

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 60, 2013: 158–167
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 60, 2013)

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 60, 2013: 158–167
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 60, 2013)

Zbigniew LECHOWICZ, Grzegorz WRZESIŃSKI

Katedra Geoinżynierii SGGW w Warszawie
Department of Geotechnical Engineering WULS – SGGW

Ocena stateczności nasypu na podłożu organicznym według Eurokodu 7¹

Stability assessment of embankment on organic soils using Eurocode 7

Słowa kluczowe: grunty organiczne, stateczność nasypu, wytrzymałość na ścinanie bez odplywu, Eurokod 7, charakterystyczne i obliczeniowe wartości parametrów geotechnicznych

Key words: organic soils, embankment stability, undrained shear strength, Eurocode 7, characteristic and design values of geotechnical parameters

Wprowadzenie

Grunty organiczne charakteryzuje mała początkowa wytrzymałość na ścinanie oraz znaczna odkształcalność, co wraz ze złożoną budową tego ośrodka stwarza wiele problemów projektowo-wykonawczych (Hartlen i Wolski 1996). Cechy te często powodują trudności z zapewnieniem stateczności nasypu, dlatego obciążenie powinno być przykładane etapowo lub na uprzednio wzmocnione podłoże (Lechowicz i Szymański 2002).

Przy etapowym wznoszeniu nasypu niezbędne jest określenie dopuszczalnej wartości obciążenia w poszczególnych fazach budowy, jak również długości poszczególnych przerw technologicznych. W tym celu już na etapie projektowania wymagane jest przeprowadzenie szczegółowej analizy stateczności, z wykorzystaniem prawidłowo określonych parametrów gruntowych. Do projektowania nasypów budowanych etapowo na podłożu organicznym potrzebna jest nie tylko znajomość początkowej wytrzymałości na ścinanie, ale także zmian wytrzymałości na ścinanie wywołanych procesem konsolidacji (Lechowicz 1992, Wrzesiński i Lechowicz 2012a, b).

Wykonując analizę stateczności, należy zwrócić szczególną uwagę na fakt, iż wyniki obliczeń w istotnym stopniu zależą od prawidłowego wyznaczenia i do-

¹Praca wykonana w ramach projektu badawczego Narodowego Centrum Nauki nr N N506 218039.

boru parametrów gruntowych dla każdej warstwy geotechnicznej podłoża gruntowego. Wyznaczenie tych parametrów jest skomplikowaną czynnością, gdyż nawet najbardziej jednorodnej warstwy w sensie pochodzenia geologicznego wykazują znaczne zróżnicowanie właściwości fizycznych i mechanicznych. Wobec tego do oceny stateczności parametry geotechniczne powinny być określane z wykorzystaniem analizy statystycznej uzyskanych wyników pomiarów. W Eurokodzie 7 (PN-EN 1997-1:2008, PN-EN 1997-2:2009) zaleca się w obliczeniach, zamiast statystycznie wyznaczonej wartości średniej parametru (X_m), stosować tzw. wartość charakterystyczną (X_k). Wartość charakterystyczna parametru (X_k) odpowiada 95% pewności, że rzeczywista wartość średnia parametru (X_m) jest większa od wyselekcjonowanej wartości charakterystycznej parametru (X_k). Wobec tego wartość charakterystyczną (X_k) należy wyznaczyć z następującej zależności (Schneider 1999):

$$X_k = X_m (1 - k_n V) \quad (1)$$

gdzie:

k_n – współczynnik zależny od rodzaju rozkładu prawdopodobieństwa analizowanego parametru geotechnicznego i liczby danych,

V – współczynnik zmienności będący ilorazem odchylenia standardowego parametru X i jego wartości średniej X_m .

