

Wpływ zaburzeń glacitektonicznych w iłach neogeńskich na warunki stateczności na przykładzie skarpy warszawskiej

*dr hab. Paweł Dobak **, *dr inż. Łukasz Kaczmarek ***,
*dr inż. Kamil Kiełbasiński **, *dr hab. Sebastian Kowalczyk **

**Uniwersytet Warszawski - Wydział Geologii*

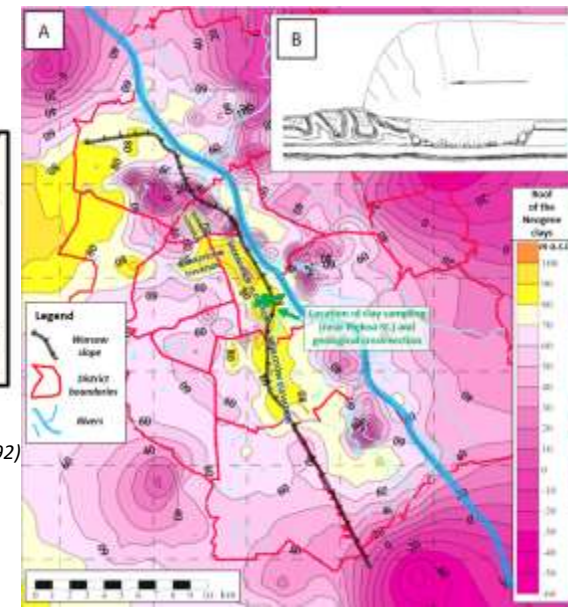
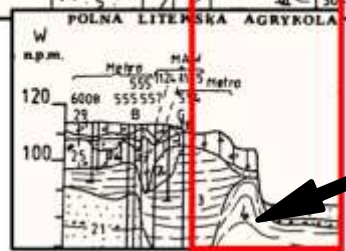
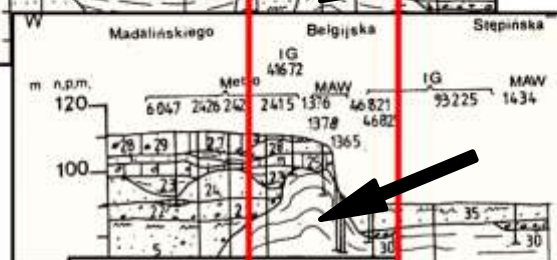
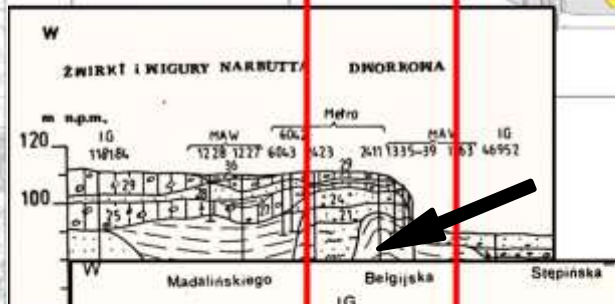
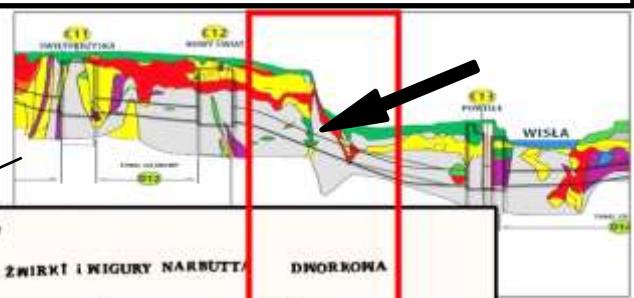
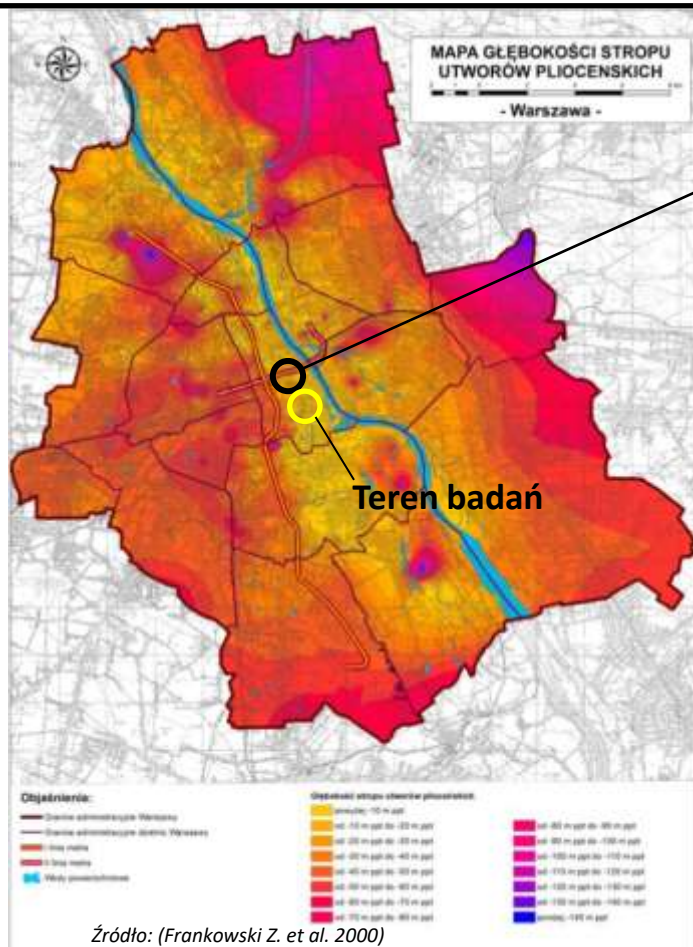
***Politechnika Warszawska - Wydział Instalacji Budowlanych,
Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska*



Dr inż. Kamil Kiełbasiński

Uniwersytet Warszawski Wydział Geologii

Zaburzenia powierzchni stropowej itów neogeńskich w makroskali



Źródło:
(Sarnacka Z., 1992)

