



GIGA Leszek Szymański  
ul. Sucharskiego 1/26  
10 - 693 Olsztyn

**PROJEKT WYKONAWCZY ZABEZPIECZENIA SKARP  
WYKOPU PRZED OSUWANIEM PRZY DRODZE  
KRAJOWEJ NR 16**

Wójtowo  
od km 152+050,00 do km 152+320,00

Inwestor:	Generalna Dyrekcja Dróg i Autostrad Oddział w Olsztynie, Aleja Warszawska 89, 10-083 Olsztyn.
Zamawiający:	Generalna Dyrekcja Dróg i Autostrad Oddział w Olsztynie, Aleja Warszawska 89, 10-083 Olsztyn

Lp	Stanowisko	Nazwisko, imię	Nr upraw.	Data	Podpis
1	Projektant	Dr inż. Leon Franciszek Maro	134/70	03.2007	
2	Asystent projektanta	dr inż. Leszek Szymański	124/01/OL	03.2007	
3	Asystent projektanta	inż. Wojciech Rudzki	WAM/0019/OWOK/06	03.2007	
4	Sprawdzający	mgr inż. Włodzimierz Dąbrowski	GP.I 7342/187/TO/93-94	03.2007	

Umowa: GDDKiA-O/OL-9-10P-2814-02/07	Branża: KONSTRUKCJA	Egz. Nr
--	------------------------	---------

## SPIS TREŚCI

1.0	Opis techniczny .....	str. 3
1.1.	Podstawa opracowania .....	str. 3
1.2.	Cel opracowania .....	str. 3
1.3.	Zakres opracowania .....	str. 3
1.4.	Materiały wykorzystane do opracowania .....	str. 3
1.5.	Opis rozwiązania konstrukcyjnego .....	str. 3
1.6.	Warunki gruntowo-wodne .....	str. 4
1.7.	Zakres umocnienia i powierzchniowego zabezpieczenia skarp .....	str. 4
1.8.	Konstrukcja powierzchniowego zabezpieczenia skarp .....	str. 4
1.9.	Geometria skarp i ułożenie geokraty na skarpie .....	str. 5
1.10.	Wytyczne technologiczne umocnienia i zabezpieczenia Powierzchniowego skarp nasypu i wykopu .....	str. 5
2.0.	Obliczenia statyczne .....	str. 6
2.1.	Obliczenie wzmocnienie geokrata .....	str. 6
2.2.	Sprawdzenie stateczności skarp dla różnych wariantów wzmocnienia skarpy ... ..	str. 9

## SPIS RYSUNKÓW

Rysunek nr 1	„Powierzchnia wzmacniania skarpy”	1:1000
Rysunek nr 2	„Przekrój wzmocnienia skarpy”	1:50

## **1.0. OPIS TECHNICZNY**

### **1.1. PODSTAWA OPRACOWANIA**

Projekt wzmocnienia skarp na obwodnicy Wójtowa wykonano na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad Oddział w Olsztynie 10-083 Olsztyn, Al. Warszawska 89.

### **1.2. CEL OPRACOWANIA**

Przedmiotem opracowania jest projekt umocnienia i powierzchniowego zabezpieczenia skarp zniszczonych nasypów istniejącej obwodnicy Wójtowa pow. Olsztyn.

### **1.3. ZAKRES OPRACOWANIA**

Niniejsze opracowanie zawiera:

- opis techniczny
- obliczenia statyczne
- rysunki

### **1.4. MATERIAŁY WYKORZYSTANE DO OPRACOWANIA**

- [1] Profil poprzeczny skarp zniszczonych nasypów istniejącej obwodnicy Wójtowa pow. Olsztyn.
- [2] Opinia geotechniczna dot. skarp obwodnicy Wójtowa pow. Olsztyn, opracowana przez firmę Badania i Usługi Geotechniczne dr inż. Andrzej Bartoszewicz w Olsztynie w grudniu 2006 r.
- [3] Obowiązujące normy i wytyczne do projektowania oraz literatura techniczna z zakresu dotyczącego projektu.
- [4] Parametry techniczne geokraty TABOSSystem®, geosiatki CERTUS-G, gabionów i geowłókniny GEON podane przez producentów.
- [5] PN-81/B-03010 „Ściany oporowe. Obliczenia statyczne i projektowanie”.

