnie wynosi tu $35,6^\circ$, a lokalnie dochodzi w dolnej części skarpy do $63,4^\circ$. Powierzchnia skarpy pokryta jest roślinnością - drzewami o zróżnicowanym wieku i zakrzaczeniami (Zał. nr 4II-1).

Przekrój II-II stanowi skarpe o długości, w poziomie 6,5 m, naziomie na wysokości 138,91 m n.p.m. i podnózu na wysokości 133,10 m n.p.m. - różnicy wysokości 5,81 m, o kształcie wypukłym. Nachylenie średnie wynosi tu $41,8^\circ$, lokalnie dochodzi w dolnej części skarpy do $68,2^\circ$. Powierzchnia skarpy pokryta jest roślinnością - drzewami o zróżnicowanym wieku i zakrzaczeniami (Zał. nr 4II-2).

W obiekcie nr III (Zał. nr 1-3) analizie poddano jeden przekrój:

Przekrój I-I: stanowi skarpe o długości w poziomie 7,0 m, naziomie na wysokości 136,82 m n.p.m. i podnózu na wysokości 131,90 m n.p.m. - różnicy wysokości: 4,92 m. Kształt skarpy jest generalnie wypukły (z lokalnymi zakłębłościami). Nachylenie średnie wynosi tu $54,9^\circ$, a lokalnie dochodzi w dolnej części skarpy do $56,3^\circ$. Powierzchnia skarpy pokryta jest roślinnością - zakrzaczeniami i w sąsiedztwie przekroju drzewami o zróżnicowanym wieku (Zał. nr 4III-1).

Na powierzchni wszystkich skarp widoczne są objawy powierzchniowych zsuwów mas gruntowych.

Warunki geologiczne charakteryzują się występowaniem następujących utworów (Zał. nr 4, Zał. nr 5, Zał. nr 6):

Utwory holocenyjskie to:

- Grunty nasypowe nQh – występują na powierzchni, najczęściej w górnej i dolnej – podnóżowej części skarp, gdzie ich miąższość sięga do około 2,0m.
- Grunty deluwialne dQh – występują pod nasypami i na powierzchni, najczęściej w obszarach o mniejszym nachyleniu i w lokalnych zagłębieniach skarp, gdzie ich miąższość sięga do około 2,0m.

Utwory plejstocyjskie to:

- Wodnolodowcowe piaski o różnej granulacji, lokalnie ze żwirem fgQp4 - występują one w postaci warstw o zróżnicowanej miąższości (do 4,0m) najczęściej naprzemiennie z mułkami.
- Wodnolodowcowe mułki w postaci gliny pylastej, pyłu i pyłu piaszczystego fgQp4 - występują one w postaci warstw o zróżnicowanej miąższości (przeważnie do 2,5m, tylko w obiekcie III do 4,0m) najczęściej naprzemiennie z piaskami.

Warstwy mułków i piasków wodnolodowcowych wykazują nachylenie ogólnie w kierunku zgodnym z kierunkami nachylenia powierzchni skarp. Wartości nachylenia powierzchni stropowych warstw są jednak mniejsze i tylko lokalnie osiągają maksymalnie wartości do około $45,0^\circ$.

Występujące w podłożu mułki w postaci: pyłu, gliny pylastej, pyłu piaszczystego oraz piaski pylaste, są gruntami wysadzinowymi.

W trakcie wykonywania wierceń stwierdzono lokalne występowanie wody gruntowej.

W obiekcie nr I stwierdzono:

- zwierciadło swobodne wody zawieszonej (występującej okresowo) nawiercone w wierceniu nr 3 na głębokości 5,95 m p.pt., gdzie strefa saturacji piasku średniego miała miąższość 10cm (Zał. nr 4I-1 i Zał. nr 6),
- sączenia wody w wierceniu nr 5 na głębokości 2,6 m p.pt., na stropie pospółki gliniastej (Zał. nr 4I-2 i Zał. nr 6).
- saturację mułków w postaci pyłu, powodującą podatność na tiksotropowe ich upłynnienie w wierceniu nr 1,2,3,8 (Zał. nr 4I-1, 4I-2, 4I-3 i Zał. nr 6).

W obiekcie II nie stwierdzono obecności wody gruntowej.

W obiekcie III stwierdzono:

- saturację mułków w postaci pyłu i pyłu piaszczystego, powodującą podatność na tiksotropowe ich upłynnienie, w wierceniu nr 1,2 (Zał. nr 4III-1 i Zał. nr 6).
- w wierceniu nr 2 stwierdzono stabilizację zwierciadła wody gruntowej na głębokości 3,5 m p.pt., co odpowiada rzędnej 128,56 m n.p.m.

Głębokość stabilizacji zwierciadła wody gruntowej może ulegać zmianie w zależności od opadów atmosferycznych.

3. OPIS WARUNKÓW GEOTECHNICZNYCH

Grunty występujące w dokumentowanym podłożu wykazują zróżnicowanie litologiczne oraz zróżnicowanie co do cech fizyczno-mechanicznych. W związku z tym występujące utwory zaliczono do dwudziestu warstw geotechnicznych ujętych w siedmiu pakietach.

Pakiety obejmują następujące warstwy:

- Pierwszy pakiet obejmuje grunty nasypowe, niespoiste w stanie luźnym – warstwy nr Ia, oraz średniozagęszczonym i zagęszczonym – warstwy o nr Ib.
- Drugi pakiet obejmuje grunty rodzime deluwialne, niespoiste, w stanie luźnym – warstwa o nr II.
- Trzeci pakiet obejmuje grunty rodzime, wodnolodowcowe, niespoiste, głównie piasek drobny i piasek pylasty, w stanie zagęszczonym, średniozagęszczonym i o $I_p=0,3$ – warstwy o nr: IIIa, IIIb, IIIc, IIId IIId, IIIe.
- Czwarty pakiet obejmuje grunty rodzime, wodnolodowcowe, niespoiste, głównie piasek drobny na pograniczu piasku średniego, w stanie zagęszczonym i średniozagęszczonym, - warstwy o nr IVa, IVb.
- Piąty pakiet obejmuje grunty rodzime, wodnolodowcowe, niespoiste, głównie piasek średni i piasek gruby w stanie zagęszczonym i średniozagęszczonym, warstwy o nr: Va, Vb, Vc, Vd, Ve.
- Szósty pakiet obejmuje grunty rodzime, wodnolodowcowe, niespoiste, głównie pospółkę i żwir w stanie bardzo zagęszczonym i średniozagęszczonym, warstwy o nr VIa, VIb.

- Siódmy pakiet obejmuje grunty rodzime, wodnolodowcowe mułki, głównie pył, pył piaszczysty i glinę pylastą, w stanie twardoplastycznym i plastycznym - warstwy o nr VIIa, VIIb, VIIc, VIId, VIIe.

Wydzielone warstwy geotechniczne obejmują obok gruntów rodzimych także grunty nasypowe, dla których nie podaje się parametrów geotechnicznych (Zał. nr 4, Zał. nr 5, Zał. nr 6).

Wiodące parametry geotechniczne wydzielonych warstw gruntów rodzimych mineralnych określono w sposób następujący:

- $I_L^{(n)}$ - na podstawie próby wałeczowania w ramach badań makroskopowych w czasie wykonywania wierceń.
- $I_D^{(n)}$ - na podstawie sondowania sondą SL i oporu świdra w czasie wykonywania wierceń (Zał. nr 7).

Wydzielono następujące warstwy geotechniczne:

Ia- obejmuje grunty nasypowe w postaci piasku drobnego, humusu, piasku średniego i cegieł. Są to utwory wilgotne, w stanie luźnym, dla których nie podaje się parametrów geotechnicznych.

Ib- obejmuje grunty nasypowe w postaci piasku drobnego, piasku średniego, humusu i żwiru. Są to utwory wilgotne, w stanie średniozagęszczonym i zagęszczonym, dla których nie podaje się parametrów geotechnicznych.

II- obejmuje piasek drobny i piasek pylasty oraz domieszki humusu, piasku średniego i pyłu. Są to utwory wilgotne w stanie luźnym, o średniej wartości charakterystycznej parametru wiodącego $I_D^{(n)} = 0,2$.

IIIa- obejmuje piasek drobny z domieszką pyłu. Są to utwory wilgotne w stanie luźnym, o średniej wartości charakterystycznej parametru wiodącego $I_D^{(n)} = 0,3$.

IIIb- obejmuje piasek drobny, piasek pylasty, piasek drobny na pograniczu piasku średniego. Są to utwory wilgotne w stanie średniozagęszczonym, o średniej wartości charakterystycznej parametru wiodącego $I_D^{(n)} = 0,4$.

IIIc- obejmuje piasek drobny i piasek pylasty oraz domieszki humusu i pyłu. Są to utwory wilgotne w stanie luźnym, o średniej wartości charakterystycznej parametru wiodącego $I_D^{(n)} = 0,5$.

IIId- obejmuje piasek drobny, piasek drobny na pograniczu piasku pylastego, piasek pylasty, piasek średni oraz domieszki pyłu i przewarstwienia gliny pylastej. Są to utwory wilgotne i mało wilgotne w stanie średniozagęszczonym, o średniej wartości charakterystycznej parametru wiodącego $I_D^{(n)} = 0,6$.

IIIe- obejmuje piasek drobny, piasek pylasty oraz domieszki pyłu i przewarstwienia piasku średniego. Są to utwory wilgotne w stanie zagęszczonym, o średniej wartości charakterystycznej parametru wiodącego $I_D^{(n)} = 0,7$.

IVa – obejmuje piasek drobny na pograniczu piasku średniego. Są to utwory wilgotne w stanie średniozagęszczonym, o średniej wartości charakterystycznej parametru wiodącego $I_D^{(n)} = 0,6$.

IVb – obejmuje piasek drobny na pograniczu piasku średniego. Są to utwory wilgotne w stanie zagęszczonym, o średniej wartości charakterystycznej parametru wiodącego $I_D^{(n)} = 0,7$.

Va – obejmuje piasek średni i piasek gruby. Są to utwory wilgotne i mało wilgotne w stanie średniozagęszczonym, o średniej wartości charakterystycznej parametru wiodącego $I_D^{(n)} = 0,4$.

Vb – obejmuje piasek średni i piasek gruby. Są to utwory wilgotne w stanie średniozagęszczonym, o średniej wartości charakterystycznej parametru wiodącego $I_D^{(n)} = 0,5$.

Vc – obejmuje piasek średni i piasek gruby. Są to utwory wilgotne i mało wilgotne w stanie średniozagęszczonym, o średniej wartości charakterystycznej parametru wiodącego $I_D^{(n)} = 0,6$.

