XXIV awarie budowlane
XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna
Szczecin-Międzyzdroje, 26-29 maja 2009

Prof. dr hab. inż. LECH WYSOKIŃSKI
Instytut Techniki Budowlanej

BŁĘDY SYSTEMATYCZNE W BUDOWIE NASYPÓW DROGOWYCH NA PRZYKŁADZIE ANALIZY OBWODNICY GORZOWA WIELKOPOLSKIEGO

SYSTEMATIC ERRORS IN THE ROAD EMBANKMENTS CONSTRUCTION TAKING AS AN EXAMPLE THE RING ROAD OF GORZÓW WIELKOPOLSKI

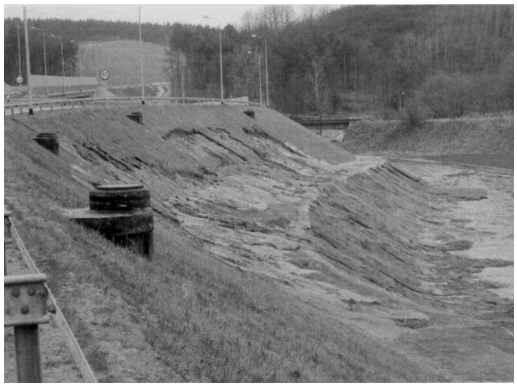
Streszczenie Na przykładzie wysokiego nasypu drogowego, który uległ rozległym uszkodzeniom powierzchni skarp, obejmujących ponad 15% ich powierzchni, przeanalizowano błędy popełniane podczas projektowania i w wykonawstwie. Szczególną uwagę zwrócono na nierealistyczne założenia przepisów, które wymuszają wzmocnienia korpusu nasypu.

Abstract Taking as an example a high road embankment, which has undergone of the extensive damages of scarp surfaces, including more than 15% of their area, were analysed the errors made during the designing and construction. The special attention was paid to the unrealistic assumptions of regulations, which force the reinforcements of embankment body.

1. Wstęp

Wykonywanie wysokich nasypów drogowych zgodnie z dziś obowiązującymi przepisami, na podstawie obserwacji realizacji i wykonywanych projektów, budzi wątpliwości. Dotyczą one głównie nachylenia skarp wykopów i nasypów, które przyjmowane są zgodnie z [4] w proporcji 1:1,5; kąt nachylenia ok. 34°. Dalej wymaga się, żeby wartość współczynnika bezpieczeństwa dla tych konstrukcji wynosiła 1,5.

Rys. 1. Uszkodzenia zadarnionej skarpy. Brak drenażu na koronie wykopu



Rys. 2. Zniszczenia skarpy nasypu drogowego

W takich warunkach konstruowanie wysokich nasypów bez wzmocnień nie jest możliwe. Wkłada się więc w masę nasypu geosiatki, georuszty, czy inne zbrojenia. Firmy sprzedające te materiały dostarczają programów, które szybko pokazują gdzie i ile zbrojenia należy włożyć w nasyp. Zachodzi pytanie, czy konstrukcji takiej nie można zaprojektować bez takiego zbrojenia? Jaki powinien być kąt nachylenia nasypu z określonego gruntu, by nie trzeba było go zbroić? Mimo zbrojenia wiele nasypów nadal wykazuje niestateczność. Zazwyczaj jest to osuwanie warstw powierzchniowych tak, jak to pokazuje rys. 1 i rys. 2.

Jak powinna wyglądać konstrukcja nasypu, by była bezpieczna i tania? Uszkodzenia skarpy obwodnicy Gorzowa Wlkp. mogą dobrze posłużyć za przykład, na którym widać błędy, wady projektu, wykonawstwa oraz przepisów.

2. Omówienie awarii

Obwodnicę drogową ukończono w roku 2006. Ze względu na liczne uszkodzenia odwodnień i usterki widoczne na skarpach wykopów i nasypów była przez pół roku niedopuszczona do ruchu. W końcu, w listopadzie 2007 roku, mimo, że usterki nie zostały usunięte, obwodnicę otwarto. Uszkodzenia są na skarpach zarówno wykopów jak i nasypów. Zajmiemy się tu tylko nasypami nie analizując wykopów.

Obwodnicę wykonano z materiału lokalnego wykorzystując masy gruntu z wykopów. W masach skierowanych do budowy nasypu był duży udział gruntów spoistych, piasków gliniastych, glin piaszczystych.

