

Analiza stateczności stoku w Ropie

Wykonał:

dr inż. Włodzimierz Grzywacz

.....

Kraków, listopad 2012

Obliczenia przeprowadzono przy pomocy programu numerycznego **PROGEO** opracowanego w **Instytucie Techniki Budowlanej**. Analizę stateczności stoku przeprowadzono metodami: Felleniusa przyjmującą walcową płaszczyznę poślizgu.

W obliczeniach bazowano na 2 przekrojach geologiczno-inżynierskich opracowanych w ramach dokumentacji geologiczno-inżynierskiej. Są to przekroje I-I' oraz II-II' zlokalizowane na przeciwnych zboczach wyschniętego potoku Stolarzówka.

Do obliczeń opracowano 2 schematyczne modele cyfrowe odwzorowujące budowę podłoża biegnące wzdłuż ww. przekrojów. Pierwszy model opiera się na danych przekroju I – I' a drugi z przekroju II – II'.

Budując modele zastosowano z konieczności generalizacji budowy podłoża połączono niektóre warstwy geotechniczne, które nieznacznie różniły się wartościami parametrów geotechnicznych.

W 1 modelu biegnącym po linii przekroju I-I' wydzielono 3 warstwy geotechniczne, w 2 modelu 4 warstwy geotechniczne. W obu modelach zasymulowano obecność wody gruntowej w podłożu.

W obliczeniach obniżono wartości parametrów: kohezji i kąta tarcia wewnętrznego, stosując współczynnik materiałowy $\gamma_m = 0,9$ zgodnie z przyjętymi zasadami w literaturze i nie obowiązującej już normy **PN-81/B-03020**, ale zasadami dalej zalecanymi do stosowania. [1].

Opracowując modele podłoża przyjęto następujące założenia:

1. Do obliczeń przyjęto wartości parametrów określone w warunkach laboratoryjnych, a dla podłoża skalnego z literatury z zastosowaniem współczynnika materiałowego $\gamma_m = 0,9$.
2. Warstwy, które różniły się genetycznie (koluwium zbudowane z ilów oraz ily podłoża), ale litologicznie w swoim składzie były zbliżone oraz o podobnym stopniu plastyczności, połączono w jedną warstwę analityczną.
3. Wg kryteriów przyjętych w literaturze [1, 2, 3] możliwość wystąpienia osuwiska w zależności od wartości współczynnika pewności F , jest następująca:
 - przy $F > 1,5$ bardzo mało prawdopodobne,
 - przy $1,3 < F < 1,5$ mało prawdopodobne,
 - przy $1,0 < F < 1,3$ prawdopodobne,
 - przy $F < 1,0$ bardzo prawdopodobne.

W opracowanym modelu „1” (fig. nr 9.1), biegnącym wzdłuż przekroju geologicznego I – I', o długości 138 m przyjęto, że podłoże składa się z trzech warstw obliczeniowych:

Warstwa 1 – Grunty w stanie twardoplastycznym, są to grunty koluwalne zbudowane z ilów i glin zwięzłych (warstwa geotechniczna IB), oraz ily gliny zwięzłe podłoża naturalnego (warstwa IIB). Dla warstwy tej przyjęto następujące parametry geotechniczne:

- tangens kąta tarcia wewnętrznego $\text{tg}\phi = 0,192$,
- spójność (kohezja) $c = 39,2$ kPa,
- ciężar objętościowy $\gamma = 20,3$ kN/m³.

Warstwa 2 – Grunty w stanie plastycznym, są to zarówno grunty koluwalne zbudowane z ilów i glin zwięzłych, (warstwa geotechniczna IIA), jak i również gruntów podłoża nienaruszonego zbudowanego z ilów (warstwa geotechniczna IIB).

Dla warstwy tej przyjęto następujące parametry geotechniczne:

- tangens kąta tarcia wewnętrznego $\text{tg}\phi = 0,154$,
- spójność (kohezja) $c = 29,3 \text{ kPa}$,
- ciężar objętościowy $\gamma = 21,1 \text{ kN/m}^3$.

Warstwa 3 – Podłoże nienaruszone zbudowane z łupków zaliczanych do gruntów skalistych miękkich (warstwa geotechniczna nr IVA), ze względu na brak możliwości badań „in situ”, oraz charakter utworów (łupki rozprężające się po wyjęciu z próbnika) wartości parametrów dla tej warstwy przyjęto z literatury:

- tangens kąta tarcia wewnętrznego $\text{tg}\phi = 0,382$,
- spójność (kohezja) $c = 90,0 \text{ kPa}$,
- ciężar objętościowy $\gamma = 23,0 \text{ kN/m}^3$.