Vd – obejmuje piasek średni na pograniczu piasku grubego. Są to utwory wilgotne i mało wilgotne w stanie zagęszczonym, o średniej wartości charakterystycznej parametru wiodącego $I_D^{(n)} = 0,7$.

VIa – obejmuje pospółkę, lokalnie z domieszką lub przewarstwieniami pyłu. Są to utwory wilgotne w stanie średniozagęszczonym, o średniej wartości charakterystycznej parametru wiodącego $I_D^{(n)} = 0,6$.

VIb – obejmuje żwir. Są to utwory wilgotne i mało wilgotne w stanie zagęszczonym, o średniej wartości charakterystycznej parametru wiodącego $I_D^{(n)} = 0,7$.

VIIa – obejmuje pył, glinę pylastą, glinę pylastą zwięzłą, lokalnie piasek gliniasty, glinę pylastą na pograniczu pyłu i pyłu piaszczystego lokalnie z przewarstwieniami pospółki i piasku drobnego. Są to utwory wilgotne, w stanie twardoplastycznym, o średniej wartości charakterystycznej parametru wiodącego $I_L^{(n)} = 0,20$.

VIIb – obejmuje pył, pył piaszczysty, glinę pylastą, piasek gliniasty, glinę piaszczystą na pograniczu piasku gliniastego, lokalnie z przewarstwieniami piasku pylastego piasku drobnego. Są to utwory wilgotne i mokre na pograniczu stanu twardoplastycznego i plastycznego, o średniej wartości charakterystycznej parametru wiodącego $I_L^{(n)} = 0,25$.

VIIc – obejmuje pył, glinę pylastą pył piaszczysty i lokalnie przewarstwienia piasku pylastego. Są to utwory wilgotne i mokre w stanie plastycznym, o średniej wartości charakterystycznej parametru wiodącego $I_L^{(n)} = 0,30$.

VIIId – obejmuje Glinę pylastą na pograniczu pyłu i pył. Są to utwory wilgotne i mokre w stanie plastycznym, o średniej wartości charakterystycznej parametru wiodącego $I_L^{(n)} = 0,35$.

VIIe – obejmuje pył i glinę pylastą. Są to utwory wilgotne i mokre w stanie średnio zagęszczonym, o średniej wartości charakterystycznej parametru wiodącego $I_L^{(n)} = 0,40$.

Według normy PN-81/B-03020 dla wszystkich normowych parametrów geotechnicznych należy przyjąć współczynnik materiałowy $\gamma_m = 1,0 \pm 0,1$ stosownie do danego parametru. Normowe wartości parametrów geotechnicznych ustalono zgodnie z w/w normą (metodą B) i podano je łącznie w tabeli (Zał. nr 5). Układ wydzielonych warstw geotechnicznych przedstawiono na przekrojach geotechnicznych (Zał. nr 4).

4. OBLICZENIA STATECZNOŚCI SKARP

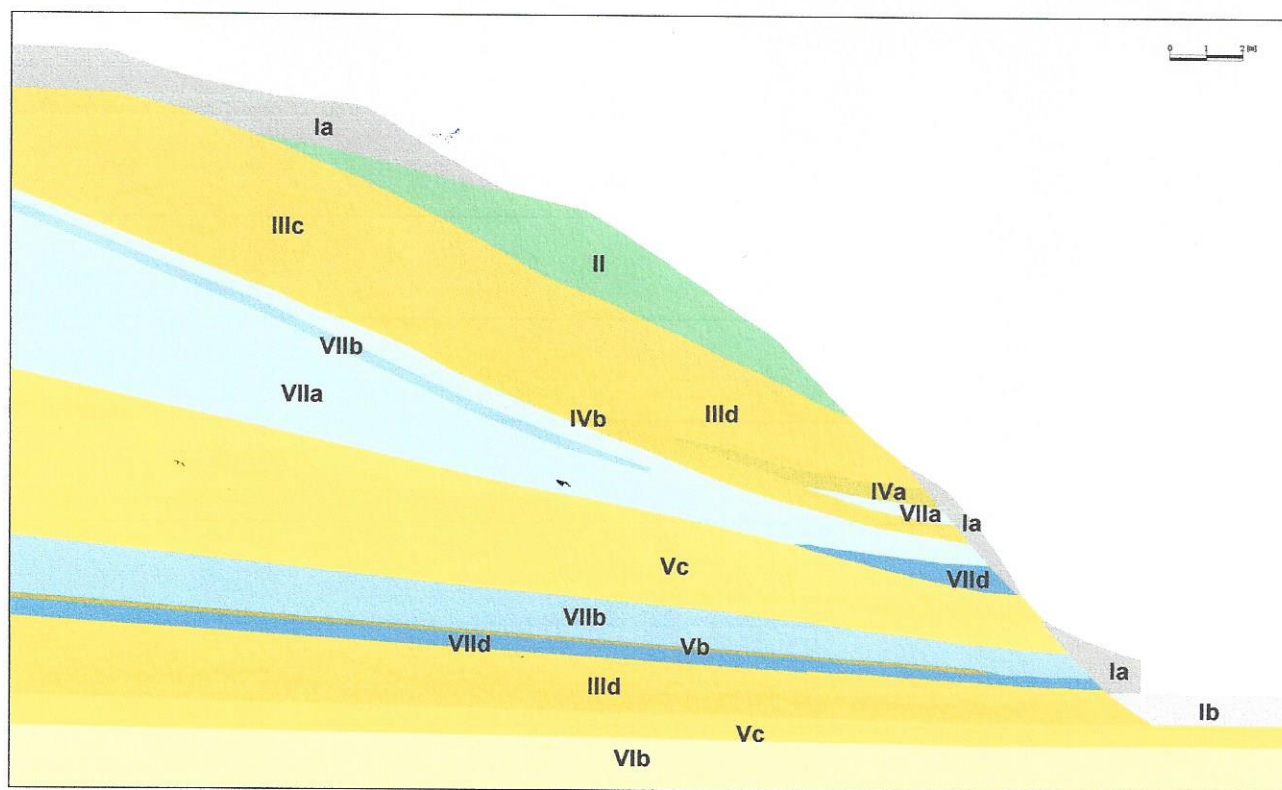
Dane geometryczne i materiałowe.

Dane geometryczne zostały przygotowane przez skanowanie przekrojów i skalowanie uzyskanych form elektronicznych. Obliczenia wykonano dla charakterystycznych wartości parametrów materiałowych dla układów warstw geotechnicznych przedstawionych na rysunkach 1-6.

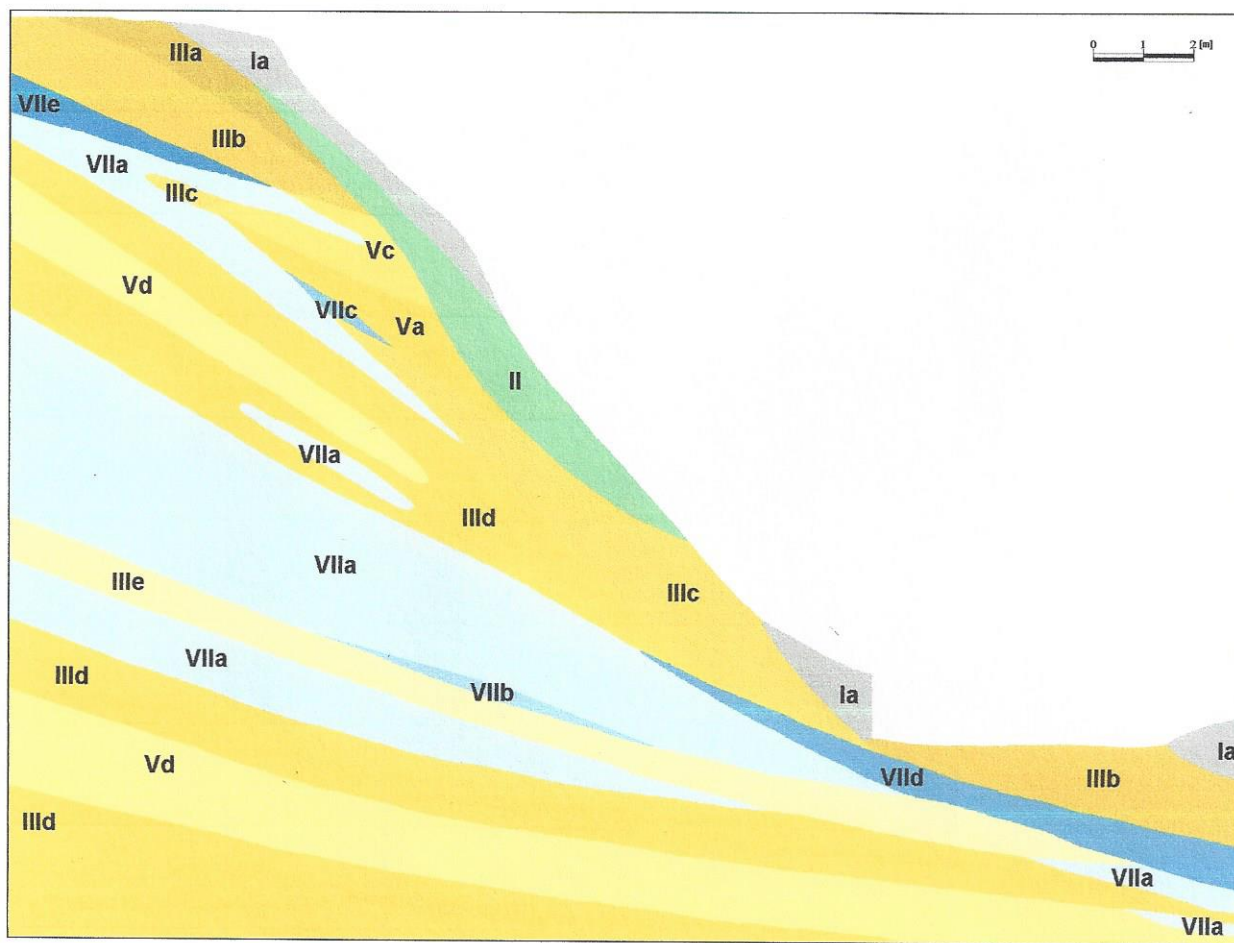
Ze względu na brak wartości parametrów wytrzymałościowych warstw Ia i Ib (nasypy niebudowlane, których głównym składnikiem są piaski drobne), do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- [1] warstwa Ia (stan luźny) ma parametry warstwy geotechnicznej IIIa,
- [2] warstwa Ib (stan szg/zg) ma parametry warstwy geotechnicznej IIIe.