### **1.5. OPIS ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNEGO**

Niniejsze opracowanie w niczym nie narusza i nie zmienia rozwiązań przyjętych w zrealizowanym projekcie drogowym.

Obejmuje ono jedynie rozwiązanie umocnienia i powierzchniowego zabezpieczenia istniejących skarp w zakresie wymaganym przez obecny stan skarp, będący wynikiem naruszenia stateczności skarpy po lewej stronie drogi (w kierunku Mrągowa). Wzdłuż drogi na górze skarp znajdują się ekrany akustyczne, posadowione na palach.

## 1.6. WARUNKI GRUNTOWO-WODNE

Klasyfikację, charakterystykę i symbole gruntów przyjęto według wymienionej w p.1.2 dokumentacji geologiczno-inżynierskiej.

Korpus skarpy jest zbudowany z ilów pylastych przewarstwionych pyłami i glinami pylastymi w stanie miękkoplastycznym o stopniu plastyczności  $IL = 0,60$ .

Wodę gruntową stwierdzono w dwóch otworach w postaci sączeń w obszarze objętym powierzchniowym zsuwem. W badaniach wykonanych w lipcu 2003 r. na tym terenie nie stwierdzono w podłożu obecności wód gruntowych w żadnej postaci.

W wyniku analizy do kontrolnych obliczeń statycznych przyjęto jako miarodajne następujące wartości parametrów geotechnicznych istniejącego podłoża (wg. otworu bad. nr. 3):

Warstwa geotechn.	Rodzaj gruntu	IL	grubość [m]	gęstość [kN/m <sup>3</sup> ]	kąt tarcia [°]	spójność [kPa]
I	Ił - ił pylasty	0,60	3,0	17,2	3,0	8,0

## 1.7. ZAKRES UMOCNIENIA I POWIERZCHNIOWEGO ZABEZPIECZENIA SKARP

Jak wynika z obliczeń statycznych (poz. 1) naprężenia pionowe w korpusie skarpy nie przekraczają jego nośności i skarpa nie wymaga wzmocnienia. Należy natomiast powierzchniowo zabezpieczyć skarpe przed erozją i osuwaniem się zgodnie z wynikami obliczeń (poz. 2). Ponadto, dla zwiększenia stateczności skarpy i ułatwienia odprowadzenia wód powierzchniowych przyjęto zabezpieczenie skarpy opisane szczegółowo w dalszej części opisu technicznego.

## 1.8. KONSTRUKCJA POWIERZCHNIOWEGO ZABEZPIECZENIA SKARP

Na powierzchni skarpy na podłożu ułożyć geotkaninę GEON-250, pokrywającą skarpe wg. pkt. 1.9.

Po usunięciu odspojonej i osuniętej części skarpy należy wykonać w skarpie „schodki” o wysokości ok. 30 cm i szerokości ok. 45 cm, a następnie odtworzyć skarpe układając grunt warstwami poziomymi o grubości ok. 30 cm zagęszczonymi do wskaźnika zagęszczenia wg. Proctora  $Is \geq 0,97$ .

Co trzecią warstwę (co ok. 90 cm) należy zazbroić skarpe poliestrową **siatką płaską CERTUS-G-20/20 (GEO 1001)** ułożoną poziomo na podłożu i zakotwić przy pomocy szpilek typu „J” o długości 500 mm i średnicy  $\varnothing 8$  mm ze stali St0 w odstępach 50 cm, w odległości 15 cm od wewnętrznej i zewnętrznej krawędzi geosiatki.

### 1.9. GEOMETRIA SKARPY I UŁOŻENIE GEOKRATY NA SKARPIE

- pochylenie skarpy wynosi 1 : 1,5; kąt  $\alpha = 33,7^\circ$ ;  $\sin \alpha = 0,555$
- maksymalna wysokość skarpy  $H_n = 2,2$  m
- max. wysokość skarpy po skosie  $L_{sn} = H_n / \sin \alpha = 2,2 / 0,555 = 3,96$  m

Geokratę należy zakotwić w koronie skarpy na szerokości min. 0,50 m, tak więc łączna minimalna wysokość pasma geokraty wyniesie

$$\Sigma H_{\min} = 3,96 \text{ m} + 0,50 \text{ m} = 4,46 \text{ m}$$

Przyjęto poziomy układ sekcji geokraty na skarpie pasmami o szerokości 6,20 m oraz wysokości 2 szt x 2,60 m = 5,2 m > 4,46 m.

