Wzmocnienie podłoża w kontekście awarii stateczności skarpy

na podstawie wybranego przykładu

W trakcie eksploatacji nasypów odnotowuje się częste przypadki, w których dochodzi do awarii w postaci deformacji podtorza czy nawet utraty stateczności skarpy nasypu. W efekcie tego powstają powierzchniowe ruchy mas ziemnych, które dzieli się na: zmywy, spływy, spełzywanie, obrywy, zsuwy i osuwiska.

Tomasz Białobrzeski, Aleksander Sucharzewski
MENARD Polska Sp. z o.o.

Spotykane najczęściej w praktyce inżynierskiej przyczyny utraty stateczności nasypu można podzielić na następujące grupy [4]:

1. geologiczne – budowa geologiczna:
   - bliskość procesów geodynamicznych, np. związanych ze szkodami pogórniczymi,
   - występowanie w podłożu rodzimym gruntów nienośnych i ściśliwych, zwietrzelinowych, zapadowych,
   - niekorzystne ułożenie warstw geologicznych, np. upad warstw zgodny z możliwym przemieszczeniem skarpy;
2. hydrologiczne i hydrogeologiczne:
   - działalność filtracyjna wód gruntowych, w szczególności przy niewłaściwie zastosowanym odwodnieniu,
   - erozja – rzeczna, powierzchniowa;
3. wykonawcze:
   - błędy wykonawcze, np. wykorzystanie niewłaściwych materiałów przy budowie nasypu;
4. eksploatacyjne, konserwatorskie:
   - obciążenia dynamiczne (ruch kołowy, kolejowy),
   - brak odpowiednich remontów konstrukcji,
   - działalność ludzka, np. zmiana warunków wodnych, podkopanie zbocza.

Obecnie istnieje wiele skutecznych i sprawdzonych metod wzmacniania podłoża gruntowego, które niwelują ryzyko niestabilności budowli. Podzielić je można na następujące kategorie [5, 6]:

- zbrojenie przy wykorzystaniu gwoździowania, kotwienia, palowania,
- zagęszczanie wibracyjne: wibroflotacja, wibrowymiana,
- zagęszczanie dynamiczne: wymiana dynamiczna,
- geosyntetyki: geosiatki, geotkaniny, geowłókniny,
- zbrojenie szkieletowe, np. gabiony.

Przed wyborem właściwej technologii wzmocnienia podłoża należy dokładnie przeprowadzić analizę warunków gruntowych pod kątem pracy konstrukcji ziemnej w trakcie eksploatacji. Żadna z metod wzmacniania podłoża gruntowego nie jest uniwersalna i zależy od wielu czynników. Niewłaściwe zastosowanie danej technologii może doprowadzić do efektu odwrotnego niż zamierzony. Kolumny żwirowe (fot. 1, 2), które są bardzo dobrym sposobem poprawy właściwości mechanicznych gruntów słabonośnych, mogą również mieć charakter drenażowy. Wówczas przy zastosowaniu kolumn w gruntach bardzo ściśliwych, nieskonsolidowanych, można uaktywnić długotrwały, powolny proces osiadań i deformacji nasypu w trakcie eksploatacji. Problem ten został bliżej opisany między innymi w literaturze branżowej [1].

Poprawa parametrów stateczności istniejącego nasypu kolejowego na wybranym przykładzie

W Polsce w ostatnich latach rozbudowie podlega nie tylko infrastruktura drogowa, ale również kolejowa. Wiele linii szynowych powstawało jako jednotorowe i po kilkudziesięciu latach modernizowane są do dwutorowych. Plan modernizacji szlaków kolejowych zakłada również zwiększenie prędkości przejazdu taboru kolejowego obsługującego pasażerów do prędkości 200 km/h, co wymusza przebudowę oraz rozbudowę istniejących szlaków kolejowych. Modernizacja nasypu polegająca na jego poszerzeniu powoduje, że dobudowana część pra-

cuje w innych warunkach niż istniejąca na skonsolidowanym podłożu, co może prowadzić do awarii.