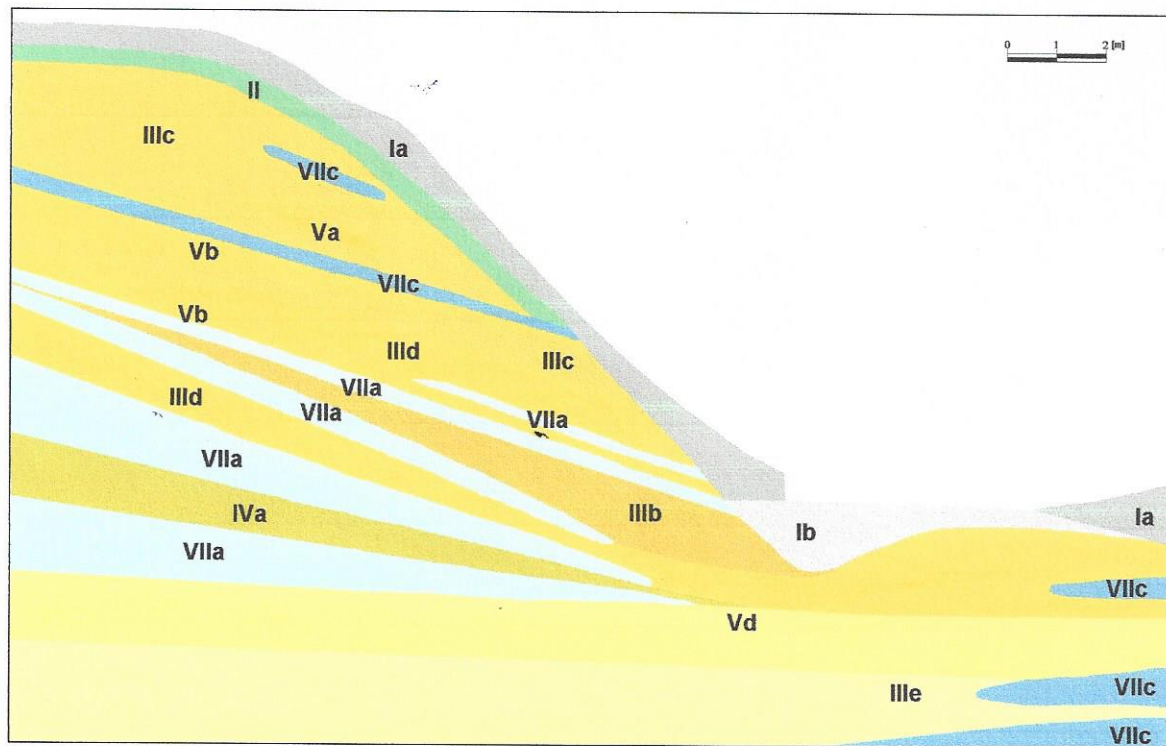
Dodatkowo, ze względu na miejscowe znaczące udziały frakcji pylastej w piaskach drobnych warstw IIIa-IIIe, przyjęto dla tych warstw spójność o wartości charakterystycznej 2.0kPa (założenie nr [3]). Skarpy w koronie nie są obciążone - analizowano potencjalnie krytyczne powierzchnie poślizgu, które nie obejmowały swoim zasięgiem ewentualnych zabudowań znajdujących się w górnym naziemiu skarp (założenie nr [4]). W przekroju I-I dla obiektu I uwzględniono wpływ wody gruntowej w warstwie Vb. W obliczeniach nie uwzględniono wpływu roślinności porastającej skarpy (powierzchniowe wzmocnienie systemem korzeniowym, przekazywanie sił i momentów na skarpe od oddziaływania wiatru i śniegu - założenie nr [5]). Przyjęte założenia stawiają analizowane zagadnienie stateczności skarp po stronie większej wartości współczynnika bezpieczeństwa.



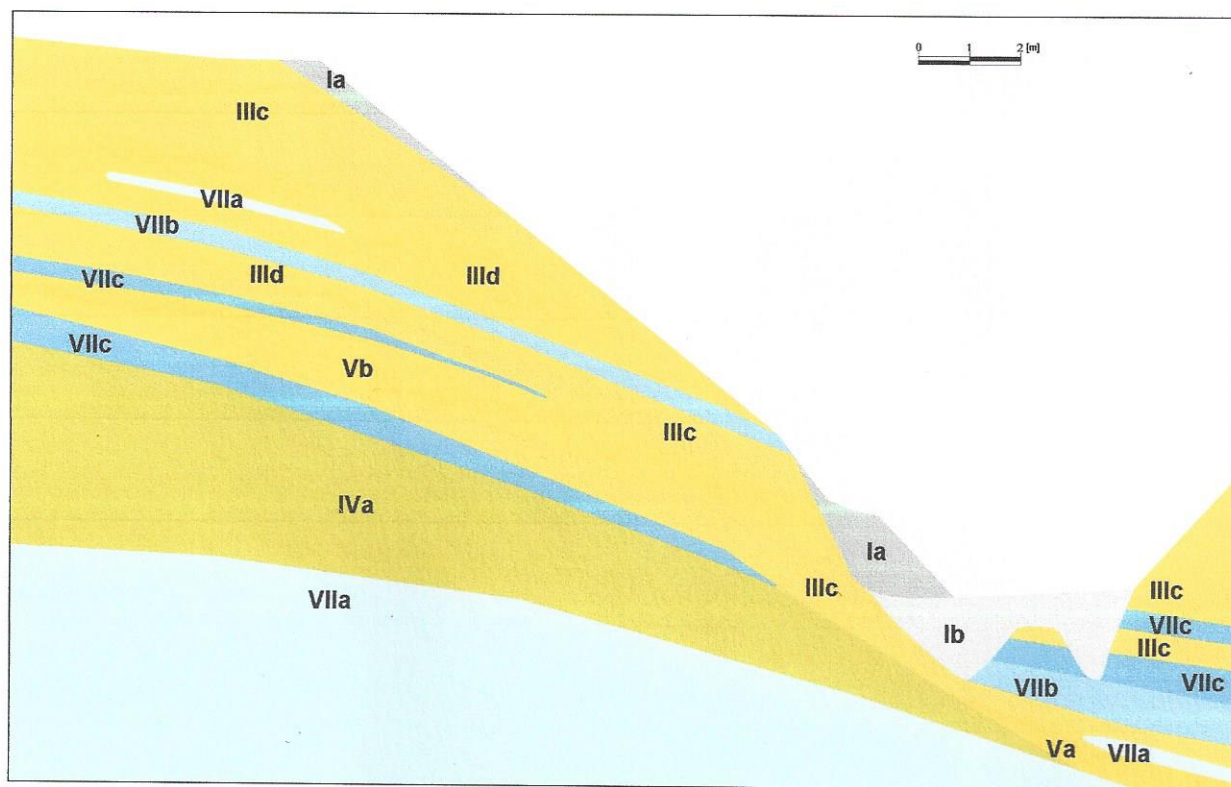
Rys.1. Obiekt I. Przekrój I-I.



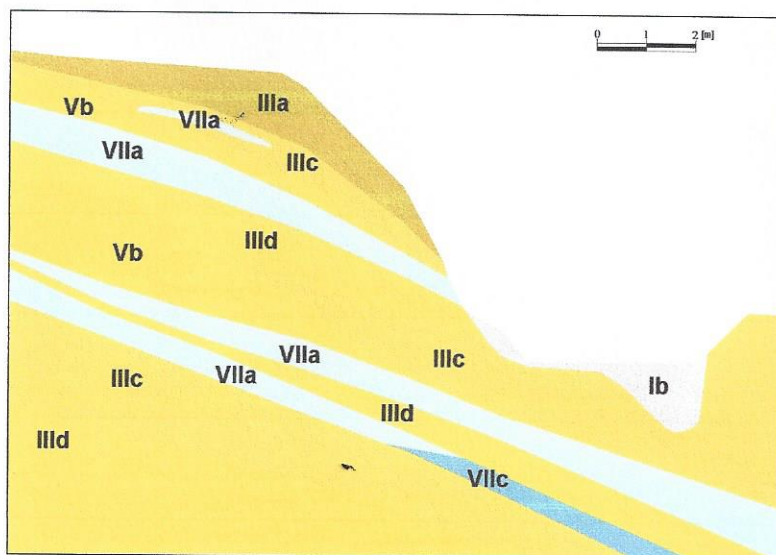
Rys.2. Obiekt I. Przekrój II-II.



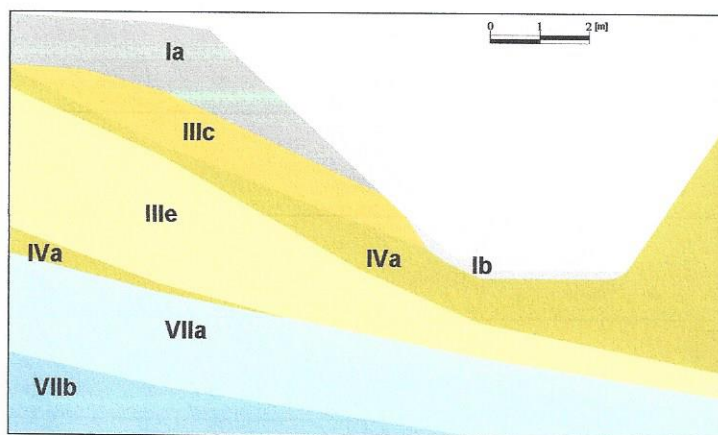
Rys.3. Obiekt I. Przekrój III-III.



Rys.4. Obiekt II. Przekrój I-I.



Rys.5. Obiekt II. Przekrój II-II.



Rys.6. Obiekt III. Przekrój I-I.

W przypadku obiektu nr I uwzględniono w obliczeniach wariant lokalnego podparcia skarpy w formie ścianki szczelnej (aktualnie skarpa podparta jest prowizoryczną ścianką drewnianą).

Metodyka obliczeń.

Do obliczeń przyjęto uproszczoną metodę pasków w następujących wariantach:

- metoda szwedzka (Felleniusa), oparta na bezpośrednim wyznaczeniu współczynnika stateczności w wyniku porównania sumy momentów sił utrzymujących do sumy momentów sił zsuwających, wynikających z ciężaru własnego oraz obciążeń zewnętrznych bloku ograniczonego walcową linią poślizgu; przyjmuje się, że uskok naziomu jest stateczny, jeśli współczynnik bezpieczeństwa wyznaczony tą metodą nie jest mniejszy od 1.1-1.3;
- metoda Bishopa, oparta na iteracyjnym procesie wyznaczania współczynnika stateczności, zdefiniowanego jak w metodzie szwedzkiej; proces iteracyjny oparto na metodzie Newtona-Raphsona; przyjmuje się, że uskok naziomu jest stateczny, jeśli współczynnik bezpieczeństwa wyznaczony tą metodą nie jest mniejszy od 1.3-1.5.

