



Ryc. 1. Zniszczona i nieprzejezdna w wyniku osuwiska droga

Praktyczne zasady doboru metod stabilizacji osuwisk

tekst: **NATALIA MACA**, Titan Polska Sp. z o.o., zdjęcia: **TITAN POLSKA Sp. z o.o.**

Początek tegorocznego lata mógł wyjątkowo zapisać się w świadomości geotechników. Państwowy Instytut Geologiczny przypomniał nam o 10. rocznicy największej katastrofy osuwiskowej w Polsce, która dotkliwie dotknęła południowe rejony kraju (ryc. 1) [1]. I kiedy już wydawało się, że wydarzenia roku 2010 odchodzą w niepamięć, to Centrum Geozagrożeń w czerwcu 2020 r. wydało ostrzeżenie, że w związku z intensywnymi opadami deszczu można się spodziewać uaktywnienia istniejących i powstania nowych osuwisk, w szczególności na południu Polski [2].

Wydaje się zatem, że warto powrócić do tematu zabezpieczeń osuwiskowych. Tym bardziej że w bazie SOPO jest już zarejestrowanych 66 498 osuwisk, przy czym obecnie na 13% z nich znajduje się zabudowa, a coraz częściej podejmuje się też ryzyko nowych inwestycji. Dodatkowo na etapie projektowania lub realizacji znajduje się teraz kilkanaście dużych inwestycji infrastrukturalnych, przebiegających przez tereny aktywne lub predysponowane osuwiskowo. A przecież osuwiska ujawniają się głównie właśnie na obszarach objętych już ruchami masowymi w przeszłości.

Jednocześnie z uwagi na złożoność zjawiska, skalę problemów i wysokie ryzyko prowadzenia prac budowlanych jest to jedno

z najtrudniejszych wyzwań geotechniki. Ponadto, dobierając metodę zabezpieczenia osuwiska, należy mieć na uwadze, że projektowana konstrukcja musi być nie tylko skuteczna, ale optymalna kosztowo oraz – co często pomijane – możliwa do efektywnej i bezpiecznej realizacji w terenie.

Metody stabilizacji osuwisk

Metody stabilizacji osuwisk i zabezpieczeń obiektów zagrożonych wraz z charakterystyką oraz podstawami teoretycznymi przedstawiono szeroko w literaturze, m.in. [3–6]. Wybierając z tego bogatego katalogu konkretne techniki, należy uwzględnić ich zakres stosowania oraz ograniczenia wykonawcze. Trzeba

bowiem pamiętać, że mimo rozwoju branży i pojawiania się nowych rozwiązań, nie ma w geotechnice narzędzi uniwersalnych, a ich przydatność zależy od wielu czynników. Z naszej praktyki inżynierskiej wynika niestety, że niepełne zrozumienie tej kwestii często skutkuje koniecznością kosztownego przeprojektowania konstrukcji zabezpieczeń przeciwoświsuwiskowych, mimo ich poprawności pod kątem obliczeniowym.

Przy dobieraniu metody stabilizacji niezbędne jest zatem przeanalizowanie nie tylko charakterystyki osuwiska, warunków geologicznych, wodnych, oddziaływań, ukształtowania terenu i docelowej funkcji konstrukcji (np. czy jest to odbudowa drogi na zboczu, czy zabezpieczenie podciętej osuwiskiem skarpy), ale też aspektów ściśle wykonawczych, jak dojazd i dostępność terenu, zadrzewienie, urabialność gruntu, czy logistycznych, jak konieczność wyłączenia ruchu lub zachowania przejeźdźności drogi. W celu podania praktycznych wskazówek poniżej przedstawiono wybrane najpowszechniej obecnie stosowane i pozytywnie zweryfikowane technologie geotechniczne wykorzystywane do walki z ruchami masowymi z uwzględnieniem wymienionych kwestii, które zazwyczaj decydują o możliwości ich skutecznej aplikacji.

