

Analiza zapasów stateczności nasypów komunikacyjnych

Andrzej Batog, Elżbieta Stilger-Szydło

Zagadnienie stateczności skarp i zboczy jest jednym z ważniejszych problemów budownictwa drogowego. Autorzy w niniejszym artykule zawarli dyskusję sposobów przeprowadzania oceny stateczności skarp nasypów drogowych oraz interpretacji uzyskanych wyników uwzględniając procedury wprowadzone przez Eurokod 7.

Artykuł recenzowany zgodnie z wytycznymi MNiSW

data zgłoszenia do redakcji: 16.10.2013

data akceptacji do druku: 13.01.2014



dr inż.
Andrzej Batog
Politechnika Wroclawska
Instytut Geotechniki
i Hydrotechniki
andrzej.batog@pwr.
wroc.pl



Prof. dr hab. inż.
Elżbieta Stilger-Szydło,
prof. zw. PWR.
Instytut Geotechniki
i Hydrotechniki Politechniki
Wroclawskiej
elzbieta.stilger-szydlo@
pwr.wroc.pl

lega na poszukiwaniu dozwolonych pól prędkości odkształcenia, odpowiadających różnym mechanizmom płynięcia [10].

Metody równowagi granicznej zaliczane są do fundamentalnych metod analizy stateczności skarp i zboczy, stosowanych w praktyce inżynierskiej. Zakłada się w nich występowanie stanu granicznego na pewnych powierzchniach zlokalizowanego poślizgu. Przyjmując pewien mechanizm odkształcenia lub zniszczenia wzdłuż powierzchni poślizgu, analizuje się układ sił związany z tym mechanizmem. Współczesny rozwój metod numerycznych (metody różnic skończonych *MRS*, elementów brzegowych *MEB*, a przede wszystkim metody elementów skończonych *MES*) oraz modeli konstytutywnych gruntu, stawia analizy obliczeniowe na czele narzędzi badawczych, stosowanych do rozwiązywania wielu zagadnień brzegowych geotechniki, w tym stateczności skarp i zboczy.

Pomimo wielu badań nie ma kompletnej, ogólnej teorii, którą można by w pełni zastosować do oceny stateczności skarp oraz istniejących zboczy. Brakuje przepisów normowych i wytycznych dotyczących projektowania i wykonywania zabezpieczeń budowli ziemnych posadowionych na gruntach słabonośnych, terenach osuwiskowych, czy podłożu górniczym. Nie rozwiązały tych zagadnień wytyczne, Rozporządzenia [17], [18], czy Eurokody [14], [16]. Duża liczba trudnych do ustalenia niewiadomych sprawia, że brakuje pewności zachowania stateczności drogowych budowli ziemnych.

Wśród stosowanych do niedawna w praktyce inżynierskiej zasad sprawdzania stateczności drogowych budowli ziemnych, należy wymienić:

- przyjmowanie zachodzenia określonego prawdopodobieństwa wystąpienia osuwiska, jako: bardzo mało prawdopodobne ($F > 1,5$), mało prawdopodobne ($1,3 < F < 1,5$), prawdopodobne ($1,0 < F < 1,3$) oraz bardzo prawdopodobne ($F < 1,0$) – [13], [19];
- postanowienia polskiej normy PN/B-03010:1983 [20], zawierające jedynie zalecenia odnoszące się do sprawdzenia

stateczności ogólnej ściany oporowej lub uskoku naziemu (potencjalnego osuwiska) – przy uwzględnianych wartościach charakterystycznych obciążeń i parametrów geotechnicznych wartości współczynnika korekcyjnego m (będącego odwrotnością współczynnika bezpieczeństwa F), wynoszą: $m = 0,90 \div 0,85$; $F = 1,11 \div 1,18$ przy uskoku naziemu z górnym poziomem nieobciążonym, w rejonie niezabudowanym; $m = 0,85 \div 0,80$; $F = 1,18 \div 1,25$ przy zboczu nieobciążonym, w rejonie niezabudowanym; $m = 0,80 \div 0,75$; $F = 1,25 \div 1,33$ przy uskoku naziemu z górnym poziomem obciążonym lub zbocza w sąsiedztwie zabudowy; $m = 0,75 \div 0,70$; $F = 1,33 \div 1,43$ przy zboczu zabudowanym lub uskoku naziemu obciążonego drogą/linią kolejową w bezpośrednim sąsiedztwie zabudowy;

