

Identyfikacja zagrożeń stateczności eksploatowanego nasypu kolejowego

Ryszard Porębski, Mieczysław Kania, Michał Pawłowski

W artykule przedstawiono przypadek utraty stateczności nasypu linii kolejowej E20 po katastrofalnych opadach deszczu. Opisano przeprowadzone badania geotechniczne podtorza oraz podano prawdopodobne przyczyny obsunięcia się skarpy nasypu. Dokonano oceny stateczności skarp przy zastosowaniu sprężysto-plastycznego algorytmu metody elementów skończonych (MES). Na podstawie wykonanych badań i obliczeń zaproponowano zalecenia naprawcze dla niestatecznego nasypu.

artykuł jest zmodyfikowaną wersją referatu wygłoszonego na V. Konferencji Naukowo-Technicznej „Problemy modernizacji i budowy podtorza kolejowego” Wrocław - Szklarska Poręba, 14-15 października 2010 r



1. Osuwisko północnej skarpy nasypu, linia kolejowa E20, tor nr 1

W artykule poddano analizie przypadek lokalnej utraty stateczności nasypu odcinka linii kolejowej, zachowującego przez dziesiątki lat tę stateczność w normalnych warunkach eksploatacji. W ostatnich latach coraz częściej mamy do czynienia z występowaniem ekstremalnych warunków użytkowania podtorza (w tym nasypów) linii kolejowych. Wynika to z występowania nagłych zjawisk atmosferycznych połączonych z bardzo silnymi opadami deszczu. Konsekwencją są dodatkowe oddziaływania

na nasypy albo bezpośrednio wód opadowych, albo, w sposób pośredni, wód podziemnych. Z reguły możliwość wystąpienia takich ekstremalnych oddziaływań nie była uwzględniana podczas projektowania i budowy nasypów. W opisywanym tutaj przypadku, w dniu 9 czerwca 2010 r., w godzinach wieczornych nad Wielkopolską przeszła silna burza. W okolicach Kostrzyna Wielkopolskiego pod Poznaniem, w ciągu dwóch godzin na metr kwadratowy spadło 60 litrów wody [5]. Jednym ze skutków tego

ulewnego deszczu było uszkodzenie nasypu linii kolejowej E20 w tym rejonie. Ze względów bezpieczeństwa, na uszkodzonym odcinku linii PKP wprowadziło tymczasowe wzmocnienie toru i ograniczenie prędkości pociągów do 20 km/h. W celu przywrócenia normalnego ruchu pociągów wykonano odbudowę uszkodzonego fragmentu podtorza. Naprawę poprzedzono badaniami geotechnicznymi i analizą stateczności uszkodzonego nasypu.

Opis uszkodzeń nasypu

Omawiany nasyp stanowi podtorze dwutorowej linii kolejowej E20 na odcinku o długości około 250 m i znajduje się na podejściu do stacji Kostrzyn Wlkp. od strony wschodniej (kierunek Warszawa). Nasyp o zmiennej wysokości (od ok. 1,0 do 6,0 m) przecina holoceniską dolinę wypełnioną osadami organicznymi.

W wyniku intensywnych opadów deszczu na analizowanym odcinku linii kolejowej wystąpiły trwałe odkształcenia (uszkodzenia) podtorza w dwóch lokalizacjach. Pierwsza obejmuje odcinek toru nr 1 po stronie wschodniej stacji Kostrzyn, gdzie miało miejsce obsunięcie skarpy nasypu (rys. 1), a druga – krótki odcinek toru nr 2 w rejonie rozjazdu po zachodniej stronie stacji, gdzie doszło do niewielkiego rozmycia skarpy niskiego nasypu. Przeprowadzone dodatkowe oględziny torowiska w obrębie ław wykazały zarówno po stronie toru nr 1, jak i toru nr 2, na znacznych długościach, głównie w kierunku stacji Kostrzyn, gdzie wysokość nasypu rośnie do ok. 6 m, widoczne podłużne spękania nasypu na krawędzi ław oraz jego osiadania obejmujące część przyskarpową. Wizualnie oceniono, że w górnej części skarp występują nawisy z odsiewek powodujące przeciążenie skarp i pogarszające ich stateczność. Również pochylenia skarp wydają się zbyt strome, co również przyczynia się do pogorszenia stateczności.

W rejonie uszkodzenia skarpy toru nr 1, podtorze wykonane jest w postaci nasypu o wysokości ok. 3 m. Ocena makroskopowa odkrytego podtorza pokazała, że w górnej części pod podsypką występuje warstwa ochronna wykonana z kłińca, niżej zaś występują grunty spoiste w postaci piasku gliniastego z domieszkami piasku drobnego i piasku średniego oraz dużych kamieni. Stan tych gruntów oceniono jako plastyczny lub zbliżony do miękkoplastycznego. Podczas oględzin z warstwy ochronnej cały czas sączyła się woda. U podstawy nasypu usytuowany jest rów ochronny.

Uszkodzenie podtorza toru nr 1 polegało na powierzchniowym obsunięciu się całej skarpy i przemieszczeniu się na powierzchnię terenu poza rowem ochronnym. Obsunięcie objęło część ławy torowiska i część przyskarpową nasypu o grubości około 1,0 m. Nie stwierdzono wizualnie wystąpienia dodatkowych odkształceń toru nr 1 w tej lokalizacji, co może świadczyć o tym, że naruszenie stateczności nasypu nie objęło strefy podtorzowej.