Wymienione metody rozbudowano o trzy szczegółowe warianty :

- wariant obliczeń na całkowitych siłach wewnętrznych: N (dociskające) i S (zsuwające);
- wariant obliczeń na efektywnych siłach wewnętrznych, z uwzględnieniem ciśnienia wody w porach gruntu u : $N' = N - u \cdot l$, S ;
- wariant obliczeń na efektywnych siłach wewnętrznych N' , S , z uwzględnieniem ciśnienia spływowego wody gruntowej $J = V \cdot \gamma_w \cdot i$.

Wszystkie obliczenia wykonano przy użyciu programu komputerowego SlopeFB (P.E. Srokosz, 2006), którym przeanalizowano przekrój geotechniczny I-I dla obiektu I uzyskując dla niego sześć współczynników bezpieczeństwa dla każdej analizowanej linii poślizgu oraz pozostałe przekroje - uzyskując odpowiednio po dwa współczynniki bezpieczeństwa dla każdej linii poślizgu.

Uzyskane wyniki.

Analiza ponad 2 500 000 potencjalnych linii poślizgu dla każdego przekroju pozwoliła ustalić następujące minimalne wartości współczynników stateczności:

- obiekt I, przekrój I-I: $F_{min}=0.84$ (Fellenius), $F_{min}=0.89$ (Bishop) - skarpa jest globalnie niestateczna;
- obiekt I, przekrój II-II: $F_{min}=0.64$ (Fellenius), $F_{min}=0.68$ (Bishop) - skarpa jest globalnie niestateczna;
- obiekt I, przekrój III-III: $F_{min}=0.89$ (Fellenius), $F_{min}=0.92$ (Bishop) - skarpa jest globalnie niestateczna;
- obiekt II, przekrój I-I: $F_{min}=0.90$ (Fellenius), $F_{min}=1.00$ (Bishop) - skarpa jest globalnie niestateczna;
- obiekt II, przekrój II-II: $F_{min}=0.83$ (Fellenius), $F_{min}=0.84$ (Bishop) - skarpa jest globalnie niestateczna;
- obiekt III, przekrój I-I: $F_{min}=0.96$ (Fellenius), $F_{min}=1.04$ (Bishop) - skarpa jest globalnie niestateczna.

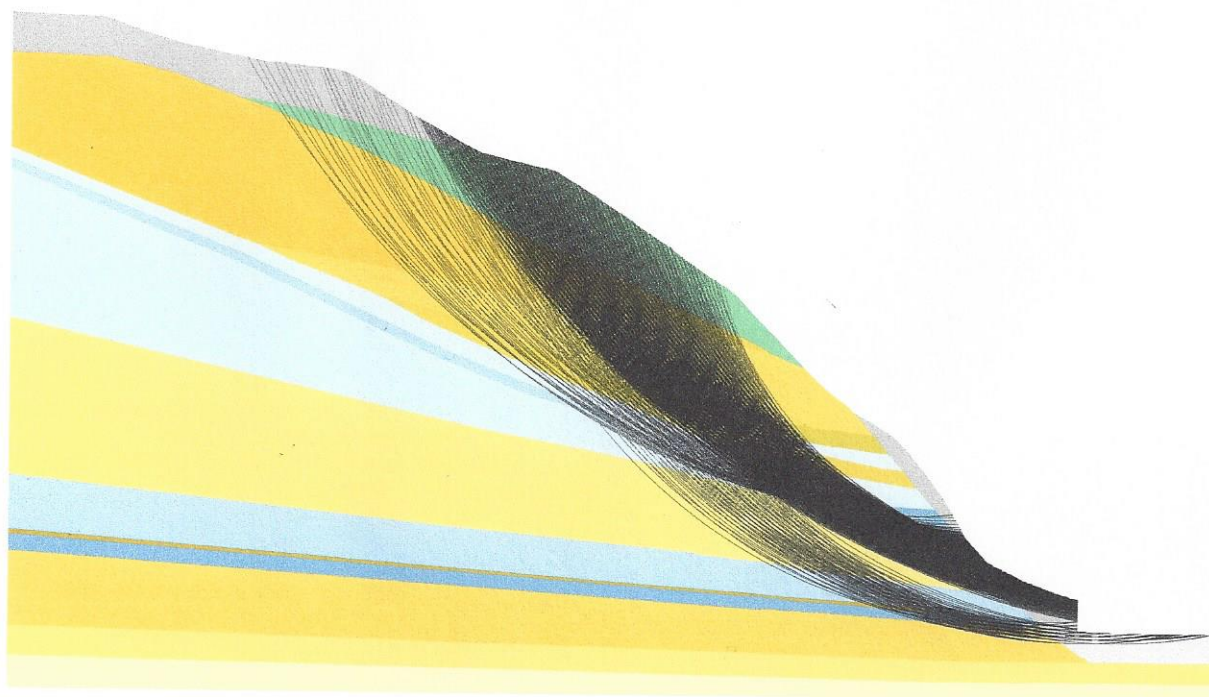
Wnioski z obliczeń.

Analiza uzyskanych wyników pozwoliła sformułować następujące wnioski:

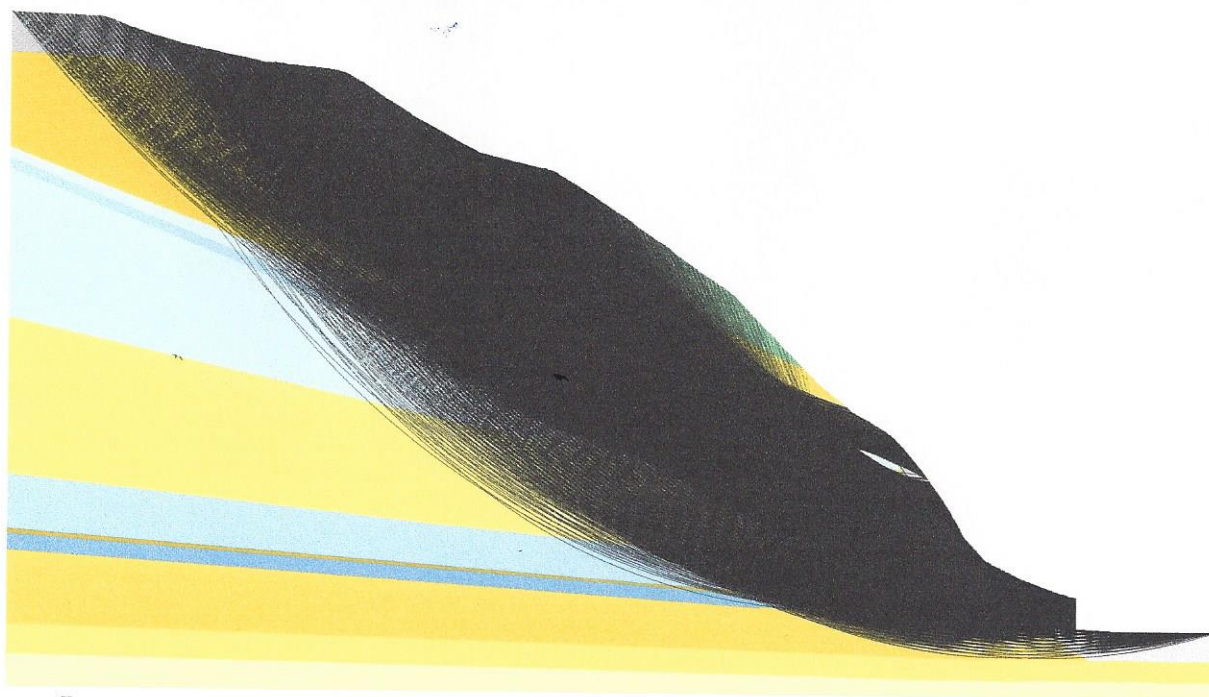
- skarpy we wszystkich przekrojach są niestateczne;
- wszystkie skarpy zagrożone są globalną utratą stateczności, w której powierzchnia poślizgu może sięgać do głębokości ok.: 10m w przypadku obiektu nr I, 6m w przypadku obiektu nr II i 3m w przypadku obiektu nr III.
- wszystkie skarpy zagrożone są powierzchniowymi zsuwami o lokalnym zasięgu (warstwy Ia, Ib, II), które ujawniają się w przypadku, np. usuwania porastającej je roślinności;
- wariantowe obliczenia dla obiektu nr I, uwzględniające lokalne podparcie ścianką szczelną nie wykazały poprawy stanu stateczności globalnej;
- obliczenia zostały wykonane dla warunków statycznych oddziaływań grawitacyjnych; w przypadku obciążeń dynamicznych (np. praca maszyn budowlanych) parametry mechaniczne warstw IIIa-IIIe mogą ulec znacznym zmianom (ze względu na właściwości tiksotropowe budujących je gruntów), co może jeszcze pogorszyć stan bezpieczeństwa skarp we wszystkich przekrojach, skutkując natychmiastowym ich zniszczeniem;
- uzyskane wyniki analiz wskazują na istotne zagrożenie utratą stateczności wszystkich przekrojów skarp pomimo przyjęcia korzystnych założeń obliczeniowych [1]-[4].

Na rysunkach 7-24 przedstawiono graficzne prezentacje wyników przeprowadzonych analiz obliczeniowych.