Pierwszą czynnością podejmowaną dla poprawienia stateczności osuwiska powinno być uporządkowanie stosunków wodnych i ograniczenie zawodnienia gruntów w strefie poślizgu [7]. Nieodzowne jest więc wykonanie kompleksowego systemu odwodnienia, zapewniającego właściwe warunki pracy konstrukcji geotechnicznej. System ten powinien obejmować odwodnienie powierzchniowe, zapewniające przechwycenie i szybkie odprowadzenie wód opadowych, oraz drenaż wgłębny, którego celem jest szybkie odprowadzenie wód nieprzechwyconych i zasilających teren infiltracyjnie. Ten drugi jest o tyle istotniejszy, że nie tylko pozwala skutecznie odwadniać teren w wielu poziomach, ale też nie wymaga – w przeciwieństwie do np. przypór filtracyjnych – robót ziemnych (dreny wiercone) i może być wykonany lekkim sprzętem (dreny samowierzące). Często dopiero samo jego wykonanie poprawia stan gruntów, umożliwiając prowadzenie właściwych prac konstrukcyjnych w rejonie kolumwium, w tym wjechanie cięższym sprzętem.

Najprostszą i z racji niskiej ceny popularną metodą stabilizacji osuwisk jest redukcja obciążenia przez wyłuszczenie, tarasowanie zbocza lub wybranie kolumwium (również w celu wymiany gruntu). Wykonywanie większych wykopów na obszarze osuwisk jest jednak stanowczo odradzane, gdyż usunięcie naturalnej przypory u podstawy osuwiska grozi propagacją ruchów osuwiskowych, a nawet destabilizacją zbocza nad skarpy osuwiskową.

W drugiej grupie metod podstawowych, „dociążających”, są przypory, narzuty kamienne na skarpie, również z wykorzystaniem systemów geokomórkowych bądź geosystryktyków, pełniących też funkcję zabezpieczenia powierzchniowego. W tych metodach krytyczne jest połączenie narzutu z naturalnym podłożem tak, by uniknąć tworzenia gładkiej, naturalnej powierzchni poślizgu, oraz zaprojektowanie ujęcia wód gruntowych i spływów powierzchniowych (materiał przypory ułatwia bowiem infiltrację wód opadowych).

Na podobnej zasadzie opierają się inżynierskie konstrukcje oporowe w postaci murów o różnej konstrukcji i sposobach działania, ścian i przypór z gruntu zbrojonego, gabionów itp.

Ich zastosowanie musi być jednak poprzedzone analizą wpływu wykopu tymczasowego – bez którego nie da się ich zrealizować – na stateczność górotworu (patrz wyżej). Często ten etap jest na tyle ryzykowny, że wymaga wprowadzenia dodatkowych zabezpieczeń, np. gwoździowania, co znacząco podnosi koszty projektu. Poza tym stosowanie koszy siatkowo-kamiennych z uwagi na ich niską trwałość i małą odporność na zniszczenia również wymaga szczególnej troski, zwłaszcza w korytach rzek, gdzie w czasie wezbrań mogą prowadzić do powstania nawisów i podmyć na skutek erozji dennej.

Do najskuteczniejszych metod stabilizacji osuwisk trzeba jednak zaklasyfikować te „zsywające” strefę aktywną i bierną osuwiska, zwiększające wytrzymałość na ścinanie w strefie potencjalnego poślizgu. Wśród tych metod i cech decydujących o ich stosowalności wymienić można:

1. Pale i palisady w różnych układach – jeżeli uwarunkowania pozwalają na użycie sprzętu o masie powyżej 40 t, ekonomicznie i skutecznie jest zaprojektować pale wiercone lub przemieszczeniowe o średnicach z przedziału od 400 do 600 mm. Pale o dużych średnicach z racji gabarytów palownic wykonuje się na osuwiskach rzadziej. Szczególne ograniczenia w technologii narzucają grunty skaliste, zwłaszcza fliszowe, w których poprawna instalacja pali popularnymi metodami, np. CFA, jest praktycznie niewykonalna i należy stosować pale wiercone z odpowiednim osprzętem lub dedykowane do fliszu pale typu DFF.

