Zeszyty Naukowe
Wyższej Szkoły Bankowej we Wrocławiu
Nr 5(37)/2013

Andrzej Surowiecki
Wyższa Szkoła Bankowa we Wrocławiu

Andrzej Bujak
Wyższa Szkoła Bankowa we Wrocławiu

Problemy eksploatacji komunikacyjnych budowli ziemnych w szczególnych warunkach w aspekcie budowania nowoczesnego systemu transportowo-logistycznego

Streszczenie. W artykule omówiono wybrane przypadki konstruowania podłoża gruntowego toru kolejowego, wymagające szczególnych rozwiązań, w celu zapewnienia bezpieczeństwa ruchu. Należą do nich: tor na podłożu słabonośnym, tor na terenach szkód górniczych, tor na terenach zalewowych oraz w sytuacji powodzi, tor zlokalizowany w nasypie ze skarpami zagrożonymi utratą stateczności. Podano również rozwiązania techniczne dla niektórych przypadków problemowych.

Słowa kluczowe: tor kolejowy, podłoże gruntowe, szczególne odcinki toru

Wprowadzenie

Powszechnie znane są problemy Polskich Linii Kolejowych (PLK SA) związane z utrzymaniem oferty przewozowej na poziomie europejskim. Wobec wzrastającego zapotrzebowania na nowoczesność kolei aktualną podstawą jakości oferty jest bezpieczeństwo ruchu i prędkość jazdy ≥ 160 km/h[1]. PLK SA systematycznie modernizują istniejące magistrale i przyspieszają prace nad budową linii dużych prędkości w celu realizacji postanowień UE, zawartych w Europejskim planie generalnym linii kolejowych o dużych prędkościach. Sporządzony w Biurze Strategii PLK SA docelowy układ sieci kolejowej dużych prędkości obejmuje

[1] A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne*, Wyd. Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych, Wrocław 2012; idem, *Zagadnienia techniki transportu szynowego*, Wyd. Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych, Wrocław 2012.

długość 2400 km nowych i zmodernizowanych linii[2]. Planowane zadanie jest bardzo złożone i dotyczy wielu zagadnień kolejnictwa, w tym nawierzchni i podłoża gruntowego, a zwłaszcza właściwej relacji między tymi elementami. Uzyskanie planowanego efektu modernizacji dróg szynowych (dla zwiększonych prędkości jazdy i większego obciążenia ruchem) jest realne, o ile problem rozwiąże się kompleksowo, czyli poprzez zabiegi w nawierzchni oraz zabiegi modernizujące i podnoszące jakość warunków pracy podtorza. Wiadomo bowiem, że im bardziej nowoczesna nawierzchnia, tym więcej środków należy zainwestować w podtorze podczas budowy lub przebudowy toru.

Artykuł przedstawia wybrane przypadki konstruowania podłoża toru kolejowego, wymagające szczególnych rozwiązań, w celu zapewnienia bezpieczeństwa ruchu.

1. Tor na gruntach słabych i na terenach szkód górniczych

Szczególnej uwagi wymaga budowa toru na gruntach słabych[3]. Do gruntów słabych zaliczane są: wykazujące niską wytrzymałość na ścinanie, niedostateczną wartość modułu odkształcenia oraz charakteryzujące się oznakami „wysadzinowości" (niedostateczna przepuszczalność wody). Przykładem takich gruntów, nazywanych ściśliwymi i słabonośnymi, są uplastycznione gliny, błota i torfy. Wymagania techniczne dla górnej części podłoża gruntowego toru to: odpowiednia nośność i sztywność, trwałość i jednorodność[4]. Na przykład dla linii kolejowych projektowanych dla prędkości jazdy 200-250 km/h wymagana wartość modułu odkształcenia, mierzona w poziomie torowiska, wynosi 120 MPa[5].

W przypadku odkształceń nasypów posadowionych na podłożu słabym wskazane jest stosowanie następujących metod wzmacniania: wymiana gruntu podłoża, częściowa wymiana materiału gruntowego w nasypie na materiał lżejszy, wymiana gruntu w otoczeniu nasypu na materiał o wyższej nośności, budowa przypór na skarpach nasypu, palowanie terenu przy nasypie, palowanie podłoża

[2] A. Massel, *Projektowanie linii i stacji kolejowych*, Kolejowa Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2010; E. Skrzyński, *Podtorze kolejowe*, Kolejowa Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2010.

[3] M. Drusa, M. Moravčik, *Foundation Structures*, University of Žilina, Žilina 2008; M. Drusa, *Oporne konstrukcie dopravnych stavieb*, w: *Zbornik cesko-slovenskej konferencie „Stavebni konstrukce z pohledu geotechniky", Brno, 11-12 December 2008*, Brno 2009, s. 41-44; idem, *Vhodnost' pouzitia klasickych a novych sanacnych metod pri zabezpecovani stability svahov*, „Projekt a Stavba" 2001, nr 4, s. 8, 9, 14; M. Drusa, J. Benda, *Ochrana svahov strmych nasypov geobunkovou strukturou*, „Geosyntetika v Stavebnictve" 2007, s. 117-122; M. Drusa, N. Giang, *Some questions in designing of the reinforced soils walls using Tensar geogrids*, „Studies of University of transport and communication in Žilina" (Civil Engineering series) 2002, t. 25, s. 59-69; A. Massel, op. cit.; E. Skrzyński, op. cit.

[4] A. Massel, op. cit.

[5] A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji...*; idem, *Zagadnienia techniki...*

nasypu (poprzez nasyp) ze zwieńczeniem pali warstwą materiału o wysokiej nośności lub płytą betonową[6].

Wyjątkowe warunki eksploatacji toru występują na terenach szkód górniczych. Decyzje o sposobie budowy, konstrukcji i utrzymaniu podłoża toru kolejowego są podejmowane w zależności od rodzaju obserwowanych i prognozowanych deformacji podłoża. W przypadku ciągłych deformacji obejmujących znaczne powierzchnie terenu, tworzących niecki obniżeniowe, należy:

– przeprowadzić analizę archiwalnej dokumentacji górniczej terenu,

– systematycznie wykonywać pomiary osiadań podłoża toru i prognozowanie osiadań,

– jako planowe działanie zapobiegawcze powiększać wysokość osiadających nasypów i wzmacniać te budowle ziemne[7].

Na zagrożonych deformacjami odcinkach toru należy:

– wprowadzić ograniczenia eksploatacyjne (najczęściej ograniczenie dopuszczalnej prędkości jazdy i dopuszczalnych nacisków osi pojazdów),

– zainstalować urządzenia sygnalizujące wystąpienie osuwiska (na podstawie monitoringu terenu) i zabraniające wjazdu na zdeformowany odcinek toru,

– zastosować konstrukcje zapewniające przejęcie obciążenia z toru po utracie podparcia podkładów w przypadku gwałtownej deformacji podłoża[8].