Cyfrowy zapisy modelu „1” przedstawiono na figurze nr 9.1

W opracowanym modelu w pierwszym kroku analizy, przyjęto wartości parametrów takie jakie podano w powyższym opisie warstw. Zakładano pierwotnie, iż w kolejnych krokach analizy, parametry te będą sukcesywnie obniżane (analiza wsteczna), tak jak może to mieć miejsc np. pod wpływem nawodnienia. Przy wartościach takich jakie stwierdzone w okresie robót geologicznych stok na całej swojej długości wykazywał bardzo wysoką stateczność charakteryzującą się współczynnikiem pewności $F > 100$. Obniżając kolejno parametry aż do poziomu 30% wartości pierwotnej udało się wyinterpretować strefę, w której może przebiegać płaszczyna poślizgu. Strefa taka to obszar gdzie górna krawędź przecięcia się walcowej powierzchni poślizgu z powierzchnia terenu mieści się w granicach $X_A = 1,0 - 7,0 \text{ m}$ a dolna krawędź w granicach $X_B = 120 - 127,0 \text{ m}$. Najniższy współczynnik pewności $F_{\min} = 1,42$ uzyskano dla następujących warunków, górna krawędź przecięcia się walcowej powierzchni poślizgu z powierzchnia terenu występuje w odległości $X_A = 1,0 \text{ m}$ licząc od początku profilu, a dolna krawędź w odległości $X_B = 127,0 \text{ m}$. Wyniki analizy przedstawiono na figurze nr 9.1.a. Rzut tej powierzchni przedstawiono na przekroju geologicznym (fig. Nr 9.1.b). Uzyskany stan stateczności miał miejsce przy założeniu następujących parametrów.

Dla warstwy 1

- tangens kąta tarcia wewnętrznego $\text{tg}\phi = 0,058$,
- spójność (kohezja) $c = 11,76 \text{ kPa}$,
- ciężar objętościowy $\gamma = 20,30 \text{ kN/m}^3$

Dla warstwy 2

- tangens kąta tarcia wewnętrznego $\text{tg}\phi = 0,046$,
- spójność (kohezja) $c = 8,79 \text{ kPa}$,
- ciężar objętościowy $\gamma = 21,1 \text{ kN/m}^3$

Dla warstwy 3

- tangens kąta tarcia wewnętrznego $\text{tg}\phi = 0,115$,
- spójność (kohezja) $c = 27,0 \text{ kPa}$,
- ciężar objętościowy $\gamma = 23,0 \text{ kN/}$

Obniżając parametry do poziomu 20% wartości pierwotnych, stok na całej długości staje się mało stabilny współczynniki pewności są nawet $F < 1$. Taki przypadek w którym parametry wszystkich warstw uległyby tak dużej redukcji wydaje się jednak mało prawdopodobny.

Kończąc analizę na poziomie 30% wartości pierwotnych, jednak istnieje prawdopodobieństwo uaktywnienia się osuwiska w tej strefie stoku.

Model analityczny „2” (fig. 9.2) opracowano dla linii biegnącej przez przekrój geologiczny II – II’

Symulację stateczności prowadzono na powierzchni, którą jest powierzchnia przyjęta w dokumentacji geologicznej.

Schemat podłoża zasymulowano jako układ cztero-warstwowy. Podłoże budują podobne utworu jak w przekroju I-I, ale dochodzi w tym przypadku jeszcze warstwa zbudowana z piaskowców. Parametry charakteryzujące poszczególne warstwy przedstawiono poniżej:

Warstwa 1 – Grunty w stanie twardoplastycznym, są to grunty koluwalne zbudowane z iłów i glin zwięzłych (warstwa geotechniczna IB), oraz ily gliny zwięzłe podłoża naturalnego (warstwa IIB). Dla warstwy tej przyjęto następujące parametry geotechniczne:

- tangens kąta tarcia wewnętrznego $\text{tg}\phi = 0,192$,
- spójność (kohezja) $c = 39,2 \text{ kPa}$,
- ciężar objętościowy $\gamma = 20,3 \text{ kN/m}^3$.

Warstwa 2 – Grunty w stanie plastycznym, są to zarówno grunty koluwalne zbudowane z iłów i glin zwięzłych, (warstwa geotechniczna IIA), jak i również gruntów podłoża nienaruszonego zbudowanego z iłów (warstwa geotechniczna IIB).

Dla warstwy tej przyjęto następujące parametry geotechniczne:

- tangens kąta tarcia wewnętrznego $\text{tg}\phi = 0,154$,
- spójność (kohezja) $c = 29,3 \text{ kPa}$,
- ciężar objętościowy $\gamma = 21,1 \text{ kN/m}^3$.

Warstwa 3 – Podłoże nienaruszone zbudowane z łupków zaliczanych do gruntów skalistych miękkich (warstwa geotechniczna nr IVA), ze względu na brak możliwości badań „in situ”, oraz charakter utworów (łupki rozprężające się po wyjęciu z próbnika) wartości parametrów dla tej warstwy przyjęto z literatury:

- tangens kąta tarcia wewnętrznego $\text{tg}\phi = 0,382$,
- spójność (kohezja) $c = 90,0 \text{ kPa}$,
- ciężar objętościowy $\gamma = 23,0 \text{ kN/m}^3$.