Zaburzenia powierzchni stropowej iłłów neogeńskich w makroskali

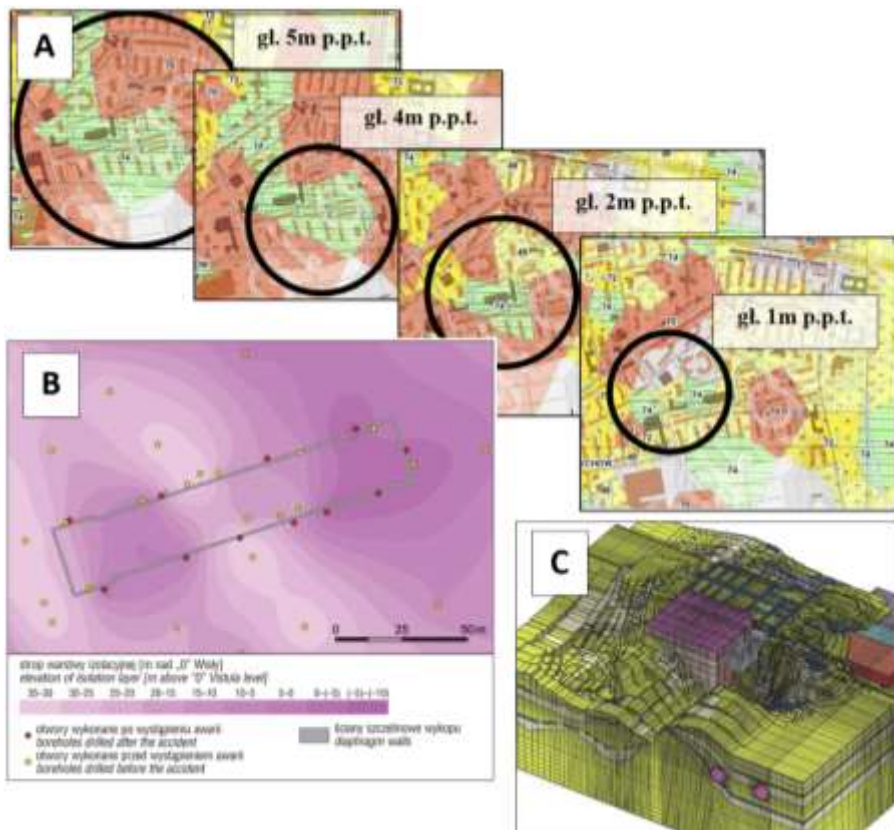


Fig. ←.

A) Fragmenty mapy geologiczno-inżynierskiej (Frankowski i in., 2000); na głębokościach 5m, 4m, 2m, 1m p.p.t. z obszaru Woli. Grunt oznaczony zielonym kolorem z numerem 74 odpowiada iłłom neogeńskim

B) Fragment mapy stropu warstwy izolacyjnej, tj. iłłów neogeńskich w Warszawie (dokładna lokalizacja zastrzeżona; Jaros i Szlaska, 2014);

C) Przestrzenny numeryczny model stacji metra A14 w Warszawie z dyskretyzowaną budową geologiczną obejmującą głównie iłły neogeńskie, bez utworów przypowierzchniowych (Popielski i Siemińska-Lewandowska, 2016)

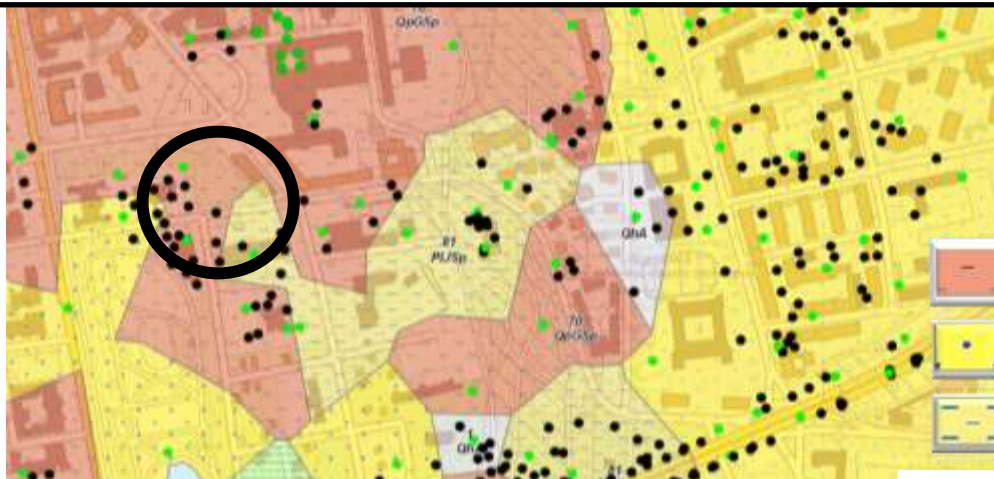
Lokalizacja terenu badań

Warszawa, ul. Piękna na wysokości ulicy Johna Lennona



Lokalne zaburzenia powierzchni stropowej iłów neogeńskich w obszarze badań na podstawie Atlasu geologiczno-inżynierskiego Warszawy

4 m ppt

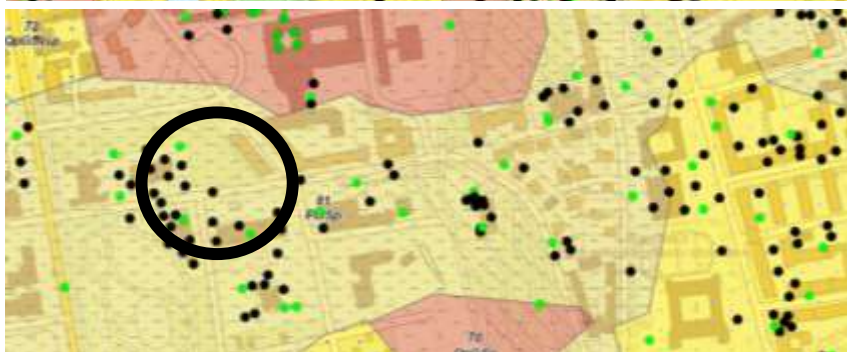


70 - QpGSp - plejstocen, lodowcowe grunty spoiste

72 - QpGfNsp - plejstocen, wodno-lodowcowe grunty niespoiste

81 - PIJSp - pliocen, jeziorne grunty spoiste

8 m ppt



Drilling I		Elevation 110.7 [m b.t.s.]		
Depth to water table	Depth [m b.t.s.]	Lithological profile	Layer thickness [m]	Soil description Stratigraphy
	1,0		2,4	Man-made soil Contemporary
	3,0		1,6	Clay sand Quaternary
	5,0		0,8	Till Quaternary
Not drilled	7,0		4,5	Clay Neogen
	9,0			
	11,0			
				High probability extrapolation

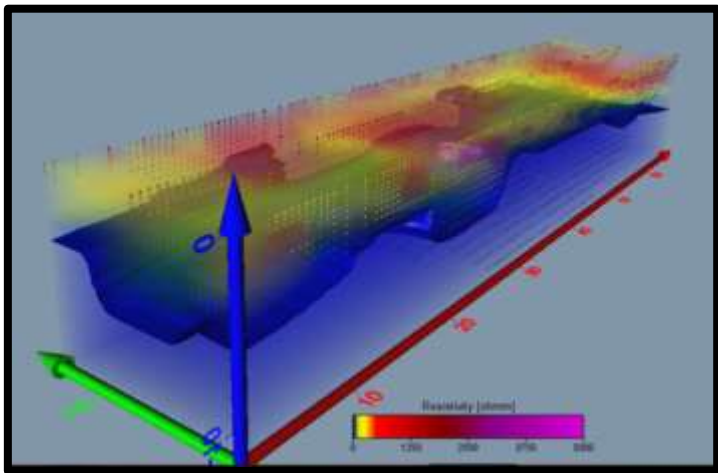
Drillings separated from each other by a distance of 7 m