2. Mikropale i bariery mikropalowe w technologii samowiercącej, np. TITAN, są jednymi z najbardziej elastycznych metod zabezpieczeń. Są one wolne od wspomnianych ograniczeń związanych ze sposobem wiercenia, skutecznego tak samo niezależnie od gruntów. Co więcej, wiercenie z jednoczesną iniekcją pozwala na spetryfikowanie strefy poślizgu oraz wypełnienie nieciągłości w skałach. Nie wymaga też stosowania ciężkiego sprzętu (ryc. 2). Zatem przy ograniczonym dostępie, w trudnym terenie, zwłaszcza na rozległych osuwiskach na stokach płaskich (najwięcej osuwisk występuje na stokach o nachyleniu 12–18°), idealnym rozwiązaniem są bariery mikropalowe, dwu-, trzyrzędowe, swobodnie konfigurowalne w planie.

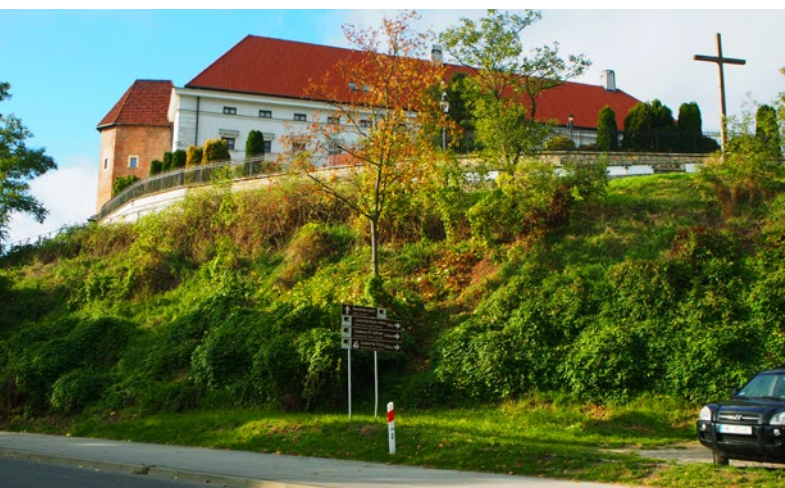
3. Kolumny – podobnie jak pale – są szeroką grupą technologii, pozwalając na dopasowanie do warunków geotechnicznych i dostępności, a ponadto mogą dać dodatkowy efekt drenujący. Przestrzegamy jedynie przed nadal powszechnym błędem: nie da się wykonać kolumn typu jet grouting w gruntach skalistych, a i w gruntach nieskalistych należy zachować ostrożność, gdyż proces ich instalacji może doprowadzić do pogorszenia warunków stateczności (ścianienie i chwilowe upłynnienie gruntów).

4. Barety – jeśli tylko pozwalają na to warunki dojazdu, to takie konstrukcje sprawdzą się we wszystkich gruntach, również w gruntach skalistych, chociaż tutaj wymagana jest technologia hydrofrezu, rzadko stosowana w Polsce.

5. Kotwienie – prosty ruszt żelbetonowy kotwiony lub kotwiona wersja wymienionych wyżej konstrukcji są szczególnie przydatne tam, gdzie niedobory stateczności są bardzo duże (można wprowadzić duże siły stabilizujące). Sprawdzą się tu tradycyjne kotwy (według PN-EN 1537) linowe lub prętowe, jednak ich wykonanie uzależnione jest od możliwości wjazdu sprzętu, a w warunkach fliszu poprawna instalacja jest poważnie utrudniona czasowo i kosztowo. Bardziej polecane są mikropale kotwiące (według PN-EN 14199) we wspomnianej technologii samowiercącej, wolne



Ryc. 2. Porównanie warunków sprzętowych przy stabilizacji osuwiska po zmianie palisady z pali D = 60 cm na barierę z mikropali TITAN 52/26 przy drodze K 7406 Asch – Bermaringen



Ryc. 3. Zabezpieczanie skarp osuwiskowych konstrukcją gwoździowaną – możliwość kształtowania wykończenia: oblicowanie na zielono (Skarpa Zamkowa, Sandomierz) i żelbetowe monolityczne (droga ekspresowa S69 Zwardoń)



od tych ograniczeń, a ponadto stanowiące w przeciwieństwie do kotew tradycyjnych rozwiązanie bezobsługowe.