Warstwa 4 – Podłoże nienaruszone zbudowane z piaskowców zaliczanych do gruntów skalistych twardych miękkich (warstwa geotechniczna nr IVB), podobnie jak przy warstwie 3 ze względu na brak możliwości badań „in situ”, a tylko przy takich badaniach można określić kohezję i kąt tarcia wewnętrznego, wartości parametrów dla tej warstwy przyjęto z literatury:

- tangens kąta tarcia wewnętrznego $\text{tg}\phi = 1,152$,
- spójność (kohezja) $c = 90,0 \text{ kPa}$,
- ciężar objętościowy $\gamma = 25,5 \text{ kN/m}^3$.

W pierwszym kroku analizy obejmującej cały stok długości 82,0 m oraz odcinkami po 20 i 30 m zakładając powyższe parametry uzyskano, iż współczynnik pewności (bezpieczeństwa) wynosi $F > 100$. Oznacza to że stok charakteryzuje się dużą stabilnością.

W kolejnych krokach obniżano stopniowo wartości parametrów geotechnicznych po obniżeniu parametrów o 40%, gdzie poszczególne warstwy były opisane następującymi wartościami:

Warstwa 1

- tangens kąta tarcia wewnętrznego $\text{tg}\phi = 0,115$,
- spójność (kohezja) $c = 23,52 \text{ kPa}$,
- ciężar objętościowy $\gamma = 20,3 \text{ kN/m}^3$.

Warstwa 2

- tanges kąta tarcia wewnętrznego $\text{tg}\phi = 0,092$,
- spójność (kohezja) $c = 17,58 \text{ kPa}$,
- ciężar objętościowy $\gamma = 21,1 \text{ kN/m}^3$.

Warstwa 3

- tanges kąta tarcia wewnętrznego $\text{tg}\phi = 0,229$,
- spójność (kohezja) $c = 54,0 \text{ kPa}$,
- ciężar objętościowy $\gamma = 23,0 \text{ kN/m}^3$.

Warstwa 4

- tanges kąta tarcia wewnętrznego $\text{tg}\phi = 1,152$,
- spójność (kohezja) $c = 90,0 \text{ kPa}$,
- ciężar objętościowy $\gamma = 25,5 \text{ kN/m}^3$.

Uzyskano dwie strefy o niskim współczynniku pewności F . Pierwsza strefa to obszar gdzie górna krawędź przecięcia się walcowej powierzchni poślizgu z powierzchnią terenu mieści się w granicach $X_A=0,5-10,5 \text{ m}$ a dolna krawędź w granicach $X_B=65-70,0 \text{ m}$. Najniższy współczynnik pewności $F_{\min}=1,34$ uzyskano dla następujących warunków, górna krawędź przecięcia się walcowej powierzchni poślizgu z powierzchnią terenu występuje w odległości $X_A=3,0 \text{ m}$ licząc od początku profilu, a dolna krawędź w odległości $X_B=69,0 \text{ m}$. Wyniki obliczeń przedstawiono w załączniku nr 9.2.a. Rzut tej powierzchni przedstawiono na przekroju geologicznym (fig. 9.2.c)

Druga strefa to obszar gdzie górna krawędź przecięcia się walcowej powierzchni poślizgu z powierzchnią terenu mieści się w granicach $X_A=25,0-40,0 \text{ m}$ a dolna krawędź w granicach $X_B=70,0-78,0 \text{ m}$. Najniższy współczynnik pewności $F_{\min}=1,20$ uzyskano dla następujących warunków, górna krawędź przecięcia się walcowej powierzchni poślizgu z powierzchnią terenu występuje w odległości $X_A=30,5 \text{ m}$ licząc od początku profilu, a dolna krawędź w odległości $X_B=74,50 \text{ m}$. Wyniki obliczeń przedstawiono w załączniku nr 9.2.b. Rzut tej powierzchni przedstawiono również na fig. nr. 9.2.c.

Ponieważ te dwie strefy na pewnym odcinku nakładają się na siebie nawzajem wykonano kolejny krok uwzględniający górny i dolny fragment stoku. Uzyskano kolejną rozległą strefę o większym współczynniku pewności nieco niższym od $F < 1,50$. Strefa ta jednak obejmuje jednak głębsze podłoże zbudowane z łupków, które jest mniej wrażliwe na wpływ zwiększenia wilgotności pod wpływem wód opadowych, ze względu na głębokość występowania. Najbardziej prawdopodobnym wariantem wystąpienia zdarzeń w tym przypadku jest taka kolejność, że któraś ze stref: górna lub dolna pierwsza ulegnie degradacji. To spowoduje utratę stateczności stoku i uruchomi procesy osuwiskowe w drugiej strefie. Oznacza to, że istnieje prawdopodobieństwo uaktywnienia się osuwiska w tej strefie stoku.