- postanowienia Rozporządzeń Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej [17], [18], wymagające zachowania współczynnika stateczności F nie mniejszego niż 1,5 (z przyjęciem obliczeniowych wartości obciążeń oraz parametrów geotechnicznych)
- oraz podana w Eurokodie 7 [14] wymagana wartość współczynnika stateczności F nie mniejszego niż 1,0 określona dla obliczeniowych wartości parametrów geotechnicznych gruntów oraz obciążeń, wyznaczonych z uwzględnieniem współczynników częściowych (od roku 2011 rekomendowane jest podejście obliczeniowe 3).

Stosowany w Polsce od 2008/2009 r. Eurokod 7 [14] wprowadził nowe podejścia obliczeniowe dla analizy problemów geotechnicznych, w tym do analizy stateczności skarp. Do chwili wprowadzenia w 2011 r. Załącznika Krajowego [16], rekomendującego stosowanie podejścia obliczeniowego 3 (DA3) w przypadku oceny stateczności ogólnej, Eurokod 7 nie zawierał kryteriów doboru podejść obliczeniowych, do analizy stateczności można było niemal dowolnie zastosować jedno z czterech podejść obliczeniowych, różniących się sposobem przyjmowania wartości poszczególnych współczynników częściowych. Autorzy w publikacjach [1], [2] wskazywali na konsekwencje wyboru poszcze-

1. Wstęp

Zagadnienie stateczności skarp i zboczy jest jednym z ważniejszych problemów budownictwa drogowego. Mamy z nim do czynienia zarówno podczas projektowania nowych konstrukcji jezdni drogowych i autostradowych (posadowionych bardzo często w złożonych i skomplikowanych warunkach geologiczno-inżynierskich), jak również przy ocenie stanu technicznego istniejących modernizowanych obiektów drogowych. Jest także nieodzowne przy ocenach przyczyn występowania wielu zniszczeń i osuwisk skarp drogowych oraz przy ich zabezpieczeniach. Dążąc do optymalnego projektowania oraz przewidywania zachowania się skarp i zboczy wykorzystuje się wiele propozycji metod obliczeniowych ich oceny stateczności.

W grupie teoretycznych metod wymiarowania zboczy opartych na teorii plastyczności dominują metody granicznego stanu naprężenia, oraz inżynierskie metody równowagi granicznej. Teoria stanów granicznych w ujęciu statycznym umożliwia określenie związków między kształtem skarpy, granicznym obciążeniem naziemu i stanem naprężenia w całym masywie. Metoda kinematyczna po-

Tabela 1. Wartości współczynników częściowych zalecanych do stosowania w analizie stateczności skarp

Współczynniki częściowe	Podejścia obliczeniowe				
	1 kombinacja 1 (DA1-1)	2 kombinacja 2 (DA1-2)	2 (DA2)	3 (DA3)	
A	γ_G	1,35	1,0	1,35	1,0'
	γ_{Gfav}	1,0	1,0	1,0	1,0
	γ_Q	1,5	1,3	1,5	1,3'
M	$\gamma_{\tan \phi'}$	1,0	1,25	1,0	1,25
	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25	1,0	1,25
	γ_γ	1,0	1,0	1,0	1,0
R	$\gamma_{R:e}$	1,0	1,0	1,1	1,0

**)oddziaływania te traktuje się jako oddziaływania geotechniczne*

gólnych podejść obliczeniowych, które znacząco wpływały na wartość współczynnika stateczności a w konsekwencji na bezpieczeństwo eksploatacji nasypu drogowego.