Komórki geokraty należy zakotwić w podłożu stalowymi szpilkami typu „U” i „J” ze stali „St0” o średnicy  $\varnothing$  8 mm i długości min. 500 mm.

Biorąc pod uwagę wysokość skarpy i jej nachylenie, przyjęto w projekcie geokratę **TABOSSystem® -Tmn-10,0** (tj. „małe” komórki o wysokości 100 mm) **nacinaną i teksturowaną**, o wymiarach sekcji po rozłożeniu wynoszących  **$B_s = 2,60$  m i  $H_s = 6,20$  m i wymiarach komórek  $B_k = 0,26$  m i  $H_k = 0,20$  m.**

Z uwagi na rodzaj materiału, z którego wykonane są skarpy (korpus skarpy jest zbudowany z ilów pylastych przewarstwionych pyłami i glinami pylastymi w stanie miękkoplastycznym) przed ułożeniem geokraty należy na powierzchni skarpy **rozścielić warstwę geowłókniny GEON-250** współpracującej z geokratą i spełniającej rolę filtracyjno – separacyjną. Biorąc pod uwagę fakt, że zastosowanie geowłókniny w radykalny sposób poprawia warunki hydro-geotechniczne, a jej cena jest stosunkowo niska, stosowanie geowłókniny należy uznać za uzasadnione i celowe.

### 1.10. WYTYCZNE TECHNOLOGICZNE UMOCNIENIA I ZABEZPIECZENIA POWIERZCHNIOWEGO SKARPY .

Przed rozłożeniem geokraty należy wyrównać i w stopniu możliwym do uzyskania zagęścić powierzchnię skarpy (np. zagęszczarką wibracyjną ~ 150 kG), a następnie rozścielić w układzie pionowym pasma geowłókniny GEON-250 łączone na zakład min. 30 cm. Na tak przygotowanym podłożu należy ułożyć geokratę, poczynając od podstawy skarpy.

Sekcje geokraty zaleca się układać przy pomocy szablonów (ram montażowych) gwarantujących dokładne rozciągnięcie sekcji. Poszczególne sekcje należy nałożyć na w/w szablony w celu nadania im właściwych nominalnych wymiarów. Następnie szablony z rozłożoną na nim sekcją należy odwrócić o 180° tak, aby szablony znajdowały się nad sekcją, ułożyć na wcześniej przygotowanym podłożu i połączyć z wcześniej rozłożonymi sekcjami.

W celu utrzymania sekcji we właściwych pozycjach należy przed zdjęciem szablonów połączyć sąsiednie sekcje paskami plastikowymi zaciskowymi (co druga komórka w połączeniach pionowych i każda komórka w połączeniach poziomych) i połączenie sekcji

zakotwić w podłożu (korpusie skarpy) szpilkami co 2 komórki.

Na całej powierzchni sekcji geokrata winna być zakotwiona szpilkami typu „J” w rozstawie: w poziomie co 40 cm (2 x Hk) i w pionie co 26 cm (1 x Bk).

Dla zminimalizowania koncentracji naprężeń w geokracie należy w kolejnych rzędach poziomych szpilki rozmieszczać w układzie „mijankowym” (**przesunięte o Hk = 20 cm w stosunku do szpilek w sąsiednich rzędach poziomych**).

Geokrata winna być wywinięta na koronę skarpy wzdłuż jej górnej krawędzi na długość  $\geq 0,50$  m. Wzdłuż górnej krawędzi skarpy dwa skrajne rzędy geokrasy, wywinięte na koronę, winny być zakotwione w podłożu w każdej komórce szpilkami typu „J”.