LITERATURA I MATERIAŁY POMOCNICZE

1. **Z. Wiłun „Zarys geotechniki” WKiŁ Warszawa 1982;**
2. **J. Madej „Metody sprawdzania stateczności zboczy” Biblioteka Drogownictwa, WKiŁ Warszawa 1981;**
3. **„Instrukcja obserwacji i badań osuwisk drogowych” Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa 1999**

Model stoku w przekroju I-I' przy warunkach naturalnych

Parametry rysunku: xmin,xmax,ymin,ymax,ilw,dx :
 .00 138.00 .00 402.68 3 1.38

ILOSC PUNKTOW W WARSTWIE = 28

.00	401.00	
9.00	400.00	pow. terenu - strop 1 w-wy
15.00	399.00	
18.00	398.00	
22.00	397.00	
26.00	396.00	
30.00	395.00	
34.00	394.00	
39.00	393.00	
40.00	392.80	
42.00	392.00	
48.00	391.70	
58.00	390.20	
62.00	390.00	
69.00	389.00	
79.00	388.00	
96.00	387.00	
106.00	386.10	
108.00	385.00	
112.00	384.00	
117.00	383.00	
120.00	382.00	
122.00	381.00	
124.00	380.00	
126.00	379.00	
128.00	378.00	
130.00	377.00	
138.00	380.00	

PARAMETRY GRUNTU /c,tfi,gama/ :
 39.20 .19 20.30

ILOSC PUNKTOW W WARSTWIE = 12

.00	398.00	
6.80	397.90	strop 2 w-wy
48.00	389.50	
85.00	387.40	
106.00	384.30	
117.00	383.00	
120.00	382.00	
122.00	381.00	
124.00	380.00	
126.00	379.00	
128.00	378.00	
130.00	377.00	

PARAMETRY GRUNTU /c,tfi,gama/ :
 90.00 .15 23.00

ILOSC PUNKTOW W WARSTWIE = 6

.00	398.00	
6.80	397.90	strop 3 w-wy
48.00	388.40	
85.00	384.20	
117.00	380.60	
130.00	377.00	

PARAMETRY GRUNTU /c,tfi,gama/ :
 90.00 .38 23.00

ILOSC PUNTOW W WARSTWIE = 4
 .00 398.00
 6.80 397.90 zw. wody gruntowej
 48.00 387.20
 130.00 377.00
 PARAMETRY GRUNTU /c,tfi,gama/ :
 .00 .00 .00

Figura nr 9.1.a

Przekroj I-I',parametry obnizone o 70%

 METODA FELLENIUSA

Badanie statecznosci skarpy przy walcowych
 powierzchniach poslizgu.A i B sa punktami
 przeciecia pow.poslizgu z pow. skarpy.

PARAMETRY GRUNTU :

 warstwa 1 c = 11.76 tan(fi) = .06 gama = 20.30
 warstwa 2 c = 8.79 tan(fi) = .46 gama = 21.10
 warstwa 3 c = 27.00 tan(fi) = .12 gama = 23.00

 POSZUKIWANIE MINIMALNEGO F(XA,XB,R)

Ponizsze wartosci sa wynikiem minimalizacji po r
 przy podanych wartosciach xa i xb
 Punkt A lezy w przedziale (1.00, 30.00)
 Punkt B lezy w przedziale (105.00,125.00)

xa =	1.00	xb =	125.00	F min =	1.42	R min =	94.37
xa =	2.00	xb =	125.00	F min =	1.42	R min =	93.62
xa =	3.00	xb =	125.00	F min =	1.44	R min =	92.87
xa =	4.00	xb =	125.00	F min =	1.45	R min =	92.11
xa =	5.00	xb =	125.00	F min =	1.46	R min =	91.36
xa =	6.00	xb =	125.00	F min =	1.48	R min =	90.61
xa =	7.00	xb =	125.00	F min =	1.49	R min =	89.85
xa =	1.00	xb =	124.00	F min =	1.43	R min =	93.57
xa =	2.00	xb =	124.00	F min =	1.44	R min =	92.82
xa =	3.00	xb =	124.00	F min =	1.45	R min =	92.06
xa =	4.00	xb =	124.00	F min =	1.47	R min =	91.31
xa =	5.00	xb =	124.00	F min =	1.48	R min =	90.56
xa =	6.00	xb =	124.00	F min =	1.49	R min =	89.80
xa =	1.00	xb =	123.00	F min =	1.45	R min =	92.77
xa =	2.00	xb =	123.00	F min =	1.46	R min =	92.02
xa =	3.00	xb =	123.00	F min =	1.47	R min =	91.26
xa =	4.00	xb =	123.00	F min =	1.49	R min =	90.51
xa =	1.00	xb =	122.00	F min =	1.47	R min =	91.97
xa =	2.00	xb =	122.00	F min =	1.48	R min =	91.21
xa =	3.00	xb =	122.00	F min =	1.49	R min =	90.46
xa =	1.00	xb =	121.00	F min =	1.48	R min =	91.17
xa =	2.00	xb =	121.00	F min =	1.49	R min =	90.41
xa =	1.00	xb =	120.00	F min =	1.50	R min =	90.37

W wyniku przeszukiwania podanej siatki
 znaleziona zostala minimalna wartosc :

