

Stateczność podtorza gruntowego

Eugeniusz Skrzyński

W artykule wskazano na znaczne różnicowanie współczynników pewności (bezpieczeństwa) przyjmowanych przy ocenie stateczności budowli ziemnych. Podano czynniki powodujące to różnicowanie i zaproponowano nowe współczynniki dla podtorza kolejowego.

Artykuł recenzowany zgodnie z wytycznymi MNiSW

data zgłoszenia do redakcji: 22.10.2012

data akceptacji do druku: 15.11.2012



dr inż. Eugeniusz Skrzyński
Instytut Kolejnictwa,
Zakład Dróg Kolejowych
i Przewozów
eskrzynski@ikolej.pl

Ocena stateczności budowli ziemnych należy do najtrudniejszych zadań geotechniki. Szczególnie trudna jest ocena stateczności skarp istniejącego podtorza kolejowego, gdyż ok. 83% linii kolejowych w Polsce zostało zbudowanych przed I. Wojną Światową, tj. w okresie rozbiorów, według różnych ówczesnie obowiązujących wymagań. Podtorze to było później w różny sposób przystosowywane do zmieniających się wymagań i obecnie nie jest jednorodne.

Duża liczba trudnych do ustalenia niewiadomych powoduje, że praktycznie nigdy nie ma całkowitej pewności zachowania stateczności budowli. Nie jest to łatwe do zaakceptowania przez osoby odpowiedzialne za bezpieczeństwo projektowanych i już eksploatowanych budowli. Dyskusyjne stają się również wszelkie wymagania zawarte w normach i przepisach.

Przykładowo zastrzeżenia budzą zarówno duże wartości współczynników pewności (bezpieczeństwa) F skarp budowli kolejowych podane w „Id-3 Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego” [3], jak i wartość znacznie mniejsza dla budowli drogowych podana w Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 2 marca 1999, w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie [11].

Z drugiej strony zastrzeżeń takich nie ma na przykład w przypadku fundamentów dla których, ze względu na potrzebę ograniczenia nadmiernych osiadań pojawiających się na długo przed wyczerpaniem granicznej nośności podłoża, zazwyczaj przyjmuje się współczynniki pewności F w zakresie 2 – 3, lub też budowli hydrotechnicznych, dla których współczynniki są jeszcze większe.

Należy tu podkreślić, że na wyniki obliczeń i bezpieczeństwo podtorza większy wpływ od stosowanych współczynników pewności mają przyjmowane parametry gruntów oraz dane o wodzie gruntowej. Z tego względu paradoksalnie najmniejsza niepewność w ocenach stateczności podtorza występuje w przypadkach osuwisk już istniejących, gdyż wtedy najczęściej można ustalić powierzchnię poślizgu, założyć że $F \approx 1$ i dokonać wstecznej analizy stateczności w celu określenia rzeczywistych parametrów gruntów [4].

Z powyższych względów wartości wymaganych i zalecanych współczynników F dla budowli ziemnych są bardzo zróżnicowane – ilustruje to tab. 1. Wynika z niej, że:

- wymagane lub zalecane minimalne współczynniki F w większości przypadków nie osiągają wartości 1,5,
- przy średnich parametrach gruntów bezpieczne wartości wskaźnika F można przyjmować nie mniejsze niż $F=1,3$,
- ustabilizowanie istniejących osuwisk wymaga najczęściej tylko niewielkiego zwiększenia współczynnika pewności (o 5 do 15%).