Na rozłożone sekcje geokrasy należy wysypać, poczynając od korony skarpy i przed zagęszczeniem równomiernie rozłożyć ziemię roślinną warstwą o grubości przewyższającej o ok. 3 cm wysokość sekcji geokrasy. Po wstępnym zagęszczeniu materiału wypełniającego komórki geokrasy należy nadsypać ziemię roślinną warstwą o grubości ok. 3 cm i całość ponownie zagęścić.

Do zagęszczania materiału wypełniającego stosuje się wibracyjne zagęszczarki płytowe.

Po zagęszczeniu ziemi w geokracie należy posiać trawę, uwałować i przez kilkanaście dni systematycznie zraszać, nie wolno jednak polewać skarp silnym stumieniem wody.

## 2.0. OBLICZENIA STATYCZNE

### 2.1. OBLICZENIE WZMOCNIENIA GEOKRATĄ

#### Poz. 1. Naprężenia pionowe w korpusie skarpy

Dane \_\_\_\_\_

Teren

Grunt odprężony w trakcie robót

Parametry fizyko-mechaniczne podłoża wg metody C  
(orientacyjnie)

	h	ro	Fir	Cr
Warstwa	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kPa]
1	1.00	17.20	3.0	8.00
2	1.00	17.20	3.0	8.00
3	1.00	17.20	3.0	8.00

h - grubość warstwy

ro - gęstość objętościowa warstwy

Fir - obliczeniowy kąt tarcia wewnętrznego w warstwie

Cr - obliczeniowa spójność gruntu warstwy

Budowla

Rodzaj obciążenia plac

Głębokość posadowienia budowli  
od poziomu terenu Dbp = 0.00 m

Charakterystyczny ciężar własny budowli płaskiej  
obciążającej podłoże qk = 0.00 kN/m<sup>2</sup>

Charakterystyczne obciążenie użytkowe  
placu qn = 3.000 kN/m<sup>2</sup>

Nie ma warstwy filtracyjnej

#### Wyniki

---

##### Podłoże

Naprężenia pionowe mp\*qc i nośność warstw w skarpie  
qfr (obliczeniowe)

Warstwa nr	mp*qc [kN/m <sup>2</sup> ]	qfr [kN/m <sup>2</sup> ]	
1	13.788	36.480	OK
2	33.024	46.279	OK
3	51.031	61.230	OK

Korpus skarpy nie wymaga wzmocnienia

## Poz. 2. Powierzchniowe zabezpieczenie skarpy

Dane do obliczeń:

- kąt nachylenia skarpy (do poziomu)  $\alpha = 33,7^\circ$ ;  $\sin \alpha = 0,555$ ;  $\cos \alpha = 0,832$
- wysokość geokraty hg = 0,100 m
- średnica szpilki  $\varnothing = 8 \text{ mm} = 0,008 \text{ m}$
- długość szpilki L = 0,525 m
- moduł podatności podłoża na głęb. 2 m C-2,0 = 16000 kN/m<sup>3</sup>
- kąt tarcia wewn. na styku podł. i geokr.  $\varphi_k = 4,0^\circ$ ;  $\tan \varphi_k = 0,07$
- współczynnik przeciążenia  $\gamma = 1,2$

Obliczenia:

Ciężar warstwy geokraty z wypełnieniem

$$C_g = \gamma_s \times h_g = 19,0 \times 0,100 = 1,90 \text{ kN/m}^2 \text{ skarpy}$$

gdzie:  $\gamma_s = 19,0 \text{ kN/m}^3$  – ciężar objętościowy geokraty z gruntem wypełniającym

Siła zsuwająca geokratę (styczna do powierzchni skarpy)

$$Z_g = C_g \times \sin \alpha = 1,9 \times 0,555 = 1,05 \text{ kN}$$

Siła dociskająca geokratę (normalna do powierzchni skarpy)

$$D_g = C_g \times \cos \alpha = 1,9 \times 0,832 = 1,58 \text{ kN}$$

Siła oporu tarcia na styku powierzchni skarpy z geokratą

$$S_t = D_g \times \tan \varphi_k = 1,58 \times 0,07 = 0,11 \text{ kN}$$

Siła do przeniesienia przez szpilki

$$H_s = Z_g - S_t = 1,05 - 0,11 = 0,94 \text{ kN}$$

Głębokość zakotwienia szpilki

$$t = L - h_g = 0,525 - 0,100 = 0,425 \text{ m}$$

Moduł podatności podłoża dla głębokości zakotwienia  $t$

$$C_t = C_{-2,0} \times t / 2,0 = 16000 \times 0,425 / 2,0 = 3400 \text{ kN/m}^3$$