F min = 1.42

Promień okręgu = 94.37
 Środek okręgu w O(74.96, 459.51)
 XA = 1.00 XB = 125.00

Figura nr 9.1.b

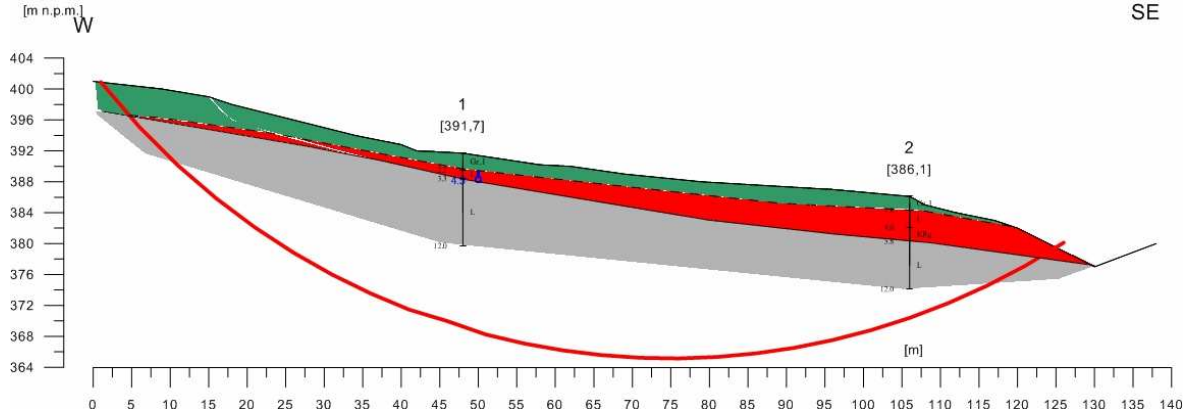


Figura nr 9.2

Model stoku w przekroju II-II' przy warunkach naturalnych

Parametry rysunku: xmin,xmax,ymin,ymax,ilw,dx :
 .00 92.00 .00 436.70 4 .92

ILOSC PUNKTOW W WARSTWIE = 13

.00	397.00	
10.00	396.50	pow. terenu - strop 1 w-wy
16.00	395.00	
21.00	394.00	
30.00	393.00	
38.00	392.00	
42.00	390.80	
47.00	390.00	
62.00	385.00	
75.00	380.00	
78.00	379.00	
82.00	377.00	
92.00	380.00	

PARAMETRY GRUNTU /c,tfi,gama/ :
 39.20 .19 20.30

ILOSC PUNKTOW W WARSTWIE = 7

.00	395.50	
10.00	395.00	strop 2 w-wy
42.00	387.80	
62.00	385.00	
75.00	380.00	
78.00	379.00	
82.00	377.00	

PARAMETRY GRUNTU /c,tfi,gama/ :
 29.30 .15 21.10

ILOSC PUNKTOW W WARSTWIE = 5

.00	390.50	
10.00	389.50	strop 3 w-wy
42.00	384.00	


```

62.00 380.50
82.00 377.00
PARAMETRY GRUNTU /c,tfi,gama/ :
90.00 .38 23.00

ILOSC PUNKTOW W WARSTWIE = 3
.00 388.00
42.00 376.00      strop 4 w-wy
82.00 373.50
PARAMETRY GRUNTU /c,tfi,gama/ :
90.00 1.15 25.50

ILOSC PUNKTOW W WARSTWIE = 4
.00 395.00
10.00 395.00      zw. wody gruntowej
42.00 387.30
82.00 377.00
PARAMETRY GRUNTU /c,tfi,gama/ :
.00 .00 .00

```

Figura 9.2.a

Przekroj II-II' stok gorny, parametry w-w 1-3 obnizone o 40%

 METODA FELLENIUSA

Badanie statecznosci skarpy przy walcowych
 powierzchniach poslizgu. A i B sa punktami
 przeciecia pow. poslizgu z pow. skarpy.

PARAMETRY GRUNTU :

 warstwa 1 c = 23.52 tan(fi) = .12 gama = 20.30
 warstwa 2 c = 17.58 tan(fi) = .09 gama = 21.10
 warstwa 3 c = 54.00 tan(fi) = .23 gama = 23.00
 warstwa 4 c = 90.00 tan(fi) = 1.15 gama = 25.50

 POSZUKIWANIE MINIMALNEGO F(XA, XB, R)