Tab. 1: Minimalne „bezpieczne” wartości współczynnika pewności F

Źródła	Minimalne współczynniki pewności F
1	2
Podjęcie klasyczne według prof. Z. Wiłuna, w zależności od stosowanej metody obliczeń, ważności obiektu, dokładności wyznaczenia parametrów geotechnicznych oraz sposobu zabezpieczenia zbocza [1] [13]	1,1 – 1,3 w przypadku metody Felleniusa 1,3 – 1,5 w przypadku uproszczonej metody Bishopa
Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie [12]	„skarpy podtorza powinny mieć pochylenie zapewniające ich stateczność w oparciu o przeprowadzoną analizę stateczności, jak również stateczność całego podtorza”
Id-3 Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego [3]	2,0 – podtorze nowe i dobudowywane 1,5 – w eksploatacji 1,3 – bezpośrednio po naprawie
Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 2 marca 1999 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie [11]	1,5
Earthworks and track bed for railway lines. Code 719 R (3rd edition) [2]	Brak wartości F , zaleca się odpowiednie grunty i nachylenia skarp
Norma PN-B-03010:1983 dla zbocza zabudowanego lub uskoku naziemu obciążonego drogą albo linią kolejową w bezpośrednim sąsiedztwie zabudowy [6]	1,33 - 1,43
Instrukcja ITB nr 304 z 1991 r. dla średnich parametrów gruntów [10]	1,3
Norma DIN 4084 [5]: - dla stanu podstawowego zależnie od spójności gruntu (1981 r.) - dla stanu podstawowego (2002 r.)	1,3 – 1,73 1,25
Norma SIA 267:2003 Geotechnical design (wymagania „ulgowe” dla zboczy pełzających i bliskich stanu granicznego) [8]	1,05 - 1,20 pod warunkiem obserwacji lub analizy wstecznej
Norma PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7-1 [7]	do 1,4

Należy zauważyć, że wartości takie stosowano również dawniej, gdy jakość badań podłoża i sprzęt badawczy były znacznie gorsze niż obecnie, a osuwisk nie było dużo więcej [1][13].

Zróżnicowanie wymaganych i zalecanych współczynników pewności świadczy także o tym, że parametr F jest w dużej mierze wielkością umowną, charakteryzującą jedynie prawdopodobieństwo wystąpienia osuwiska. Na przykład według prof. Lecha Wysokińskiego wystąpienie osuwiska jest:

- bardzo mało prawdopodobne - gdy $F > 1,5$,
- mało prawdopodobne - gdy $1,3 < F < 1,5$,
- prawdopodobne - gdy $1,0 < F < 1,3$,
- bardzo prawdopodobne - gdy $F < 1,0$.

Podział ten jest bardzo uproszczony i nie uwzględnia szeregu czynników wpływających na wartości wymaganych współczynników dla podtorza, takich na przykład jak:

- mała dokładność rozpoznania warunków wodno-gruntowych istniejącego, najczęściej niejednorodnego, podtorza (zazwyczaj są to badania makroskopowe, a parametry gruntów ustalane są z norm lub literatury);
- brak możliwości ustalenia wpływu obciążeń dynamicznych i drgań;
- różnorodność metod obliczeniowych, sposobów przygotowywania danych i uzyskiwanych wyników;
- potrzeba zapewnienia wymaganej stateczności nowym nasypom o rozsądnych wysokościach i typowych nachyleniach skarp (np. 1:1,5 do 1:2) zbudowanych z dostępnych gruntów;
- potrzeba zapewnienia spójnych wymagań dla podtorza na liniach sieci podstawowej i liniach dużych prędkości, w tym dla podtorza nowego, modernizowanego i eksploatowanego lub naprawianego;
- potrzeba zapewnienia dużej trwałości budowli ziemnej (wg karty UIC co najmniej 100 lat);
- bardzo duże wymagania dotyczące stabilności podtorza na liniach dużych prędkości, zwłaszcza na liniach z nawierzchnią bezpodsykową;
- niewielkie możliwości dostosowania istniejącego podtorza do zbyt wygórowanych wymagań;
- duże koszty wzmocnień podtorza wynikające z zawyżonych wymagań.

Uwzględnienie wszystkich czynników wpływających na prawidłowość oceny stateczności podtorza nie jest jednak możliwe. Dlatego przy określaniu minimalnych wartości współczynników należałoby ograniczyć się do czynników najbardziej istotnych, takich jak:

- wiarygodność oceny stateczności (wiarygodność rozpoznania warunków wodno-gruntowych, dokładność metody obliczeń współczynnika F),
- możliwość uzyskania wymaganej statecz-

ności nowego podtorza zbudowanego z odpowiednio dobranych gruntów oraz podtorza istniejącego zbudowanego z gruntów niekontrolowanych,

- znaczenie linii kolejowej (np. maksymalna prędkość pociągów i związane z nią skutki ewentualnych katastrof).

Proponowane wartości współczynników pewności F dla podtorza podano w tab. 2. Wartości te uwzględniają dotychczasowe doświadczenia z ocen stateczności. Umożliwiają również racjonalne wykorzystanie do budowy najczęściej spotykanych gruntów (tab. 3 i 4).