Roboty wykonywano na jesieni, zimą i wiosną. Warunki budowy były bardzo trudne ze względu na obfite opady deszczu. Trzeba też zaznaczyć, że nie było jednomyślności w decyzjach podejmowanych na budowie, dotyczących używanych gruntów i innych problemów związanych z formowaniem nasypu. Występowały duże różnice poglądów między projektantami, wykonawcą, a inżynierem budowy. Patrząc z perspektywy czasu można powiedzieć, że każdy z nich miał w jakimś fragmencie rację, a w innym już nie, co tworzyło brak dobrej, zgodnej atmosfery na budowie. Podkreślam to, bo czynnik ludzki nie jest właściwie doceniany przy powstawaniu awarii, a niekiedy ma on istotne znaczenie.

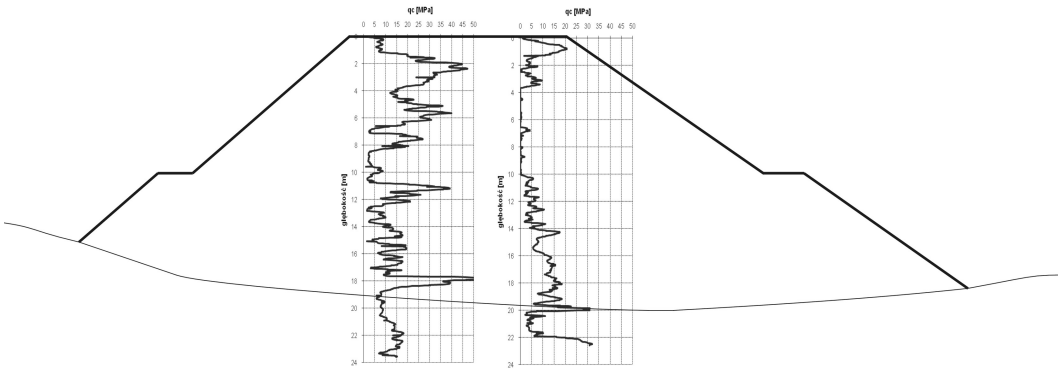
Parametry podane przez Projektanta dla gruntów budujących nasyp w wartości:

grunty spoiste – $\varphi = 18{,}5°$
$c = 38$ kPa

grunty niespoiste – $\varphi = 16°$
$c = 22$ kPa

są nierealistyczne w świetle obserwacji odsłoniętych gruntów w skarpach nasypów.

Dla sprawdzenia stanu nasypu wykonano 6 sondowań CPTU z powierzchni drogi (rys. 3).



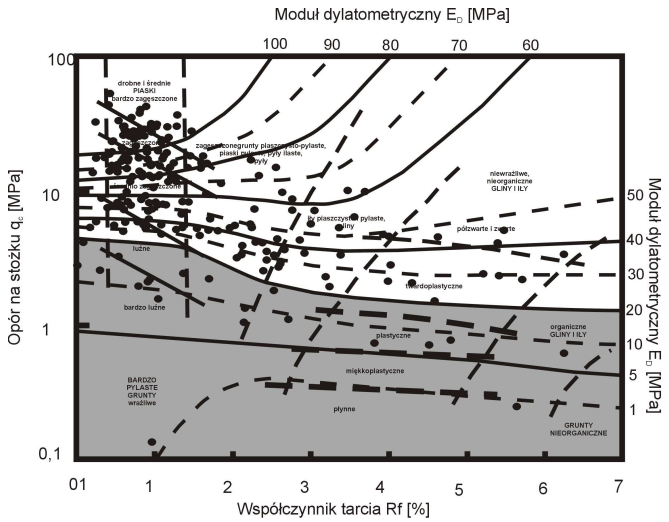
Rys. 3. Wyniki sondowań CPTU w korpusie nasypu

Grunty analizowano łącznie, niezależnie od miejsca występowania w profilu. Technologia wykonania nasypu powoduje, że w każdym punkcie może się znaleźć przypadkowy grunt. W rezultacie uzyskano następujące charakterystyki gruntów, które budują nasyp w badanych profilach.