Ponadto odwodnienie toru na terenach szkód górniczych należy przeprowadzać z uwzględnieniem wystąpienia deformacji podłoża i destrukcyjnego wpływu tych deformacji na stan techniczny urządzeń odwadniających.

2. Tor na terenach zagrożonych powodzią

Nasypy na terenach zalewowych i przy ciekach oraz zbiornikach wody dość często pełnią rolę wałów przeciwpowodziowych[9]. W związku z tym muszą speł-

---

[6] M. Drusa, M. Moravčik, op. cit.; M. Drusa, *Oporne konstrukcie...*; idem, *Vhodnost' pouzitia...*; M. Drusa, J. Benda, op. cit.; M. Drusa, N. Giang, op. cit.; W. Kozłowski, *Experimental and numerical analysis of deformation of gabion retaining wall element. Proceedings of the International Scientific Conference 27-28.09.2005*, Slovak Transport Society MOSATT 2005 – Modern Safety Technologies in Transportation, Kosice 2006, s. 261-265.

[7] M. Drusa, M. Moravčik, op. cit.; M. Drusa, *Oporne konstrukcie...*; A. Massel, op. cit.; E. Skrzyński, op. cit.; A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji...*; idem, *Zagadnienia techniki...*

[8] M. Drusa, M. Moravčik, op. cit.; M. Drusa, *Oporne konstrukcie...*; idem, *Vhodnost' pouzitia...*; M. Drusa, J. Benda, op. cit.; M. Drusa, N. Giang, op. cit.; A. Massel, op. cit.; E. Skrzyński, op. cit.; A. Surowiecki, A. Balawejder, W. Kozłowski, *Badanie możliwości wzmacniania nasypów kolejowych przy zastosowaniu zbrojenia gruntu, lekkich konstrukcji oporowych i maty komórkowej. Raport serii SPR, etap IV*, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2006.

[9] M. Drusa, M. Moravčik, op. cit.; M. Drusa, *Oporne konstrukcie...*; idem, *Vhodnost' pouzitia...*; M. Drusa, J. Benda, op. cit.; M. Drusa, N. Giang, op. cit.; W. Kozłowski, *Experimental and numerical analysis...*; idem, *Konstrukcje gabionowe – teoria, praktyka i badania*, Oficyna Wydaw-

niać wymagania obowiązujące w budownictwie hydrotechnicznym. Skarpy takich nasypów należy zabezpieczać przed niszczącym działaniem płynącej wody, fali i lodu, a korpusy nasypów przed nadmierną infiltracją i przebiciem hydraulicznym. W tym celu od strony napływającej wody najczęściej buduje się przypory na skarpie nasypów albo szczelne umocnienia skarp i uszczelnienia podłoża nasypów. Po przeciwnych stronach nasypów, które mogą stanowić strefę wypływu wody, stosuje się: skarpy o pochyleniu bardziej łagodnym (zwykle 1 : 2,5) niż pochylenie standardowe, przepuszczalne przypory, warstwy filtracyjne lub drenaże obniżające poziom przenikającej wody, a także inne rozwiązania konstrukcyjne zapobiegające wypływom wody na powierzchnie skarp i obciążające skarpy oraz podłoże nasypów.

Podłoże toru w sytuacjach po powodzi wykazuje następujące zniszczenia: ubytki bryły podłoża, uszkodzenia obiektów inżynieryjnych, zanieczyszczenia torowiska i urządzeń odwadniających, rozgęszczenie gruntów niespoistych, uplastycznienie lub upłynnienie gruntów spoistych. W celu likwidacji szkód w podłożu toru spowodowanych powodzią obowiązuje następująca kolejność działań:

– odprowadzenie wody poza teren linii kolejowej,
– ocena zniszczeń i stateczności podłoża toru,
– rekonstrukcja podtorza (likwidacja ubytków materiału gruntowego) i wykonanie zabezpieczeń (w przypadku nasypów rewitalizacja dolnych części korpusu), likwidacja uszkodzeń obiektów inżynieryjnych,
– usunięcie zanieczyszczeń torowiska i oczyszczenie urządzeń odwadniających,
– dogęszczenie gruntów podłoża (wskutek powodzi grunty niespoiste ulegają rozgęszczeniu, grunty spoiste uplastyczniają się),
– stopniowe wznawianie eksploatacji (jazda z prędkością dopuszczalną odpowiednio ograniczoną),
– systematyczna kontrola zachowania się podłoża w zakresie odkształceń[10].

Poniżej przedstawiono wybrane elementy analizy stateczności nasypu komunikacyjnego w warunkach zagrożenia powodzią. Obliczenia i analizę zmian wartości współczynnika stateczności wykonano metodą Felleniusa i Bishopa. Zastosowano oprogramowanie: program SZMFiB – Stateczność zboczy metodą Felleniusa i Bishopa oraz program FILTR – Filtracja ustalona w nasypach ziemnych piętrzących wodę[11].

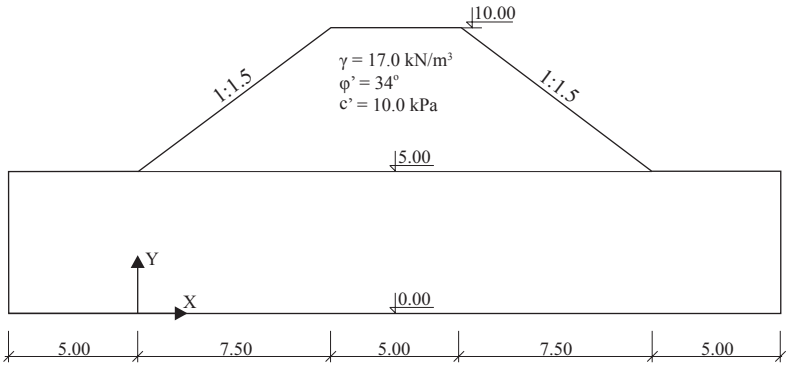
---

nicza Politechniki Opolskiej, Opole 2011; A. Massel, op. cit.; E. Skrzyński, op. cit.; A. Surowiecki, A. Balawejder, W. Kozłowski, op. cit.

[10] Ibidem.

[11] A. Balawejder, *Program SZMFiB. Stateczność zboczy metodą Felleniusa i Bishopa*, Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław 2007; idem, *Program FILTR. Filtracja ustalona w nasypach ziemnych piętrzących wodę*, Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław 2008; A. Surowiecki, A. Balawejder, W. Kozłowski, op. cit.