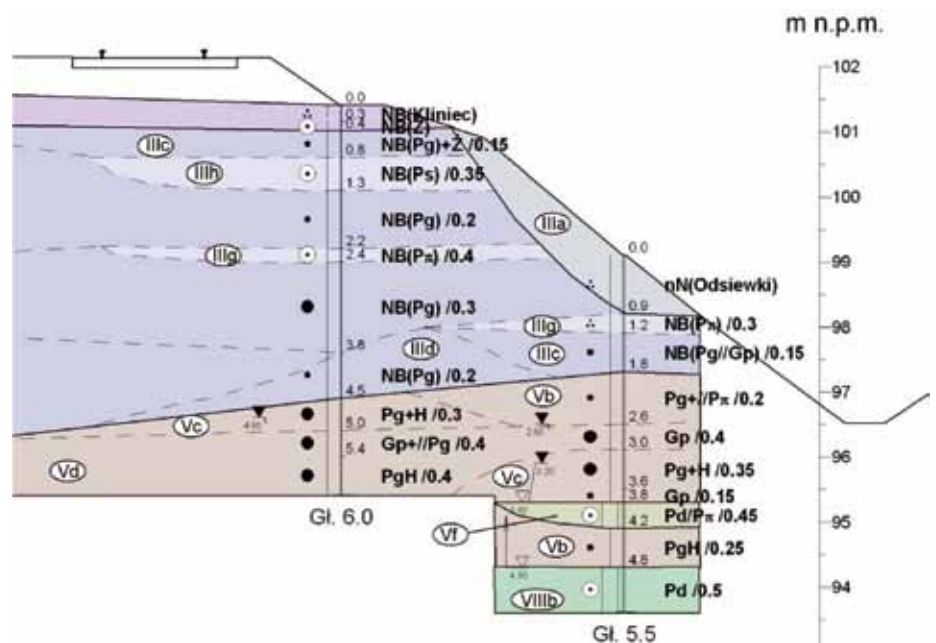
Prawdopodobną bezpośrednią przyczyną obsunięcia skarpy w torze nr 1 było przedostanie się wody opadowej poprzez warstwę ochronną i ławę torowiska do części przyskarpowej nasypu, gdzie wskutek zawilgocenia doszło do uplastycznienia gruntów

gliniasto-piaszczystych. W konsekwencji doprowadziło to do powierzchniowego obsunięcia się skarpy nasypu. Dodatkowymi czynnikami sprzyjającymi temu zjawisku było przeciążenie górnej strefy skarpy nawisem ziemnym oraz niewłaściwe (zbyt strome) jej nachylenie. Innym destrukcyjnym czynnikiem mógł być intensywny przepływ wody w rowie u podstawy nasypu w krótkim okresie podczas ulewy. Silne oddziaływanie erozyjne tego strumienia wody mogło spowodować częściowe podmycie podstawy skarpy.

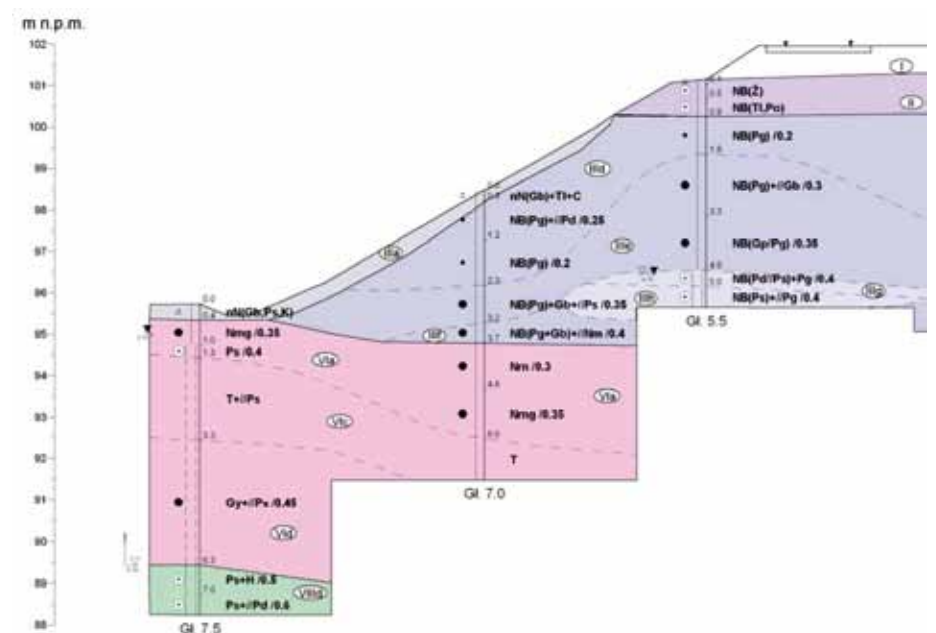
Toru nr 1 w miejscu osuwiska skarpy został wzmocniony (zabezpieczony) wiązkami szynowymi typu szwajcarskiego, a wcześniej

wprowadzono na tym odcinku ograniczenie prędkości do 20 km/h.