Wyniki obliczeń stateczności skarpy					
Obiekt	Przekrój	Wariant	Liczba analizowanych kół poślizgu	Rozdzielczość współrzędnych środka kół	Rozdzielczość promienia kół
I	I-I	bez podparcia	2820000	1m × 1m	0.1m
Minimalna wartość współczynnika stateczności					
metoda Felleniusa			metoda Bishopa		
0.84 < 1.1			0.89 < 1.3		

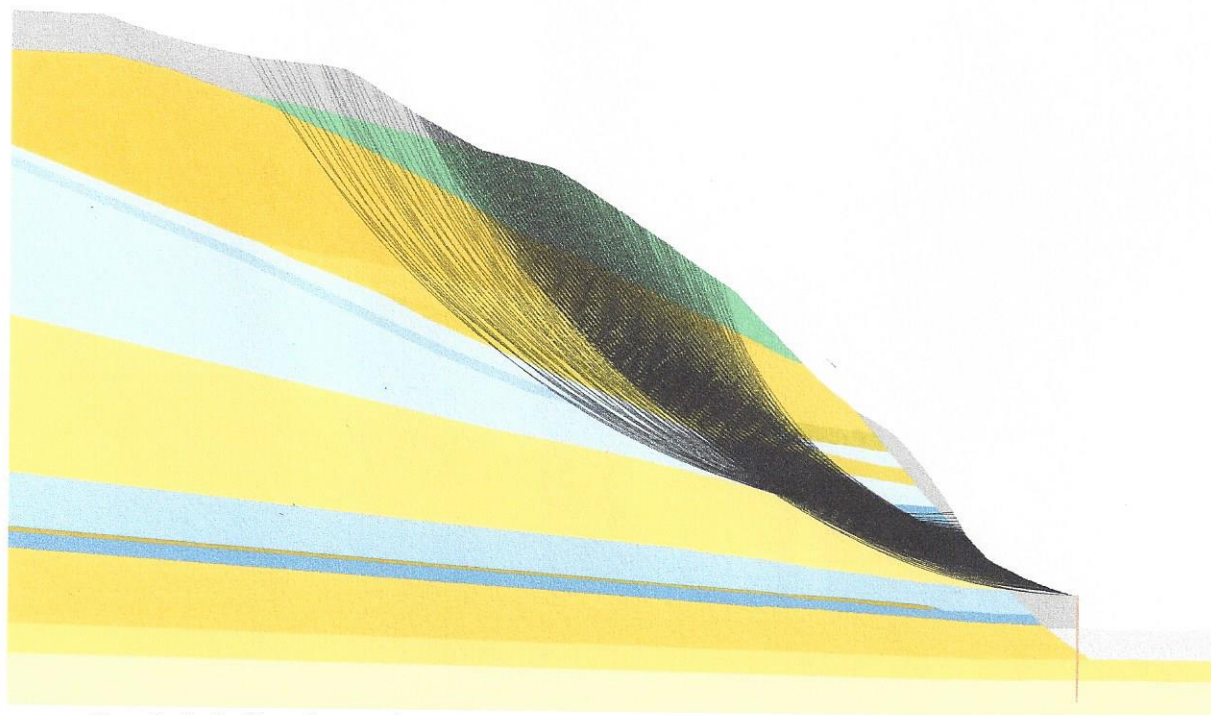


Rys.7. Lokalizacja powierzchni poślizgu dla współczynników stateczności $F \leq 0.9$

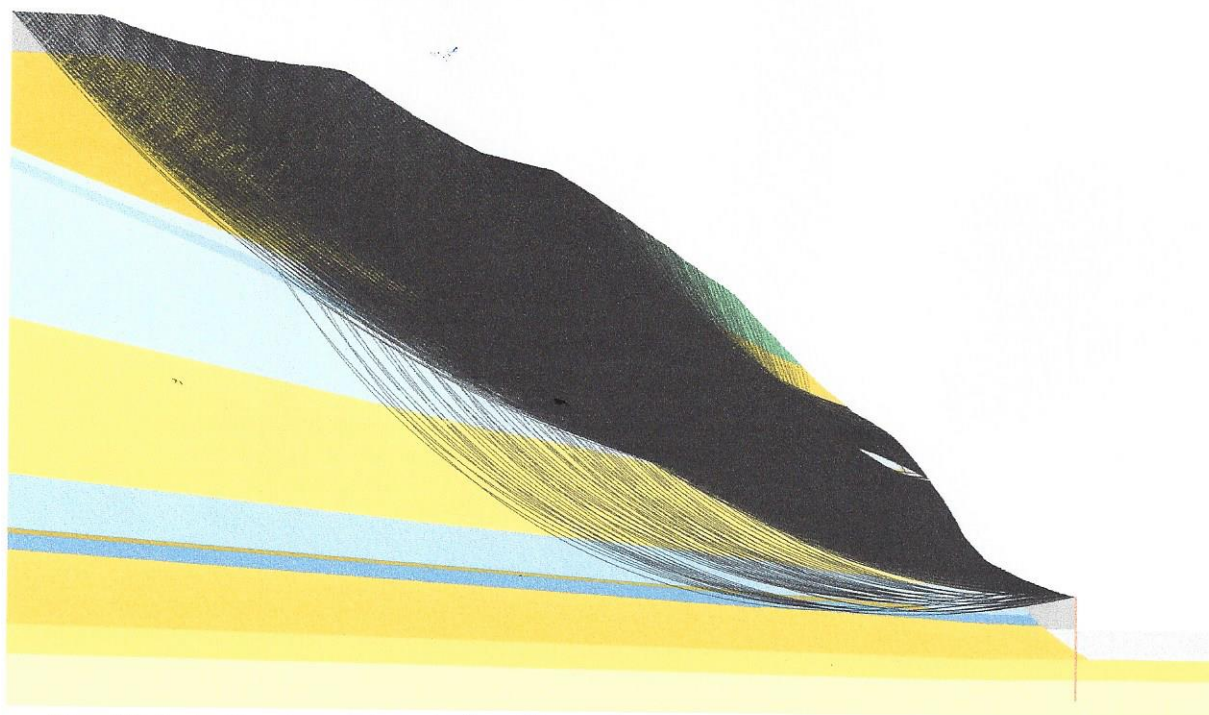


Rys.8. Lokalizacja powierzchni poślizgu dla współczynników stateczności $0.9 < F \leq 1.0$

Wyniki obliczeń stateczności skarpy					
Obiekt	Przekrój	Wariant	Liczba analizowanych kół poślizgu	Rozdzielczość współrzędnych środka kół	Rozdzielczość promienia kół
I	I-I	z podparciem	2820000	1m × 1m	0.1m
Minimalna wartość współczynnika stateczności					
metoda Felleniusa			metoda Bishopa		
0.84 < 1.1			0.89 < 1.3		

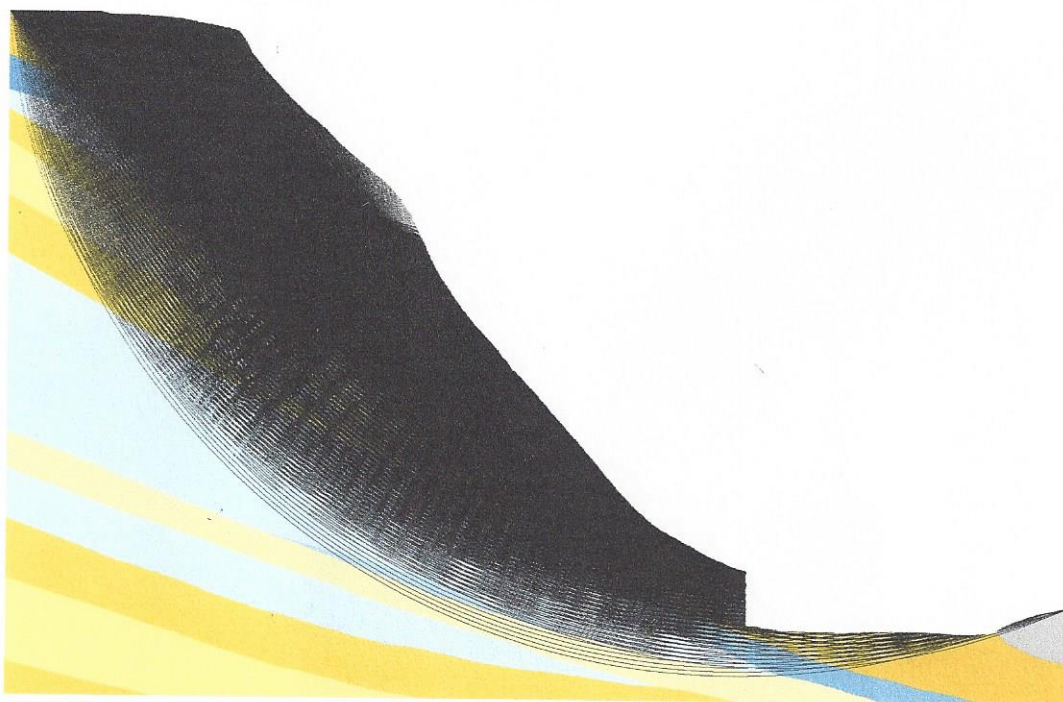


Rys.9. Lokalizacja powierzchni poślizgu dla współczynników stateczności $F \leq 0.9$

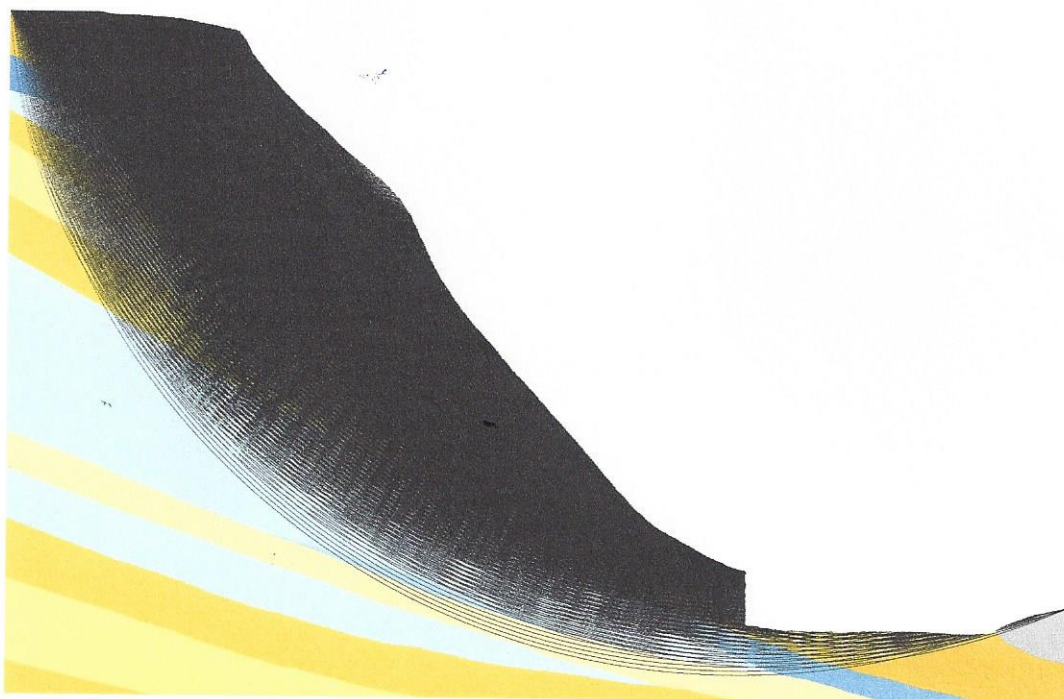


Rys.10. Lokalizacja powierzchni poślizgu dla współczynników stateczności $0.9 < F \leq 1.0$

Wyniki obliczeń stateczności skarpy					
Obiekt	Przekrój	Wariant	Liczba analizowanych kół poślizgu	Rozdzielczość współrzędnych środka kół	Rozdzielczość promienia kół
I	II-II	bez podparcia	2970000	1m × 1m	0.1m
Minimalna wartość współczynnika stateczności					
metoda Felleniusa			metoda Bishopa		
0.64 < 1.1			0.68 < 1.3		