Przyjęty do analizy schemat obliczeniowy przedstawiono na rysunku 1. Ocenę stateczności skarpy komunikacyjnej budowli ziemnej wykonano na przykładzie nasypu jednorodnego, posadowionego na podłożu odkształcalnym o takich parametrach jak nasyp[12]. Wysokość nasypu $H = 5$ m; nachylenie skarp 1 : 1,5; ciężar objętościowy gruntu $\gamma = 17{,}0$ kN/m^3.



Rysunek 1. Schemat obliczeniowy nasypu

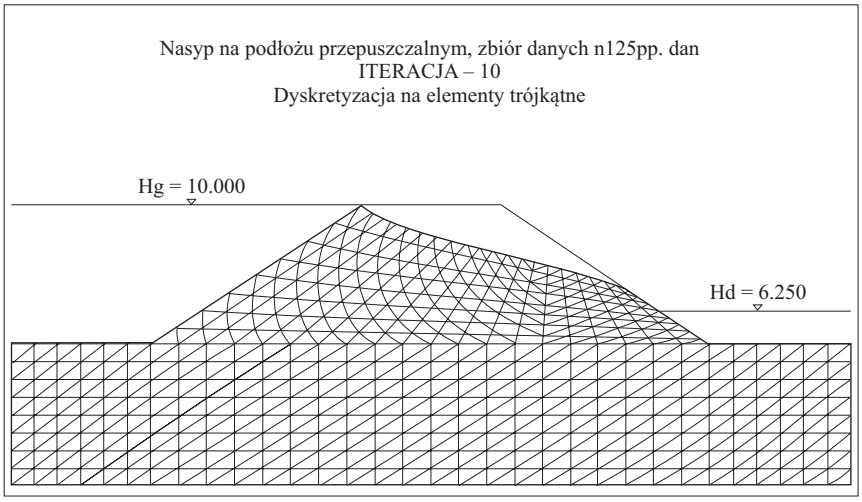
Źródło: A. Surowiecki, A. Balawejder, W. Kozłowski, *Badanie możliwości wzmacniania nasypów kolejowych przy zastosowaniu zbrojenia gruntu, lekkich konstrukcji oporowych i maty komórkowej. Raport serii SPR, etap IV*, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2006.

Rozpatrywana jest sytuacja, gdy przy piętrzeniu na poziomie równym wysokości nasypu H skarpa odpowietrzna jest dodatkowo podtopiona do wysokości $H_d = 0{,}25H$[13]. Rysunki 2, 3 i 4 ilustrują kolejno: dyskretyzację obszaru filtracji, rozkład prędkości i siatkę hydrodynamiczną przy maksymalnym poziomie piętrzenia H i podtopieniu skarpy do poziomu $0{,}25H$. Analogicznie jak poprzednio, drogą obliczeń wyznaczono dla tego przypadku powierzchnie poślizgu o najmniejszym współczynniku stateczności. Powierzchnie te są przedstawione na rysunkach 5 i 6, natomiast wartości liczbowe parametrów opisujących wyznaczone powierzchnie zawarto w tabelach 1 i 2. Rysunek 7 ilustruje powierzchnie wyznaczone obiema metodami. Charakterystyczna dla wyników jest ich niewielka różnica w przypadku metod Felleniusa i Bishopa ($\Delta F = FB - FF = 0{,}011$).

Kolejnym analizowanym problemem jest jednostronny przepływ wody przez korpus nasypu. Przepływ ten powoduje obciążenie w postaci sił hydrodynamicznych. Wartości tych sił zależą od różnicy potencjałów w poszczególnych punktach

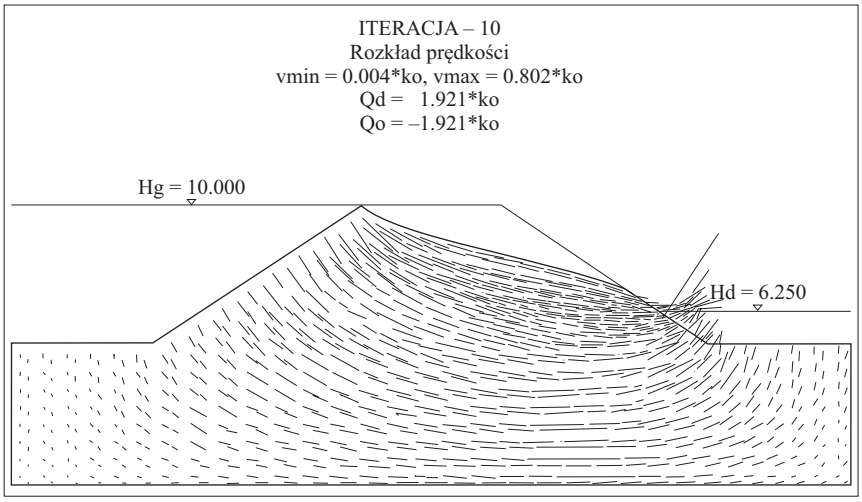
[12] Ibidem.

[13] Szczegóły dyskretyzacji (na elementy trójkątne) obszaru filtracji: W. Kozłowski, *Experimental and numerical analysis...*, s. 261-265.



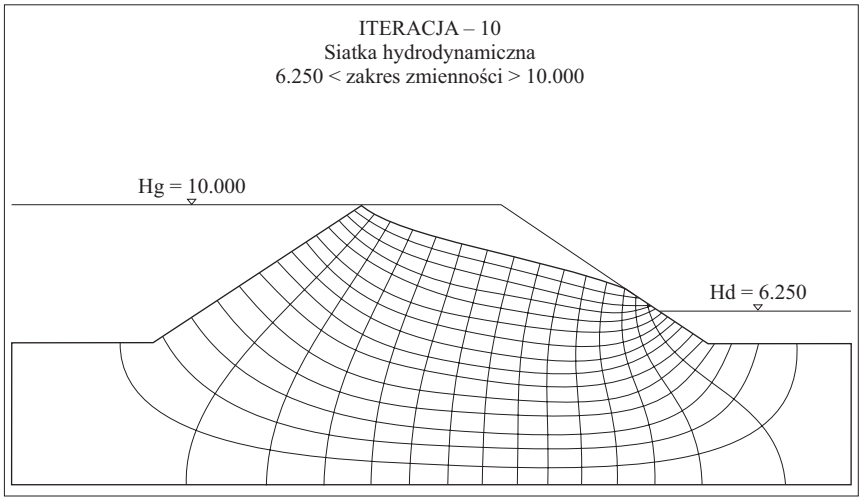
Rysunek 2. Dyskretyzacja obszaru filtracji przy maksymalnym poziomie piętrzenia i podtopieniu skarpy do poziomu 0,25*H*

Źródło: jak przy rys. 1.