6. Gwoździowanie gruntu – technologia najbardziej wszechstronna. Gwoździe samowierzące można instalować wydajnie i bezpiecznie we wszystkich gruntach, dodatkowo je wzmacniając, nawet w trudno dostępnych miejscach, lekkim sprzętem, dostosowując się do kształtu osuwiska. Tym samym ogranicza się ingerencję w teren osuwiskowy i roboty ziemne do minimum, co nabiera szczególnej wagi np. w przypadku działających ciągów komunikacyjnych. Możliwe jest ich łączenie z dowolnym oblicowaniem, od naturalnych zielonych stoków po beton architektoniczny (ryc. 3). Ponadto według wyliczeń CALTRANS (California Department of Transportation), konstrukcje gwoździowane są najtańszymi konstrukcjami oporowymi.

Oczywiście wymienione technologie można, a często trzeba stosować w różnych konfiguracjach: mury oporowe posadowione na palisadach lub barierach mikropalowych, te mogą być dodatkowo kotwione, bariera kotwiona w jednej części osuwiska, a gwoździowana w drugiej (ryc. 4) itp. Na szczególną uwagę zasługują tzw. ściany tesyńskie, czyli lekkie, żelbetowe konstrukcje oporowe, posadowione na mikropalach i kotwione. Pozwalają one na do- i odbudowywanie konstrukcji drogowych w części odstokowej zbocza osuwiskowego, pełniąc też funkcję

stabilizującą przy minimalizacji czasu naprawy i z zachowaniem ciągłości ruchu [5].

Wzmianka do projektowania

Zagadnienia projektowe w obszarze zabezpieczeń osuwisk są bardzo złożone. Oprócz uwzględnienia powyższych kryteriów wykonawczych należy w analizach obliczeniowych uwzględnić szereg czynników warunkujących. Opisują je częściowo normy, a szerzej literatura branżowa. Wydaje się jednak, że o trzech krytycznych kwestiach należy zawsze przypominać:

- na wyniki obliczeń i bezpieczeństwo projektowanych zabezpieczeń większy wpływ od stosowanych współczynników bezpieczeństwa i podejść obliczeniowych ma dokładne określenie budowy podłoża oraz przyjmowane do analizy parametry geotechniczne i dane o wodzie gruntowej [8]. Krytyczna może tu być też obecność nieciągłości, osłabień lub istniejące strefy poślizgu, często pomijane w modelach;

- metoda analizy, warunki brzegowe oraz – jeśli predefiniowany – kształt powierzchni poślizgu muszą być dopasowane do warunków rzeczywistych [9];

- w przypadku bardzo dużych osuwisk często ich całkowita stabilizacja byłaby nierealna ze względu na koszty. W takich sytuacjach warto rozważyć zastosowanie rozwiązań wzmacnia-

jących – chroniących jedynie istniejące (projektowane) obiekty przed ruchami masowymi (ryc. 5).

Inżynierski Pakiet Osuwiskowy

Jak widać, zaprojektowanie skutecznego oraz optymalnego wykonawczo i ekonomicznie zabezpieczenia osuwiska jest zadaniem wielowymiarowym. Z pomocą w tym procesie może przyjść Inżynierski Pakiet Osuwiskowy – IPO. Jest to nasz autorski projekt wsparcia techniczno-decyzyjnego dla jednostek samorządowych w zakresie zagadnień osuwiskowych. Metodyka IPO opiera się na zawarciu w jednej usłudze inżynierskiej działań z zakresu wielu dziedzin, potrzebnych do realizacji prac z związanych z likwidacją geozagrożeń. W ramach usług projektowych oferujemy m.in. studia wykonalności i techniczne analizy wariantowe, które rozwiązują opisane wyżej dylematy. Pakiet daje wsparcie i realną pomoc w procesie decyzyjnym, którego zasadniczym celem jest racjonalne (technicznie i finansowo) zagospodarowanie terenu osuwiskowego [10].