Zamierzeniem Autorów jest przeprowadzenie dyskusji na temat sposobów dokonywania ocen stateczności skarp nasypów drogowych, otrzymywanych zapasów stateczności oraz interpretacji uzyskanych wyników w konkretnych przypadkach posadowień nasypów komunikacyjnych w aspekcie procedur wprowadzonych przez Eurokod 7. Przedstawiono spostrzeżenia oparte na wynikach ocen stateczności skarp przeprowadzonych w kilkudziesięciu przekrojach nasypu drogowego modernizowanej Drogi Ekspresowej S-8 (na odcinku Wrocław-Syców), charakteryzujących się dużą zmiennością warunków posadowienia.

2. Stateczność skarp nasypów drogowych w ujęciu Eurokodu 7

Wytyczne Eurokodu 7 [14] dotyczące analizy stateczności skarp zostały omówione szczegółowo we wcześniejszej pracy Autorów [1]. Do analizy stateczności można było początkowo zastosować jedno z czterech wprowadzonych przez Eurokod 7 podejść obliczeniowych, które różnią się sposobem przyjmowania wartości poszczególnych współczynników częściowych – tabela 1. W roku 2011 Załącznik Krajowy [16] wprowadził zapis rekomendujący stosowanie do oceny stateczności ogólnej, zatem i do oceny stateczności skarp, podejścia obliczeniowego 3 (DA3).

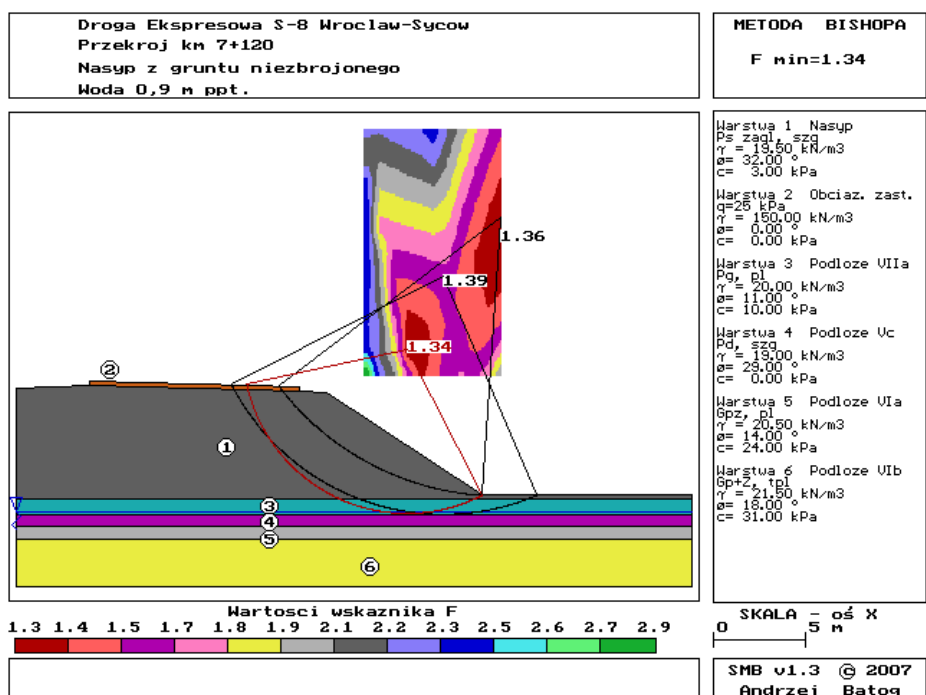
W podejściu 3 (DA3) traktuje się wszystkie oddziaływania na podłoże jako oddziaływania geotechniczne, co sprowadza się do przyjmowania charakterystycznych wartości stałych obciążeń zewnętrznych poprzez przyjęcie $\gamma_G = 1,0$. Z kolei obciążenia zmienne zewnętrzne działające na bryłę osuwiskową należy przemnożyć przez współczynnik $\gamma_Q = 1,3$ oraz zmniejszyć wartości parametrów wytrzymałości gruntów na ścinanie, dzieląc je przez stosowne wartości współczynników częściowych

$\gamma_{\tan \phi'}$ i $\gamma_{c'}$.