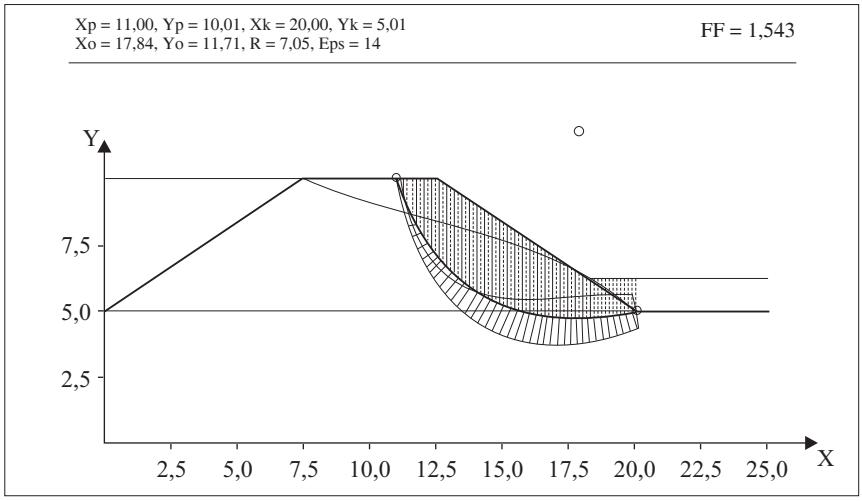
Rysunek 3. Rozkład prędkości przy maksymalnym poziomie piętrzenia i podtopieniu skarpy do poziomu 0,25*H*

Źródło: jak przy rys. 1.



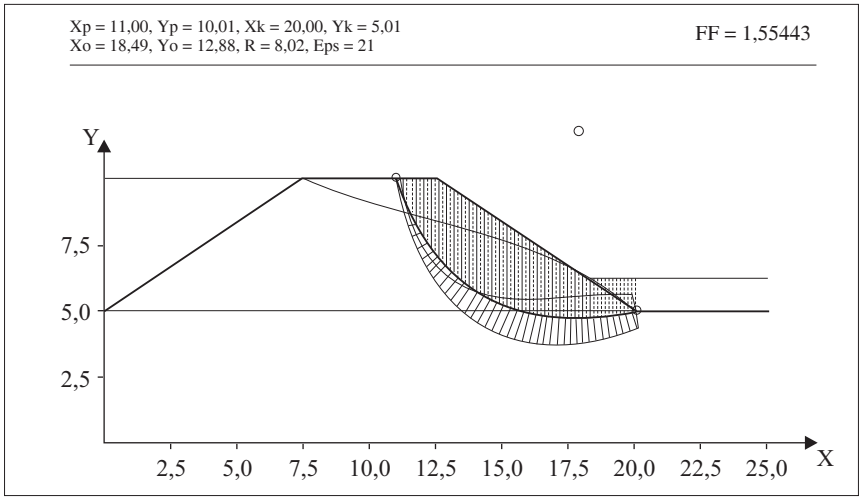
Rysunek 4. Siatka hydrodynamiczna przy maksymalnym poziomie piętrzenia i podtopieniu skarpy do poziomu 0,25*H*

Źródło: jak przy rys. 1.



Rysunek 5. Powierzchnia poślizgu o najmniejszym współczynniku stateczności wg metody Felleniusa w nasypie przy poziomie piętrzenia *H* i podtopionej skarpie do wysokości 0,25*H*

Źródło: jak przy rys. 1.



Rysunek 6. Powierzchnia poślizgu o najmniejszym współczynniku stateczności wg metody Bishopa w nasypie przy poziomie piętrzenia *H* i podtopionej skarpie do wysokości 0,25*H*

Źródło: jak przy rys. 1.

Tabela 1. Zestawienie parametrów powierzchni poślizgu o najmniejszym współczynniku stateczności wg metody Felleniusa dla skarpy podtopionej (*Hp*/*Hn* = 0,25) nasypu piętrzącego wodę

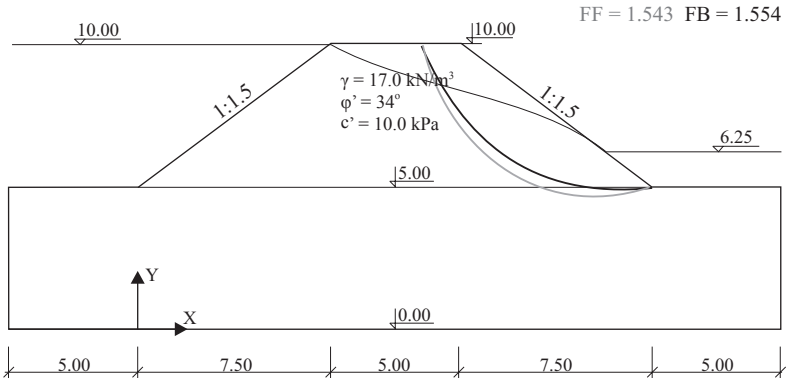
Poziom piętrzenia wody *Hw/Hn*	Współczynnik stateczności *FF*	Współrzędne punktów charakterystycznych kołowych powierzchni poślizgu						Promień powierzchni poślizgu *R* [m]
		początek		koniec		środek		
		Xp [m]	*Yp* [m]	*Xk* [m]	*Yk* [m]	*Xo* [m]	*Yo* [m]	
1,00	**1,543**	11,0	10,0	20,0	5,0	17,836	11,714	7,045

Źródło: jak przy rys. 1.