Wykorzystanie powyższego równania związane jest z trudnością wyznaczenia współczynnika k_n , ponieważ przyjmuje się, że statystyczne metody mogą być z powodzeniem zastosowane dopiero dla co najmniej 13 danych. Schneider (1999) na podstawie przeprowadzonych obliczeń porównawczych stwierdził,

że dobre oszacowanie wartości charakterystycznej (X_k) można otrzymać dla współczynnika $k_n = 0,5$, tzn. dla wartości charakterystycznej pomniejszonej o pół odchylenia standardowego (S_d). Wzór (1) przyjmuje wówczas następującą postać:

$$X_k = X_m - 0,5S_d \quad (2)$$

Wykonując analizę stateczności, zgodnie z Eurokodem 7, wykorzystuje się jedno z czterech podejść projektowych: DA1 (kombinacja 1), DA1 (kombinacja 2), DA2 lub DA3 (Frank i in. 2004, Bergdahl 2005, Frank 2007, Bond i Harris 2008, Van Seters i Janses 2011, Orr 2012). Poszczególne podejścia są zróżnicowane względem siebie wartościami współczynników częściowych przyjmowanych do parametrów gruntowych, oddziaływań i oporów w celu otrzymania ich wartości obliczeniowych. Wiele państw europejskich, w tym także Polska, nadało status obowiązującego do projektowania stateczności skarp podejściu obliczeniowemu DA3.

Wzrastające w ostatnich latach wykorzystanie podłoża organicznego do posadowienia budowli ziemnych oraz nadanie normie europejskiej statusu normy krajowej skłoniło autorów do przeprowadzenia oceny stateczności nasypu na podłożu organicznym podczas budowy, z zastosowaniem zasad Eurokodu 7, na przykładzie obiektu doświadczalnego w Antoninach. Wykonane obliczenia umożliwiają dokonania oceny, czy zastosowanie Eurokodu 7 w analizie stateczności nasypu na podłożu organicznym podczas budowy pozwala na właściwą ocenę współczynnika stateczności oraz które z podejść projektowych w tej sytuacji powinno być zalecane.

Metodyka oceny stateczności według Eurokodu 7

Analiza stateczności nasypu podczas budowy, zgodnie z Eurokodem 7, wymaga sprawdzenia stanów granicznych GEO oraz STR, których osiągnięcie wiąże się z utratą stateczności ogólnej masywu gruntowego lub z nadmiernymi przemieszczeniami. Ocena stateczności ma za zadanie wykazać, że obliczeniowe skutki oddziaływań (E_d) są nie większe niż odpowiadający im obliczeniowy opór (R_d):

$$R_d \geq E_d \text{ lub } R_d/E_d \geq 1 \quad (3)$$

Współczynniki częściowe zalecane przez Eurokod 7 dla poszczególnych podejść projektowych zostały ujęte w 3 grupy, jako współczynniki stosowane do oddziaływań lub ich efektów, współczynniki do parametrów gruntu oraz współczynniki stosowane do oporów występujących na powierzchni poślizgu (Bond i Harris 2008). W przypadku podejścia projektowego DA3 oraz DA1(C2) wprowadzono współczynnik częściowy przy oddziaływaniach zmiennych $\gamma_Q = 1,3$ oraz współczynniki częściowe dla tangensa kąta tarcia wewnętrznego oraz spójności wynoszące $\gamma_M = 1,25$. W podejściu projektowym DA1(C1) wprowadzono współczynnik częściowy przy oddziaływaniach stałych niekorzystnych $\gamma_G = 1,35$ oraz współczynnik częściowy przy oddziaływaniach zmiennych $\gamma_Q = 1,5$. Projektowanie zaś zgodnie z podejściem projektowym DA2 wymaga wprowadzenia współczynnika częściowego przy oddziaływaniach stałych niekorzystnych $\gamma_G = 1,35$, współczynnika częściowego przy oddziaływaniach zmiennych $\gamma_Q = 1,5$ oraz współczynnika

do oporów występujących na powierzchni poślizgu $\gamma_{R,e} = 1,1$.

Do wyznaczenia minimalnej wartości współczynnika stateczności (F), zgodnie z Eurokodem 7, należy zastosować wartości obliczeniowe parametrów geotechnicznych, oddziaływań i oporów, uzyskiwanych poprzez zastosowanie współczynników częściowych do wartości wyprowadzonych oraz charakterystycznych parametrów. Wartości wyprowadzone oraz charakterystyczne otrzymuje się na podstawie analizy statystycznej wyników pomiarów (Lechowicz i Wrześniński 2013).