Drilling II		Elevation 110.7 [m b.t.s.]		
Depth to water table	Depth [m b.t.s.]	Lithological profile	Layer thickness [m]	Soil description Stratigraphy
	1,0		1,0	Man-made soil Contemporary
	3,0		4,0	Clay sand Quaternary
	5,0		0,9	Till Quaternary
Not drilled	7,0			
	9,0			
	11,0			
	13,0		12,5	Sand interlayered by till Quaternary
	15,0			
	17,0			

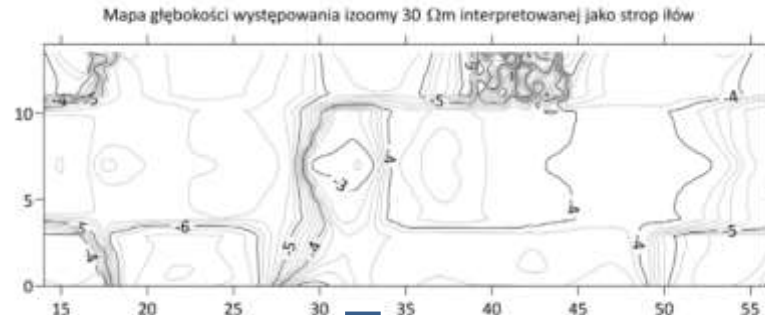
Źródło <https://geolog.pgi.gov.pl/> (Atlas geologiczno-inżynierski Warszawy)

Rozpoznanie przebiegu stropu osadów neogeńskich z wykorzystaniem tomografii elektrooporowej w wariancie quasi 3D

- Pomiar ERI wykonano, aparaturą Terrameter LS szwedzkiej firmy ABEM
- wzdłuż trzech 70 metrowych linii pomiarowych oddalonych od siebie o 7 m.
- Rozstaw elektrod na każdej z linii wynosił 1 m. Wykorzystano układ gradientowy

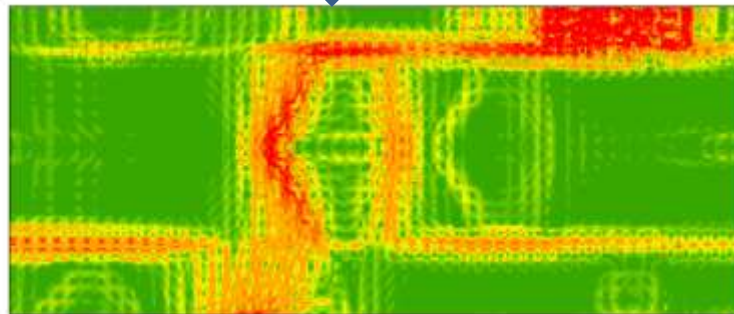
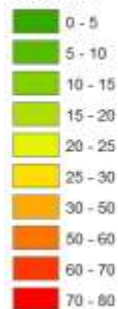


*Strop gruntów o niskiej oporności
zaznaczony odcieniami barwy niebieskiej*

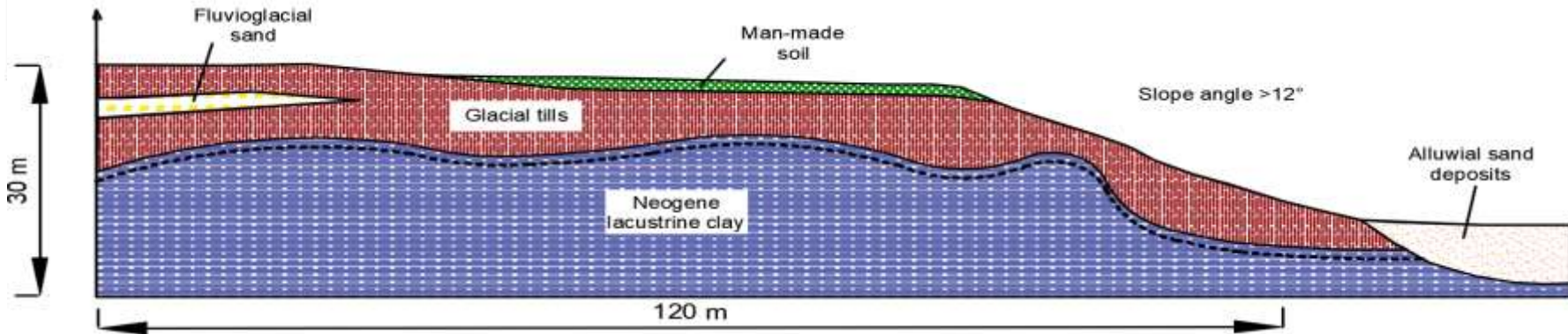
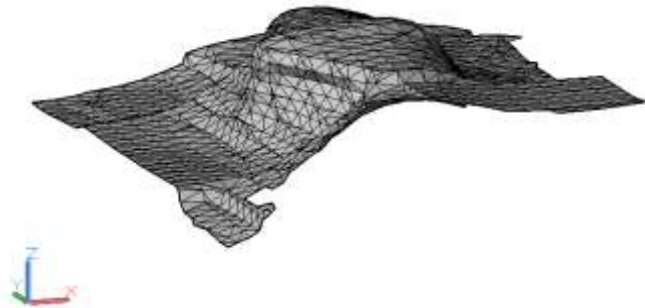
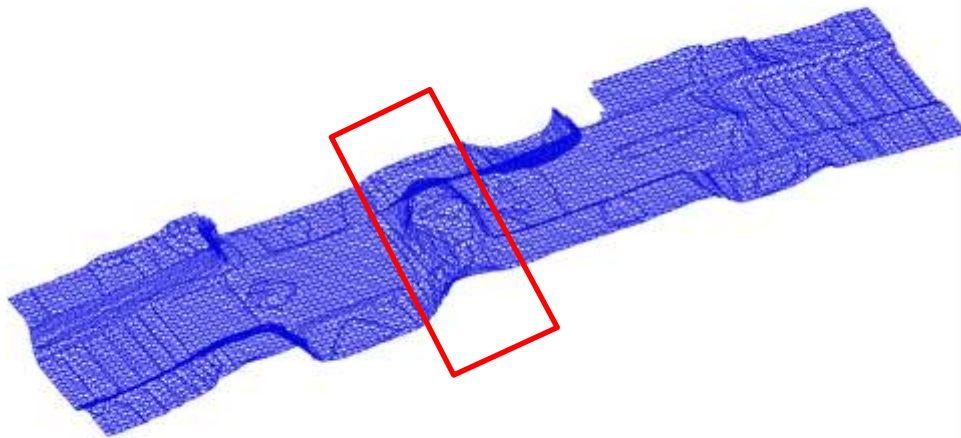


Spadki [%]