Tablica 1. Syntetyczna analiza wyników sondowań

Sonda	Długość sondy [mb]	Grunty „słabe” w profilu [m]	Grunty „słabe” w profilu [%]	Piaski [%]	Grunty spoiste [%]	Inne słabe [%]	$M_o > 60$ [MPa]	$20 < M_o < 60$ [MPa]	$M_o < 20$ [MPa]	Parametry wytrzymałościowe obliczeniowe
Rozjazd	12,5	2,0	16,6	75	25	0	80	20	0	piaski φ’=30° c = 5 kPa spoiste φ’ = 16° c’ = 10 kPa słabe φ = 5° c = 10 kPa
km 2+615	22,0	6,5	29,5	55	41	4	51	40	9	
km 3+700	23,5	3,5	14,8	91	7	2	71	27	2	
km 3+800	14,0	0,5	3,0	86	14	0	72	25	3	
km 3+900	23,5	0,0	0,0	85	15	0	81	19	0	
km 4+000	13,5	2,5	18,5	76	14	0	55	37	8	
	108,5 m	13,0 m	12%	78%	11%	1%				

Wyniki naniesiono na wykres Schertmanna (rys. 4)



Rys. 4.

Komentując otrzymane wyniki zwraca uwagę kategoria grunty „słabe” – gruntów tych w nasypie nie powinno być wcale. Jest ich aż 12%, co świadczy o złej jakości pracy wykonawcy i słabej kontroli. Nasyp w przewadze – ok. 80%, wykonany jest z piasków różnej granulacji i stopniu zagęszczenia. Na podstawie obserwacji nisz osuwisk spodziewano się większego udziału gruntów spoistych w materiale budującym nasyp.

Rozpatrując osobno 6 profili sond stwierdzono bardzo dużą zmienność zagęszczenia w całym nasypie. Tylko jedna sonda na całej wysokości nasypu dokumentowała poprawną, zadowalającą jakość i zagęszczenie materiału (17%). Jeszcze trzy (czyli razem 4) nie miały na całej wysokości nasypu gruntów słabych (ok. 60% profilu sondowań). Aż 40% profili nasypu zawierało warstewki słabe, które zwykle były jeszcze nieprzepuszczalne (ilaste), co powodowało, że gromadziła się na nich woda.

Zauważyć należy, że przy utracie stateczności decydujące są zawsze najsłabsze miejsca. Czasem 1 mm warstwa słaba decyduje o powstaniu dużego osuwiska.