Charakterystyka analizowanego przypadku

Nasyp doświadczalny w Antoninach powstał w ramach współpracy Katedry Geoinżynierii Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie ze Szwedzkim Instytutem Geotechnicznym (Wolski i in. 1988, Szymański 1991, Lechowicz 1992).

Wznoszenie nasypu zrealizowano w trzech etapach w latach 1983–1987. Łączny czas jego budowy wynosił 1332 dni. Miąższości poszczególnych etapów wynosiły: 1,2, 1,3 i 1,4 m. Czas wykonania pierwszego etapu trwał 6 dni, a kolejnych odpowiednio 7 i 18 dni. Okres wznoszenia wraz z przerwą technologiczną trwał w przypadku pierwszego etapu 156 dni, drugiego – 409 dni, a trzeciego – 767 dni (Wolski i in. 1988).

Podłoże nasypu doświadczalnego składa się z dwóch warstw gruntów organicznych o łącznej miąższości 7,8 m. Bezpośrednio pod powierzchnią tere-

nu zalega 3,1-metrowa warstwa torfu, podścielona 4,7-metrową warstwą gytii. Badania właściwości gruntów organicznych wskazują, że warstwa torfu składa się ze średnio rozłożonego torfu oraz torfu amorficznego. W gytii wyróżniono trzy warstwy różniące się zawartością części organicznych i węglanu wapnia. Grunty organiczne są prekonsolidowane, o współczynniku prekonsolidacji OCR, wynoszącym dla torfu 3–5, a dla gytii 1,5–2,5.

Dobór wytrzymałości na ścinanie bez odpływu

Badanie polową sondą krzyżakową jest powszechnie stosowaną metodą wyznaczania wytrzymałości na ścinanie gruntów organicznych w warunkach bez odpływu. Liczne doświadczenia wskazują jednak, że wartości wytrzymałości na ścinanie (τ_{fi}) pomierzone polową sondą krzyżakową nie mogą być użyte bezpośrednio w obliczeniach stateczności nasypów na podłożu słabonośnym. Chcąc określić wytrzymałość na ścinanie bez odpływu (τ_{fu}), należy wykorzystać pomierzoną wartość wytrzymałości na ści-

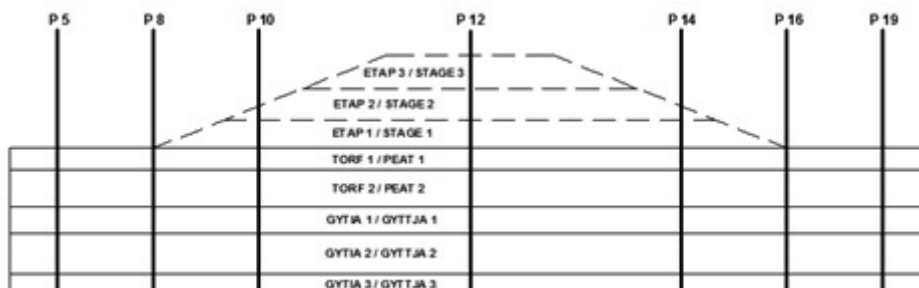
nianie (τ_{fi}) i współczynnik poprawkowy (μ) według zależności:

$$\tau_{fu} = \tau_{fi} \cdot \mu \quad (4)$$

W przeprowadzonej analizie stateczności wykorzystano wartości współczynników poprawkowych μ_{lab} określonych na podstawie badań laboratoryjnych (Lechowicz 1992). Dla obydwu warstw torfu przyjęto współczynnik poprawkowy $\mu = 0,51$, a w przypadku gytii założono dla pierwszej warstwy $\mu = 0,56$ oraz dla drugiej i trzeciej warstwy $\mu = 0,61$.

Badania polową sondą krzyżakową podłoża organicznego przed obciążeniem 1. etapem nasypu przeprowadzono w 7 profilach badawczych (rys. 1), wykonując ścinanie co 0,5 m. Skorygowane wyniki pomiarów wytrzymałości na ścinanie zestawiono w tabeli 1.