<VALUE>



Rozpoznanie przebiegu stropu osadów neogeńskich z wykorzystaniem tomografii elektrooporowej w wariancie quasi 3d - mezoskala



Przemienność parametrów strefy stropowej iłów neogeńskich

Dodatkowe zróżnicowanie na cele analizy parametrycznej (analiza „wrażliwości” modelu)

Il neogen. poddany oddziaływaniu egzogenicznym czynnikom takim jak wahania zw. w. gruntowych oraz wcześniej glaciektonice

(1) 0,7x c'=12,5 kPa; $\phi'=12,2^\circ$ →
 (2) 0,55x 0,7x c'=9,8kPa; $\phi'=12,2^\circ$
 (3) 0,7x 0,9x c'=12,5kPa; $\phi'=15,8^\circ$;
 (4) 0,55x 0,9x c'=9,8kPa; $\phi'=15,8$

Clay parameters	Unit weight [kN/m ³]	Friction angle °	Cohesion kPa
Week layer	17.6	9.7	10.0
	18.6	12.2	9.8
	18.6	12.2	12.5
	18.6	13.0	15.0
	18.6	13.0	17.5
	20.1	15.8	9.8
	20.1	15.8	12.5
	21	22.0	0.0
Undisturbed layer	20.1	17.5	17.8
	21	22.0	22.0
	21	22.0	55.0

Prof. Kaczyński 2003, 2007

dla iłów z Warszawy: $C_{zw} = 0,55-0,70 C_{noz}$
 $\phi_{zw} = 0,70-0,90 \phi_{noz}$

Badania własne $\phi'=17.5$; $c'=17.8$
 Kaczmarek, Dobak, Szczepański i Kiełbasiński – w druku; badania własne iłów neog. w granicach wysoczyzny z okolicy ul. Pięknej (tj. silnie zaburzonych glaciektonicznie) pobranych z gł. ok. 10 m

Kaczyński, 2007
 $c^*=0,4 c_{NNS}$; $\phi^*\approx\phi_{NNS}$
 *glaciektonicznie naruszona struktura

Kaczyński, 2007 – parametry max określone w oparciu o wyniki badań iłów neogeńskich z obszaru Warszawy



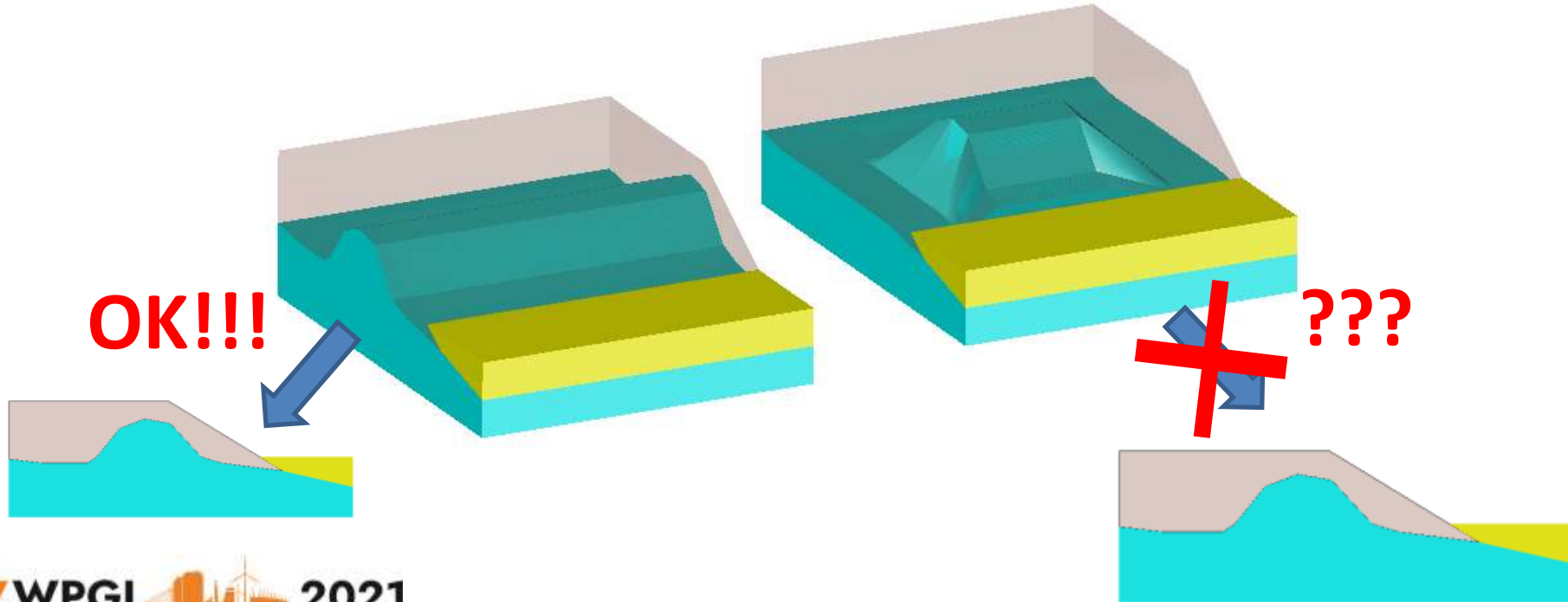
Dobór metodyki oraz modelu obliczeniowego

Ocena wpływu geometrii wyniesienia na stateczność skarpy

Płaski Stan Odształcenia (PSO)

czy

Przestrzennym Stanie Naprężenia (PSN)



Rezultaty modelowania MES 3D

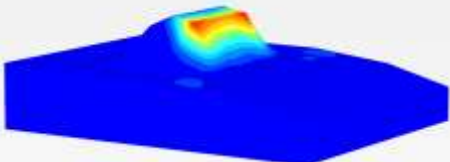
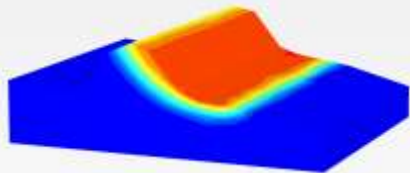
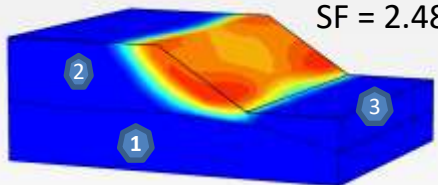
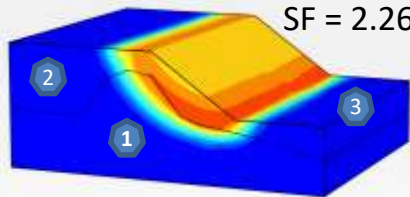
Mapy przemieszczenia

WARIANT 1

warstwa nr 1 – łł (FCl/siFCl – $\phi' = 22^\circ$ $c' = 55$ kPa)