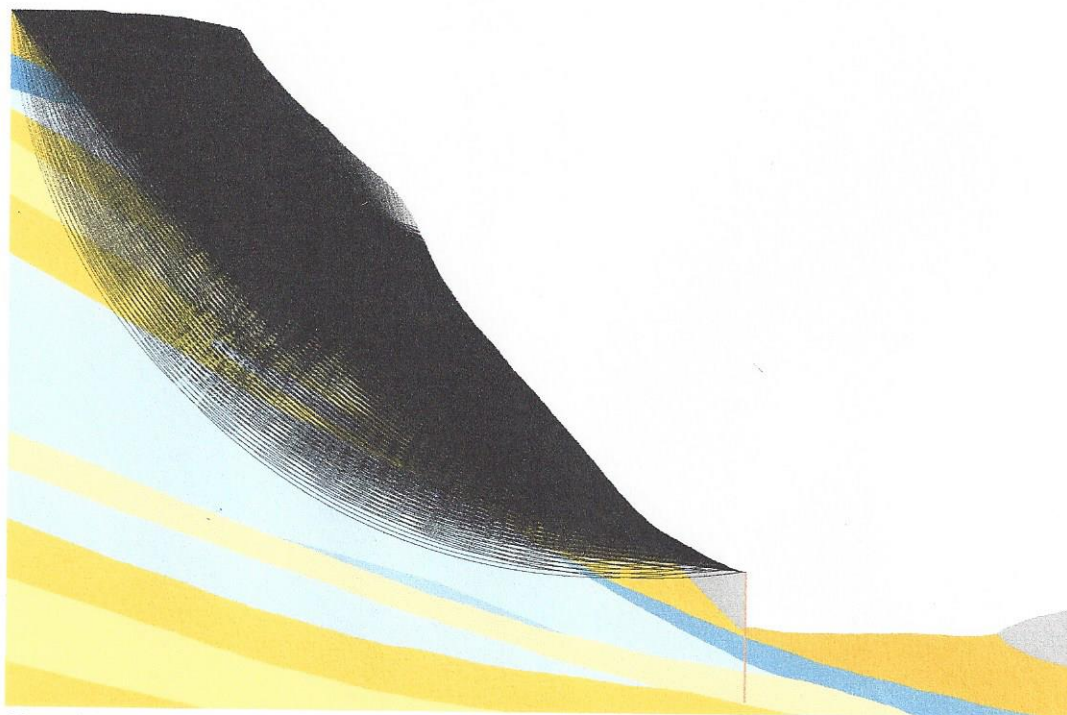


Rys.11. Lokalizacja powierzchni poślizgu dla współczynników stateczności $F \leq 0.9$

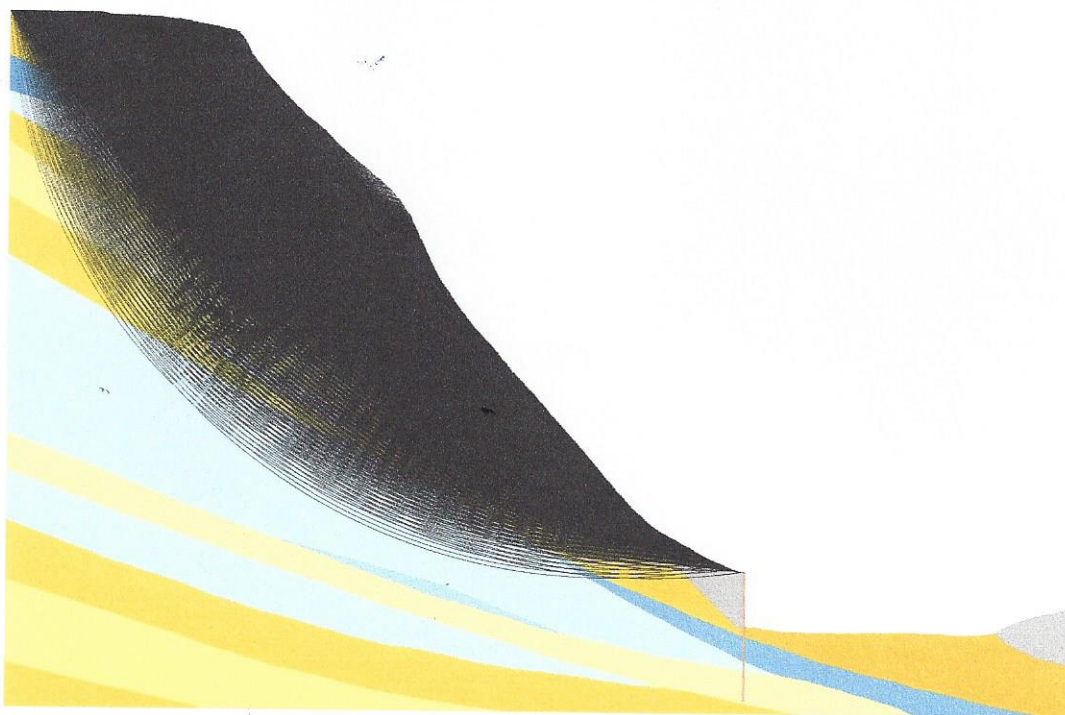


Rys.12. Lokalizacja powierzchni poślizgu dla współczynników stateczności $0.9 < F \leq 1.0$

Wyniki obliczeń stateczności skarpy					
Obiekt	Przekrój	Wariant	Liczba analizowanych kół poślizgu	Rozdzielczość współrzędnych środka kół	Rozdzielczość promienia kół
I	II-II	z podparciem	2970000	1m × 1m	0.1m
Minimalna wartość współczynnika stateczności					
metoda Felleniusa			metoda Bishopa		
0.64 < 1.1			0.68 < 1.3		

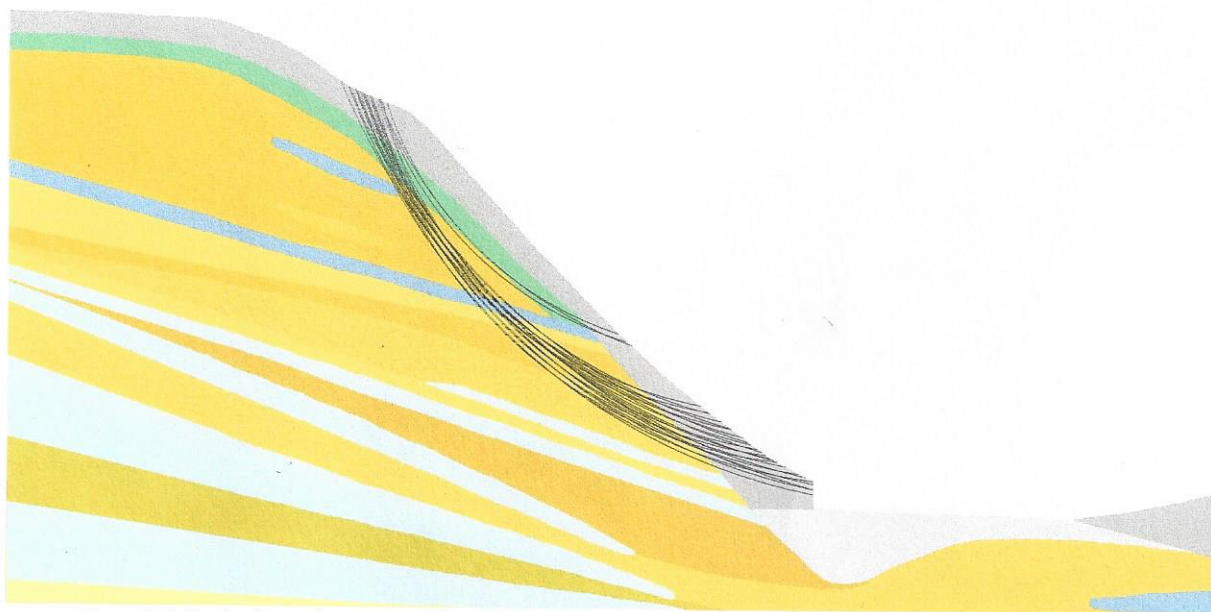


Rys.13. Lokalizacja powierzchni poślizgu dla współczynników stateczności $F \leq 0.9$



Rys.14. Lokalizacja powierzchni poślizgu dla współczynników stateczności $0.9 < F \leq 1.0$

Wyniki obliczeń stateczności skarpy					
Obiekt	Przekrój	Wariant	Liczba analizowanych kół poślizgu	Rozdzielczość współrzędnych środka kół	Rozdzielczość promienia kół
I	III-III	bez podparcia	2770000	1m × 1m	0.1m
Minimalna wartość współczynnika stateczności					
metoda Felleniusa			metoda Bishopa		
0.89 < 1.1			0.92 < 1.3		

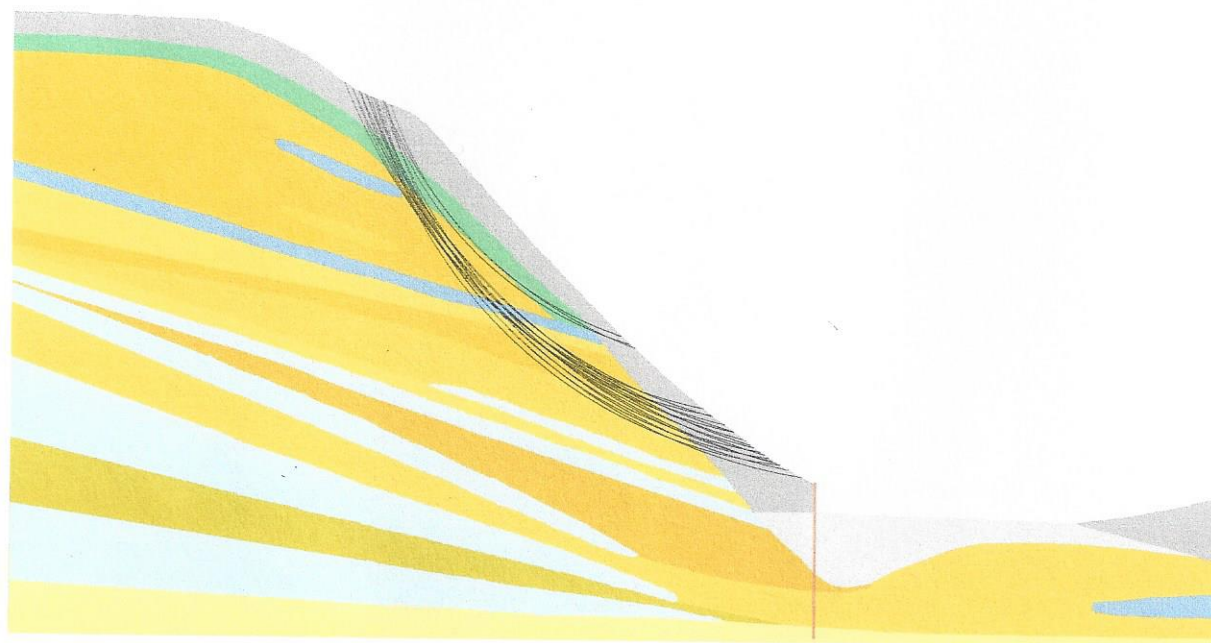


Rys.15. Lokalizacja powierzchni poślizgu dla współczynników stateczności $F \leq 0.9$