Do otrzymanych wartości τ_{fu} , skorygowanych według μ_{lab} , przeprowadzono analizę statystyczną (tab. 1 i 2) w celu określenia wartości średnich, odchyłek standardowych oraz statystycznych rozkładów otrzymanych wyników (Batory 2004, Lechowicz i in. 2004). Statystyczne opracowanie wyników badań terenowych pozwoliło na otrzymanie miarodajnych parametrów poszcze-



RYSunEK 1. Lokalizacja badań polową sondą krzyżakową przed obciążeniem podłoża w Antoninach

FIGURE 1. Location of the field vane test before loading the subsoil in the Antoniny site

TABELA 1. Wartości skorygowane w poszczególnych profilach (τ_{fu}), średnie wartości ($\bar{\tau}_{fu}$), odchylenia standardowe (S_d) i wskaźniki zmienności (V) wytrzymałości na ścinanie bez odpływu podłoża przed obciążeniem w Antoninach (Lechowicz 1992, Batory 2004)

TABLE 1. Corrected values in particular profiles (τ_{fu}), mean values ($\bar{\tau}_{fu}$), standard deviations (S_d) and variation coefficients (V) of undrained shear strength before loading in the Antoniny site (Lechowicz 1992, Batory 2004)

Głębokość Depth [m]	Warstwy Layers	Profil Profile							$\bar{\tau}_{fu}$ [kPa]	S_d [kPa]	V [-]
		P5	P8	P10	P12	P14	P16	P19			
		τ_{fu} [kPa]									
0,50	Torf 1	13,72	17,41	10,44	10,96	13,09	10,96	12,89	12,78	2,40	0,19
1,00	Torf 2 Peat 2	6,57	6,13	6,45	6,71	7,22	6,77	7,22	6,33	0,71	0,11
1,50		5,74	6,32	5,48	5,67	5,35	5,09	6,38			
2,00		5,22	6,32	5,67	5,67	5,09	5,67	5,16			
2,50		6,45	6,90	6,71	6,51	7,09	7,09	6,45			
3,00		6,64	7,42	6,51	6,91	6,64	6,57	7,74			
3,50	Gytia 1 Gyttja 1	8,14	7,78	7,78	7,22	7,43	7,64	6,73	7,74	1,12	0,14
4,00		9,77	9,49	8,64	8,71	8,50	9,34	5,02			
4,50		7,08	7,22	7,08	7,22	6,73	6,73	8,36			
5,00	Gytia 2 Gyttja 2	7,86	7,56	6,94	6,86	7,17	7,09	7,33	7,01	0,49	0,07
5,50		7,56	7,71	6,86	6,78	6,78	6,17	6,94			
6,00		7,09	6,32	6,17	7,17	7,63	7,17	7,56			
6,50		7,17	6,17	6,17	6,94	6,78	7,02	7,33			
7,00	Gytia 3 Gyttja 3	7,28	6,40	6,86	6,94	6,63	7,17	7,52	7,50	0,92	0,12
7,50		6,98	9,02	6,90	7,26	7,71	7,31	10,95			

gólnych warstw podłoża organicznego przed obciążeniem oraz na zakończenie procesu konsolidacji wywołanego budową 1. etapu nasypu. Do statystycznej obróbki danych wykorzystano program Statgraphics Plus 4.1, który umożliwił zastosowanie badania zgodności Kołmogorowa-Smirnowa poprzez wskazanie, czy założony teoretyczny rozkład może być przyjęty, czy też powinien być odrzucony na poziomie istotności 95%. Analizę statystyczną wykonano przy wykorzystaniu rozkładu normalnego (Lechowicz i in. 2004).

Budowa 1. etapu nasypu spowodowała wzmocnienie podłoża organicznego w wyniku procesu konsolidacji. Wzrost wytrzymałości na ścinanie nastąpił głównie w warstwach torfu. Największą zmianę wytrzymałości na ścinanie uzyskano pod koroną nasypu, a poza nasypem wartości te praktycznie pozostały bez zmian.