Tabela 2. Zestawienie parametrów dotyczących powierzchni poślizgu o najmniejszym współczynniku stateczności wg metody Bishopa dla skarpy podtopionej (*Hp*/*Hn* = 0,25) nasypu piętrzącego wodę

Poziom piętrzenia wody *Hw/Hn*	Współczynnik stateczności *FB*	Współrzędne punktów charakterystycznych kołowych powierzchni poślizgu						Promień powierzchni poślizgu *R* [m]
		początek		koniec		środek		
		Xp [m]	*Yp* [m]	*Xk* [m]	*Yk* [m]	*Xo* [m]	*Yo* [m]	
1,00	1,554	11,0	10,0	20,0	5,0	18,485	12,883	8,018

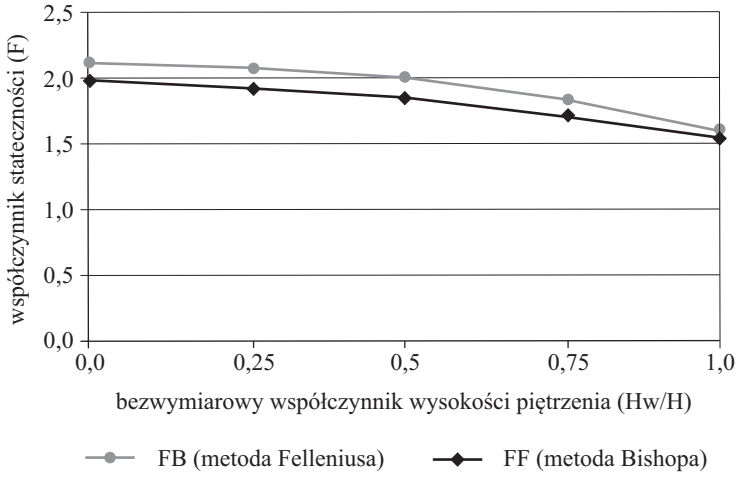
Źródło: jak przy rys. 1.



Rysunek 7. Przebieg powierzchni poślizgu o najmniejszym współczynniku stateczności przy poziomie piętrzenia równym wysokości nasypu H i podtopionej skarpie do wysokości 0,25*H*

Źródło: jak przy rys. 1.

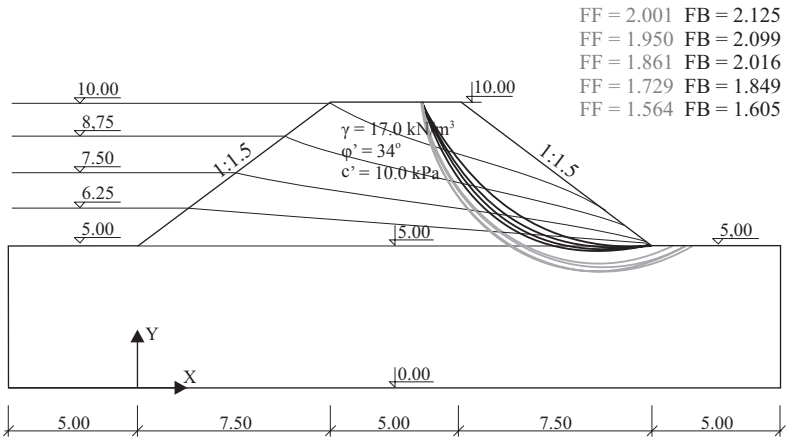
obszaru filtracji. Analizę wpływu piętrzenia wody na stateczność skarpy nasypu wykonano, przyjmując poziom piętrzenia na wysokościach: 0,25*H*; 0,5*H*; 0,75*H* oraz 1,0*H*. W pierwszej kolejności wyznaczono położenie swobodnego zwierciadła wody w nasypie przy założonych poziomach piętrzenia. Obliczenia wykonano przy użyciu programu numerycznego FILTR, opartego na zasadach metody elementów skończonych. Wyniki obliczeń przy danym poziomie piętrzenia otrzymano w postaci rozkładu prędkości i siatki hydrodynamicznej.



Rysunek 8. Zmienność współczynnika stateczności w funkcji wysokości piętrzenia wody

Źródło: jak przy rys. 1.

Następnie oszacowano przebieg powierzchni poślizgu o najmniejszej wartości współczynnika stateczności przy zadanych poziomach piętrzenia wody. Każdy wynik jest efektem obliczeń dla kilkuset powierzchni o różnym położeniu punktu początkowego na koronie nasypu i punktu końcowego usytuowanego u podnóża skarpy oraz o zmieniającym się promieniu krzywizny. Zmienność współczynnika stateczności o minimalnej wartości w zależności od poziomu piętrzenia wody ukazano na rysunku 8. Przebieg wszystkich wyznaczonych powierzchni poślizgu jako wynik końcowy i prezentację analizy stateczności zawiera rysunek 9. Powierzchnie poślizgu wyznaczone metodą Felleniusa sięgają głębiej w podłoże i mają szerszy zasięg. Wszystkie wartości współczynników spełniają wymagany warunek stateczności.



Rysunek 9. Przebieg powierzchni poślizgu o najmniejszym współczynniku stateczności przy założonych poziomach piętrzenia wody

Źródło: jak przy rys. 1.

4. Wybrane sposoby stabilizacji skarp i korpusu budowli ziemnych

Sposoby przywracania stateczności drogowych budowli ziemnych, czyli środki zaradcze stosowane przy uszkodzeniach skarp i całości budowli, można sklasyfikować jako:

1) zmniejszające siły działające na grunt przez: ograniczenie masy własnej, zmniejszenie sił pochodzących od wody, redukcję obciążeń eksploatacyjnych,

2) zwiększające siły utrzymujące grunty w równowadze przez zastosowanie:
   – wzmocnień biologicznych i biologiczno-inżynierskich,

– konstrukcji i budowli przyporowych, rozporowych i oporowych,
– zakotwień lub przytwierdzenie gruntu,
– konstrukcji uniemożliwiających zasypywanie drogi (bariery, sieci itp.),

3) poprawiające właściwości gruntów przez: zagęszczenie, osuszenie, wprowadzenie spoiw i innych dodatków, częściową lub całkowitą wymianę gruntu[14].

Dobór sposobów nie może być jednak bezkrytyczny. Niestateczne zbocze będzie bowiem dopiero wtedy ostatecznie ustabilizowane, gdy zostaną zastosowane jednocześnie różne środki zabezpieczające. Jeżeli np. ruch gruntu zostanie zatrzymany w wyniku działania mechanicznego (przypora u podnóża skarpy, zakotwienie), to do trwałego zabezpieczenia stateczności zbocza może być konieczne usunięcie pierwotnego czynnika powodującego zakłócenia (np. przez skuteczne odprowadzenie wody z masywu gruntowego).

W pewnych przypadkach niektóre prace muszą zostać wykonane natychmiast, zanim wprowadzi się ostateczne środki zabezpieczające. Są to m.in.:

– wypełnienie szczelin,
– wykonanie izolacji chroniącej przed infiltrowaniem w grunt wód opadowych i roztopowych,
– odtwarzanie i odbudowa zniszczonych urządzeń odwadniających,
– ujęcie i odprowadzenie wód wypływających z masy osuwiskowej lub zbierających się na jej powierzchni[15].