Literatura

- [1] *Rocznica katastrofy osuwiskowej 2010 roku*. Oprac. Zespół Centrum Geozagrożeń (online). Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, 9 czerwca 2020. Dostępny w Internecie: <https://www.pgi.gov.pl/osuwiska/sopo-aktualnosci/szczegoly/12385-rocznica-katastrofy-osuwiskowej-2010-roku.html> (dostęp 15 czerwca 2020).
- [2] Wojciechowski T.: *OSTRZEŻENIE o zagrożeniu osuwiskowym – czerwiec 2020. Komunikat państwowej służby geologicznej* (online). Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, 22 czerwca 2020. Dostępny w Internecie: <https://www.pgi.gov.pl/osuwiska/sopo-aktualnosci/szczegoly/12413-ostrzezenie-o-zagrozeniu-osuwiskowym-czerwiec-2020-komunikat-panstwowej-sluzby-geologicznej.html> (dostęp 27 czerwca 2020).
- [3] Jeromołowicz P.: *Sposoby zabezpieczania osuwisk – cz. I. „Inżynier Budownictwa” 2017, nr 12, s. 42–48.*
- [4] Wysokiński L.: *Ocena stateczności skarp i zboczy. Zasady wyboru zabezpieczeń. Instrukcja nr 424/2011*. Instytut Techniki Budowlanej. Warszawa 2011.
- [5] Sierant J.: *Likwidacja problemów osuwiskowych w drogownictwie – skuteczność kompleksowych rozwiązań geotechnicznych, cz. 1. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2011, nr 6, s. 72–77.*
- [6] Sierant J.: *Likwidacja problemów osuwiskowych w drogownictwie – skuteczność kompleksowych rozwiązań geotechnicznych, cz. 2. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2012, nr 1, s. 50–53.*
- [7] Szruba M.: *Stabilizacja skarp i zboczy. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2018, nr 6, s. 54–61.*
- [8] Bogusz W., Leszczyński M.: *Nowa generacja EUROKODU 7. Rola rozpoznania podłoża w projektowaniu geotechnicznym. „Geoinżynieria. Drogi, mosty, tunele” 2019, nr 4, s. 28–34.*
- [9] *Wytyczne wykonywania badań podłoża gruntowego na potrzeby budownictwa drogowego*. Cz. 1–3, 2019. Oprac. Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Politechnika Warszawska (online). Dostępny w Internecie: <https://www.pgi.gov.pl/drogi.html> (dostęp 15 czerwca 2020).



Ryc. 4. Zespół konstrukcji stabilizujących: palisada kotwiona tworząca ścianę oporową, skarpa gwoździowana, poniżej bariera mikropalowa, DW941 Wisła – Istebna



Ryc. 5. Wzmocnienie posadowienia słupa energetycznego na aktywnym osuwisku przez przestrzenny układ mikropali, Krościenko nad Dunajcem

- [10] Maca N.: *Stabilizacja osuwisk – złożony problem, kompleksowe rozwiązania. Inżynierski Pakiet Osuwiskowy. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2019, nr 6, s. 90–92.*
- [11] Kubel-Grabau A.: *Gdzie występują osuwiska w Polsce?* (online). Ministerstwo Środowiska, 15 lutego 2019. Dostępny w Internecie: <https://www.gov.pl/web/srodowisko/gdzie-wystepuja-osuwiska-w-polsce> (dostęp 20 października 2019).
- [12] Sassa K., Fukuoka H., Wang F., Wang G.: *Progress in Landslide Science*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
- [13] Marciniec P. et al.: *Osuwiska w Polsce – od rejestracji do prognozy, czyli 13 lat projektu SOPO. „Przegląd Geologiczny” 2019, Vol. 67, nr 5, s. 291–297.*
- [14] Wojciechowski T.: *Podatność osuwiskowa Polski. „Przegląd Geologiczny” 2019, Vol. 67, nr 5, s. 320–325.*
- [15] Kłosiński B.: *Sprawdzanie stateczności skarp – zmiana przepisów drogowych. „Materiały Budowlane” 2016, nr 2, s. 16–17.*
- [16] Highland L.M., Bobrowsky P.: *The Landslide Handbook. A Guide to Understanding Landslides*. U.S. Geological Survey Circular. Reston 2008.
- [17] Szruba M.: *Stabilizacja skarp i osuwisk. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2017, nr 5, s. 42–51.*

Więcej na www.titan.com.pl