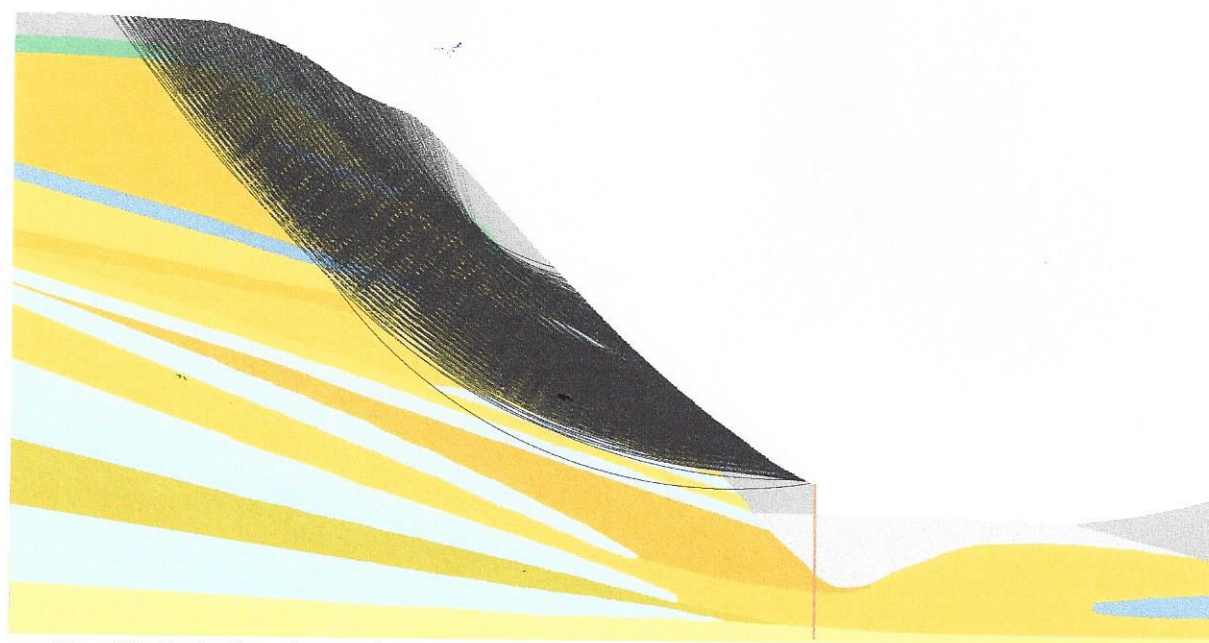


Rys.16. Lokalizacja powierzchni poślizgu dla współczynników stateczności $0.9 < F \leq 1.0$

Wyniki obliczeń stateczności skarpy					
Obiekt	Przekrój	Wariant	Liczba analizowanych kół poślizgu	Rozdzielczość współrzędnych środka kół	Rozdzielczość promienia kół
I	III-III	z podparciem	2770000	1m × 1m	0.1m
Minimalna wartość współczynnika stateczności					
metoda Felleniusa			metoda Bishopa		
0.89 < 1.1			0.92 < 1.3		

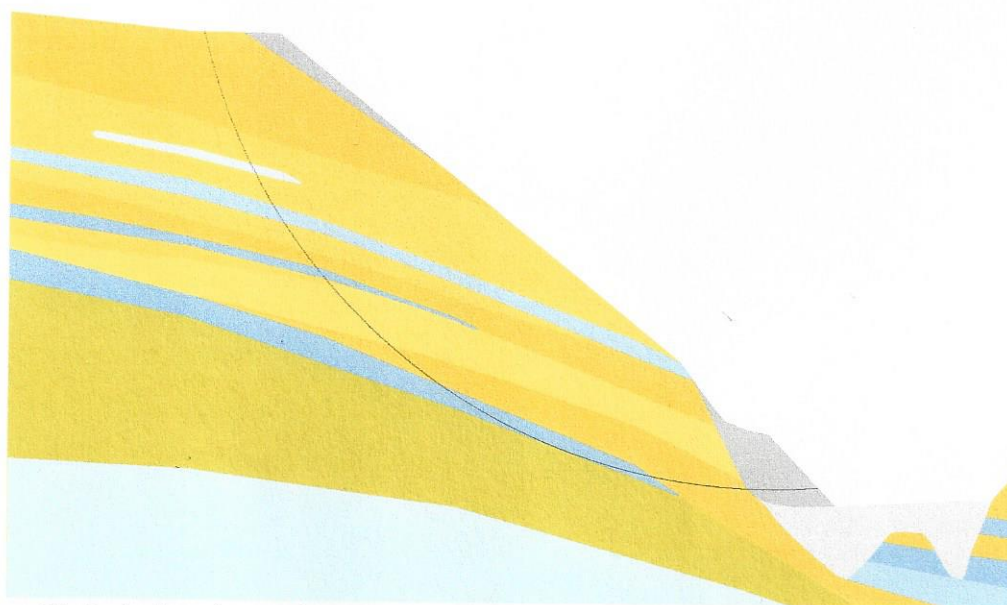


Rys.17. Lokalizacja powierzchni poślizgu dla współczynników stateczności $F \leq 0.9$

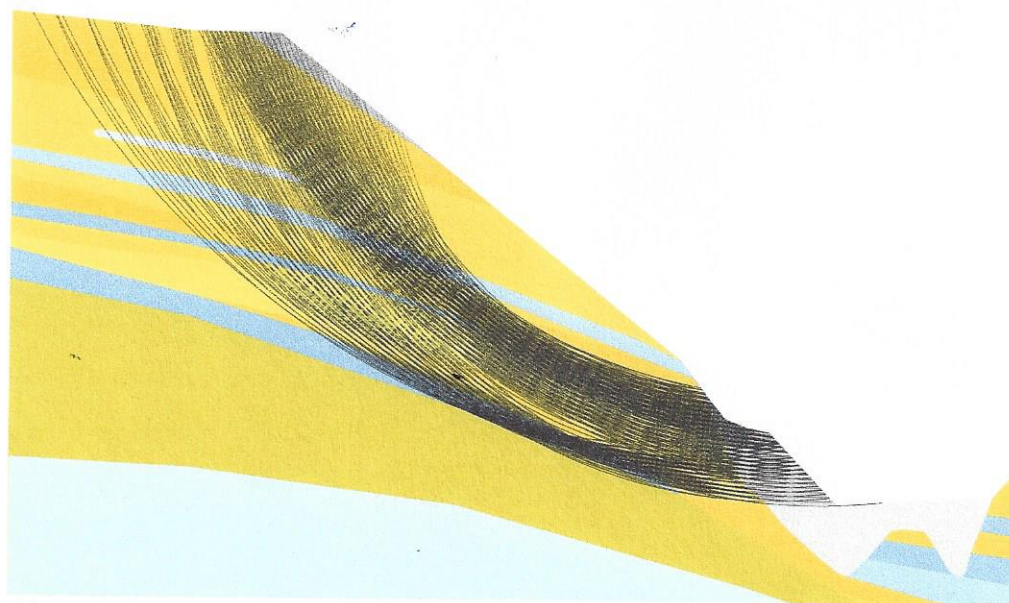


Rys.18. Lokalizacja powierzchni poślizgu dla współczynników stateczności $0.9 < F \leq 1.0$

Wyniki obliczeń stateczności skarpy					
Obiekt	Przekrój	Wariant	Liczba analizowanych kół poślizgu	Rozdzielczość współrzędnych środka kół	Rozdzielczość promienia kół
II	I-I	bez podparcia	2770000	1m × 1m	0.1m
Minimalna wartość współczynnika stateczności					
metoda Felleniusa			metoda Bishopa		
0.90 < 1.1			1.00 < 1.3		



Rys.19. Lokalizacja powierzchni poślizgu dla współczynników stateczności $F \leq 0.9$

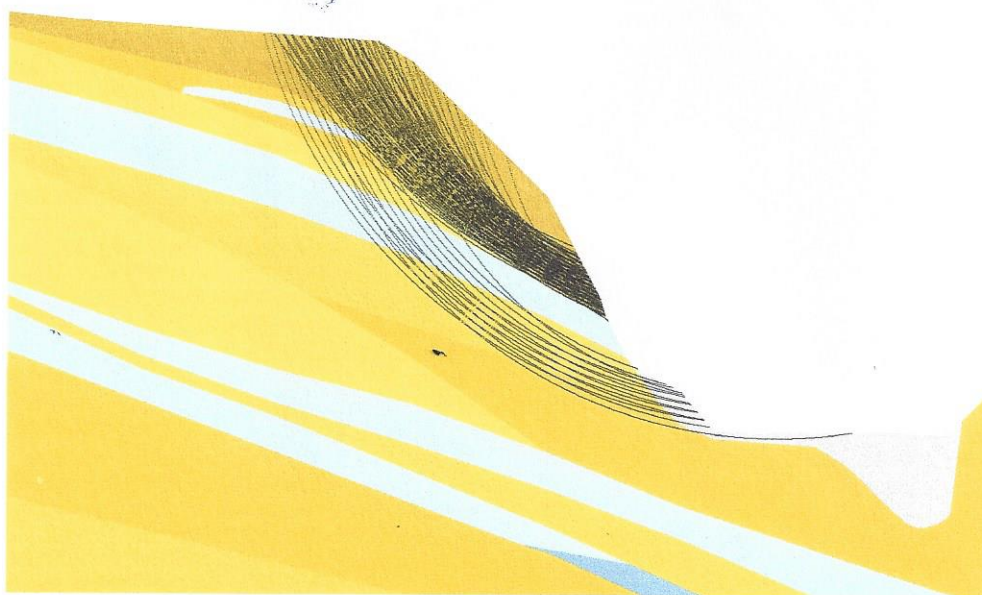


Rys.20. Lokalizacja powierzchni poślizgu dla współczynników stateczności $0.9 < F \leq 1.0$