SF = 2.26

SF = 2.48

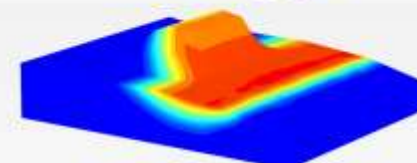
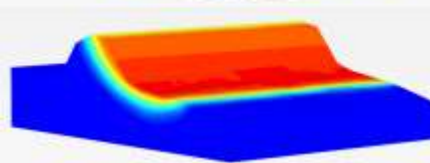
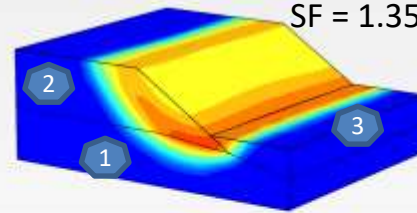
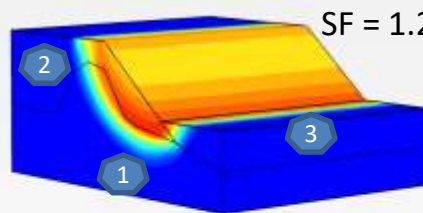


WARIANT 3

warstwa nr 1 – łł (Cl/siCl – $\phi' = 12.2^\circ$ $c' = 12.5$ kPa)

SF = 1.21

SF = 1.35

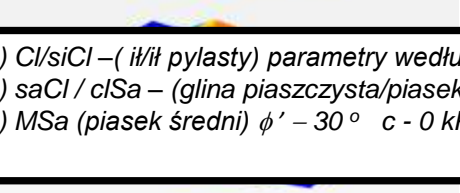
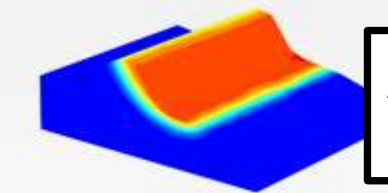
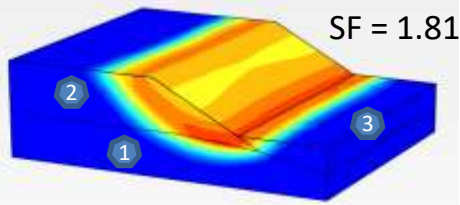
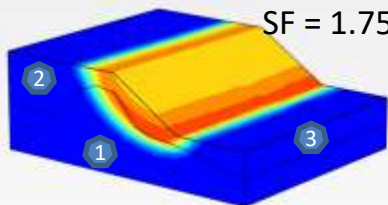


WARIANT 2

warstwa nr 1 – łł (Cl/siCl – $\phi' = 17.5^\circ$ $c' = 17.8$ kPa)

SF = 1.75

SF = 1.81

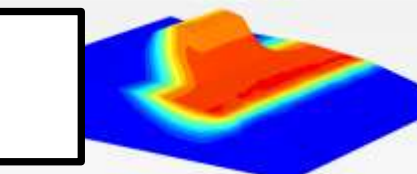
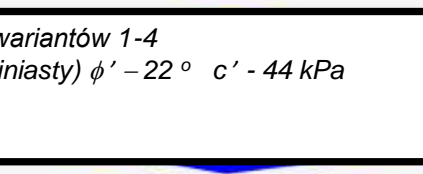
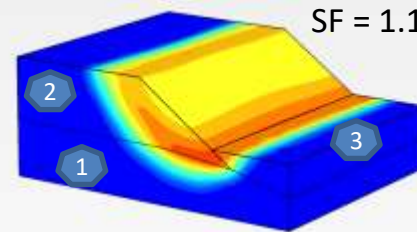
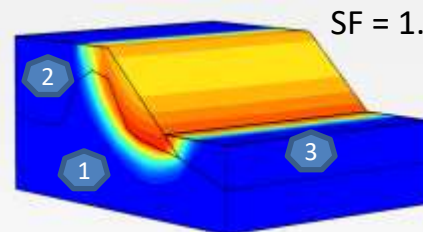


WARIANT 4

warstwa nr 1 – łł (Cl/siCl – $\phi' = 9.7^\circ$ $c' = 10.0$ kPa)

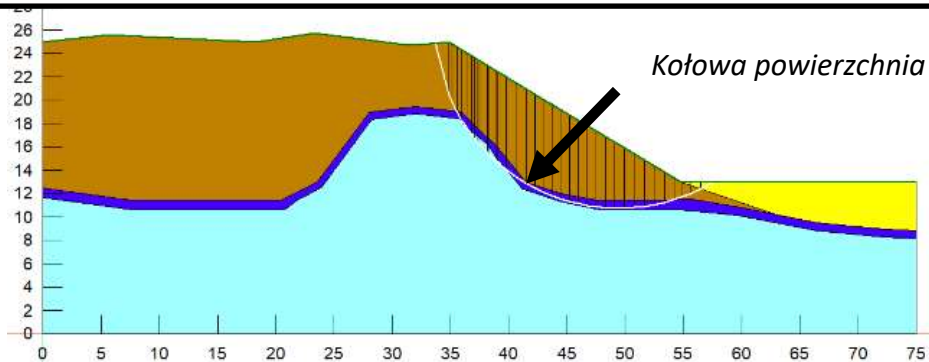
SF = 1.05

SF = 1.19

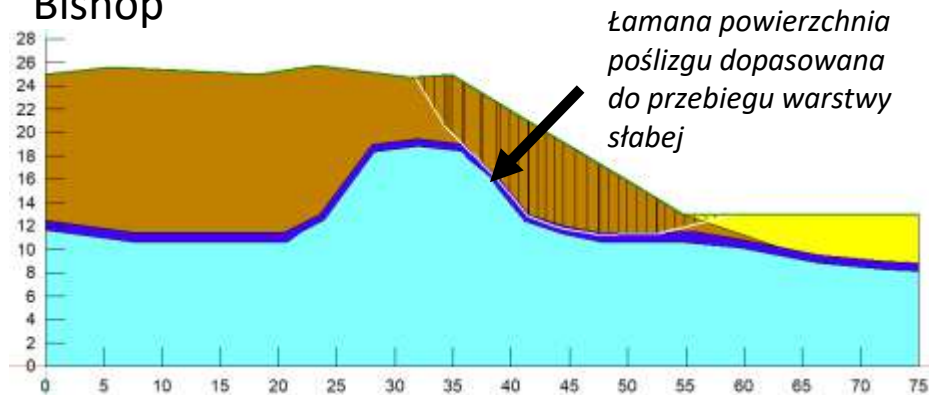


- 1) Cl/siCl – (łł/pylasty) parametry według wariantów 1-4
- 2) saCl / ciSa – (głina piaszczysta/piasek gliniasty) $\phi' = 22^\circ$ $c' = 44$ kPa
- 3) MSa (piasek średni) $\phi' = 30^\circ$ $c = 0$ kPa