W specjalnych przypadkach zagrożeń niestatecznością budowli ziemnych oraz w celu poawaryjnej odbudowy lub wzmocnienia tych budowli i przyczółków mostowych stosowane są specjalne konstrukcje inżynieryjne, nazywane oporowymi, np. quasi-skrzyniowe, z wieloma półkami poziomymi, wykonywane z kaszyc, ze skrzyń siatkowych (gabionowe). Poniżej omówiono konstrukcje gabionowe i podano przykłady ich stosowania.

Kosze siatkowe, nazywane także kaszycami siatkowymi albo koszami szańcowymi – gabionami, są materiałem stosowanym od dawna do wykonywania konstrukcji siatkowo-kamiennych w budownictwie lądowym i wodnym. Wykonuje się je z odpowiednio ukształtowanych skrzyń siatkowych, wypełnionych w miejscu wbudowania otoczakami lub kamieniem łamanym. W ostatnich latach przeżywają one swój renesans, głównie dzięki innowacyjnym opracowaniom, np. włoskim (firma MACCAFERRI) i słowackim (firma SIETE)[16].

---

[14] M. Drusa, M. Moravčik, op. cit.; M. Drusa, *Oporne konstrukcie*...; idem, *Vhodnost' pouzitia*...; M. Drusa, J. Benda, op. cit.; M. Drusa, N. Giang, op. cit.; W. Kozłowski, *Experimental and numerical analysis...*

[15] M. Drusa, M. Moravčik, op. cit.; M. Drusa, *Oporne konstrukcie*...; idem, *Vhodnost' pouzitia*...; M. Drusa, J. Benda, op. cit.; M. Drusa, N. Giang, op. cit.

[16] Ibidem; W. Kozłowski, *Experimental and numerical analysis*...; idem, *Konstrukcje gabionowe...*

W budownictwie lądowym można używać ich m.in. do: budowy murów oporowych (do wysokości 8 m), umacniania skarp nasypów drogowych i kolejowych, budowy przyczółków małych mostów, budowy ścian dźwiękochłonnych[17].

W budownictwie hydrotechnicznym są zaś wykorzystywane do: umacniania brzegów i dna rzek, kanałów i zbiorników (ochrona przed korozją), zabudowy regulacyjnej rzek (tamy podłużne, poprzeczne, progi), umacniania brzegów morskich, umacniania dna basenów i kanałów portowych, budowy małych jazów, wzmacniania lub podwyższania wałów przeciwpowodziowych[18].

Siatkę jako samodzielny element można stosować do zabezpieczania przed osuwiskiem klifów morskich i stromych zboczy skalnych[19].

Zaletami konstrukcji z kaszyc siatkowych są: podatność na deformacje, trwałość, wytrzymałość, przepuszczalność, ekologiczność, możliwość nieskomplikowanego kształtowania konstrukcji z koszy (formowanie małych i dużych budowli), możliwość prowadzenia robót niezależnie od pory roku, odporność na wysadziny.

Podatność polega na idealnym dopasowaniu konstrukcji (bez pęknięć) do kształtów podłoża, nawet przy nierównomiernym osiadaniu i w miejscach narażonych na kontakt z płynącą lub falującą wodą. Jest to szczególnie ważne w przypadku oparcia koszy na niestabilnym gruncie lub budowy w rejonie rozmywania brzegu. Deformacje elementu, bez zniszczenia, świadczą o jego dużej podatności.

Trwałość (odporność) konstrukcji wzrasta z czasem wskutek wypełniania przestrzeni między kamieniami elementem nanoszonym przez wodę lub wiatr oraz zarastania roślinnością.

Wytrzymałość, a przy tym elastyczność siatki obudowującej umożliwia stosowanie koszy do przejmowania parcia gruntu i obciążeń płynącą wodą. Efektywność przeciwstawiania się przez kaszyce siatkowe obciążeniom zwiększa się z upływem czasu, ponieważ następuje konsolidacja tych konstrukcji na zasadzie gromadzenia się w ich pustkach pyłu i materiału gruntowego oraz rozwoju roślinności na ich powierzchniach.

Wodoprzepuszczalność polega na tym, że kosze siatkowe (które są wypełnione materiałem kamiennym w sposób porowaty) przepuszczają wodę w znacznym stopniu (nie powstaje w ich obrębie parcie hydrostatyczne) i zatrzymują cząstki gruntu. Dlatego konstrukcje oporowe budowane z koszy siatkowych są bardzo korzystne dla stabilizacji nawodnionych zboczy i zapobiegania osuwiskom.

Ekologiczność – kosze siatkowe umożliwiają rozwój roślinności, przez co zachowują naturalny charakter środowiska, harmonizując z otoczeniem.

---

[17] M. Drusa, M. Moravčik, op. cit.; M. Drusa, *Oporne konstrukcie*...; idem, *Vhodnost' pouzitia*...; M. Drusa, J. Benda, op. cit.; M. Drusa, N. Giang, op. cit.

[18] Ibidem; W. Kozłowski, *Experimental and numerical analysis*...; idem, *Konstrukcje gabionowe*...

[19] Ibidem.

Poza wymienionymi zaletami konstrukcji z koszy siatkowych ważne jest też:

– nieskomplikowane i tanie wykonawstwo – nie jest wymagane użycie wykwalifikowanej siły roboczej i skomplikowanego sprzętu,

– materiał do wypełniania koszy można zwykle uzyskać na budowie lub w jej sąsiedztwie,

– przygotowanie podłoża konstrukcji polega tylko na umiarkowanym wyrównaniu terenu; nie ma potrzeby wykonywania kosztownego odwodnienia (kosze są bowiem przepuszczalne),

– konstrukcje z elementów siatkowych nie wymagają kosztownego utrzymania; łatwo je naprawić po uszkodzeniu przypadkowym lub przez wandali.

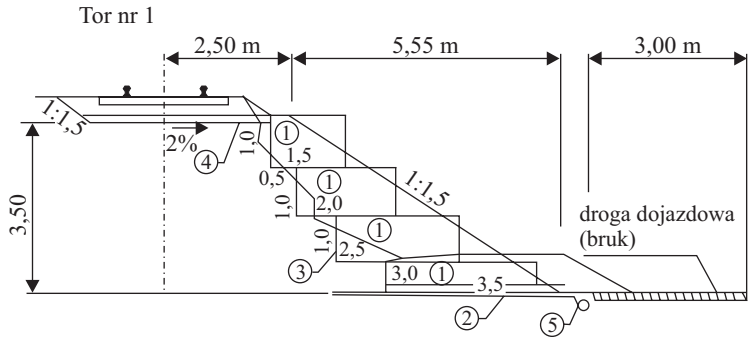
Oto wybrane przykłady projektów i zastosowań konstrukcji gabionowych[20]:

1) Likwidacja lokalnego osuwiska nasypu w rejonie stacji kolejowej Szczytna Śląska. Osuwisko skarpy nasypu kolejowego na długości 20 m nastąpiło wskutek podtopienia. Nasyp o wysokości 2-3,6 m jest zbudowany z gruntu piaszczysto-gliniastego. Materiał gruntowy po osunięciu się skarpy nasypu zalegał na przyległej drodze dojazdowej o nawierzchni brukowej.