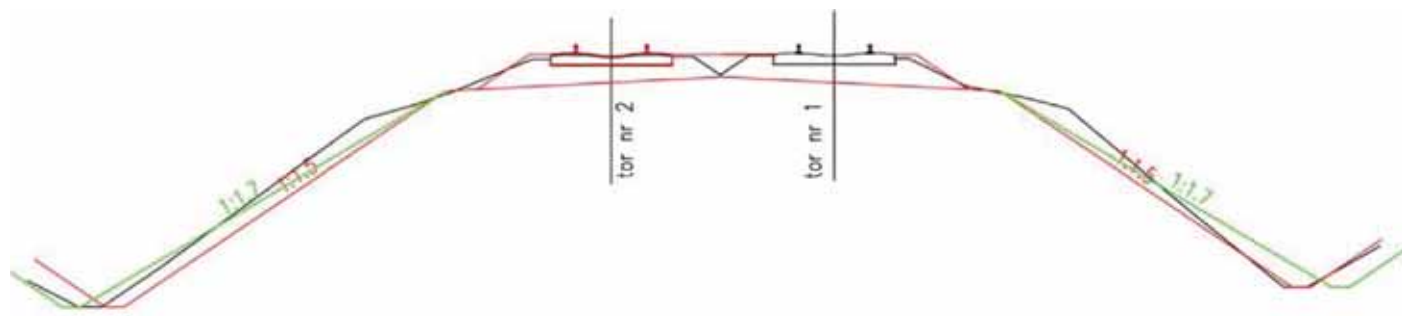
W drugiej lokalizacji, w rejonie rozjazdu, miało miejsce lokalne rozmycie skarpy niskiego nasypu od strony toru nr 2. W podtorzu w tym miejscu występuje warstwa ochronna (filtracyjna) z kłińca i pospółki, niżej zalegają grunty gliniaste w stanie plastycznym. Rozmycie spowodowała woda spływająca z podtorza w rejonie napędu rozjazdu podczas katastrofalnej ulewy. Obserwacje ławy torowiska w otoczeniu tego miejsca, ujawniły również występowanie podłużnych spękań podtorza świadczących o jego niestateczności.



2. Przykładowy przekrój geotechniczny podtorza po stronie toru nr 1



3. Przekrój geotechniczny podtorza od strony toru nr 2 w rejonie bagna



4. Przekrój poprzeczny nasypu z istniejącymi i wymaganymi pochyleniami skarp

Warunki gruntowo-wodne

Badany odcinek linii kolejowej przebiega przez teren o mocno zróżnicowanym ukształtowaniu powierzchni. Jest to obszar wysoczyzny denno-morenowej uformowanej podczas fazy leszczyńskiej zlodowacenia północnopolskiego, przecięty doliną niewielkiego cieku, będącego dopływem rzeki Cybiny.

W celu określenia aktualnego stanu gruntów w nasypie i w jego podłożu przeprowadzono polowe i laboratoryjne badania geotechniczne [4], obejmujące wykonanie: wierceń badawczych o głębokości do 11,5 m, sondowań dynamiczno-obrotowych z końcówką krzyżakową, ścięć gruntu, a także makroskopowych i laboratoryjnych badań próbek gruntów w celu określenia ich rodzaju i cech fizykochemicznych oraz parametrów geotechnicznych zgodnie z [3].

Oprócz badań geotechnicznych wykonano pomiary geodezyjne nasypu mające na celu inwentaryzację geometryczną ukształtowania skarp, co pozwoliło na sporządzenie rzeczywistych przekrojów poprzecznych podtorza (nasypu) w odległościach co 25 m. Na podstawie przeprowadzonych badań można również stwierdzić, że podłoże rodzime, na którym wzniesiono nasyp kolejowy, charakteryzuje się złożoną budową geologiczną oraz zmiennymi i mało korzystnymi warunkami gruntowo-wodnymi występującymi na długości badanego nasypu. Na odcinku około 100 m nasyp przecina dolinę rzeczną wypełnioną holoceniowymi osadami bagiennymi. Są to słabonośne grunty organiczne w postaci namulów, torfów i gytii. Ich maksymalna miąższość stwierdzona wykonanymi badaniami wynosi 9,5 m. Z uwagi na ograniczone możliwości wykonania głębokich wierceń podczas normalnego ruchu pociągów oraz bez wyłączenia prądu w sieci trakcyjnej, wykonane badania nie pozwoliły w pełnym zakresie ocenić zasięgu występowania gruntów słabonośnych pod nasypem. Można jedynie przypuszczać, że w rejonie lokalizacji starego przepustu (środek bagna) nasyp został pogrążony na dnie bagna. Część nasypu, co widoczne jest na przekrojach geotechnicznych (rys. 2 i 3), zbudowana jest na pozostawionych w podłożu gruntach

słabonośnych. Na pozostałych odcinkach w podłożu nasypu występują głównie grunty spoiste. W części przypowierzchniowej są to osady deluwialne w postaci piasków gliniastych, głębiej zalegają gliny zwałowe zlodowacenia północnopolskiego. Grunty te w warstwach przypowierzchniowych są w stanie plastycznym, niżej w stanie twardoplastycznym.