Porównując otrzymane współczynniki zmienności (V) wytrzymałości na ścinanie bez odpływu w poszczególnych warstwach geotechnicznych podłoża organicznego pod nasypem w Antoninach z wartościami prezentowanymi przez

TABELA 2. Średnie wartości ($\bar{\tau}_{fu}$), odchylenia standardowe (S_d) i wskaźniki zmienności (V) wytrzymałości na ścinanie bez odplywu podłoża na zakończenie budowy 1. etapu nasypu w Antoninach (Lechowicz 1992, Batory 2004)

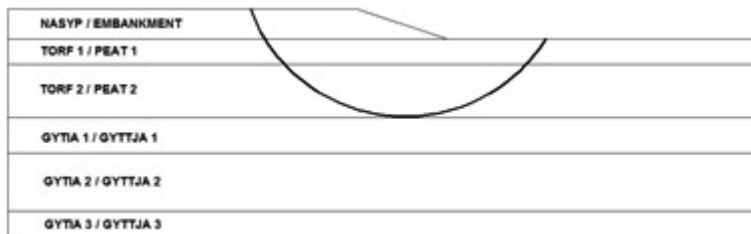
TABLE 2. Mean values ($\bar{\tau}_{fu}$), standard deviations (S_d) and variation coefficients (V) of undrained shear strength at the end of 1 stage of embankment in the Antoniny site (Lechowicz 1992, Batory 2004)

Strefa Zone	Warstwa Layer	$\bar{\tau}_{fu}$ [kPa]	S_d [kPa]	V [-]
A	Torf 1/Peat 1	21,17	2,20	0,10
	Torf 2/Peat 2	10,62	0,85	0,08
	Gytia1/Gyttja 1	8,49	1,37	0,16
	Gytia 2/Gyttja 2	7,18	0,22	0,03
	Gytia 3/Gyttja 3	7,69	0,61	0,08
B	Torf 1/Peat 1	13,30	1,52	0,11
	Torf 2/Peat 2	8,92	1,84	0,21
	Gytia1/Gyttja 1	8,33	1,28	0,15
	Gytia 2/Gyttja 2	6,95	0,20	0,03
	Gytia 3/Gyttja 3	7,50	0,72	0,10
C	Torf 1/Peat 1	12,80	2,40	0,19
	Torf 2/Peat 2	6,40	0,71	0,11
	Gytia1/Gyttja 1	7,70	1,12	0,15
	Gytia 2/Gyttja 2	7,00	0,49	0,07
	Gytia 3/Gyttja 3	7,50	0,92	0,12

Schneidera (1999), należy stwierdzić, że charakteryzują się one mniejszą zmiennością. Schneider podaje, że typowy zakres współczynnika zmienności mieści się w granicach $V = 0,20-0,40$, a w razie ograniczonej liczby danych zaleca przyjmowanie $V = 0,30$. Natomiast dla gruntów organicznych z analizowanego obiektu przed obciążeniem oraz po wybudowaniu 1. etapu nasypu zaleca się $V = 0,21$, dominują zaś wartości z przedziału $V = 0,10-0,20$. Ze względu jednak na to, że otrzymano je dla warstw o wystarczającej liczbie danych, wartości te można przyjąć jako miarodajne.

Analiza stateczności

Ocenę stateczności nasypu doświadczalnego w Antoninach przeprowadzono dla 1. oraz 2. etapu budowy. Wartości współczynników stateczności (F) określono metodą równowagi granicznej w programie GeoSlope, wykorzystując uproszczoną metodę Bishopa. Analizę stateczności 1. etapu nasypu wykonano, używając tych samych parametrów dla poszczególnych warstw geotechnicznych. Schemat podziału podłoża organicznego wraz z krytyczną krzywą poślizgu wykorzystany w analizie stateczności przedstawiono na rysunku 2.