Obliczeniowa wartość momentu wywracającego szpilki (na  $1 \text{ m}^2$  skarpy)

$$\begin{aligned} M_w &= H_s \times (h_g / 2 + 2 \times t / 3) \times \gamma \\ &= 0,94 \times (0,100 / 2 + 2 \times 0,425 / 3) \times 1,2 = 0,37 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Konieczna liczba szpilek na  $1 \text{ m}^2$  skarpy

$$\begin{aligned} n_s &= 36 \times M_w / (C_t \times \varnothing \times t^3) \\ &= 36 \times 0,37 / (3400 \times 0,008 \times 0,425^3) = 6,38 \text{ szt} \end{aligned}$$

Powierzchnia skarpy przypadająca na 1 szpilkę

$$A_{so} = 1,0 / 6,38 = 0,157 \text{ m}^2$$

**Przyjęto rozstaw szpilek: w poziomie 0,40 m**

$$(2 \text{ komórki} \times 0,20 \text{ m} = 0,40 \text{ m})$$

**w pionie 0,26 m**

$$(1 \text{ komórka} \times 0,26 \text{ m} = 0,26 \text{ m})$$

Powierzchnia geokraty przenoszona przez 1 szpilkę

$$A_{ss} = 0,40 \times 0,26 = 0,104 \text{ m}^2 < 0,157 \text{ m}^2$$

co daje **zużycie średnio 9,6 szpilki na  $1 \text{ m}^2$  powierzchni skarpy.**



## 2.2. SPRAWDZENIE STATECZNOŚCI SKARPY DLA RÓŻNYCH WARIANTÓW WZMOCNIENIA SKARPY

### 1. Zakres obliczeń

Obliczenia stateczności obejmują cztery profile skarp rozpatrywane wariantowo :

Oznaczenie wariantu	Wysokość skarpy	Zabezpieczenia	Przekrój geotechniczny
BG1_2	2m	geokrata	I-I
BG1_3	3m	geokrata	I-I
BG1_42	4.2m	geokrata	I-I
BG2_42	4.2m	geokrata	II-II
G1_42	4.2m	geokrata+gabion	I-I
GR1_42	4.2m	geokrata+gabion+drenaż	I-I

### 2. Dane geometryczne i materiałowe

Dane geometryczne i materiałowe przygotowano w oparciu o dokumentację : „Opinia geotechniczna, skarpa-obwodnica Wójtowa, pow. Olsztyn”, Badania i Usługi Geotechniczne dr inż. A.Bartoszewicz, 2006r.

### 3. Metodyka obliczeń

Do obliczeń przyjęto uproszczoną metodę pasków w następujących wariantach :

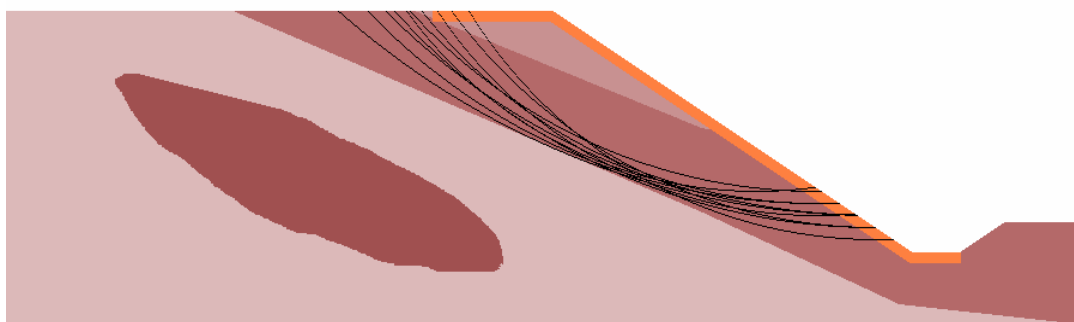
- metoda szwedzka (Felleniusa), oparta na bezpośrednim wyznaczeniu współczynnika stateczności w wyniku porównania sumy momentów sił utrzymujących do sumy momentów sił zsuwających, wynikających z ciężaru własnego oraz obciążeń zewnętrznych bloku ograniczonego walcową linią poślizgu; przyjmuje się, że uskok naziomu jest stateczny, jeśli współczynnik bezpieczeństwa wyznaczony tą metodą nie jest mniejszy od 1.1-1.3 (w zależności od skomplikowania warunków gruntowo-wodnych oraz konsekwencji utraty stateczności);
- 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 (uwaga jak wyżej).