Ponizsze wartosci sa wynikiem minimalizacji po r
 przy podanych wartosciach xa i xb
 Punkt A lezy w przedziale (.50, 10.50)
 Punkt B lezy w przedziale (60.00, 70.00)

xa =	.50	xb =	70.00	F min =	1.36	R min =	160.00
xa =	1.00	xb =	70.00	F min =	1.36	R min =	158.89
xa =	1.50	xb =	70.00	F min =	1.37	R min =	157.78
xa =	2.00	xb =	70.00	F min =	1.37	R min =	156.67
xa =	2.50	xb =	70.00	F min =	1.39	R min =	155.56
xa =	3.00	xb =	70.00	F min =	1.39	R min =	154.45
xa =	3.50	xb =	70.00	F min =	1.40	R min =	153.34
xa =	4.00	xb =	70.00	F min =	1.40	R min =	152.23
xa =	4.50	xb =	70.00	F min =	1.35	R min =	134.33
xa =	5.00	xb =	70.00	F min =	1.35	R min =	133.34
xa =	5.50	xb =	70.00	F min =	1.36	R min =	132.35
xa =	6.00	xb =	70.00	F min =	1.36	R min =	131.37
xa =	6.50	xb =	70.00	F min =	1.36	R min =	130.38
xa =	7.00	xb =	70.00	F min =	1.38	R min =	129.40
xa =	7.50	xb =	70.00	F min =	1.38	R min =	128.41
xa =	9.50	xb =	70.00	F min =	1.34	R min =	108.92
xa =	10.00	xb =	70.00	F min =	1.36	R min =	108.05
xa =	10.50	xb =	70.00	F min =	1.36	R min =	107.15
xa =	.50	xb =	69.50	F min =	1.38	R min =	158.81

xa =	1.00	xb =	69.50	F min =	1.38	R min =	157.70
xa =	1.50	xb =	69.50	F min =	1.39	R min =	156.59
xa =	2.00	xb =	69.50	F min =	1.39	R min =	155.48
xa =	2.50	xb =	69.50	F min =	1.40	R min =	154.36
xa =	3.00	xb =	69.50	F min =	1.40	R min =	153.25
xa =	3.50	xb =	69.50	F min =	1.35	R min =	135.24
xa =	4.00	xb =	69.50	F min =	1.35	R min =	134.25
xa =	4.50	xb =	69.50	F min =	1.36	R min =	133.27
xa =	5.00	xb =	69.50	F min =	1.36	R min =	132.28
xa =	5.50	xb =	69.50	F min =	1.37	R min =	131.29
xa =	6.00	xb =	69.50	F min =	1.38	R min =	130.31
xa =	6.50	xb =	69.50	F min =	1.37	R min =	129.32
xa =	7.00	xb =	69.50	F min =	1.39	R min =	128.34
xa =	7.50	xb =	69.50	F min =	1.40	R min =	127.35
xa =	9.00	xb =	69.50	F min =	1.36	R min =	108.85
xa =	9.50	xb =	69.50	F min =	1.36	R min =	107.99
xa =	10.00	xb =	69.50	F min =	1.38	R min =	107.12
xa =	10.50	xb =	69.50	F min =	1.37	R min =	106.22
xa =	.50	xb =	69.00	F min =	1.39	R min =	157.62
xa =	1.00	xb =	69.00	F min =	1.39	R min =	156.51
xa =	3.00	xb =	69.00	F min =	1.34	R min =	135.17
xa =	3.50	xb =	69.00	F min =	1.36	R min =	134.18
xa =	4.00	xb =	69.00	F min =	1.36	R min =	133.19
xa =	4.50	xb =	69.00	F min =	1.37	R min =	132.21
xa =	5.00	xb =	69.00	F min =	1.37	R min =	131.22
xa =	5.50	xb =	69.00	F min =	1.39	R min =	130.23
xa =	6.00	xb =	69.00	F min =	1.39	R min =	129.25
xa =	6.50	xb =	69.00	F min =	1.39	R min =	128.26
xa =	8.00	xb =	69.00	F min =	1.34	R min =	109.64
xa =	8.50	xb =	69.00	F min =	1.35	R min =	108.78
xa =	9.00	xb =	69.00	F min =	1.37	R min =	107.92
xa =	9.50	xb =	69.00	F min =	1.37	R min =	107.06
xa =	10.00	xb =	69.00	F min =	1.39	R min =	106.20
xa =	10.50	xb =	69.00	F min =	1.39	R min =	105.29
xa =	2.00	xb =	68.50	F min =	1.36	R min =	136.08
xa =	2.50	xb =	68.50	F min =	1.37	R min =	135.09
xa =	3.00	xb =	68.50	F min =	1.37	R min =	134.11
xa =	3.50	xb =	68.50	F min =	1.39	R min =	133.12
xa =	4.00	xb =	68.50	F min =	1.39	R min =	132.13
xa =	7.00	xb =	68.50	F min =	1.35	R min =	110.44
xa =	7.50	xb =	68.50	F min =	1.35	R min =	109.57
xa =	8.00	xb =	68.50	F min =	1.37	R min =	108.71
xa =	8.50	xb =	68.50	F min =	1.37	R min =	107.85
xa =	9.00	xb =	68.50	F min =	1.40	R min =	106.99
xa =	1.00	xb =	68.00	F min =	1.36	R min =	137.00
xa =	1.50	xb =	68.00	F min =	1.38	R min =	136.01
xa =	2.00	xb =	68.00	F min =	1.37	R min =	135.02
xa =	2.50	xb =	68.00	F min =	1.39	R min =	134.04
xa =	3.00	xb =	68.00	F min =	1.38	R min =	133.05
xa =	6.50	xb =	68.00	F min =	1.35	R min =	110.37
xa =	7.00	xb =	68.00	F min =	1.36	R min =	109.51
xa =	7.50	xb =	68.00	F min =	1.36	R min =	108.65
xa =	8.00	xb =	68.00	F min =	1.39	R min =	107.78
xa =	8.50	xb =	68.00	F min =	1.39	R min =	106.92
xa =	.50	xb =	67.50	F min =	1.39	R min =	136.93
xa =	1.00	xb =	67.50	F min =	1.39	R min =	135.94
xa =	2.00	xb =	67.50	F min =	1.40	R min =	133.97
xa =	5.50	xb =	67.50	F min =	1.38	R min =	111.17
xa =	6.00	xb =	67.50	F min =	1.37	R min =	110.31
xa =	6.50	xb =	67.50	F min =	1.37	R min =	109.44
xa =	7.00	xb =	67.50	F min =	1.39	R min =	108.58
xa =	7.50	xb =	67.50	F min =	1.39	R min =	107.72
xa =	4.50	xb =	67.00	F min =	1.38	R min =	111.97
xa =	5.00	xb =	67.00	F min =	1.37	R min =	111.11
xa =	5.50	xb =	67.00	F min =	1.39	R min =	110.24
xa =	6.00	xb =	67.00	F min =	1.39	R min =	109.38