Zaproponowano sposób likwidacji osuwiska przy użyciu koszy (skrzyń) siatkowych wypełnionych materiałem kamiennym (pospółka, żwir, otoczaki, niesort lub jakikolwiek kamienny materiał miejscowy). Obudową skrzyń mogą być siatki z drutu stalowego, powleczonego tworzywem sztucznym lub powszechnie dostępne siatki z tworzyw sztucznych o dużej wytrzymałości na rozciąganie. Przekrój poprzeczny toru stacyjnego ze skarpą (w miejscu, w którym wysokość nasypu wynosi 3,5 m) obudowaną gabionami ukazano na rysunku 10. Przewidziano montaż (w układzie ukośnym) trzech typów koszy o wysokości 1 m i szerokościach: 1,5; 2; 2,5 oraz jednego (dolnego) o wysokości 0,5 m i szerokości 3 m. Całość obudowy jest posadowiona na materacu (gabionowym) o wysokości 0,3 m i szerokości 3,6 m. Długości poszczególnych elementów (gabionów i materaca), czyli wielkości mierzone wzdłuż skarpy, wynoszą 2 m. Konstrukcja zabudowująca skarpę jest oddzielona od korpusu nasypu warstwą geowłókniny, której zadaniem jest prowadzenie wody grawitacyjnie wzdłuż powierzchni w kierunku drenażu podłużnego przy drodze dojazdowej. Zaprojektowano geowłókninę izolacyjną pod warstwą ochronną torowiska w celu zabezpieczenia podtorza przed wodą opadową.

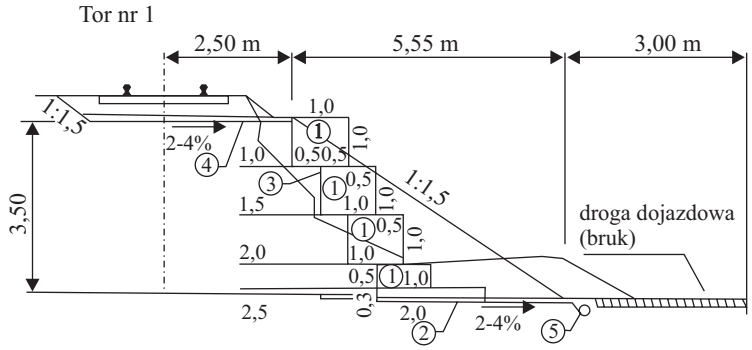
Rysunek 11 przedstawia odmianę poprzedniego sposobu stabilizacji, z użyciem elementów Terramesh. Występuje tu przedłużenie dna każdego kosza siatką tworzącą warstwę zbrojenia nasypu. W efekcie otrzymano budowlę o pochylonej ścianie czołowej z gruntu zbrojonego czterema wkładkami siatkowymi (o długościach 1; 1,5; 2; 2,5 m) wykonanej z koszy siatkowych (trzech o wysokości 1 m i czwartego dolnego o wysokości 0,5 m) posadowionych na materacu gabionowym o grubości 0,3 m. Odwodnienie przeprowadzono jak poprzednio.

[20] A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji...*; idem, *Zagadnienia techniki...*



Rysunek 10. Przekrój poprzeczny przez tor główny zasadniczy na nasypie ze skarpą obudowaną koszami gabionowymi: 1 – gabiony; 2 – materac gabionowy; 3 – geowłóknina; 4 – warstwa ochronna; 5 – drenaż rurowy

Źródło: A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne*, Wyd. Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych, Wrocław 2012.



Rysunek 11. Przekrój poprzeczny przez tor główny zasadniczy na nasypie ze skarpą obudowaną elementami Terramesh: 1 – gabiony; 2 – materac gabionowy; 3 – geowłóknina; 4 – warstwa ochronna; 5 – drenaż rurowy

Źródło: jak przy rys. 10.

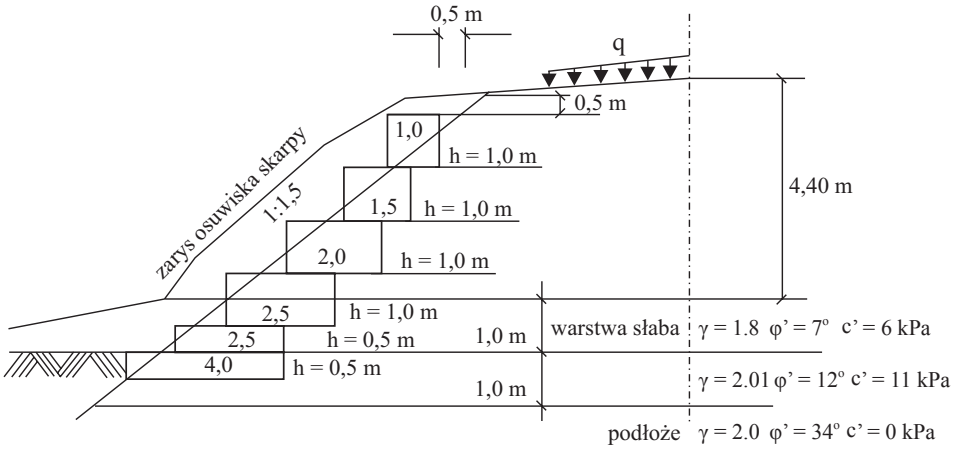
Przedstawiony sposób zabezpieczenia skarpy nasypu jest ekonomiczny i celowy dla tego przypadku, co wynika z informacji zawartych w literaturze[21].

2) Stabilizacja skarpy nasypu linii kolejowej Wrocław – Ostrów Wielkopolski[22]. Rozważany jest niestabilny fragment nasypu kolejowego o wysokości 5-7 m, znajdującego się na linii kolejowej Ostrów Wielkopolski – Grabowno

[21] Ibidem.

[22] A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji*...; idem, *Zagadnienia techniki*...; A. Surowiecki, A. Balawejder, W. Kozłowski, op. cit.