W analizie nie uwzględniono wpływu wody gruntowej. Korona skarpy nie jest obciążona. Obliczenia wykonano przy użyciu programu komputerowego "SlopeFB" (Piotr Srokosz, 2006), którym przeanalizowano cztery profile, uzyskując po dwa współczynniki bezpieczeństwa dla każdego analizowanego koła poślizgu.

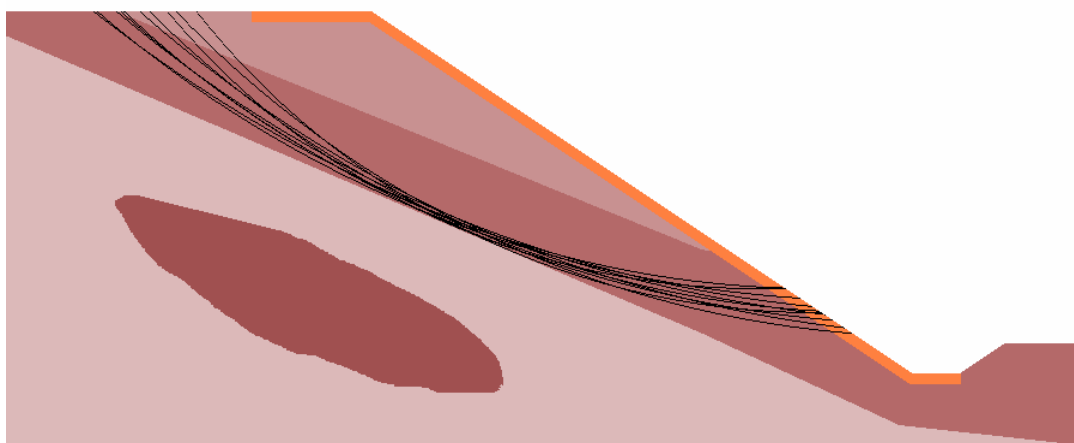
#### 4. Uzyskane wyniki

Analiza ponad 20 000 potencjalnych kół poślizgu pozwoliła sformułować następujące wnioski:

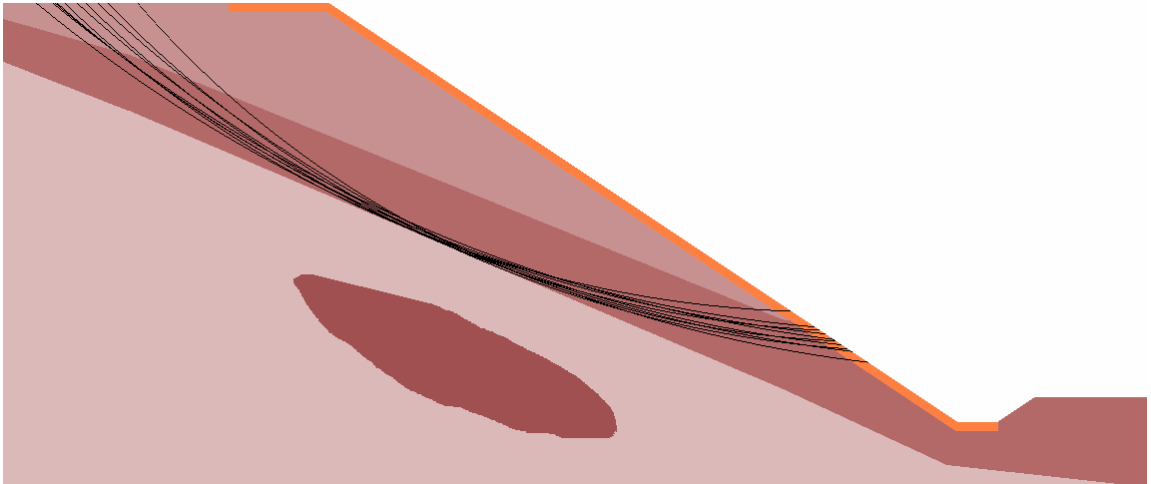
- skarpy we wszystkich analizowanych przypadkach są **globalnie stateczne**; minimalna wartość współczynnika bezpieczeństwa uzyskana metodą Felleniusa wynosi  $F_{\min} = 2.06$  (wg Bishopa 2.10);
- krytyczne powierzchnie poślizgu lokalizują się w najsłabszych przypowierzchniowych warstwach: I ( $G_{\pi z}$ ,  $I_L = 0.6$ ) i Ia ( $I_{\pi}$ ,  $I_L = 0.6$ );
- wysokie wartości współczynnika stateczności wskazują na małe prawdopodobieństwo zniszczenia skarp w schemacie z walcowymi powierzchniami poślizgu, nie wyklucza jednak możliwości wystąpienia innych mechanizmów zniszczenia.



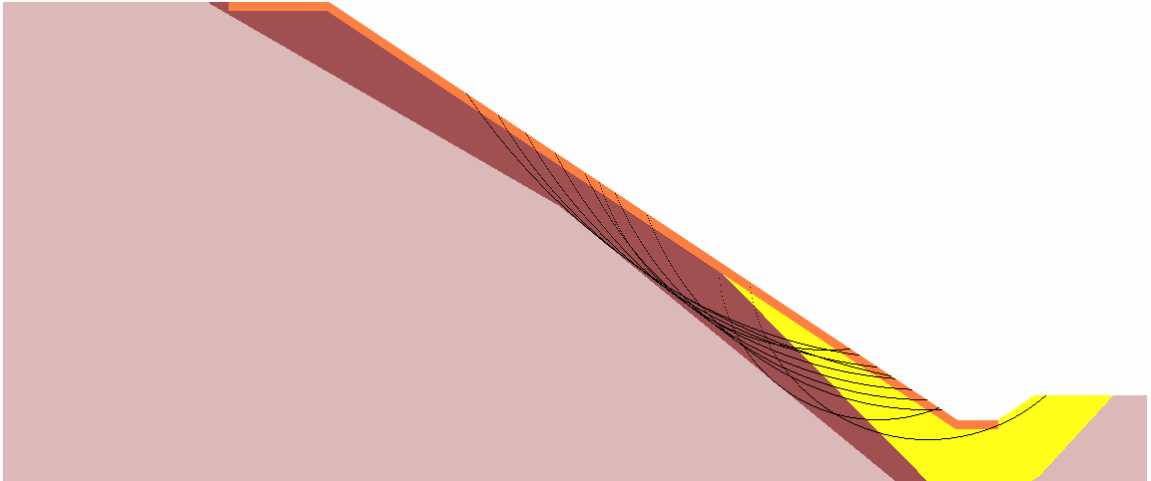
**BG1\_2** : Krytyczne koła poślizgu  $F_{\min} = 3.00$  (Fellenius),  $F_{\min} = 3.11$  (Bishop)