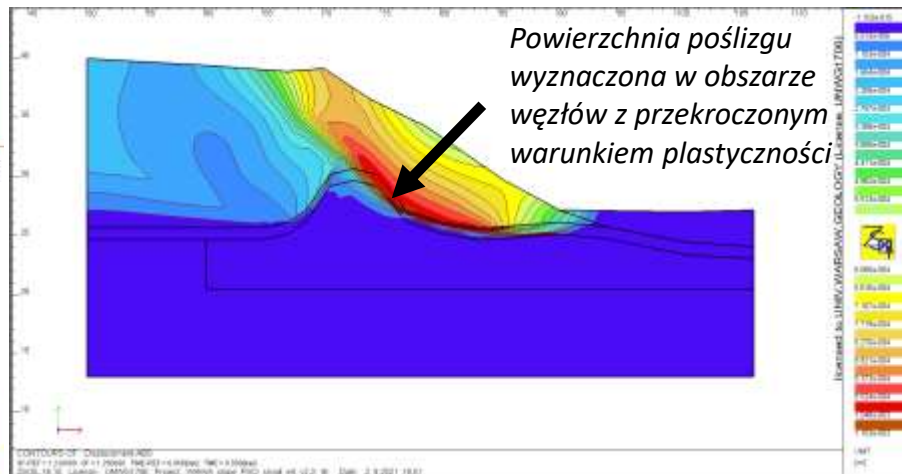
Porównanie przebiegu powierzchni poślizgu wyznaczonej różnymi metodami



Bishop



Janbu



MES 2D

Wariantowe zróżnicowanie wysokości zaburzenia stropu łąw H – (od 3,5 do 8 metrów)

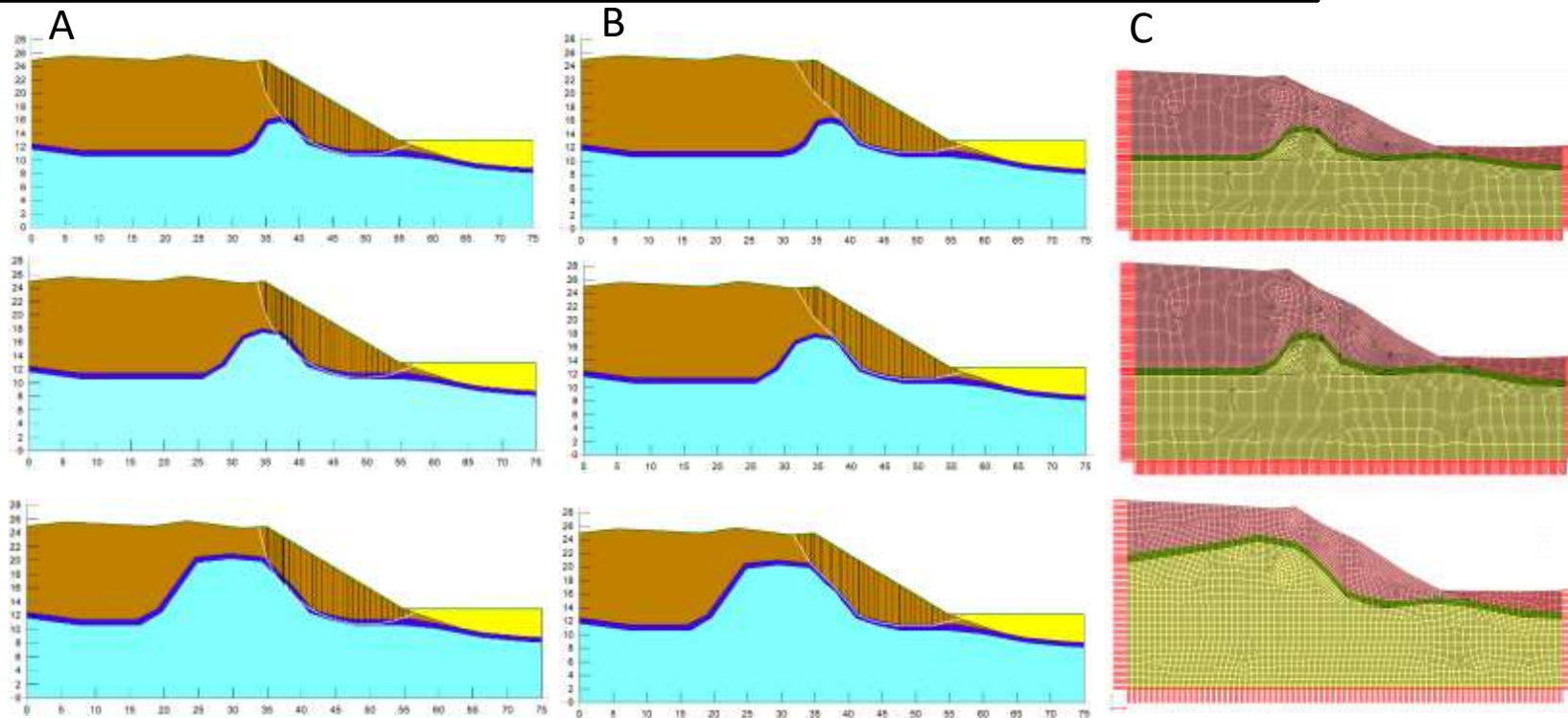


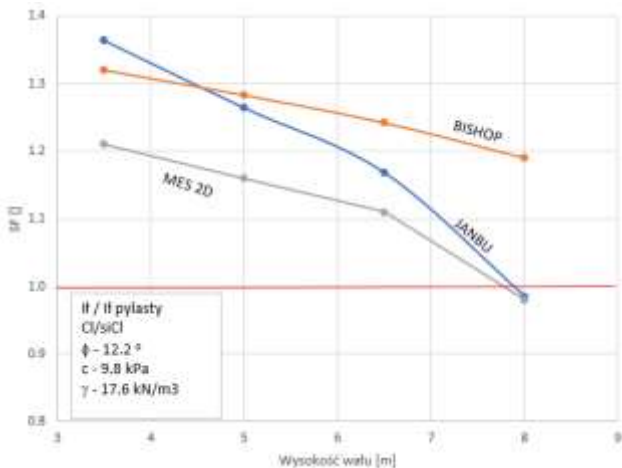
Fig. A) Circular slip Surface for Bishop's method B) Fully specified slip Surface for Janbu's method C) MES model (ZSOIL 2016)

Rezultaty obliczeń stateczności skarpy z różnej wielkości zaburzeniem powierzchni iłów neogeńskich