Przykładem obrazującym powyższy problem jest nasyp kolejowy w województwie warmińsko-mazurskim, który był budowany dwuetapowo. Nasyp pod tor nr 2 wykonano w okresie zaborów w XIX w. (rys. 1). W połowie XX wieku nasyp został poszerzony, tak aby umożliwić wybudowanie drugiego toru. Podłoże rodzime charakteryzuje się złożonymi warunkami gruntowo-wodnymi. Rozpatrywany obszar znajduje się na wysoczyźnie polodowcowej zlodowacenia północnopolskiego – na plejstoceńskich gruntach morenowych w stanie plastycznym i twardoplastycznym oraz średnio zagęszczonym. Lokalnie występują osady deluwialno-aluwialne.

Fot. 1. Realizacja wykonania kolumn żwirowych [9]

Fot. 2. Realizacja wykonania kolumn żwirowych [9]

Przyczyny awarii nasypu

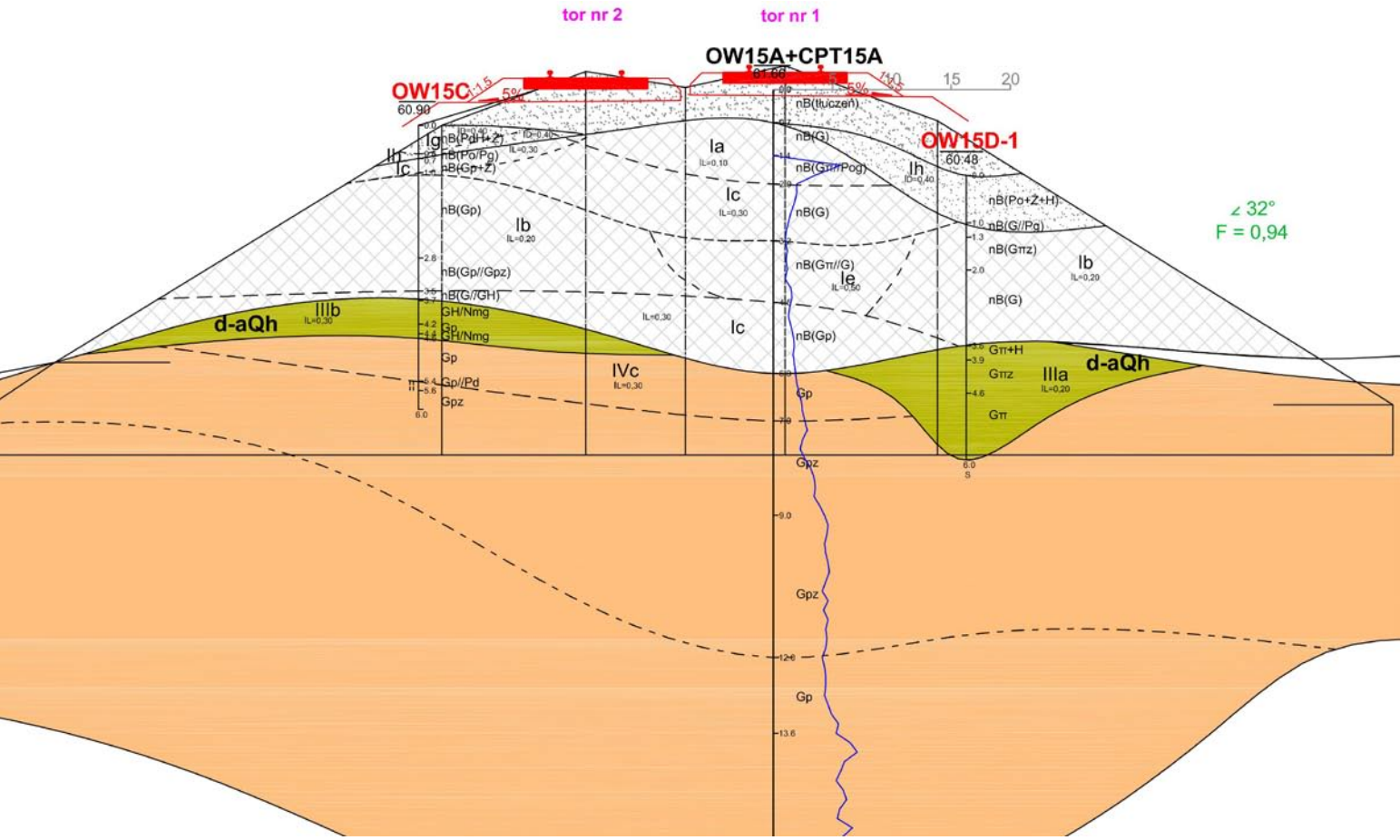
Na omawianej linii kolejowej doszło do awarii budowlanej w postaci utraty stateczności korpusu nasypu kolejowego, co spowodowało maksymalne przemieszczenia ok. 64 cm [3]. Problemy ze statecznością nasypu dotyczą części dobudowanej w połowie XX wieku. Awaria nasypu kolejowego w rejonie pokazanym na powyższym przekroju zobrazowana została na fot. 3.