Tab.2: Proponowane minimalne wartości współczynnika pewności F

Wiarygodność rozpoznania warunków wodno-gruntowych	Naprawa podtorza istniejącego dla $v \leq 250$ km/h	Podtorze nowo budowane i dobudowywane oraz przebudowa i modernizacja podtorza istniejącego
1	2	3
Przeciętna (niejednorodność konstrukcji podtorza, pojedyncze lub średnie oceny parametrów poszczególnych gruntów)	1,30 (1,40)	1,40 (1,50) – linie dla $v \leq 250$ km/h 1,50 (1,60) – linie dla $v > 250$ km/h
Dobra (szczegółowe badania lub duża jednorodność warunków wodno-gruntowych, pozwalająca na oszacowanie miarodajnych właściwości gruntów na poziomie ufności 95% lub dla dolnego fraktyla 5%)	1,20 (1,30)	1,30 (1,40) – linie dla $v \leq 250$ km/h 1,40 (1,50) – linie dla $v > 250$ km/h

Objaśnienia:

- przed nawiasami podano wartości w przypadku obliczeń stateczności metodą Felleniusa, natomiast w nawiasach wartości odpowiednie dla uproszczonej metody Bishopa lub innej metody uznanej za dokładną
- dla nowo budowanego podtorza na liniach z nawierzchnią bezpodsykową zaleca się przyjmować $F = 2,0$

Tab.3: Współczynniki pewności F skarpy nasypu bez rowu o wysokości 5 m przy obciążeniu eksploatacyjnym naziomu 60 kN/m^2 na pasie o szerokości 3,5 m w odległości 1,0 m od górnej krawędzi nasypu

Lp.	Rodzaj gruntu	Nachylenie skarpy	Metoda obliczeń stateczności:	
			Felleniusa (wartości zaniżone)	uproszczona Bishopa (wartości dokładniejsze)
1	2	3	4	5
1.	Piasek gliniasty twardoplastyczny	1 : 1,5	1,52	1,60
2.	Piasek średni zagęszczony	1 : 1,5	1,70	1,85
3.	Pospółka zagęszczona	1 : 1,5	1,88	2,06
4.	Piasek gliniasty twardoplastyczny	1 : 1,8	1,77	1,83
5.	Piasek średni zagęszczony	1 : 1,8	2,02	2,11
6.	Pospółka zagęszczona	1 : 1,8	2,22	2,33

Tab.4: Współczynniki pewności F skarpy nasypu bez rowu o wysokości 10 m przy obciążeniu eksploatacyjnym naziomu 60 kN/m^2 na pasie o szerokości 3,5 m w odległości 1,0 m od górnej krawędzi nasypu

Lp.	Rodzaj gruntu	Nachylenie skarpy	Metoda obliczeń stateczności:	
			Felleniusa (wartości zaniżone)	uproszczona Bishopa (wartości dokładniejsze)
1	2	3	4	5
1.	Piasek gliniasty twardoplastyczny	1 : 1,5	1,25	1,31
2.	Piasek średni zagęszczony	1 : 1,5	1,58	1,69
3.	Pospółka zagęszczona	1 : 1,5	1,74	1,85
4.	Piasek gliniasty twardoplastyczny	1 : 1,8	1,39	1,45
5.	Piasek średni zagęszczony	1 : 1,8	1,80	1,93
6.	Pospółka zagęszczona	1 : 1,8	2,01	2,15

Z przedstawionej analizy współczynników pewności F wynikają następujące wnioski:

1. Stosowanie tradycyjnych metod oceny stateczności eksploatowanego podtorza i obniżonych wartości współczynników pewności F jest wystarczające, jednak pod warunkiem objęcia badaniami wszystkich odcinków na których stateczność podtorza wydaje się zagrożona.
2. Duże wartości współczynników pewności należy stosować jedynie w przypadku budowy podtorza nowego lub modernizacji podtorza istniejącego, przy czym podtorzem zmodernizowanym nie jest podtorze po przebudowie górnych warstw (wzmocnieniu torowiska) i odwodnienia.
3. W przypadku skomplikowanej budowy podtorza, w celu uniknięcia dużych błędów, jego stateczność należy sprawdzić kilkoma metodami (na przykład metodą pasków lub bloków albo metodą numeryczną – najczęściej elementów skończonych), przy różnych założeniach albo innym sposobie przygotowania danych wejściowych.
4. Szczególnej ostrożności wymaga przyjmowanie wartości spójności gruntów. Z zasady spójności te w przypadku uplastycznionych gruntów spoistych powinny być przyjmowane jako efektywne (z odpiływem wody) i zmniejszane ze względu na drgania, natomiast dla gruntów sypkich zastępowane spójnościami pozornymi wynikającymi z klinowania się ziaren gruntu.