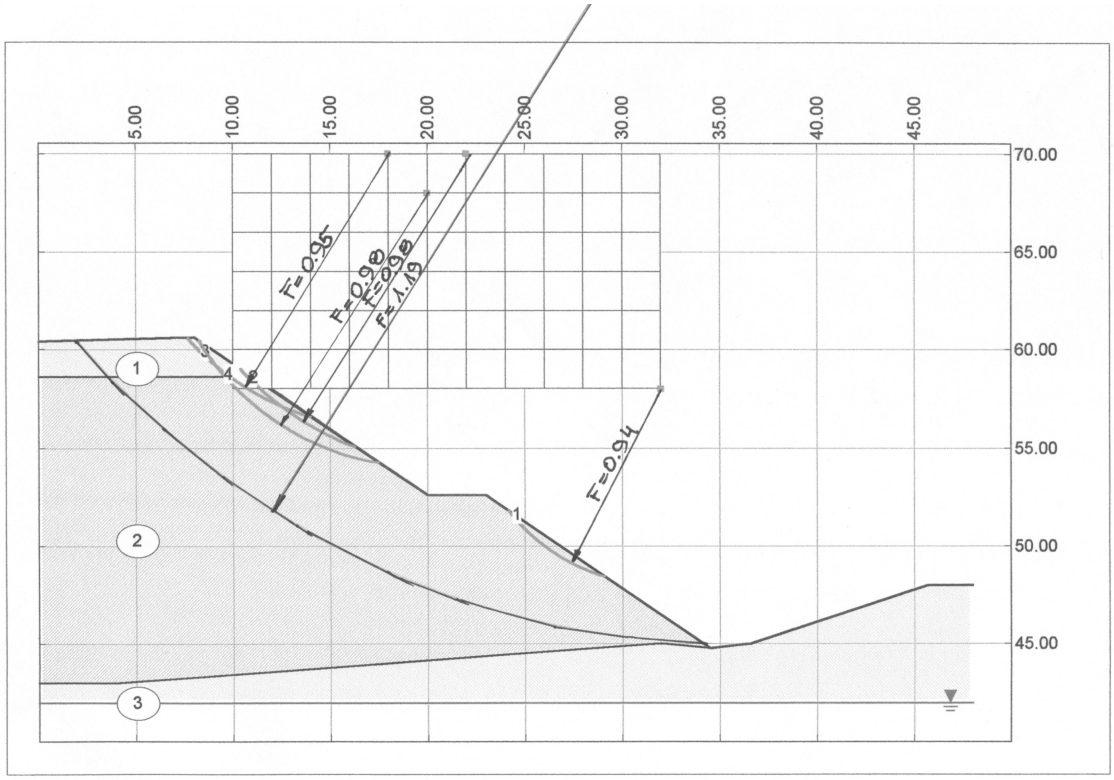
3. Analizy stateczności

W istniejącym stanie, wskazującym na możliwość zagrożenia stateczności nasypu, wykonano niezależnie trzy ekspertyzy stateczności [1][2][3]. Wszystkie one udokumentowały bardzo niską wartość współczynnika stanu równowagi nasypu. Uwzględniono w nich obciążenie ruchem samochodowym o wartości 25 kN na koronie drogi.

Obliczenia ITB wykonano metodą Bishopa oraz metodą Kreya, a ich wyniki przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2. Minimalne współczynniki stanu równowagi dla analizowanego nasypu [1]

Nr przekroju	Metoda Bishopa	Metoda Kreya
I	0,95	0,96
II	1,12	1,09
III	0,99	0,98
IV	0,94	0,94
V	1,17	1,17



Rys. 5. Przykłady obliczeń stateczności na prawej skarpie nasypu km 2+615

Wartości niższe od 1 mają linie poślizgu bardzo bliskie stoku oraz głębsze dla nasypów zbudowanych w całości z gruntów spoistych (wariant III i IV). Wartości min. F = 1,17 mają linie poślizgu w korpusie nasypu zbudowanym w całości z piasków $\varphi = 32°$.

Wykonane ekspertyzy [1], [2], [3] wykonane przy pomocy różnych programów i przyjęciu różnych parametrów praktycznie dały ten sam wynik ($F \approx 1$). Ciekawszą sprawą może być jak eksperci oceniali parametry gruntów.

Tablica 3. Wartości przyjęte do obliczeń stateczności w opracowaniu dr S. Łukasika[1] ITB

Nr wariantu	Rodzaj gruntu	Parametry gruntowe		
		φ [°]	c [kN/m^2]	γ [kN/m^3]
I	Korpus nasypu wykonany z piasków gliniastych	17,5	10	20,0
II	Korpus nasypu wykonany z glin piaszczystych	25,0	5,0	20,0
III	Korpus nasypu wykonany z dwu warstw: – warstwa dolna (do wysokości 12,7 m) wykonana z piasków gliniastych na pograniczu gliny piaszczystej, – warstwa górna wykonana z piasków drobnych	17,5 32	10 0	20,0 18,5
IV	Korpus nasypu wykonany z piasków gliniastych na pograniczu glin piaszczystych	16,0	12,0	19,8
V	Korpus nasypu wykonany z piasków drobnych i średnich	33	0	19,0
–	Podłoże nasypu – piaski średnie w stanie średniozagęszczonym	34	0	19.0

Obliczenia wykonywane przez dr A. Wojtasika [2] przy przyjęciu 4 różnych wariantów warunków geotechnicznych (Przekroje I do IV) podawały:

Przekrój nr I – jednorodny nasyp budowlany, z piasków drobnych na pograniczu piasków gliniastych o $\gamma = 19{,}5$ [kN/m^3]; $\Phi_u = 20{,}0$ [°]; $C_u = 8{,}5$ [kPa]; Hkb = 1,0[m]

Przekrój nr II – jednorodny nasyp budowlany, z piasków drobnych na pograniczu piasków gliniastych o $\gamma = 19{,}5$ [kN/m^3]; $\Phi_u = 22{,}0$ [°]; $C_u = 10{,}0$ [kPa]; Hkb = 1,0 [m]

Przekrój nr III – nasyp budowlany zbudowany z:
- piasków drobnych o $\gamma = 17{,}5$ [kN/m^3]; $\Phi_u = 30{,}9$ [°]; $C_u = 0{,}0$ [kPa]; Hkb = 0,5 [m] (od góry nasypu do głębokości 5,0 m);
- piasków gliniastych na pograniczu gliny piaszczystej o $\gamma = 21{,}5$ [kN/m^3]; $\Phi_u = 14{,}8$ [°]; $C_u = 17{,}0$ [kPa]; Hkb = 1,5 [m] (od 5,0 do 17,7 m – tj. do podstawy nasypu);

Przekrój nr IV – jednorodny nasyp budowlany, z piasków gliniastych na pograniczu gliny piaszczystej o $\gamma = 21{,}5$ [kN/m^3]; $\Phi_u = 14{,}8$ [°]; $C_u = 17{,}0$ [kPa]; Hkb = 1,5 [m].