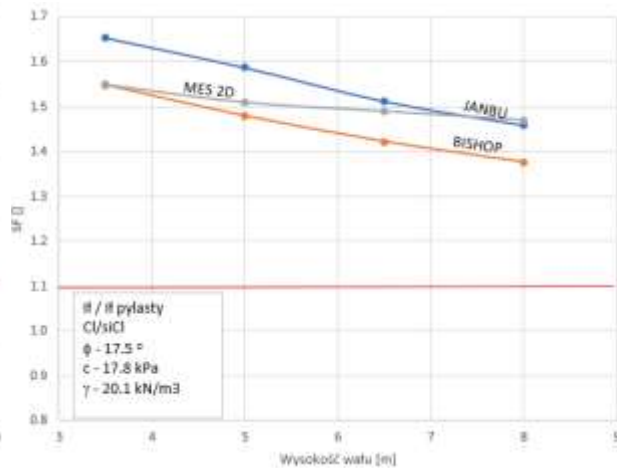
(Hight [m]/Cl*[%]/SaCl*[%])						8/71/29			6.5/65/35			5/58/42			3,5/50/50		
Method						Bishop	Janbu	MES 2D	Bishop	Janbu	MES 2D	Bishop	Janbu	MES 2D	Bishop	Janbu	MES 2D
Week layer parameters			Clay strenght parameters														
Unit weight	Friction angle	Cohesion	Friction angle	Cohesion	Unit weight												
[kN/m ³]	°	kPa	°	kPa	[kN/m ³]												
17.6	9.7	10.0	17.5	17.8	20.1	1.12	0.91	<1	1.15	1.08	<1	1.21	1.18	<1	1.26	1.29	<1
18.6	12.2	9.8				1.19	0.99	<1	1.24	1.17	1.14	1.28	1.26	1.16	1.32	1.36	1.21
18.6	12.2	12.5				1.24	1.04	1.16	1.25	1.22	1.20	1.30	1.31	1.24	1.36	1.41	1.26
18.6	13.0	15.0				1.30	1.22	1.25	1.29	1.30	1.28	1.34	1.38	1.31	1.41	1.47	1.35
18.6	13.0	17.5				1.34	1.27	1.30	1.32	1.36	1.33	1.37	1.43	1.36	1.44	1.51	1.40
20.1	15.8	9.8				1.31	1.22	1.26	1.34	1.31	1.30	1.39	1.39	1.33	1.44	1.48	1.37
20.1	15.8	12.5				1.35	1.28	1.31	1.38	1.36	1.35	1.42	1.44	1.39	1.49	1.52	1.42
21	22.0	0.0				1.35	1.28	1.34	1.39	1.37	1.37	1.44	1.45	1.41	1.50	1.54	1.45
-	-	-				1.38	1.46	1.47	1.42	1.51	1.49	1.48	1.59	1.51	1.55	1.65	1.55
17.6	9.7	10.0				22.0	22.0	21.0	1.18	0.91	<1	1.24	1.08	<1	1.28	1.18	<1
18.6	12.2	9.8	1.27	0.99	<1				1.31	1.17	1.15	1.36	1.26	1.17	1.37	1.36	1.22
18.6	12.2	12.5	1.32	1.04	1.18				1.34	1.22	1.21	1.38	1.31	1.25	1.42	1.41	1.27
18.6	13.0	15.0	1.40	1.22	1.27				1.40	1.30	1.29	1.43	1.38	1.32	1.47	1.47	1.36
18.6	13.0	17.5	1.45	1.27	1.32				1.43	1.36	1.34	1.47	1.43	1.37	1.51	1.51	1.41
20.1	15.8	9.8	1.41	1.22	1.28				1.45	1.31	1.31	1.48	1.39	1.34	1.51	1.48	1.38
20.1	15.8	12.5	1.46	1.28	1.33				1.49	1.36	1.36	1.52	1.44	1.40	1.55	1.52	1.43
21	22.0	0.0	1.46	1.28	1.36				1.49	1.37	1.38	1.52	1.45	1.42	1.56	1.54	1.46
-	-	-	1.67	1.73	1.75				1.71	1.77	1.79	1.75	1.82	1.84	1.79	1.86	1.86
17.6	9.7	10.0	22.0	55.0	21.0				1.34	0.91	<1	1.40	1.08	<1	1.43	1.18	<1
18.6	12.2	9.8				1.43	0.99	<1	1.47	1.17	1.15	1.50	1.26	1.17	1.43	1.36	1.27
18.6	12.2	12.5				1.48	1.04	1.18	1.52	1.22	1.21	1.53	1.31	1.25	1.50	1.41	1.36
18.6	13.0	15.0				1.56	1.22	1.27	1.58	1.30	1.29	1.59	1.38	1.32	1.56	1.47	1.41
18.6	13.0	17.5				1.60	1.27	1.32	1.62	1.36	1.34	1.62	1.43	1.37	1.59	1.51	1.38
20.1	15.8	9.8				1.57	1.22	1.28	1.61	1.31	1.31	1.63	1.39	1.34	1.58	1.48	1.43
20.1	15.8	12.5				1.62	1.28	1.33	1.65	1.36	1.36	1.68	1.44	1.40	1.62	1.52	1.46
21	22.0	0.0				1.62	1.28	1.36	1.66	1.37	1.38	1.68	1.45	1.42	1.65	1.54	1.56
-	-	-				2.22	2.17	2.24	2.21	2.17	2.23	2.20	2.17	2.23	2.18	2.17	2.22

ITB 424/2011 oraz ITB 304/1991		Wystąpienie ruchu osuwiskowego	
0	<1		bardzo prawdopodobne
1	<1.3		prawdopodobne
1.3	<1.5		mało prawdopodobne
>1.5			bardzo mało prawdopodobne

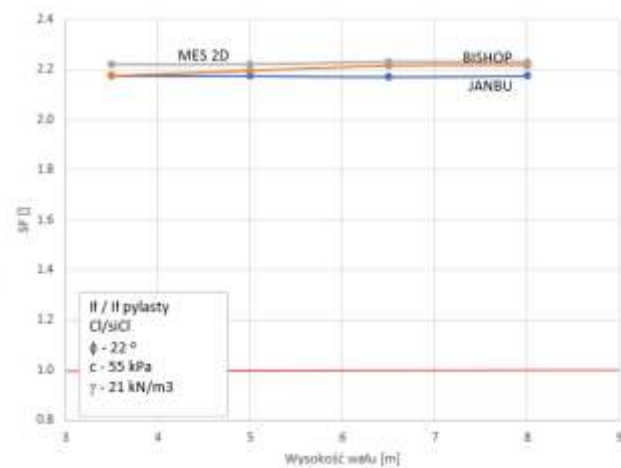
Porównanie wyników oceny stateczności przy zróżnicowanych parametrach podłoża oraz zastosowaniu różnych metod obliczeniowych