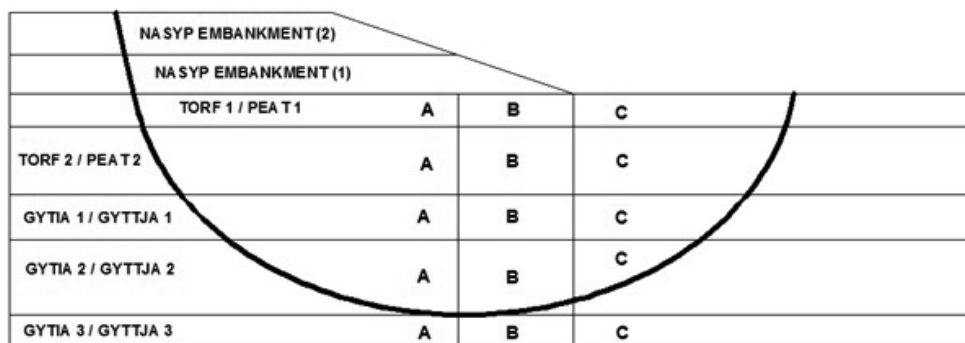


RYSUNEK 2. Schemat obliczeniowy wraz z krytyczną krzywą poślizgu wykorzystany w analizie stateczności 1. etapu budowy nasypu w Antoninach
 FIGURE 2. Calculation scheme and critical slip curve used in stability analysis of 1 stage of embankment in the Antoniny site

W przypadku analizy stateczności 2. etapu, ze względu na różną wartość obciążenia, a tym samym różny wzrost wytrzymałości na ścinanie podłoża gruntowego, podłoże organiczne podzielono na 3 różne strefy: A – pod koroną nasypu, B – pod skarpą nasypu, C – poza nasypem. Schemat podziału podłoża wraz z krytyczną krzywą poślizgu wykorzystany w analizie stateczności przedstawiono na rysunku 3.

Analizę stateczności przeprowadzono na podstawie wartości średnich oraz charakterystycznych wytrzymałości na ścinanie. Wartości charakterystyczne określono jako wartości średnie po-

mniejszone o pół odchylenia standardowego, zgodnie z zaleceniami Schneidera (1999), oraz dodatkowo jako wartości średnie pomniejszone o jedno odchylenie standardowe. W obliczeniach stateczności użyto wartości obliczeniowe wytrzymałości na ścinanie bez odplywu, które otrzymano poprzez zastosowanie współczynników częściowych (γ_M) do wartości średnich oraz charakterystycznych parametrów. W obliczeniach stateczności zastosowano również współczynnik częściowy przy oddziaływaniach stałych niekorzystnych (γ_G), zgodnie z wytycznymi Eurokodu 7.



RYSUNEK 3. Schemat obliczeniowy wraz z krytyczną krzywą poślizgu wykorzystany w analizie stateczności 2. etapu budowy nasypu w Antoninach
 FIGURE 3. Calculation scheme and critical slip curve used in stability analysis of 2 stage of embankment in the Antoniny site

Ocenę stateczności przeprowadzono, zgodnie z Eurokodem 7, według obowiązującego w Polsce podejścia projektowego DA3 oraz – w celu porównania wyników obliczeń – w podejściach DA1(C1) oraz DA1(C2). Wyniki analizy stateczności z poszczególnych podejść projektowych zestawiono w tabeli 3.

jako wartości średnie pomniejszone o jedno odchylenie standardowe, współczynnik stateczności jest równy 1,28 dla DA3 i DA1(C2) oraz 1,18 dla DA1(C1). Przeprowadzone obliczenia wskazują, iż dla 1. etapu, o wysokości 1,2 m, otrzymane wartości współczynnika stateczności są większe od 1,0, czyli istnieją

TABELA 3. Wyniki analizy stateczności przeprowadzonej zgodnie z Eurokodem 7 dla nasypu w Antoninach

TABLE 3. Results of stability analysis performed according to Eurocode 7 for embankment in the Antoniny site

Etap Stage	Średnie i charakterystyczne wartości wytrzymałości na ścinanie bez odpływu Mean and characteristic values of undrained shear strength	Współczynnik stateczności (F) Safety factor (F)	
		DA1(C1)	DA1(C2), DA3
1	$\bar{\tau}_{fu}$	1,35	1,46
	$\bar{\tau}_{fu} - 0,5S_d$	1,27	1,39
	$\bar{\tau}_{fu} - 1,0S_d$	1,18	1,28
2	$\bar{\tau}_{fu}$	0,81	0,87
	$\bar{\tau}_{fu} - 0,5S_d$	0,78	0,84
	$\bar{\tau}_{fu} - 1,0S_d$	0,75	0,80