Podtorze na całej długości badanego odcinka dwutorowej linii kolejowej wykonane jest w postaci nasypu o zmiennej wysokości od ok. 1 m do ok. 6 m. Nasyp charakteryzuje się dużą nieregularnością geometryczną skarp. W górnych fragmentach widoczne są nawisy będące skutkiem składowania odsieków. Również pochylenia skarp są zróżnicowane, występują odcinki ze zbyt małymi pochyleniami (mniejszymi od 1:1,5) co ilustruje przykładowy przekrój poprzeczny przedstawiony na rys. 4. Szerokość torowiska na długości nasypu jest zmienna. Zwiększa się w kierunku stacji Kostrzyn, co spowodowane jest poszerzeniem międzytorza oraz poszerzającą się po stronie toru nr 2 równią stacyjną. Torowisko w rejonie torfowiska jest obniżone w wyniku osiadań nasypu spowodowanych konsolidacją ściśliwych gruntów organicznych, co szczególnie jest widoczne na odcinku o największej miąższości bagna. Również ławy torowiska pod względem szerokości są mocno zróżnicowane i w części nasypu leżącej w rejonie torfowiska są zbyt wąskie lub ich brakuje. Prawie na całej długości tego odcinka linii stwierdzono (wizualnie) występowanie w obrębie ław torowiska podłużnych rys i spękań podtorza, świadczących o niestabilności mechanicznej w obrębie skarp nasypu.

Nasyp wykonany jest głównie z gruntów spoistych w postaci glin piaszczystych i piasków gliniastych z domieszkami i przewarstwieniami piaszczystymi. Są to grunty łatwo uplastyczniające się w wyniku zawilgocenia. W górnej części podtorza podczas modernizacji wbudowano warstwy ochronne (filtracyjne) z klinkieru i żwiru, które jako wodoprzepuszczalne powodują stałe zawilgacanie korpusu nasypu, co pogarsza stan gruntów spoistych. Grunty spoiste zalegające w górnych warstwach nasypu są najczęściej w stanie twardoplastycznym, zaś

dolne warstwy nasypu z gruntów spoistych są w stanie plastycznym. W rejonie podstawy nasypu w wielu otworach zaobserwowano również występowanie wody. Można ocenić, że nasyp jest w złym stanie z uwagi na duże uplastycznienie gruntów spoistych użytych do jego budowy.

Z uwagi na czas prowadzonych badań (bezpośrednio po nawałnicy), warunki wodne w podłożu, jak i w nasypie zostały częściowo zmienione w wyniku wpływu wód powierzchniowych w kierunku obniżenia terenowego – doliny cieku wodnego, który przekracza badany nasyp. Obecność wody gruntowej stwierdzono w większości otworów wierniczych. Jest to zarówno woda gruntowa zawieszona na stropie gruntów spoistych w podłożu naturalnym lub w obrębie spoistych gruntów nasypowych, jak i woda o swobodnym zwierciadle lub pod niewielkim ciśnieniem hydrostatycznym występująca w gruntach niespoistych (piaskach) lub przewarstwieniach piaszczystych w nasypie. Stwierdzono również występowanie sączy wody na różnych głębokościach w gruntach spoistych naturalnych i nasypowych. Z uwagi na dużą zmienność ukształtowania terenu oraz z uwagi na zróżnicowaną wysokość nasypu, pomierzone poziomy wód pokazują na badanym obszarze dość mocno zróżnicowany obraz warunków hydrologicznych. Najwyższe poziomy występowania wody gruntowej w stosunku do powierzchni terenu stwierdzono w otworach zlokalizowanych u podstawy nasypu w rejonie zabagnionej doliny.

Ocena stateczności

Interpretacja budowy podłoża gruntowego w przekrojach geotechnicznych przeprowadzona pod kątem oceny jej wpływu na stateczność skarp, prowadzi do wniosku, że w badanym nasypie można wydzielić trzy charakterystyczne strefy:

- strefa A – obejmująca zaistniałe osuwisko,
 - strefa B – w najwyższej części nasypu, nad środkową częścią doliny cieku wodnego,
 - strefa C – na końcu badanego odcinka.
- Strefa A i strefa C mają podobną budowę podłoża gruntowego pod nasypem oraz samego nasypu. W tych strefach, o stateczności

Tab.1. Zestawienie parametrów geotechnicznych warstw w nasypie i podłożu

Numer warstwy podłoża	Dominujący rodzaj gruntu w warstwie	Ciężar objętościowy γ [kN/m ³]	Spójność gruntu c_u [kPa]	Kąt tarcia wewnętrznego ϕ_u [°]	Moduł Younga E [kPa]	Współcz. Poissona ν
1a \equiv I	tłuczeń granitowy - w dwóch opcjach parametrów	20,0	50,0	30,0	500000,0	0,30
1b \equiv I		22,0	10,0	39,0	450000,0	0,30
2 \equiv II	kliniec z piaskiem	22,0	3,0	28,0	70000,0	0,30
3c \equiv IIIc	piasek gliniasty głina piaszczysta - w trzech opcjach parametrów	21,0	15,4	12,5	18500,0	0,30
3d \equiv IIIId			12,6	11,5	15000,0	
3e \equiv IIIe			10,0	10,2	12500,0	
4	podkłady	materiał sprężysty, o standardowych parametrach żelbetu				
5 \equiv Vc	piasek gliniasty	21,0	11,2	11,4	14000,0	0,30
6b \equiv VIIb	piasek gliniasty głina piaszczysta	21,0	31,9	18,1	33000,0	0,30
6d \equiv VIIId			27,4	15,9	23500,0	0,30
6e \equiv VIIe			24,3	14,3	18500,0	0,30
7	głina piaszczysta	22,0	31,9	18,1	33000,0	0,30