Brak skutecznego rozwiązania problemu stateczności ww. nasypu kolejowego spowodowana była tym, że w przeszłości przeprowadzano tylko doraźne naprawy w postaci podbijania toru kolejowego z uzupełnieniem podsypki tłuczniowej. Wpływ na zły stan techniczny nasypu miały między innymi etapowość budowy nasypu kolejowego oraz wadliwe rozwiązania konstrukcyjne, takie jak: rodzaj użytego materiału do budowy, brak warstwy ochronnej, zbyt strome skarpy. W nasyp wbudowano spoiste grunty, które na skutek obciążeń uległy konsolidacji. Grunty spoiste są podatne na przemarzanie i powstawanie wysadzin, co prowadziło do obniżenia parametrów mechanicznych w czasie. W konsekwencji nałożenia się powyższych czynników na siebie doszło do powstania deformacji nasypu w postaci osuwiska.

Fot. 3. Awaria nasypu kolejowego [9]

Rozwiązanie projektowe naprawy nasypu

W celu naprawy i zapobieżenia dalszym ruchom osuwiskowym zostały ▶



Rys. 1. Przekrój geologiczno-inżynierski w miejscu powstania osuwiska [3]

zaprojektowane wzmocnienia nasypu przy pomocy podatnych kolumn MSC (Menard Supply Columns) oraz muru gabionowowego umacniającego stromą skarpę. Kolumny MSC (rys. 2) należą do grupy technologii przemieszczeniowych, co oznacza, że w trakcie formowania trzonu kolumny grunt nie jest wydobywany na powierzchnię, ale przemieszczany w kierunku poziomym od osi otworu. Proces wykonywania kolumny nie powoduje praktycznie żadnych uszkodzeń powierzchni terenu, a generowane w płaszczyźnie pionowej wibracje o małej częstotliwości nie wpływają na rozluźnienie istniejącego nasypu.

Zastosowanie trzonu kolumny o kontrolowanej podatności w gruntach słabych wpływa znacząco na poprawę warunków I stanu granicznego – spełnienie warunków nośności podłoża gruntowego – oraz II stanu granicznego – spełnienie dopuszczalnych wartości przemieszczeń oraz stateczności.

Przy zastosowaniu kolumn MSC eliminuje się problem przesztywnienia podłoża nad głowicą kolumny i doprowadzenia do wytworzenia schematu pracy układu kolumna – grunt – warstwa dystrybucyjna, która w przypadku konwencjonalnych kolumn betonowych lub pali może doprowadzić do przebicia się sztywnej kolumny przez geomaterac, doprowadzając do przekroczenia I i II stanu granicznego.

Wzmacnianie nasypu istniejącego kolumnami MSC może być wykonywane bezpośrednio z korony nasypu, dzięki czemu prowadzenie prac jest mniej kłopotliwe i szybsze w przeciwieństwie do metod wymagających rozbierania nasypu.

Modelowanie stateczności nasypu

Analizę na etapie przygotowania koncepcji naprawy powyższego nasypu rozpoczęto od oszacowania współczynnika stateczności w stanie istniejącym. Minimalny współczynnik stateczności wynosił F = 0,95, a odpowiadająca mu linia poślizgu pokrywała się z obserwowanym w rzeczywistości osuwiskiem.

Zaproponowane rozwiązanie naprawcze ma istotny wpływ na poprawę stateczności nasypu, powodując jego wzrost do wartości 1,669 ≥1,5 (rys. 4).

Obliczenia współczynnika stateczności skarpy zostały wykonane przy użyciu klasycznej metody Bishopa dla ekwiwalentnego obciążenia od ruchu kolejowego o wartości 94 kPa.