xa =	6.50	xb =	67.00	F min =	1.39	R min =	108.52
xa =	4.00	xb =	66.50	F min =	1.39	R min =	111.91
xa =	3.00	xb =	66.00	F min =	1.39	R min =	112.71
xa =	9.00	xb =	66.00	F min =	1.40	R min =	87.73
xa =	7.50	xb =	65.00	F min =	1.40	R min =	88.35

W wyniku przeszukiwania podanej siatki
znaleziona została minimalna wartość :
F min = 1.34

Promień okręgu = 135.17
Środek okręgu w O(64.16, 517.39)
XA = 3.00 XB = 69.00

Figura nr 9.2.b

Przekroj II-II, dolny stok, parametry warstw 1-3 obniżone o 40%

METODA FELLENIUSA

Badanie stateczności skarpy przy walcowych
powierzchniach poślizgu. A i B są punktami
przecięcia pow. poślizgu z pow. skarpy.

PARAMETRY GRUNTU :

warstwa 1	c = 23.52	tan(fi) =	.12	gama =	20.30
warstwa 2	c = 17.58	tan(fi) =	.09	gama =	21.10
warstwa 3	c = 54.00	tan(fi) =	.23	gama =	23.00
warstwa 4	c = 90.00	tan(fi) =	1.15	gama =	25.50

POSZUKIWANIE MINIMALNEGO F(XA, XB, R)

Poniższe wartości są wynikiem minimalizacji po r
przy podanych wartościach xa i xb
Punkt A leży w przedziale (25.00, 40.00)
Punkt B leży w przedziale (70.00, 80.00)

xa =	27.00	xb =	78.00	F min =	1.25	R min =	105.95
xa =	25.00	xb =	77.00	F min =	1.25	R min =	107.82
xa =	25.50	xb =	77.00	F min =	1.26	R min =	106.83
xa =	29.50	xb =	77.00	F min =	1.23	R min =	86.52
xa =	30.00	xb =	77.00	F min =	1.25	R min =	85.66
xa =	30.50	xb =	77.00	F min =	1.25	R min =	84.79
xa =	29.00	xb =	76.50	F min =	1.25	R min =	86.47
xa =	29.50	xb =	76.50	F min =	1.25	R min =	85.60
xa =	27.50	xb =	76.00	F min =	1.24	R min =	88.15
xa =	28.00	xb =	76.00	F min =	1.24	R min =	87.29
xa =	29.00	xb =	76.00	F min =	1.25	R min =	85.55
xa =	29.50	xb =	76.00	F min =	1.25	R min =	84.68
xa =	33.50	xb =	76.00	F min =	1.23	R min =	66.62
xa =	26.50	xb =	75.50	F min =	1.24	R min =	88.97
xa =	27.00	xb =	75.50	F min =	1.24	R min =	88.10
xa =	32.50	xb =	75.50	F min =	1.23	R min =	67.32
xa =	25.50	xb =	75.00	F min =	1.23	R min =	89.79
xa =	26.00	xb =	75.00	F min =	1.23	R min =	88.92
xa =	26.50	xb =	75.00	F min =	1.25	R min =	88.05
xa =	27.00	xb =	75.00	F min =	1.25	R min =	87.18
xa =	31.50	xb =	75.00	F min =	1.22	R min =	68.02
xa =	32.00	xb =	75.00	F min =	1.24	R min =	67.28
xa =	32.50	xb =	75.00	F min =	1.24	R min =	66.53