Wyniki obliczeń stateczności skarpy					
Obiekt	Przekrój	Wariant	Liczba analizowanych kół poślizgu	Rozdzielczość współrzędnych środka kół	Rozdzielczość promienia kół
II	II-II	bez podparcia	2820000	1m × 1m	0.1m
Minimalna wartość współczynnika stateczności					
metoda Felleniusa			metoda Bishopa		
0.83 < 1.1			0.84 < 1.3		

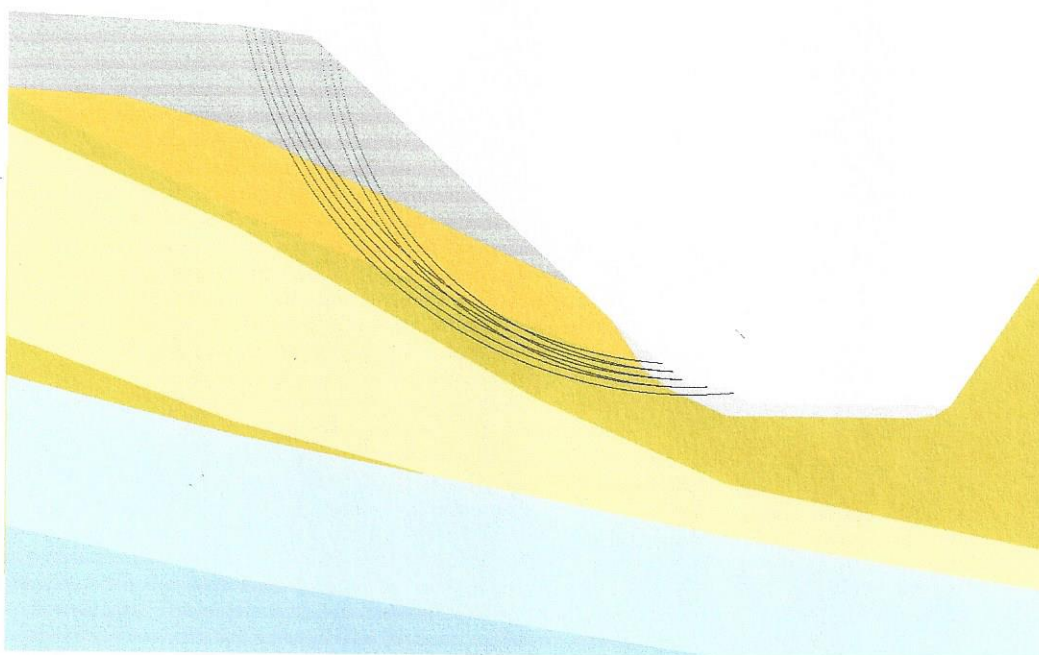


Rys.21. Lokalizacja powierzchni poślizgu dla współczynników stateczności $F \leq 0.9$

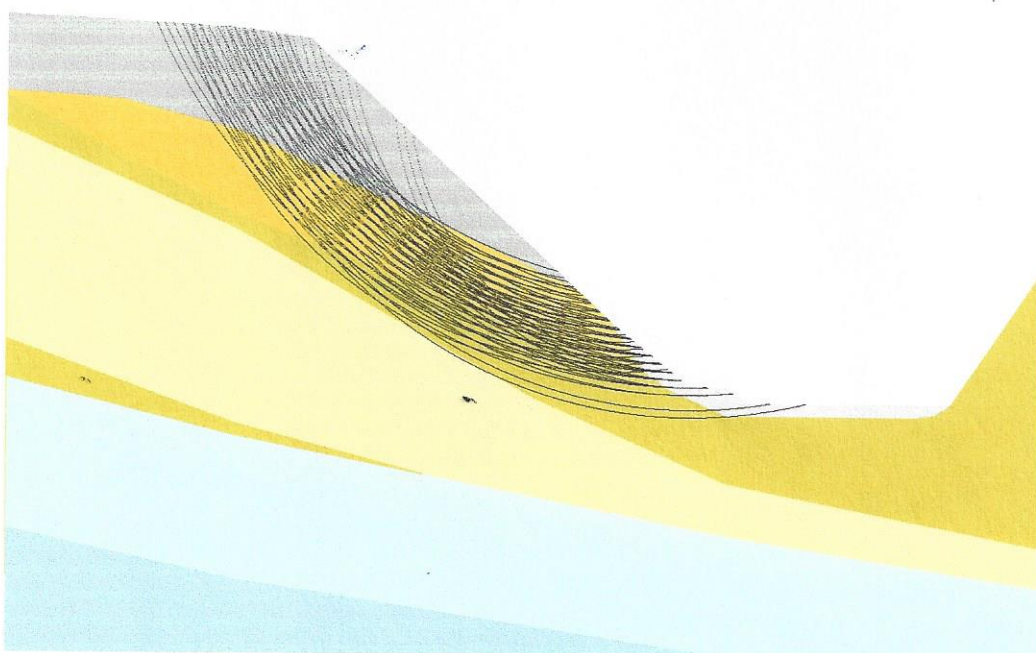


Rys.22. Lokalizacja powierzchni poślizgu dla współczynników stateczności $0.9 < F \leq 1.0$

Wyniki obliczeń stateczności skarpy					
Obiekt	Przekrój	Wariant	Liczba analizowanych kół poślizgu	Rozdzielczość współrzędnych środka kół	Rozdzielczość promienia kół
III	I-I	bez podparcia	2870000	1m × 1m	0.1m
Minimalna wartość współczynnika stateczności					
metoda Felleniusa			metoda Bishopa		
0.96 < 1.1			1.04 < 1.3		



Rys.23. Lokalizacja powierzchni poślizgu dla współczynników stateczności $F \leq 1.0$



Rys.24. Lokalizacja powierzchni poślizgu dla współczynników stateczności $1.0 < F \leq 1.1$

5. WNIOSKI

1. Teren badań zlokalizowany jest w brzeżnej strefie falistej i lokalnie pagórkowatej wysoczyzny polodowcowej, zbudowanej z wodnolodowcowych mułków i piasków ze żwirem, pochodzących z fazy pomorskiej stadiału głównego zlodowacenia północno-polskiego.
2. Teren badań obejmuje trzy obiekty – skarpy przydrożne usytuowane we wsi Ruś.
3. Skarpy charakteryzują się znacznymi wysokościami względnymi: 4,92m - 17,45 m i dużymi nachyleniami średnimi 30,2° - 54,9°.
4. Na powierzchni skarp widoczne są objawy powierzchniowych zsuwów mas gruntowych.
5. Powierzchnia terenu w obrębie skarp jest pokryta roślinnością w postaci drzew o różnym wieku i wielkości oraz zakrzaczaniami, które systemami korzeniowymi utrwalają powierzchniowo skarpy.
6. Podłoże w rejonie przeprowadzonych badań jest uwarstwione i wykształcone w postaci naprzemianległych warstw piasków i mułków wodnolodowcowych pochyłonych ogólnie zgodnie z kierunkiem nachylenia powierzchni skarp.
7. W trakcie wykonywania wierceń w obiekcie nr I stwierdzono lokalne występowanie wody gruntowej w formie:
 - zwierciadła swobodnego wody zawieszanej (występującej okresowo) nawierconego w wierceniu nr 3 na głębokości 5,95 m p.pt., gdzie strefa saturacji w piasku średnim miała miąższość 10cm (Zał. nr 4I-1 i Zał. nr 6),
 - sączenia wody w wierceniu nr 5 na głębokości 2,6 m p.p.t., na stropie pospółki gliniastej (Zał. nr 4I-2 i Zał. nr 6).
 - saturacji mułków w postaci pyłu, powodującą podatność na tiksotropowe ich upłynnienie w wierceniu nr 1,2,3 i 8 (Zał. nr 4I-1, 4I-2, 4I-3 i Zał. nr 6).
8. W obiekcie II nie stwierdzono obecności wody gruntowej.
9. W obiekcie III stwierdzono występowanie wody gruntowej jako:
 - saturację mułków w postaci pyłu i pyłu piaszczystego, powodującą podatność na tiksotropowe ich upłynnienie, w wierceniach nr 1 i 2 (Zał. nr 4III-1 i Zał. nr 6),
 - w wierceniu nr 2 stwierdzono stabilizację zwierciadła wody gruntowej na głębokości 3,5 m p.p.t., co odpowiada rzędnej 128,56 m n.p.m.
10. Warunki wodne, w tym głębokość stabilizacji zwierciadła wody gruntowej mogą ulegać zmianie w zależności od opadów atmosferycznych.
11. W wyniku przeprowadzonych badań wydzielono siedem pakietów gruntów obejmujących 20 warstw geotechnicznych.
12. W obrębie warstw geotechnicznych (Zał. nr 4, Zał. nr 5, Zał. nr 6) uwzględniono utwory nasypowe (warstwy nr Ia i Ib), dla których nie podaje się parametrów geotechnicznych.
13. Dla pozostałych wydzielonych warstw gruntów rodzimych i mineralnych, parametry geotechniczne określono metodą B zgodnie z PN-81/B-03020, których wartości podano w tabeli, w Zał. nr 5.

14. Występujące w podłożu mulki w postaci: pyłu, gliny pylastej, pyłu piaszczystego oraz piaski pylaste, są gruntami wysadzinowymi.
15. Głębokość przemarzania w miejscu przeprowadzonych badań wynosi 1,0 m p.p.t. (wg. PN - 81/B - 03020).
16. Obliczenia stateczności skarp przeprowadzono w sześciu przekrojach, w tym trzy przekroje dotyczące obiektu I przeanalizowano w dwóch wariantach geometrycznych.
17. Wszystkie skarpy zagrożone są globalną utratą stateczności - współczynniki stateczności we wszystkich analizowanych przekrojach są znacznie mniejsze od 1.0; powierzchnie poślizgu mogą sięgać do głębokości ok.: 10m w przypadku obiektu nr I, 6m w przypadku obiektu nr II i 3m w przypadku obiektu nr III.
18. Wariantowe obliczenia dla obiektu nr I, uwzględniające lokalne podparcie ścianką szczelną nie wykazały poprawy stanu stateczności globalnej.
19. Analizy stateczności zostały wykonane dla warunków statycznych oddziaływań grawitacyjnych; w przypadku obciążeń dynamicznych (np. praca maszyn budowlanych) parametry mechaniczne warstw IIIa-IIIe mogą ulec znacznym zmianom (ze względu na właściwości tiksotropowe budujących je gruntów), co może jeszcze pogorszyć stan bezpieczeństwa skarp we wszystkich przekrojach, skutkując natychmiastowym ich zniszczeniem.