Jak wskazują przedstawione w dalszej części artykułu wyniki przeprowadzonych ocen stateczności wybór podejścia 3 w wielu przypadkach obliczeniowych może być dyskusyjny, w szczególności w warunkach słabego rozpoznania warunków podłoża gruntowego. Jednym z argumentów za wprowadzeniem tego podejścia była łatwość zastosowania do obliczeń numerycznych, w szczególności w metodzie elementów skończonych z uwagi na brak konieczności stosowania różnych współczynników częściowych dla oddziaływań utrzymujących i destabilizujących, co występuje w podejściu 1 kombinacja 1 (DA1-1) oraz w podejściu 2 (DA2).

Projektowanie zgodnie z Eurokodem 7 wymaga wykazania, że obliczeniowe skutki oddziaływań E_d są nie większe, niż odpowiadający im obliczeniowy opór R_d :

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



1. Droga Ekspresowa S-8 Wrocław-Syców, przekrój w km 7+120. Wyniki obliczeń stateczności w podejściu tradycyjnym zgodnie z rozporządzeniem MTiGM [18]

Analiza stateczności prowadząca do wyznaczenia minimalnej wartości wskaźnika stateczności F_{min} powinna uwzględniać wartości obliczeniowe parametrów geotechnicznych, oddziaływań i oporów, uzyskiwanych poprzez zastosowanie współczynników częściowych. Przy takim podejściu minimalny wskaźnik stateczności F_{min} powinien być nie mniejszy od jedności. Warunek (1) implikuje diametralnie odmienne (od tradycyjnie stosowanego) podejście do oceny stateczności, w którym obliczenia wykonywano z uwzględnieniem charakterystycznych wartości oddziaływań i reakcji gruntu, a wymagany zapas stateczności osiągnąć poprzez przyjmowanie odpowiednio wysokiej wartości dopuszczalnej F_{dop} . Wartość ta, według rozporządzeń „drogowych” [17, 18], w przypadku skarp nasypów o wysokości powyżej 6 m wynosi $F_{dop} = 1,50$

3. Dyskusja ocen stateczności skarp nasypów komunikacyjnych

Do dyskusji dotyczącej doboru sposobu przeprowadzania oceny stateczności skarp nasypów drogowych oraz interpretacji uzyskanego zapasu stateczności przeprowadzonych na podstawie zaleceń Eurokodu 7 wykorzystano wyniki obliczeń w kilkudziesięciu przekrojach nasypu modernizowanej Drogi Ekspresowej S-8 (na odcinku Wrocław-Syców), charakteryzującego się dużą zmiennością warunków posadowienia. Uzyskane oceny odniesiono do wymagań dotyczących stateczności skarp stawianych przez przepisy krajowe [17, 18].

W latach 2009-2011, w ramach modernizacji i rozbudowy na obszarze Polski infrastruktury transportu lądowego, zmoderni-

zowano Drogę Ekspresową S-8 na odcinku Wrocław-Syców (rys. 2). Prace zaplanowane objęły m.in. budowę nowych nasypów drogowych na odcinku 22,5 km, o zmiennej wysokości do 8,6 m nasypów (i nachyleniu skarp 1:1,5). Warunki posadowienia nasypów są zmienne, stopień złożoności warunków geotechnicznych zmienia się od prostego do skomplikowanego. W fazie prac koncepcyjnych nad projektem trasy drogowej rozważano wykonanie nasypów z gruntu niespoistego w postaci piasku średniego lekko zaglinionego, o niewielkiej spójności.