Wielkie. W sierpniu 1999 r. nastąpiło osuwisko północnej skarpy – pomiędzy 53,247 a 53,265 km. W dolnej części masa gruntu oparła się o parterowy (podpiwniczony) budynek mieszkalny oraz płot ogradzający działkę przyległą do budynku. W obrębie osuwiska nie stwierdzono wycieków wody z nasypu. Utrzymanie ruchu pociągów na długości osuwiska wymagało systematycznego uzupełniania podsypki w celu zapewnienia wymaganej niwelety toru. Przedmiotowy odcinek toru znajduje się w granicach łuku poziomego (skierowanego wypukłością na północ) o promieniu R = 731 m. Takie ukształtowanie geometryczne toru może powodować, w przypadku niedostosowania przechyłki toru do prędkości jazdy pociągów, dodatkowe dociążenie północnego toku szyn i dodatkowe wspomaganie sił zsuwających północną skarpę nasypu. W obecnym stanie nawierzchnia składa się z szyn zgrzewanych (tor bezstykowy), podkładów drewnianych na podsypce tłuczniowej, której grubość warstwy jest trudna do określenia ze względu na bieżące uzupełnianie. Na podstawie wyników badań geotechnicznych stwierdzono, że nasyp został wykonany z materiałów miejscowych i charakteryzuje się stosunkowo słabym zagęszczeniem. Nawet w strefie leżącej poniżej powierzchni poślizgu (a więc nie objętej ruchem osuwiskowym) zagęszczenie oceniono na poziomie I_D=0,35. Ruchem osuwiskowym objęte są słabo zagęszczone warstwy piasków średnich nasypu (stopień zagęszczenia na poziomie I_D = 0,20-0,30), poprzedzielane warstewkami piasków gliniastych, glin piaszczystych i glin zwięzłych w stanie plastycznym, w dolnej części nasypu w stanie miękkoplastycznym. Warstwa słaba, o miąższości 1 m, znajdująca się u podstawy nasypu, może stanowić warstwę poślizgową, decydującą o stateczności skarpy.



Rysunek 12. Przekrój poprzeczny przez nasyp w miejscu krytycznym (km 53,255) i schemat wzmocnienia: q_a – obciążenie torowiska aktualne; q_p – obciążenie torowiska projektowane

Źródło: jak przy rys. 10.

Zaproponowano wzmocnienie (podparcie) skarpy nasypu murem oporowym z koszy gabionowych, posadowionym na gabionowym materacu zlokalizowanym w podłożu warstwy poślizgowej podstawy nasypu (rysunek 12).

Podsumowanie

Problemy szczególnych przypadków lokalizacji i trudnych warunków eksploatacji toru kolejowego stanowią wyzwanie dla projektantów i inwestorów w zakresie innowacyjności rozwiązań. Podjęty w artykule temat ma więc praktyczne znaczenie dla aktualnie prowadzonej na szeroką skalę w Przedsiębiorstwie PKP PLK SA modernizacji infrastruktury transportu szynowego.

Analiza stateczności nasypu drogi kolejowej, w przypadku piętrzenia wody na poziomie wysokości nasypu (H) i podtopienia skarpy odpowietrznej, pozwoliła na oszacowanie:

– przebiegu powierzchni poślizgu o najmniejszym współczynniku stateczności w nasypie z wodą gruntową na poziomie terenu oraz przy różnych poziomach piętrzenia,

– zmienności najmniejszego współczynnika stateczności zależnie od poziomu piętrzenia wody.

Istotne spostrzeżenie dotyczy również powierzchni poślizgu wyznaczonych metodą Felleniusa – sięgają one głębiej w podłoże i mają szerszy zasięg. W przypadku skarpy podtopionej stwierdzono nieznaczną różnicę wartości współczynnika stateczności obliczonego metodą Felleniusa i Bishopa ($\Delta F = FB - FF = 0{,}011$).

Przedstawiony problem podłoża gruntowego toru kolejowego w szczególnych warunkach eksploatacji został omówiony w opracowaniu „Id-3 Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego". Wytyczne Id-3 określają m.in.: warunki utrzymania podtorza na szczególnych odcinkach toru, zasady prowadzenia nadzoru, kontroli jakości, wykonywania przeglądów, planowania i wykonywania robót i napraw.

Literatura

Balawejder A., *Program SZMFiB. Stateczność zboczy metodą Felleniusa i Bishopa*, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław 2007.

Balawejder A., Program *FILTR. Filtracja ustalona w nasypach ziemnych piętrzących wodę*, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław 2008.

Drusa M., *Oporne konstrukcie dopravnych stavieb*, w: *Zbornik cesko-slovenskej konferencie „Stavebni konstrukce z pohledu geotechniky", Brno, 11-12 December 2008*, Brno 2009.

Drusa M., *Vhodnost' pouzitia klasickych a novych sanacnych metod pri zabezpecovani stability svahov*, „Projekt a Stavba" 2001, nr 4.

Drusa M., Benda J., *Ochrana svahov strmych nasypov geobunkovou strukturou*, „Geosyntetika v Stavebnictve" 2007.
Drusa M., Giang N., *Some questions in designing of the reinforced soils walls using Tensar geogrids*, „Studies of University of transport and communication in Žilina", Civil Engineering series, 2002, t. 25.
Drusa M., Moravčik M., *Foundation Structures*, University of Žilina, Žilina 2008.
Kozłowski W., *Experimental and numerical analysis of deformation of gabion retaining wall element. Proceedings of the International Scientific Conference 27-28.09.2005*, Slovak Transport Society MOSATT 2005 – Modern Safety Technologies in Transportation, Kosice 2006.
Kozłowski W., *Konstrukcje gabionowe – teoria, praktyka i badania*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2011.
Massel A., *Projektowanie linii i stacji kolejowych*, Kolejowa Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2010.
Skrzyński E., *Podtorze kolejowe*, Kolejowa Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2010.
Surowiecki A., *Komunikacyjne budowle ziemne ze wzmocnieniem skarp. Badania modelowe nośności i stateczności*, Wyd. Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych, Wrocław 2013.
Surowiecki A., *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne*, Wyd. Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych, Wrocław 2012.
Surowiecki A., *Zagadnienia techniki transportu szynowego*, Wyd. Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych, Wrocław 2012.
Surowiecki A., Balawejder A., Kozłowski W., *Badanie możliwości wzmacniania nasypów kolejowych przy zastosowaniu zbrojenia gruntu, lekkich konstrukcji oporowych i maty komórkowej. Raport serii SPR, etap IV*, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2006.

Problems of operating of earthen structures communication in special conditions considering modern transport-logistic system planning

Summary. The article analyses the chances of designing of ground-subsoil of railway track in order to attain safety of traffic. The these chances include track on the weak subsoil, track on the mining damage terrains, track on the flooded lands, and track localized in embankments with slopes in danger. Technical solutions for selected problem-chances are elaborated.

Key words: railway track, ground subsoil, particular track sections