skarp nasypu i istniejącym zapasie bezpieczeństwa decydować będą parametry geotechniczne warstw wydzielonych w nasypie oraz ukształtowanie skarp i wysokość nasypu. Natomiast grunty w podłożu pod nasypem charakteryzują się wyższą wytrzymałością na ścinanie, niż materiał użyty do budowy nasypu.

W strefie B stwierdzono występowanie pod nasypem grubej warstwy słabych gruntów organicznych, reprezentowanych przez namuły organiczne, torfy oraz gytie. Wspomniane wyżej brak dokładniejszej informacji o warunkach geotechnicznych w podłożu tej części nasypu uniemożliwia przeprowadzenie w pełni wiarygodnej analizy jego stateczności.

Wielkości parametrów geotechnicznych dla warstw gruntów w rozważanych schematach obliczeniowych zamieszczono w tabeli 1 (numery warstw podłoża w tabeli odpowiadają numerom warstw na przekrojach geotechnicznych).

Łącznie w obliczeniach uwzględniono 12 różnych schematów skarpy, różniących się także dodatkowymi wprowadzanymi warunkowaniami, zgodnie z charakterystyką zamieszczoną w zbiorczej tabeli wyników obliczeń (tab. 2). Dla wszystkich rozważanych schematów przyjęto ciągłe obciążenie

liniowe na każdą szynę, o wielkości 48 kN/m.

Ocenie stateczności poddano skarpe w stanie płaskim. Zastosowano sprężysto-plastyczne algorytmy metody elementów skończonych (MES). W analizie stateczności za pomocą MES, współczynnik stateczności wyznaczany jest na drodze obliczeniowej redukcji parametrów wytrzymałościowych gruntów: kąta tarcia wewnętrznego ϕ_u oraz spójności c_u . Kryterium uzyskania stanu granicznego w skarpie jest wystąpienie braku zbieżności rozwiązań w stosowanych procedurach iteracyjnych. Wówczas wielkość $F_n \leq F \leq F_{n+1}$, otrzymana w poprzednim kroku, stanowi oszacowanie poszukiwanej wielkości współczynnika stateczności. Metoda elementów skończonych jest od wielu lat stosowana do oceny stateczności nasypów kolejowych [2].

W analizie zastosowano model sprężysto-plastyczny z kryterium plastyczności Druckera-Pragera. Parametry materiałowe modelu w warunku plastyczności Duckera-Pragera są funkcjami wielkości kąta tarcia wewnętrznego ϕ_u oraz spójności c_u gruntu, natomiast sprężyste zachowanie gruntu charakteryzują dwa parametry: moduł sprężystości Younga i współczynnik Poissona. Dodatkowym parametrem, niezbędnym dla uwzględnienia oddziaływań grawitacyjnych, jest ciężar objętościowy gruntu. Obliczenia

wykonywane są dwuetapowo – najpierw ustalany jest stan naprężeń początkowych w podłożu, w drugim etapie – następuje ocena stateczności skarpy.

Skarpę i uwarstwione podłożo gruntowe odwzorowano w modelu MES, budując siatkę czworokątnych elementów skończonych o 8 stopniach swobody oraz elementów trójkątnych o 6 stopniach swobody (rys. 5).

Złożoność budowy podłoża gruntowego w rozważanych przekrojach obliczeniowych, wymagała zastosowania bardziej rozbudowanych siatek elementów. Analizowane zadanie brzegowe odwzorowano za pomocą modelu zbudowanego z siatki 3002 elementów skończonych o 3071 węzłach. Wprowadzono warunki brzegowe w postaci ograniczenia przemieszczeń poziomych na pionowych brzegach wydzielonego obszaru oraz całkowitego zamocowania węzłów na dolnym brzegu siatki. Tak skonstruowane zadania obliczeniowe wymagały rozwiązania odpowiednio układów 6019 równań, odpowiadających liczbie stopni swobody modelowanych układów.

Dla uproszczenia analiz wprowadzono uogólniony model nasypu w rejonie osuwiska, o zróżnicowanych wysokościach skarp po obu stronach nasypu. Wymuszenie jednostronnej utraty stateczności w przypadku skarpy północnej, uzyskano poprzez wprowadzanie po przeciwległej stronie nasypu fikcyjnej strefy, o bardzo wysokich parametrach wytrzymałościowych.

Liczbowe wyniki obliczeń dla przyjętych schematów obliczeniowych zestawiono w tabeli 2.