Obliczenia przeprowadzone dla 1. etapu w okresie budowy wskazują, że nasyp był stateczny. W obliczeniach zarówno stateczności z wykorzystaniem wartości średnich wytrzymałości na ścinanie, jak i wartości charakterystycznych współczynniki stateczności są większe od 1,0. W podejściach projektowych DA3 oraz DA1(C2) współczynnik stateczności jest równy 1,46, przy wartościach średnich τ_{fu} , a w podejściu projektowym DA1(C1) wynosi 1,35. Wykorzystując wartości charakterystyczne τ_{fu} , wyznaczone zgodnie z zaleceniami Schneidera (1999), współczynnik stateczności jest równy 1,39 dla DA3 oraz DA1(C2), a 1,27 dla DA1(C1). Przy wartościach charakterystycznych τ_{fu} , otrzymanych

zapas bezpieczeństwa pozwalał wnieść 1. etap nasypu o większej wysokości.

Analiza stateczności przeprowadzona dla 2. etapu budowy nasypu, zgodnie z podejściami projektowymi DA3, DA1(C1) oraz DA1(C2), z wykorzystaniem zarówno wartości średnich, jak i charakterystycznych τ_{fu} , wskazuje, iż współczynnik stateczności jest mniejszy od 1,0. Według przeprowadzonych obliczeń powinno dojść do utraty stateczności w tej fazie budowy, jednak w rzeczywistości nasyp nie uległ zniszczeniu.

Wykonane obliczenia stateczności pokazały, że rozpatrywane podejścia projektowe wprowadzają zbyt duży zapas bezpieczeństwa dla nasypów na gruntach organicznych w okresie budowy.

Przeprowadzone obliczenia dla 2. etapu budowy nasypu wskazują, iż współczynnik stateczności zarówno dla wartości średnich τ_{fu} , jak i charakterystycznych jest mniejszy od 1,0, co nie jest zgodne z rzeczywistością. Wobec tego w przypadku projektowania nasypów na gruntach organicznych, przy podejściach projektowych DA3, DA1(C1) oraz DA1(C2), zalecane jest wykorzystywanie wartości średnich τ_{fu} otrzymanych na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej wyników badań połową sondą krzyżakową, gdyż zapas bezpieczeństwa wprowadzany przez współczynniki częściowe jest wystarczający.

Podsumowanie

W artykule przeanalizowano przykład wyznaczania wartości wyrowadzonych, średnich, charakterystycznych oraz obliczeniowych wytrzymałości na ścinanie bez odpływu gruntów organicznych na podstawie wyników badań połową sondą krzyżakową. Analizę przeprowadzono zgodnie z Eurokodem 7, w przypadku etapowo budowanego nasypu w Antoninach, w okresie budowy.

Przeprowadzona ocena stateczności wskazuje, że obowiązujące w Polsce do projektowania stateczności skarp podejście projektowe DA3 wprowadza zbyt duży zapas bezpieczeństwa dla nasypu na podłożu organicznym, w okresie budowy. Podejście projektowe DA1(C1), poprzez stosowanie współczynnika częściowego przy oddziaływaniach stałych niekorzystnych, wprowadza jeszcze większy zapas bezpieczeństwa niż podejście projektowe DA3 oraz DA1(C2).

Wykonane obliczenia stateczności wykazały, że do przeanalizowanych podejść projektowych DA3, DA1(C1) oraz DA1(C2) zaleca się przyjmowanie wartości charakterystycznych wytrzymałości na ścinanie bez odpływu jako wartości średnich otrzymanych na podstawie analizy statystycznej wyników badań połową sondą krzyżakową.