Do analiz stateczności wykorzystano własny, autorski program **SMB**, w którym zastosowano zmodyfikowaną metodę Bishopa, pozwalającą przeprowadzić obliczenia dla wszystkich czterech podejść obliczeniowych. Jako wartość wymaganą (dopuszczalną) wskaźnika stateczności przyjęto $F_{dop} = 1,0$. Obliczenia prowadzono na obliczeniowych wartościach parametrów, co według Eurokodu 7 [14] powinno zapewnić odpowiedni zapas stateczności.

W celach porównawczych przeprowadzono również analizy odnoszące się do „podejścia tradycyjnego” (**CA**), uwzględniającego charakterystyczne wartości parametrów geotechnicznych. Wartość wymaganą wskaźnika stateczności przyjęto w tym przypadku zgodnie z obowiązującym Rozporządzeniem MTiGM [18], według którego nasyp oraz jego bezpośrednie podłoże powinien posiadać minimalny zapas stateczności określony przez dopuszczalny wskaźnik stateczności $F_{dop} = 1,50$. Na rysunku 1 pokazano przykład obliczeń stateczności w km 7+120 dla „podejścia tradycyjnego”.

Obliczenia stateczności przeprowadzono dla wszystkich czterech podejść obliczeniowych Eurokodu 7, na rys. 2. przedstawiono przykładowe wyniki uzyskane dla podejścia obliczeniowego 3 (DA3), na wykresie podano typ podłoża gruntowego dla każ-

dego przypadku obliczeniowego. Wykres przedstawia zależność minimalnej wartości wskaźnika stateczności F_{min} w danym przekroju obliczeniowym od wysokości nasypu.

Wyniki uzyskane we wszystkich podejściach w przekrojach, w których występuje dostatecznie nośne podłoże nośne (typ podłoża 1, 1a i 2) wykazują wyraźną zależność stateczności nasypu od jego wysokości. Punkty obrazujące obliczone wartości F_{min} układają się w krzywą wykładniczą, co wiążąc należy głównie ze spójnością gruntów nasypu i podłoża. Skarpy nasypu o wysokości powyżej 7,0 m nie wykazują już wyraźnego zmniejszania się wartości wskaźnika stateczności z dalszym wzrostem wysokości nasypu. Porównywalne pod względem warunków gruntowych nasypy wysokie charakteryzują się o około 20% mniejszym zapasem stateczności niż w przypadku nasypów niskich.

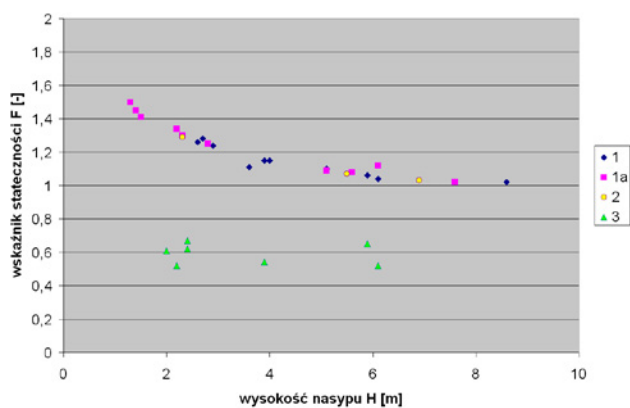
Na rys. 3 podano przykład zestawienia wyników uzyskanych dla jednego z wydzielonych typów podłoża gruntowego – ukształtowanego z gruntów spoistych w stanie plastycznym. W poszczególnych seriach zamieszczono wyniki uzyskane w analizowanych podejściach obliczeniowych oraz w podejściu tradycyjnym. Porównywanie wyników podejść obliczeniowych Eurokodu 7 oraz tradycyjnego może okazać się mylące, z uwagi na zróżnicowane wymagania odnośnie do zapasów stateczności nasypów. Podejścia obliczeniowe Eurokodu 7 wymagają, aby wartość minimalnego wskaźnika stateczności była większa od jedności, natomiast wymagany zapas stateczności podejścia tradycyjnego wynika z przedmiotowych przepisów. W Polsce, przy nasypach drogowych o wysokości powyżej 6,0 m wymagana przepisami wartość wskaźnika stateczności wynosi $F_{dop} = 1,50$. W innych krajach europejskich wartość ta zawiera się w przedziale $F_{dop} = 1,30 \div 1,50$. Z powyższego względu, w po-

dejściu tradycyjnym określa się dodatkowo wartość pomocniczego wskaźnika stateczności, zwanego współczynnikiem przeprojektowania **ODF** (*over-design factor*), zgodnie z zależnością:

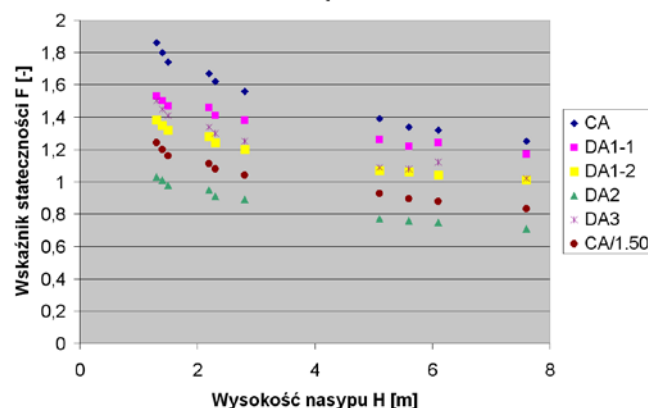
$$ODF = \frac{F_{min}}{F_{dop}} \quad (2)$$

Wartości $ODF > 1$ oznaczają wyższy od wymaganego zapas stateczności. Na wykresie rys. 3 serię wyników **ODF** podejścia tradycyjnego oznaczono symbolem CA/1,50.

Porównanie uzyskanych wyników wskazuje wyraźnie, że w przypadku analizy stateczności skarp nasypów drogowych poszczególne podejścia obliczeniowe nie były równoważne, pomiędzy skrajnymi wynikami uzyskanymi w podejściu DA1 C1 i podejściu DA2 – maksymalne różnice wynoszą około 60% wartości dla DA2. Wskazane w Załączniku Krajowym [16] podejście obliczeniowe 3 daje wyniki mieszczące się w środku między wartościami skrajnymi podejścia DA1 C1 oraz DA2 z czym wiążą się oczywiste konsekwencje. Zatem dobór podejścia obliczeniowego w konkretnym zadaniu winien być poprzedzony dogłębną analizą uwarunkowań geotechnicznych, uwzględniających m.in. kategorię geotechniczną zadania, stopień złożoności warunków geotechnicznych i stopień rozpoznania podłoża gruntowego. W przypadkach słabego stopnia rozpoznania warunków podłoża, przy dużej zmienności gruntów występujących w analizowanym masywie gruntowym, bądź przy występowaniu nasypów niekontrolowanych zastosowanie podejścia obliczeniowego 3 może nie zapewnić wymaganego zapasu stateczności, w takim przypadku należałoby dodatkowo sprawdzić spełnienie warunku stateczności dla najbezpieczniejszego podejścia DA2, w którym uzyskuje się najmniejsze wartości wskaźnika stateczności. Również sprawdzenie stateczności według



2. Wyniki oceny stateczności podejścia obliczeniowego 3 przy poszczególnych typach podłoża (1 – grunty spoiste twardoplastyczne, 1a – grunty spoiste plastyczne i rzadziej twardoplastyczne, 2 – grunty niespoiste, 3 – nienośne grunty organiczne)



3. Porównanie wyników obliczeń stateczności w przekrojach nasypu projektowanego na podłożu z gruntów spoistych w stanie plastycznym dla poszczególnych podejść obliczeniowych Eurokodu 7 oraz przy podejściu tradycyjnym (CA – Classical Approach)

podejścia obliczeniowego 2 byłoby korzystne w przypadku ustalania wartości parametrów wytrzymałości metodami pośrednimi (na przykład wyłącznie na podstawie zależności korelacyjnych).