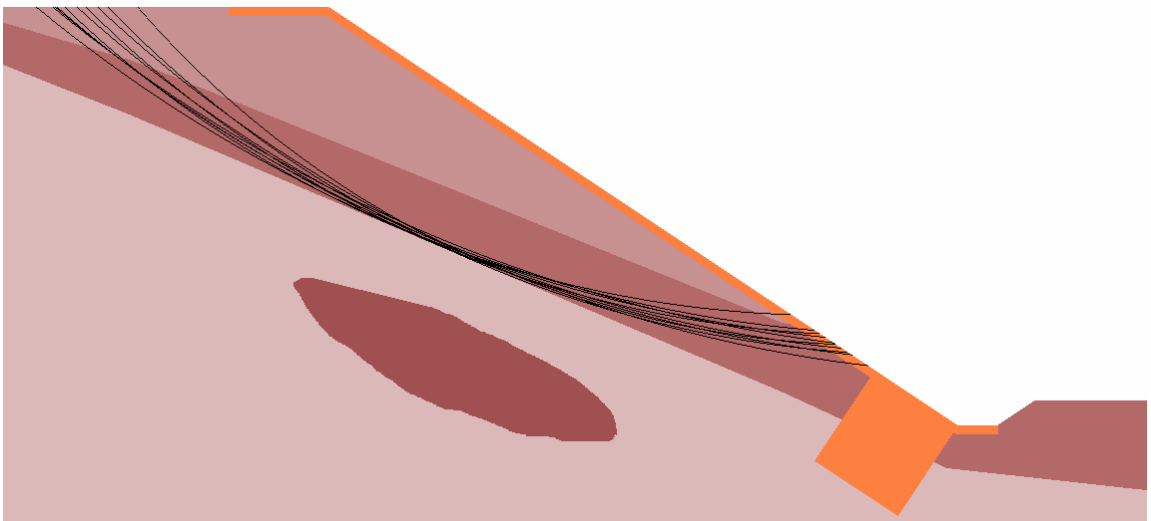
**BG1\_3** : Krytyczne koła poślizgu  $F_{\min} = 2.35$  (Fellenius),  $F_{\min} = 2.40$  (Bishop)



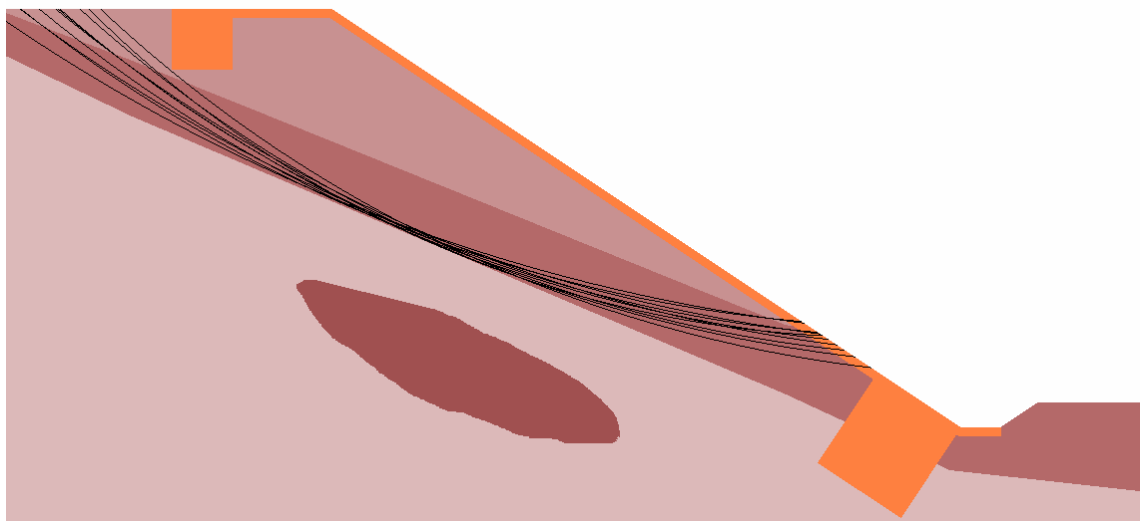
**BG1\_42** : Krytyczne koła poślizgu  $F_{\min}=2.09$  (Fellenius),  $F_{\min}=2.13$  (Bishop)



**BG2\_42** : Krytyczne koła poślizgu  $F_{\min}=2.70$  (Fellenius),  $F_{\min}=3.02$  (Bishop)



**G1\_42** : Krytyczne koła poślizgu  $F_{\min}=2.10$  (Fellenius),  $F_{\min}=2.14$  (Bishop)



**GR1\_42** : Krytyczne koła poślizgu  $F_{\min}=2.06$  (Fellenius),  $F_{\min}=2.10$  (Bishop)

**K O N I E C**