Trzecie opracowanie dr Jana Wojnickiego [3] przyjmowało dane do obliczeń na podstawie własnych płytkich (4 m) badań sondowań udarowych i wierceń w skarpach nasypu. Przykładowo Skarpa P3/P

Wydzielono warstwy:

Warstwa I – nasyp – piaski średnie, średnio zagęszczone $I_D = 0{,}50$, $\varphi = 30°$, $\gamma = 18{,}8$, c = 0

Warstwa 2 – nasyp – piaski średnie lokalnie z wkładkami gliny lub piasku gliniastego, zagęszczone $I_L = 0{,}70$, $\varphi = 34{,}2°$, $\gamma = 19{,}1$, c = 0

Warstwa 3 – nasyp – glina piaszczysta, glina pylasta, piasek gliniasty, przewarstwienia piasku, twardoplastyczne, $I_L = 0{,}25$, $\varphi = 17°$, $\gamma = 21{,}3$, c = 30 kPa

Warstwa 4 – nasyp – piaski średnie, piaski średnie zaglinione, zagęszczone, $I_D = 0{,}70$, $\varphi = 34{,}2°$, $\gamma = 19{,}3$, c = 0

Warstwa 5 – podłoże nasypu – glina piaszczysta, plastyczna $I_L = 0{,}48$,

Warstwa 6 – podłoże nasypu – piaski średnie, średnio zagęszczone $I_D = 0{,}60$.

Porównując te wartości można zauważyć dużą zgodność w ocenie parametrów przez ekspertów oraz fakt, że przy takich założeniach wszystkie ekspertyzy określały, że skarpy nasypu mają wartość współczynnika równowagi znacznie niższą niż F = 1,5 wymaganą przez Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2.03.1999 r. Dz. U. 14.05.1999 w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Nachylenie skarp 1:1,5 w analizowanym przypadku wymagałoby wzmocnienia skarp nasypu (zbrojenia, gwoździowania itp.).

Generalnie przyjmowane przez ekspertów parametry wykazują podobieństwo do wartości podawanych w normie 03020 [5]. Powszechna akceptacja tych wartości może być przedmiotem osobnej analizy. Podane wartości w normie to wartości charakterystyczne, jakie są rzeczywiste wartości występujące w momencie osuwiska (analiza „od końca") to inna sprawa. Prawdą jest, że przyjęcie wartości charakterystycznych z normy jako podstawę obliczeń dobrze odbija stan rzeczywisty obserwowany na skarpach terenu. Jest to zagadka. Norma 03020 [5] wyłącza bowiem parametry tam podane jako stosowane do analiz stateczności.

4. Metody likwidacji zniszczeń

Liczne (bardzo) osuwiska podobnego do opisanego powyżej typu na wszystkich nowych polskich drogach sugerują, że mamy tu prawdopodobnie do czynienia z błędem systematycznym. Nie może tu być mowy tylko o złej jakości robót. Na pewno na opisywanej obwodnicy skumulowały się różne błędy, więc uszkodzeń jest ogromnie dużo. W obliczeniach stateczności należało uwzględnić bilans mas gruntów z wykopu i określić w jaki sposób będą wbudowywane. Należało zgodnie ze specyfikacją techniczną wykazać ich przydatność do wbudowania, a w szczególności określić ich właściwości: wilgotność optymalną, maksymalny ciężar objętościowy szkieletu gruntowego oraz określić parametry wytrzymałościowe. Konieczne jest też podanie metody kontroli i odbioru warstw nasypu.