Najwyższe wartości wskaźników stateczności daje podejście *DA1-1*, w którym co bardzo istotne, analizę stateczności przeprowadza się z uwzględnieniem tylko charakterystycznych wartości parametrów wytrzymałości. To podejście może być wybierane np. w przypadku, gdy wartości parametrów wytrzymałości gruntów zostały wyznaczone metodami laboratoryjnymi i polowymi, zapewniającymi wysoki stopień rozpoznania warunków geotechnicznych całego analizowanego masywu gruntowego. W takim przypadku analiza przeprowadzona w oparciu tylko o podejście 3 może prowadzić do przeprojektowania skarpy nasypu.

W celach porównawczych na wykresie rys. 3 podano wartości wskaźników stateczności określone zgodnie z podejściem tradycyjnym (*CA*), uwzględniającym charakterystyczne wartości wszystkich parametrów geotechnicznych oraz obciążeń. Wyniki są oczywiście większe, od uzyskanych z podejść obliczeniowych Eurokodu 7. Istotne są różnice wartości wskaźników stateczności uzyskane w tych podejściach, bowiem ilustrują one, jak duży zapas stateczności powoduje dana kombinacja częściowych współczynników zalecanych w danym podejściu.

Należy również przeanalizować wyniki ocen stateczności Eurokodu 7 pod kątem zgodności z kryteriami dotychczas stosowanymi w praktyce inżynierskiej, wynikającymi z wymaganego przez przepisy zapasu stateczności $F_{dop} = 1,50$. W tym celu podano na wykresie rys. 3 wartości współczynnika przeprojektowania *ODS*, obliczone w podejściu tradycyjnym (oznaczone symbolem *CA/1.5*). Mogą one stanowić odniesienie do wartości wskaźników stateczności określonych w poszczególnych podejściach obliczeniowych, w których wartość wymagana wskaźnika stateczności wynosi $F_{dop} = 1,0$. Z porównania wynika spostrzeżenie, że jedynie podejście obliczeniowe *DA2* pozwala na uzyskanie wartości wskaźników stateczności nie większych (czyli bezpieczniejszych) od wartości *ODS*, zatem tylko podejście obliczeniowe 2 (*DA2*) spełnia wymagania dotyczące stateczności wysokich nasypów drogowych w świetle polskich przepisów.

4. Podsumowanie

Ocena stateczności skarp i zboczy w budownictwie drogowym jest jednym z głównych zagadnień w procesie projektowania, zapewniającym bezpieczeństwo eksploata-

cji dróg. Wskaźnik stateczności *F*, stosowany jako podstawowy parametr do oceny zapasu stateczności, może przyjmować różne wartości w zależności od zastosowanej metody obliczeniowej oraz przyjętego podejścia obliczeniowego.

Instrukcja ITB nr 304/1991 [19] podaje m.in., że bezpieczne wartości wskaźnika stanu równowagi przy parametrach średnich należy przyjmować nie mniejsze niż $F = 1,3$.

Zbliżone są wymagania normy niemieckiej DIN 4084:1981 zalecające przyjmowanie współczynnika bezpieczeństwa (w przypadku zsuwu równoległego do powierzchni zbocza) w zależności od układu obciążeń od 1,3 (układ podstawowy obciążeń) do 1,1 (stan wyjątkowy, działania obciążeń sejsmicznych). Przy dużej spójności gruntu ($c > 20$ kPa) stosuje się odpowiednio $F = 1,73$ do 1,47. Nowsze wydanie normy E DIN 4084:2002, dostosowane do wersji ENV Eurokodu, dla trzech układów obciążeń podaje wartości $F = 1,25; 1,15$ oraz 1,1.

Autorzy wykazali, że poszczególne podejścia oceny stateczności skarp wprowadzone przez Eurokod 7 [14], nie są równoważne, a wskazanie w Załączniku Krajowym [16] podejścia obliczeniowego 3 do oceny stateczności wymaga dobrego rozpoznania warunków geotechnicznych, a więc odpowiedzialnego przygotowania programu badań geotechnicznych dla projektowanej inwestycji.