5. W przypadku podtorza już eksploatowanego istotnym czynnikiem wpływającym na stateczność są umocnienie biologiczne, a zwłaszcza korzenie drzew i krzewów. Dlatego w przypadkach koniecznych, przed karczowaniem drzew na skarpach należy sprawdzić ich stateczność i zapewnić odpowiednie zagęszczenie gruntu po karczowaniu. Z dotychczasowych doświadczeń wynika bowiem (m.in. z modernizacji trasy E-30), że usuwanie drzew wraz z korzeniami powoduje niekiedy trudne do opanowania osuwiska skarp i wycieki wody.
6. Podczas nowelizacji przepisów podtorzowych celowe jest rozważenie propozycji współczynników pewności F zamieszczonych w tab. 2. ◀

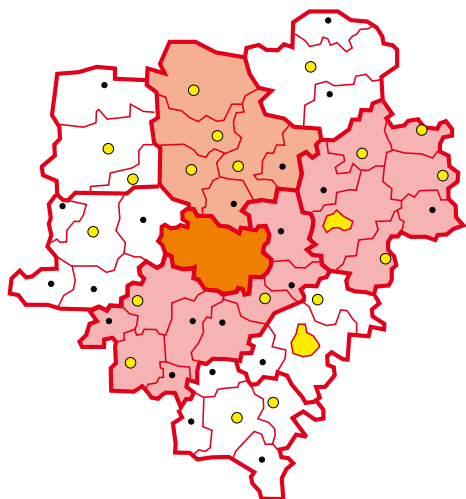
Materiały źródłowe

- [1] Datka St., Lenczewski St.: Drogowe roboty ziemne. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa, 1979 r.
- [2] Earthworks and track bed for railway lines. Code 719 R (3rd edition). International Union of Railways 2008
- [3] Id-3 Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego. Załącznik do Zarządzenia nr 9 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 4 maja 2009 r.
- [4] Kłosiński B., Leśniewski Ł.: O wymaganiach dotyczących stateczności zboczy i skarp. Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK Oddział Kraków, Problematyka osuwisk w budownictwie komunika-

cyjnym, seria Materiały Konferencyjne, Nr 88, Zeszyt 144, Kraków 2009 r.

- [5] Norma DIN 4084 (Juli 1981): Baugrund-Gelände- und Böschungsbruchberechnungen. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [6] Norma PN-B-03010:1983 Ściany oporowe – Obliczenia statyczne i projektowanie
- [7] Norma PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – Cz. 1: Zasady ogólne
- [8] Norma SIA 267:2003 Geotechnical design. Swiss Society of Engineers and Architects
- [9] Ocena stateczności skarp i zbocz. Instrukcja ITB nr 424, Warszawa, 2006 r.
- [10] Posadowienie obiektów budowlanych w sąsiedztwie skarp i zboczy. Instrukcja ITB 304. Warszawa 1991 r.
- [11] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 2 marca 1999 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz. U. 43 poz. 430)
- [12] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie (Dz. U. 151 poz. 987 oraz 100 poz. 1082)
- [13] Wiłun Z.: Zarys geotechniki. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa, 1976 r.

Call for Papers — zaproszenie do publikacji „Plany Transportowe”



Redakcja „Przeglądu Komunikacyjnego” planuje wydać w połowie roku 2013 numer tematyczny dotyczący zagadnień związanych z opracowywaniem „Planów zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego” zgodnie z zakresem definiowanym w „Ustawie o publicznym transporcie zbiorowym”.

Prosimy o nadsyłanie materiałów dotyczących prowadzonych prac oraz opisów wdrożonych lub planowanych rozwiązań.

Termin nadsyłania artykułów: **30.04.2013 r.**

O zakwalifikowaniu do druku decyduje także kolejność zgłoszeń.

Artykuły przygotowane zgodnie z wytycznymi Przeglądu Komunikacyjnego należy nadsyłać na adres: artykuly@przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl

Informacje dotyczące sugerowanych obszarów tematycznych publikacji dostępne są na stronie <http://przeglad.komunikacyjny.pwr.wroc.pl/> w zakładce „Call for Papers”