Metoda Bishopa jest klasyczną metodą paskową, która jest oparta na warunku równowagi momentów sił oraz sił pionowych. Współczynnik stateczności oblicza się iteracyjnie dla założonych kołowych linii poślizgu wg poniższej zależności [7]:

$$FS=\frac{1}{\sum_i W_i.\sin\alpha_i}\sum_i\frac{c_i b_i+(W_i-u_i b_i)\tan\phi_i}{\cos\alpha_i+\frac{\tan\phi_i\sin\alpha_i}{FS}}$$

gdzie:

- ui – ciśnienie porowe w bloku,
- ci φi – efektywne wartości parametrów gruntu,

Wi – ciężar bloku,

αi – nachylenie segmentu powierzchni poślizgu,

bi – pozioma szerokość bloku.

Można zauważyć, że w wyniku zaproponowanych zabiegów współczynnik stateczności jest większy od wymaganego współczynnika stateczności dla

podtorza w trakcie eksploatacji, który wynosi FS = 1,5 [8].

Wnioski

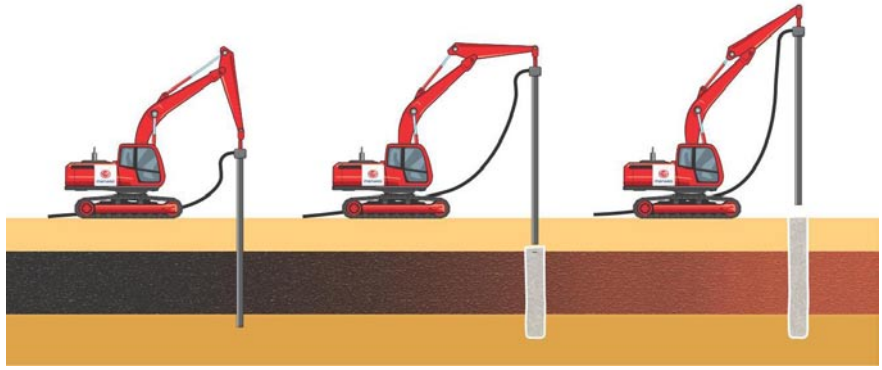
Wzmacnianie istniejących nasypów kolejowych wymaga szerokiej analizy dokumentacji archiwalnej, która dotyczy sposobu formowania nasypów oraz ich dalszych modyfikacji. Rozbudowa nasypów kolejowych poprzez dobudowywanie części nowego nasypu do istniejącego może nieść za sobą ryzyko nierównomiernych osiadań w przypadku posadowienia na gruntach słabonośnych.

Powinno się zwracać szczególną uwagę przy projektowaniu i wykonawstwie na rodzaj gruntów wbudowanych w nasyp. Domieszki gruntów spoistych o znacznej zawartości frakcji iłowej mogą przyczyniać się do utraty stateczności skarpy, w szczególności przy stromych zboczach oraz przy oddziaływaniu dużych, dynamicznych obciążeń.

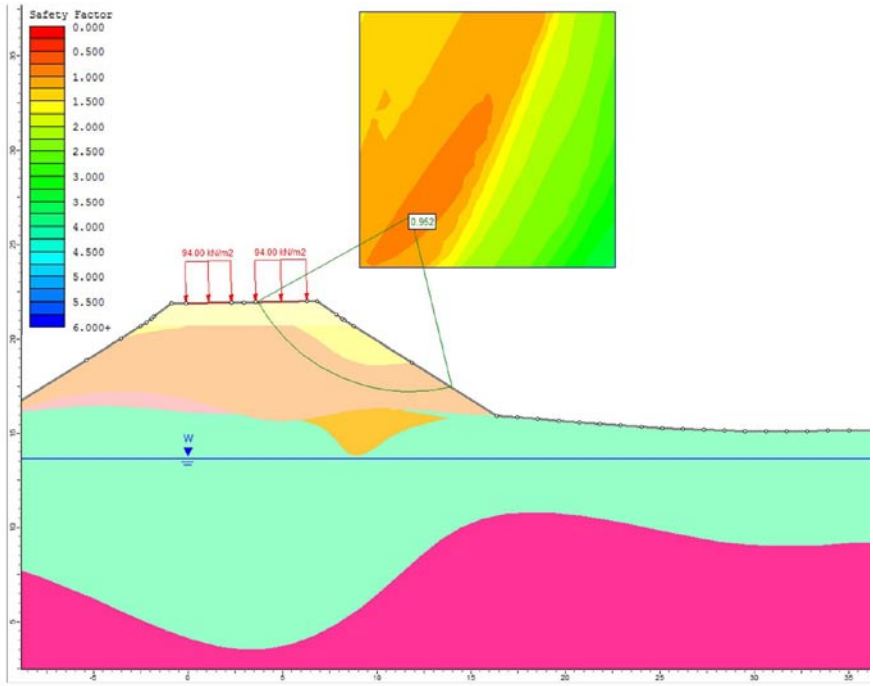
Obecnie stosowane metody wgłębnego wzmocnienia podłoża gruntowego pozwalają na stosowanie ich z poziomu istniejącej korony nasypu kolejowego bez konieczności rozbierania całej konstrukcji, powodując również poprawę parametrów wytrzymałości oraz odkształcenia korpusu nasypu. ❑