W Polsce zalecane jest podejście *DA3*, w którym współczynniki częściowe stosuje się tylko do parametrów wytrzymałości gruntu i obciążeń zmiennych. Wynikowe wartości zapasu stateczności są generalnie mniejsze od wymaganego w obowiązującym rozporządzeniu MTiGM [18]. Jedyne obliczenia wykonane według Eurokodu 7 dla podejścia obliczeniowego 2 pozwalają uzyskać porównywalny zapas stateczności. Biorąc pod uwagę trwającą od lat szeroką dyskusję (por. [7]), dotyczącą nadmiernie dużego zapasu stateczności wymaganego przez przywołane rozporządzenie, weryfikacja obliczeń stateczności z wykorzystaniem podejścia *DA3* wydaje się konieczna w przypadkach słabego stopnia rozpoznania warunków podłoża, przy dużej zmienności gruntów występujących w analizowanym masywie gruntowym, bądź przy występowaniu nasypów niekontrolowanych. ◀

Literatura

- [1] Batog A., Stilger-Szydło E., Stateczność skarp nasypów drogowych w ujęciu Eurokodu 7. *Drogownictwo* 2010, nr 1, s. 18-21.
- [2] Batog A., Stilger-Szydło E., Stateczność skarp nasypów modernizowanej drogi ekspresowej S-8 w ujęciu Eurokodu 7 i aktual-

nych przepisów krajowych. *Drogownictwo* 2010, nr 2, s. 39-44.

- [3] Bishop A. W., The use of the slip circle in the stability analysis of slopes, *Geotechnique*, 1955, no 5, pp. 7-17.
- [4] Bond A., Harris A., *Decoding Eurocode 7*. Taylor & Francis Group, London, 2008.
- [5] Brandl H., *Konstruktive Hangsicherungen*. W: *Grundbau-Taschenbuch*, Teil 3, Verl. Ernst und Sohn, Berlin 1997, s. 553-67 l.
- [6] Frank R. et al., *Designers' guide to EN 1997-1: Eurocode 7*. Thomas Telford, London, 2004.
- [7] Kłosiński B., O wymaganiach dotyczących stateczności skarp i zboczy, *Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK Oddział Kraków, Problematyka osuwisk w budownictwie komunikacyjnym*, seria Materiały Konferencyjne, Nr 88, Zeszyt 144, Kraków 2009.
- [8] Simpson B., Driscoll R., *Eurocode 7 a commentary*. CRC Ltd., London, 1998.
- [9] Sommer H., *Zur Stabilisierung von Rutschungen mit steifen Elementen. Berechnungen und Messungen*, *Bautechnik* 1978, s. 304-341.
- [10] Stilger-Szydło E., *Posadowienia budowli infrastruktury transportu lądowego. Teoria – Projektowanie – Realizacja*. Wrocław, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2005.
- [11] Wiłun Z., *Zarys geotechniki*, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 2000.
- [12] Wysokiński L., *Zabezpieczanie stateczności skarp i zboczy*, XVI Konferencja PZITB „Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji”, Ustroń 2001, t. 2, s. 225-236.
- [13] Wysokiński L., *Zasady poprawnej analizy obliczeń stateczności zboczy*, (w pracy: [19]) 2000, s. 171-186.
- [14] PN-EN 1997-1: 2008/AC: 2009 Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady ogólne.
- [15] PN-EN 1997-2: 2009 Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne – Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- [16] PN-EN 1997-1:2008/NA:2011. Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady ogólne. Załącznik Krajowy.
- [17] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 14 maja 1997 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących autostrad płatnych. Dz. U. z dnia 19 czerwca 1997 r., Nr 62, poz. 392.
- [18] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dz. U. Nr 43/1999 r.
- [19] Posadowienie obiektów budowlanych w sąsiedztwie skarp i zboczy. Instrukcja ITB nr 424, Warszawa 2006.
- [20] Norma PN/B-03010:1983 Ściany oporowe. Obliczenia statyczne i projektowanie