xa = 25.00	xb = 74.50	F min =	1.22	R min =	89.73
xa = 25.50	xb = 74.50	F min =	1.24	R min =	88.86
xa = 26.00	xb = 74.50	F min =	1.24	R min =	87.99
xa = 26.50	xb = 74.50	F min =	1.26	R min =	87.12
xa = 30.50	xb = 74.50	F min =	1.20	R min =	68.71
xa = 31.00	xb = 74.50	F min =	1.23	R min =	67.97
xa = 31.50	xb = 74.50	F min =	1.23	R min =	67.22
xa = 32.00	xb = 74.50	F min =	1.25	R min =	66.47
xa = 32.50	xb = 74.50	F min =	1.25	R min =	65.73
xa = 29.50	xb = 74.00	F min =	1.21	R min =	69.40
xa = 30.00	xb = 74.00	F min =	1.24	R min =	68.66
xa = 30.50	xb = 74.00	F min =	1.23	R min =	67.91
xa = 28.50	xb = 73.50	F min =	1.23	R min =	70.09
xa = 29.00	xb = 73.50	F min =	1.22	R min =	69.35
xa = 29.50	xb = 73.50	F min =	1.22	R min =	68.60
xa = 30.00	xb = 73.50	F min =	1.25	R min =	67.86
xa = 30.50	xb = 73.50	F min =	1.24	R min =	67.11
xa = 35.50	xb = 73.50	F min =	1.24	R min =	49.71
xa = 36.00	xb = 73.50	F min =	1.23	R min =	49.09
xa = 27.00	xb = 73.00	F min =	1.22	R min =	71.53
xa = 27.50	xb = 73.00	F min =	1.24	R min =	70.78
xa = 28.00	xb = 73.00	F min =	1.24	R min =	70.04
xa = 29.00	xb = 73.00	F min =	1.25	R min =	68.55
xa = 29.50	xb = 73.00	F min =	1.25	R min =	67.80
xa = 34.50	xb = 73.00	F min =	1.23	R min =	50.29
xa = 35.00	xb = 73.00	F min =	1.23	R min =	49.67
xa = 26.00	xb = 72.50	F min =	1.21	R min =	72.22
xa = 26.50	xb = 72.50	F min =	1.24	R min =	71.47
xa = 27.00	xb = 72.50	F min =	1.23	R min =	70.73
xa = 27.50	xb = 72.50	F min =	1.25	R min =	69.98
xa = 28.00	xb = 72.50	F min =	1.25	R min =	69.24
xa = 33.00	xb = 72.50	F min =	1.22	R min =	51.48
xa = 33.50	xb = 72.50	F min =	1.22	R min =	50.86
xa = 34.00	xb = 72.50	F min =	1.25	R min =	50.24
xa = 34.50	xb = 72.50	F min =	1.24	R min =	49.62
xa = 35.00	xb = 72.50	F min =	1.24	R min =	49.00
xa = 25.00	xb = 72.00	F min =	1.23	R min =	72.91
xa = 25.50	xb = 72.00	F min =	1.25	R min =	72.17
xa = 26.00	xb = 72.00	F min =	1.24	R min =	71.42
xa = 32.00	xb = 72.00	F min =	1.23	R min =	52.06
xa = 32.50	xb = 72.00	F min =	1.23	R min =	51.44
xa = 33.00	xb = 72.00	F min =	1.25	R min =	50.82
xa = 33.50	xb = 72.00	F min =	1.25	R min =	50.19
xa = 25.00	xb = 71.50	F min =	1.24	R min =	72.11
xa = 26.00	xb = 71.50	F min =	1.25	R min =	70.62
xa = 31.00	xb = 71.50	F min =	1.22	R min =	52.64
xa = 31.50	xb = 71.50	F min =	1.21	R min =	52.01
xa = 32.00	xb = 71.50	F min =	1.24	R min =	51.39
xa = 32.50	xb = 71.50	F min =	1.24	R min =	50.77
xa = 40.00	xb = 71.50	F min =	1.25	R min =	33.07
xa = 25.00	xb = 71.00	F min =	1.27	R min =	71.32
xa = 25.50	xb = 71.00	F min =	1.29	R min =	70.57
xa = 26.00	xb = 71.00	F min =	1.28	R min =	69.82
xa = 27.00	xb = 71.00	F min =	1.30	R min =	68.33
xa = 30.00	xb = 71.00	F min =	1.23	R min =	53.21
xa = 30.50	xb = 71.00	F min =	1.22	R min =	52.59
xa = 31.00	xb = 71.00	F min =	1.25	R min =	51.97
xa = 31.50	xb = 71.00	F min =	1.25	R min =	51.35
xa = 29.50	xb = 70.50	F min =	1.22	R min =	53.17
xa = 30.00	xb = 70.50	F min =	1.25	R min =	52.55
xa = 30.50	xb = 70.50	F min =	1.23	R min =	51.93
xa = 29.00	xb = 70.00	F min =	1.25	R min =	53.12
xa = 29.50	xb = 70.00	F min =	1.25	R min =	52.50

W wyniku przeszukiwania podanej siatki
znaleziona została minimalna wartość :

$$F_{\min} = 1.20$$

Promień okręgu = 68.71
Środek okręgu w $O(70.52, 448.79)$
 $XA = 30.50$ $XB = 74.50$

Figura nr 9.2.c