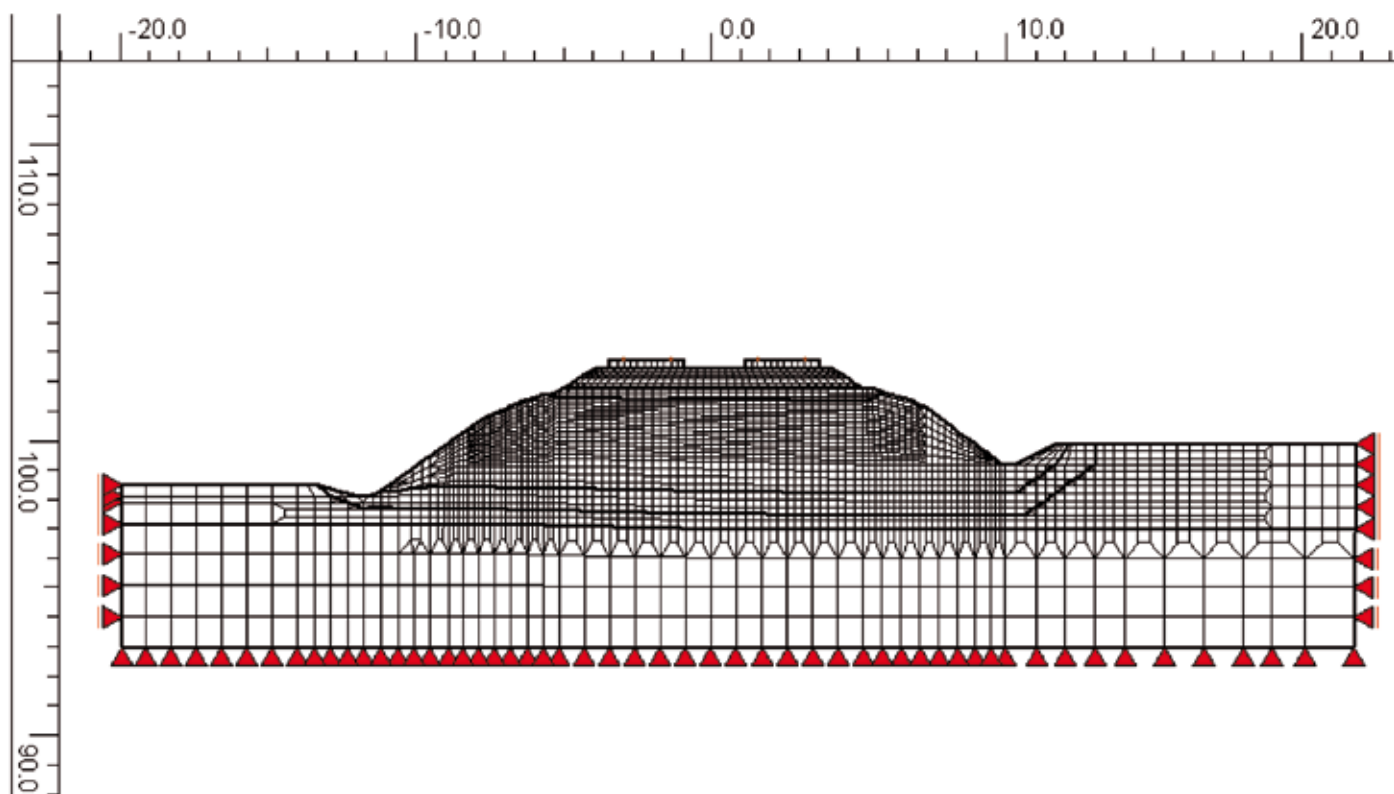
Podane w tabeli 2 wyniki obliczeń podlegają ocenie poprzez porównanie z zalecanym dla badanej linii kolejowej minimalnym poziomem bezpieczeństwa rzędu $F_{min} = 1,5$ [1]. Z porównania jednoznacznie wynika, że żaden z rozpatrywanych schematów obliczeniowych nie gwarantuje dla strefy A nasypu uzyskania współczynnika stateczności większego niż 1,5, a prognozowane mechanizmy utraty stateczności nasypu, zgodnie z wizualizacją na rys. 6, obejmują wyłącznie obszar wewnątrz nasypu, podobnie jak w powstałym w rzeczywistości osuwisku.