Parametry minimalne

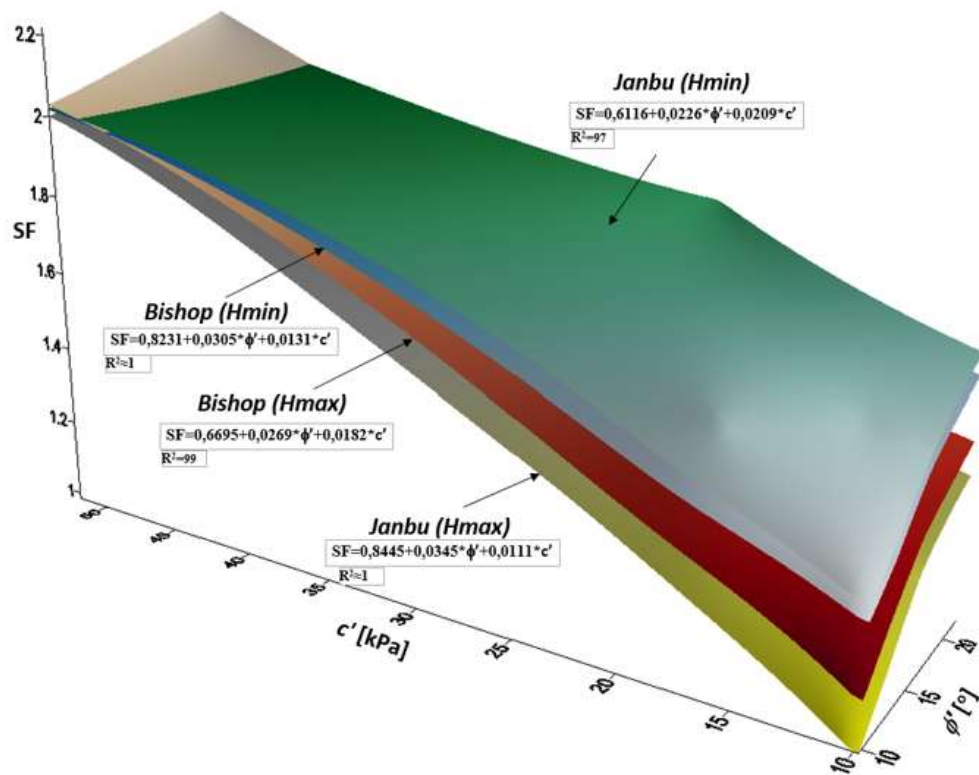


Laboratorium



Parametry maksymalne
zblizone do parametrów
nadległych glin lodowcowych

Porównanie wyników oceny stateczności przy zróżnicowanych parametrach podłoża oraz zastosowaniu różnych metod obliczeniowych



Podsumowanie

Złożone i skomplikowane warunki gruntowe w rejonie skarp i zboczy (szczególnie przy zaburzeniach glacitektonicznych) wymagają opcjonalnych analiz stateczności nawiązujących do:

- 1) przestrzennej zmienności położenia warstw gruntowych
- 2) przemienności właściwości wytrzymałościowych gruntów w szczególności w strefach osłabień (np. na stropie iłów)
- 3) różnych metod obliczeniowych: analitycznych opartych o warunki równowagi momentów (np. Bishopa) lub sił (np. Janbu) oraz modelowania MES.

Ad. 1) Tomografia elektrooporowa (ERI) w wariacie *quasi* 3D (tzw. 2,5D) jest narzędziem niezbędnym dla uzyskania „ciągłego” obrazu przebiegu zaburzonego stropu iłów, który może determinować warunki stanu równowagi zboczy, głębokich wykopów itd.;

Dzięki identyfikacji wyniesienia iłów neogeńskich za pomocą ERI możliwa była wielowariantowa analiza stateczności pozwalająca na wyznaczenie nomogramów określających zmiany SF w zależności od c i ϕ .

Ad. 2) Obecność osłabionych (na skutek oddziaływania egzogenicznego) stref gruntu powoduje zróżnicowanie charakterystyk wytrzymałościowych, które może ulegać zmianom w czasie. Z tego powodu rekomendowane są parametryczne analizy wrażliwości modelu;

W analizowanych modelach wyniesienia iłów neogenskich rezultaty obliczeń wskazują na małą wrażliwość SF na niewielkie zmiany parametrów wytrzymałościowych ($\phi \pm 5^\circ$; $c \pm 5 \text{ kPa}$ powodowały zmiany SF $\pm 0,02$)

Ad. 3) W przeprowadzonych obliczeniach warunków stateczności z uwzględnieniem wpływu warstwy słabej metoda Janbu i MES dały zbliżone rezultaty. Wartości wskaźnika SF obliczone metodą Bishopa były wyższe od otrzymanych pozostałymi metodami. Przeszacowanie wartości stateczności w tym przypadku ma związek z zastosowaniem zgodnej z podstawami metody Bishopa kołowo-walcowej powierzchni poślizgu, która nie pokrywa się z prawdopodobną powierzchnią poślizgu wynikającą z przebiegu warstwy słabej (np. zwietrzałego stropu iłów neogeńskich stanowiącego ekran dla przesączających się wód gruntowych).

Literatura

1. Frankowski Z., Bażyński J., Zawadzki R., Lewkowicz M., Smagała St., Wysokiński L., Majer E., Łukasik S., Filipowicz A., Sobiech J. 2000. Atlas geologiczno-inżynierski Warszawy w skali 1 : 100 00. PIG-PIB, Warszawa.
2. Jaros M., Szlasa M., 2014. Zastosowanie geologiczno-inżynierskiego modelowania 3D do oceny geotechnicznych warunków posadowienia inwestycji realizowanej z zastosowaniem ścian szczelinowych. *Przegląd Geologiczny*, 62 (10/2), 584-587.
3. Kaczyński R., 1977. Inżyniersko-geologiczna ocena wpływu powierzchni osłabienia w iłach krakowieckich na stateczność zboczy rejonu Tarnobrzega. *Biul. Geol. UW*, 22, 5-60.
4. Kaczyński R., 2003. Overconsolidation and microstructures in Neogene clays from the Warsaw area. *Geological Quarterly*, 47 (1), 43-54.
5. Kaczyński R., 2007. Engineering geological behaviour of London and Warsaw clays. *Geologos*, 11, 481-490.
6. Kaczyński R., Wysokiński L., 1970. The influence of weakness surface on the strength of the cohesive soils. W materiałach konferencyjnych: II Seminar on Soil and Foundation Engineering, Łódź.
7. Popielski P., Siemińska-Lewandowska A., 2016. Zakres rozpoznania i dobór parametrów podłoża do opracowania modeli numerycznych głęboko posadowionych obiektów budowlanych doświadczenia i wnioski. *Acta Sci. Pol. Architectura*, 15 (4), 31-42.
8. Sarnacka Z., 1980. Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1: 50 000 arkusz Warszawa Wschód wraz z objaśnieniami. *Inst. Geol., Warszawa*.
9. Sarnacka, Z. 1992. Stratygrafia osadów czwartorzędowych Warszawy i okolic. *Prace PIG, Warszawa*.
10. Wysokiński L., 1991. Instrukcja ITB nr 304, Posadowienie obiektów budowlanych w sąsiedztwie skarp i zboczy, Ministerstwo Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa – Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.
11. Wysokiński L., 2006. Instrukcja ITB nr 424/2006, Ocena stateczności skarp i zboczy, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.



7.WPGI 2021