Piśmiennictwo

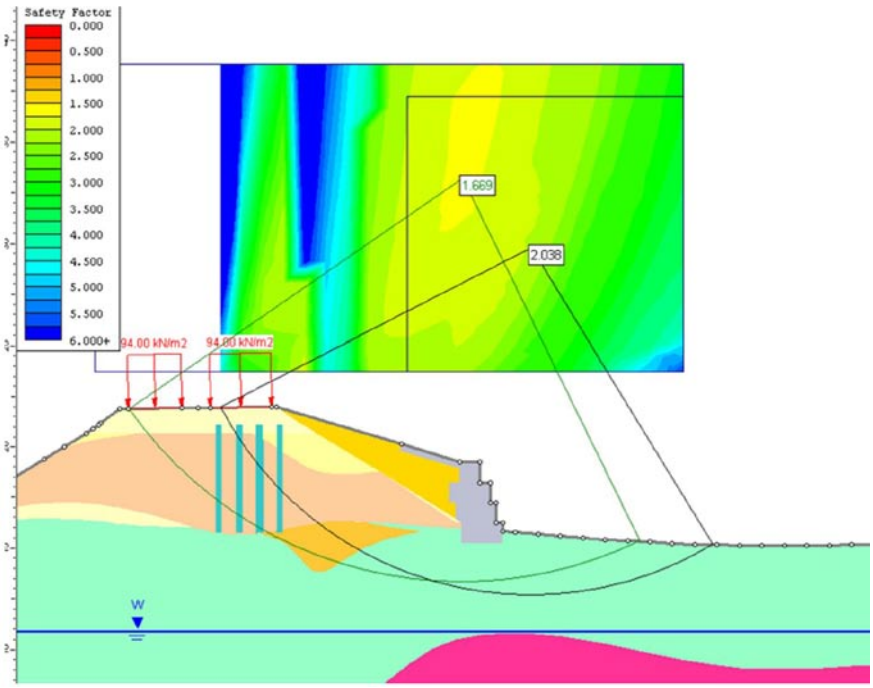
1. Jarominiak A.: *Wybrane problemy modernizacji podtorzy kolejowych*. „Geoinżynieria – Drogi Mosty Tunele", 3/2011.
2. Nichol D.: *Farmer I. W. Settlement over peat on the A5 at Pant Dedwydd near Cerrigydrution*. „North Wales, Engineering Geology", 50 (1998), 299-307.
3. Ośko A.: *Dokumentacja badań podłoża gruntowego dla rozpoznania osuwiska w obrębie nasypu kolejowego*. GeoxX Pracowania geologiczna spółka cywilna, Olsztyn, czerwiec 2013.
4. Stilger-Szydło E.: *Drogowe budowle ziemne. Programowanie badań podłoża gruntowego osuwiska, zabezpieczenia*. „Geoinżynieria – Drogi Mosty Tunele", 2/2009.
5. Stryszek S., Gonet A.: *Geoinżynieria*. „Studia, Rozprawy, Monografie", 2000, nr 71. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie.
6. Stryszek S., Gonet A.: *Geoinżynieryjne metody stabilizacji skarp i zboczy*.
7. Wiłun Z.: *Zarys Geotechniki*. Warszawa 1976.
8. *Warunki techniczne utrzymania podtorza Id-3*. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2009.
9. Materiały własne Menard Polska Sp. z o.o.



Rys. 2. Schemat wykonania kolumny MSC [9]



Rys. 3. Linia poślizgu dla minimalnego współczynnika stateczności – stan istniejący [9]



Rys. 4. Linia poślizgu dla minimalnego współczynnika stateczności – projektowane rozwiązanie [9]