Wykonana w lecie 2008 r. rejestracja uszkodzeń określiła dwa typy uszkodzeń:
Typ I – powierzchniowa erozja skarp to płytkie ubytki do 0,5 m od powierzchni nasypu,
Typ II – głęboka erozja skarp, zniszczenie o głębokości 0,5 – 1 m od powierzchni połaci skarpy.
Łącznie na powierzchni nasypów i wykopów zinwentaryzowano 61 form osuwiskowo-erozyjnych o łącznej powierzchni 22 700 m^2, tj. 2,27 ha, w tym na nasypie 39 form, czyli $^2/_3$ zarejestrowanych. Pozostała $^1/_3$ znajduje się na skarpach wykopów. Cała powierzchnia skarp wykopów i nasypów na rozpatrywanym odcinku drogi to ok. 10 – 12 ha. Udział zniszczeń nasypu jest bardzo znaczny i wynosi ok. 15% powierzchni połaci skarp nasypu. Likwidację uszkodzeń skarpy wykonuje się uzupełniając ubytki niesortem ze skał magmowych (rys. 6).

Rys. 6. Skuteczne zabezpieczenie przeciwerozyjne formie narzutu kamiennego

Są to ostrokrawędziste odłamki skał o frakcji od 200 mm do ziaren żwirowych czy nawet piasku. Niesort nie zawiera pyłu ani zanieczyszczeń ilastych. Zabezpieczenia, które utrzymują się ok. 1 roku pokazują, że jest to optymalna metoda w tych warunkach. W przyszłości można będzie na kamieniach gniazdowo wprowadzić roślinność.

5. Uwagi dotyczące projektowania

Przy przyjęciu ostrożnych oszacowań parametrów ($\varphi = 30°$, $c = 0$) nasyp obliczeniowo jest stateczny za wyjątkiem płytkich powierzchni poślizgu (patrz rys. 5 $F = 0{,}98$). Powierzchnie idące w głąb nasypu mają coraz większe wartości 1,18, 1,19, zatem prawdopodobieństwo ogólnego naruszenia stateczności jest małe. Monitoring reperów założonych na koronie drogi i półce pokazuje milimetrowe wartości przemieszczeń. Jest on okresowo mierzony i dotąd nie sygnalizował oznak zagrożenia czy nadmiernych osiadań.

Przyjęcie, że cały korpus nasypu w jakimś przekroju wykonany jest z gruntów spoistych o podanych parametrach pokazuje, że nasyp jest niestateczny, wartości F są bliskie jedności. W tym przypadku zagrożenie ogólną utratą stanu równowagi jest znacznie większe niż w przypadku piasków. Należy zaznaczyć, że wartości parametrów dla gruntów spoistych φ i c również stanowią bardzo ostrożne szacowanie (rzeczywiście są większe).

Wprowadzenie spójności pozornej do obliczeń dla piasku o wartości $c = 5$ kPa (jest to wartość niska, można obserwować wyższe wartości spójności pozornej w zagęszczonych piaskach nawet do 10 – 15 kPa) powoduje, że stateczność ogólna nasypu wzrasta do wartości $F \approx 1{,}25$. Należy zauważyć, że we wnętrzu nasypu zawsze będzie występować spójność pozorna piasku. Spójność ta jest wywołana wilgotnością piasku, niszczy ją tylko wysuszenie lub całkowite nasycenie wodą piasku. Zjawiska te obserwuje się właśnie na powierzchni skarp. Wody w korpusie nasypu nie należy się spodziewać. Wilgoć na pewno jest.

Należy zauważyć, że bez jakichś „manipulacji" parametrami, bez wzmocnień konstrukcji nasypu nie można uzyskać wskazywanej w [4] wartości współczynnika bezpieczeństwa $F = 1{,}5$ niezależnie od zastosowanego gruntu. Natomiast można wskazać wiele starych nasypów w wyśmienitej kondycji, które nie wykazują żadnych uszkodzeń, a obliczeniowo wykazywać będą niskie F.

Skarpy nasypów kolejowych [6] uwzględniają rodzaj gruntu, z których będą wykonywane (tabl. 4).