Literatura

- BATORY J. 2004: Zastosowanie metod probabilistycznych w analizie stateczności nasypu na podłożu organicznym. Praca doktorska. SGGW, Warszawa.
- BERGDAHL U. 2005: Embankment design according to Eurocode 7. A compilation of different solutions on Example 10 – Road Embankment. Proc. of the International Workshop, Dublin: 159–163.
- BOND A., HARRIS A. 2008: Decoding Eurocode 7. Taylor & Francis, London and New York.
- FRANK R. 2007: Basic principles of Eurocode 7 on 'Geotechnical design'. Proc. of 18th EYGEC, Ancona.
- FRANK R., BAUDUIN C., DRISCOLL R., KAWADAS M., KREBS OVESEN N., ORR T., SCHUPPENER B. 2004: Designer's Guide to EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical design – general rules. Thomas Telford, London.
- HARTLEN J., WOLSKI W. 1996: Embankments on organic soils. Elsevier, Amsterdam.
- LECHOWICZ Z. 1992: Ocena wzmocnienia gruntów organicznych obciążonych nasypem. Rozprawy naukowe i monograficzne. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- LECHOWICZ Z., SZYMAŃSKI A. 2002: Odkształcenia i stateczność nasypów na gruntach organicznych. Cz. I. Metodyka badań. Wydawnictwo SGGW, Warszawa
- LECHOWICZ Z., WRZESIŃSKI G. 2013: Assessment of embankment stability on organic soils using Eurocode 7. Proceeding of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris.

- LECHOWICZ Z., BATORY J., HYB W. 2004: Variability assessment of undrained shear strength of organic soils obtained from field vane tests. *Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW, Land Reclamation* 35a: 161–170.
- ORR T.L.L. 2012: How Eurocode 7 has affected geotechnical design: a review. *Geotechnical Engineering* 156: 337–349.
- PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-2:2009 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- SCHNEIDER H.R. 1999: Determination of characteristic soil properties. In: *Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructure*. Ed. Barends et al. Balkema, Rotterdam: 1: 273–281.
- SZYMAŃSKI A. 1991: Czynniki warunkujące analizę odkształcenia gruntów organicznych obciążonych nasypem. Rozprawy naukowe i monografie. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Van SETERS A., JANSSES H. 2011: Ground structures – Slope and Retaining wall design in the Netherlands. BGA Symposium, Eurocode 7 – Today and Tomorrow. Cambridge, England.
- WOLSKI W., SZYMAŃSKI A., MIRECKI J., LECHOWICZ Z., LARSSON R., HARTLEN J., GARBULEWSKI K., BERGDAHL U. 1988: Two stage constructed embankments on organic soils. SGI. Report No 32. Linköping.
- WRZESIŃSKI G., LECHOWICZ Z. 2012a: Analiza zachowania się podłoża organicznego obciążonego etapowo budowanym nasypem. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 4: 487–491.
- WRZESIŃSKI G., LECHOWICZ Z. 2012b: Ocena stateczności etapowo budowanego nasypu na podłożu organicznym. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 21 (4): 273–283.

Streszczenie

Ocena stateczności nasypu na podłożu organicznym według Eurokodu 7. Artykuł dotyczy problematyki doboru parametrów geotechnicznych do analizy sta-

teczności etapowo wznoszonego nasypu na podłożu organicznym. Analizę stateczności przeprowadzono zgodnie z wytycznymi Eurokodu 7 dla 1. i 2. etapu budowy nasypu doświadczalnego w Antoninach. Wartości wyprowadzone charakterystyczne oraz obliczeniowe wytrzymałości na ścinanie bez odpływu podłoża organicznego określono na podstawie wyników badań połową sondą krzyżkową. Ocena stateczności wykonano na podstawie analizy statystycznej wartości wyprowadzonych wytrzymałości na ścinanie bez odpływu. Obliczenia stateczności przeprowadzono, przyjmując wartości średnie oraz charakterystyczne wytrzymałości na ścinanie bez odpływu pomniejszone o pół oraz jedno odchylenie standardowe.

Summary

Stability assessment of embankment on organic soils using Eurocode 7. This paper presents a problem of the stability assessment of stage-constructed embankment on soft organic subsoil using Eurocode 7. The stability assessment was performed based on the Antoniny site. The analysis contains measured and corrected shear strength values of the organic soils obtained in the virgin and consolidated organic subsoil by staged construction. Derived, characteristic and design values of undrained shear strength of the organic soils were determined. The stability calculations were performed based on statistical analysis of the field vane test results using mean and characteristic values of undrained shear strength reduced by half and one standard deviation.

Authors' address:

Zbigniew Lechowicz, Grzegorz Wrzesiński
Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Geoinżynierii
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland
e-mail: zbigniew_lechowicz@sggw.pl
grzegorz_wrzesinski@sggw.pl