Zalecenia naprawcze

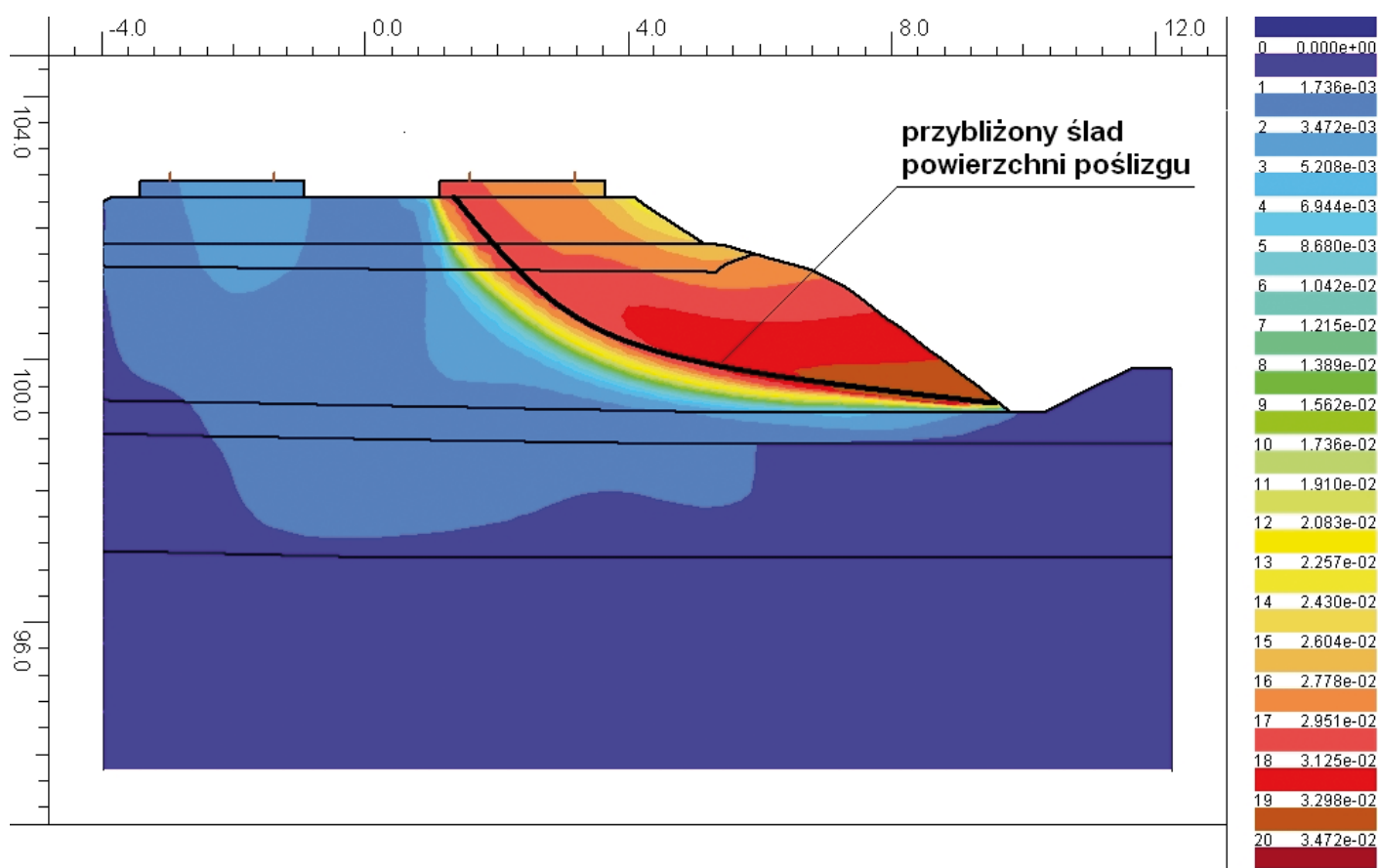
W rezultacie przeprowadzonych prac badawczych i analiz obliczeniowych, zaproponowano szereg zaleceń naprawczych. Biorąc pod uwagę stan nasypu oraz warunki gruntowo-wodne w jego podłożu stwierdzono, że konieczna jest przebudowa nasypu, mająca doprowadzić do poprawy stateczności oraz spełnienia parametrów wynikających z obowiązujących w tym zakresie wymagań określonych w przepisach [1]. Przed przystąpieniem do prac naprawczych należy całkowicie usunąć obsuniętą część skarpy

Tab.2. Zestawienie parametrów geotechnicznych warstw w nasypie i podłożu

Symbol schematu		Wielkość współczynnika stateczności F (L - dla skarpy południowej)	Symbol schematu	Wielkość współczynnika stateczności F (R - dla skarpy północnej)
1-IIIc	warianty z warstwą tłucznią o bardzo dużej spójności	1.31	1x-IIIc	1.48
1-IIIId		1.25	1x-IIIId	1.32
1-IIIe		1.14	1x-IIIe	1.29
2-IIIc	warianty z warstwą tłucznią o zredukowanej spójności	1.21	2x-IIIc	1.33
2-IIIId		1.12	2x-IIIId	1.24
2-IIIe		1.01	2x-IIIe	1.15



5. Model MES uszkodzonego nasypu



6. Obraz deformacji nasypu w stanie równowagi granicznej z przebiegiem powierzchni poślizgu; Schemat obliczeniowy 2x-IIIe (skarpa północna)

oraz odtworzyć i udrożnić rów ochronny. W celu poprawy stateczności skarp, jako działania doraźne zalecono ścięcie nawisów (wypukłości wykraczających poza wymagane pochylenia skarp 1:1,5) z odsiewek

występujące w górnych częściach skarp. Po wykonaniu naprawy doraźnej dopuszczono zmianę ograniczenia prędkości jazdy pociągów z 20 km/h do 60 km/h, pod warunkiem prowadzenia stałej obserwacji zachowania

się nasypu podczas eksploatacji toru.

Utrzymanie ograniczenia prędkości wynika ze zbyt małych wartości obliczonych współczynników stateczności nasypu, nie spełniających wymagań formalnych oraz nie

gwarantujących wymaganego zapasu bezpieczeństwa. Ograniczenie prędkości zalecono utrzymać do momentu wykonania ostatecznej naprawy nasypu na całym analizowanym odcinku.