Tablica 4. Typowe pochylenia skarp podtorza [6]

L.p.	Miejsce wbudowania gruntów	Grunt podtorza	Pochylenie skarpy podtorza	Uwagi
1	Nasyp	Piaski gliniaste drobne i pylaste	1:1,5 do l:l,75*)	*) w rejonach nadmiernie zawilgoconych **) jeżeli stosuje się układanie pasmami (szczególnie w częściach krawędziowych) ***) dla gruntów suchych gliniastych, scementowanych piasków itp. Przy głębokości przekopu do 8 m -1:1,25; przy głębokościach większych -1:1,5 ****) sprawdzić stateczność w warunkach nawodnienia
2		Grunty kamienne, żwiry, piaski grube i średnie, pospółki	1:1,5	
3		Odłamki skalne odporne na wietrzenie	1:1,3**)	
4		Piaski bardzo drobne równoziarniste (w tym również piaski wydmowe)	1:2	
5	Przekop	Grunty piaszczyste i piaszczysto – gliniaste, kamieniste, żwirowe, pospółki	1:1,5***)	
6		Lessy w rejonach bardzo suchych	1:0,1 do l:0,5****)	
7		Skały odporne na wietrzenie (lite i mało spękane)	1:0,2	
8		j. w. lecz łatwo wietrzejące	1:0,5 do 1:1,5	

Wydaje się, że jest to przepis słuszny i skarpy nasypów drogowych także mogą mieć nachylenie od 1:1,3 przez 1:1,5 do 1:2. W [6] jest wskazanie, że skarpy muszą mieć pochylenie zapewniające stateczność bez podania wartości i metody analizy.

Analizy stateczności wymagają skarpy:

– powyżej 12 m z gruntów kamienistych, żwirowych, pospółek,
– 8 m z gruntów piaszczystych i piaszczysto-gliniastych,
– 6 m z gruntów gliniastych i ilastych.

Jeszcze uwaga terminologiczna – w języku polskim opisywane zniszczenia skarp mimo powszechności nie mają dobrego terminu ani definicji. Używane są terminy erozja skarp, zerwa ziemna, zerwa glebowa, wyłuszczenie skarpy, ześlizg glebowy, osuwisko konsekwetno-zwietrzelinowe, spływ glebowy, jeszcze można by dołączyć inne. Z podanych powyżej autor niniejszego artykułu wskazuje na ześlizg glebowy, który powstaje w płytkiej warstwie gruntu i humusu pokrywającej stok. Głębokość powierzchni ześlizgu jest równoległa do stoku i obejmuje strefę przemarzania-odmarzania lub zasięgu korzeni roślin zielnych pokrywających stok (zwykle 20÷60 cm).

Uwaga dotycząca wymagania wartości współczynnika stanu równowagi (współczynnika bezpieczeństwa) o wartości F = 1,5 jest na pewno przesadzona dla konstrukcji wykonywanych przez człowieka. Eurokod, który wejdzie w Polsce w 2010 r. będzie miał ogólne wymagania dotyczące stateczności $\gamma_m = 1{,}25$ (parametry) i $\gamma_F = 1{,}0$ zatem wymagana wartość współczynnika stanu równowagi wynosić będzie F = 1,25.

6. Podsumowanie

Przykład obwodnicy Gorzowa wskazuje na konieczność przeanalizowania zasad budowy nasypów drogowych. Zmiana przepisów może zapewnić znacznie oszczędniejsze projektowanie, bezpieczne i zapewniające właściwe użytkowanie.

Literatura

1. Łukasik S.: Obliczenia stateczności nasypu drogowego w przekroju 3+868 km na Zachodniej Obwodnicy Gorzowa Wielkopolskiego, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, listopad 2007
2. Wojtasik A.T.: Analiza stateczności wysokiego nasypu drogowego w km 3+868 Zachodnia Obwodnica Gorzowa Wielkopolskiego, GT Projekt, Poznań, marzec 2007
3. Wojnicki J., Wojnicka-Janowska E.: Analiza stateczności skarp wysokiego nasypu w km 3+500 – 4+100 w ciągu budowy Zachodniej Obwodnicy Gorzowa Wielkopolskiego, UNIGEO, Zielona Góra lipiec-sierpień 2007
4. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2.03.1999 r. Dz. U. 14.05.1999 w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie
5. Norma PN-81/B-03020 Projektowanie posadowień bezpośrednich
6. Instrukcja – Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego, PKP Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2004
7. Wysokiński L.: Ocena nasypu drogowego obwodnicy Gorzowa km 2+615 do 4+000 oraz rozjazdu (na podstawie sondowań CPTU), Archiwum ITB Warszawa, sierpień 2008
8. Inwentaryzacja uszkodzonych skarp nasypów i wykopów zachodniej obwodnicy Gorzowa Wlkp., Transprojekt Gdański, lipiec 2008
9. Notatki z narad, arch. autora 2007–2008.