Z uwagi na występowanie w górnej strefie podtorza uplastycznionych gruntów spoistych, odbudowę skarpy należałoby połączyć z wymianą lub stabilizacją tych gruntów. W przypadku zaniechania wykonania takich zabiegów, należy przewidzieć wykonanie na długości uszkodzonej skarpy, w górnej strefie podtorza, wciniek drenujących wypełnionych kruszywem gruboziarnistym. Odbudowę uszkodzonej skarpy należy przeprowadzić od dołu (od podstawy nasypu) z wykorzystaniem gruntów niespoistych, najlepiej gruboziarnistych. Należy zachować wymagane pochylenia skarp, bądź odpowiednio je wzmocnić. Konieczne jest również odtworzenie rowu bocznego, z zabezpieczeniem przeciwerozyjnym.

Biorąc pod uwagę ograniczenia wynikające z wąskiego pasa wywłaszczenia oraz stanu gruntów budujących nasyp, zaproponowano jego odbudowę i wzmocnienie poprzez zastosowanie u podstawy nasypu dodatkowej konstrukcji oporowej z dwóch warstw koszy siatkowych (gabionów) wypełnionych materiałem kamiennym. Dodatkowo w strefie poza istniejącym osuwiskiem skarpy należy wzmocnić przedłużając zewnętrzny rząd gabionów po dwóch stronach osuwiska. Do odbudowy skarpy należy zastosować grunty niespoiste w postaci co najmniej piasku średnioziarnistego. Połączenie dosypywanej części z istniejącym nasypem zalecono wykonać w postaci zestopniowania ze spadkiem poprzecznym na zewnątrz. Na poziomie stopni, w celu lepszego powiązania nowej i starej części nasypu, należy zastosować geosiatkę zbrojącą grunty. Dosypywany grunt należy zagęszczać warstwami o grubości nie większej niż 0,2 – 0,3 m. Odbudowaną skarpy należy umocnić powierzchniowo poprzez obsianie trawą. Jako górną warstwę podtorza należy zastosować warstwę nieprzepuszczalną (odcinającą) wykonaną, np. z niesortu. Wyszczególnione wyżej zalecenia dotyczące naprawy doraźnej zrealizowano i można obecnie stwierdzić, że zwiększenie prędkości ruchu pociągów do 60 km/h nie spowodowało żadnych negatywnych skutków.

Wnioski

Coraz częstsze ostatnio ekstremalne zjawiska atmosferyczne połączone z ulewnymi opadami deszczu, mogą być przyczyną groźnych uszkodzeń nasypów linii kolejowych, dotychczas bezpiecznie eksploatowanych przez wiele lat. Spowoduje to konieczność częstszych napraw podtorza z równoczesnym jego dostosowaniem do aktualnych wymagań.

Obowiązujące od 2009 roku nowe „Id-3” [1], wprowadzają w zakresie oceny stateczności podtorza bardzo restrykcyjne wymagania. I tak wartość współczynnika pewności (stateczności) F powinna wynosić co najmniej 2,0 dla podtorza nowobudowanego i dobudowywanego oraz 1,5 dla podtorza w eksploatacji. Spełnienie tego warunku w przypadku linii modernizowanych i w dużym zakresie linii eksploatowanych będzie wymagało przebudowy podtorza. Przykładem jest omawiany nasyp, gdzie obliczone współczynniki stateczności F nie spełniają wymagań według [1].

Często przyczyną utraty stateczności nasypów i przekopów są przeciążenia skarp spowodowane odkładami wysiewek powstałych podczas oczyszczania podsypki, co praktykowano w przeszłości przez wiele lat. Znaczna część eksploatowanych linii wymaga więc oczyszczenia i uporządkowania skarp.

Przeprowadzone obserwacje i badania uzasadniają tezę, że górne warstwy ochronne podtorza powinny być wykonywane jako nieprzepuszczalne dla wody warstwy odcinające. Dotyczy to szczególnie nasypów i przekopów w których występują grunty spoiste. ◀

Literatura

- [1] Id-3 - Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2009 r.
- [2] Kania M., Ł. Siewczyński: Studium metod komputerowej analizy stateczności nasypów linii kolejowych, Mat. Konf. Nauk.-Techn. „Techniki komputerowe w projektowaniu, budowie i modernizacji linii kolejowych”, s. 49-61, SITK, Wrocław, wrzesień 1997.
- [3] PN-81/B-03020 Grunty budowlane – Posadowienie bezpośrednio budowli – Obliczenia statyczne i projektowanie. PKN, Warszawa 1981 r.
- [4] Porębski R., Kania M., Nowak M., Pawłowski M.: Badania geotechniczne nasypu linii kolejowej E-20 w miejscowości Kostrzyn Wlkp. na odcinku od km 280,600 do km 280,800 wykazującego objawy niestateczności. Politechnika Poznańska, 2010 r.
- [5] Urząd Miasta Kostrzyn (www.kostrzyn.wlkp.pl).

*doc. dr inż. Ryszard Porębski
Politechnika Poznańska,
Instytut Inżynierii Lądowej,
Zakład Dróg Kolejowych*

*dr inż. Mieczysław Kania
Politechnika Poznańska,
Instytut Inżynierii Lądowej,
Zakład Geotechniki i Geologii
Inżynierskiej*

*mgr inż. Michał Pawłowski
Politechnika Poznańska,
Instytut Inżynierii Lądowej,
Zakład Dróg Kolejowych*