



STABILIZACJA SKARP I ZBOCZY

tekst: **MARIA SZRUBA**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne

Złożoność czynników, od których zależy ewentualne wystąpienie osuwiska, sprawia, że problemy stateczności skarp mają wymiar interdyscyplinarny i zwykle wykraczają poza przyjęte schematy. Świadczy o tym skala przeprowadzonych badań, pomimo których nie stworzono do dziś pełnej teorii, jaką można by z powodzeniem zastosować do analizy stateczności. Obecne technologie umożliwiają natomiast wybór metody stabilizacji osuwisk, która w największym stopniu pozwoli na wyeliminowanie przyczyn zagrożenia osuwiskowego.

fol. Mr chiakto, fotolia



Zjawiska osuwiskowe w budownictwie komunikacyjnym

W zależności od sytuacji, ukształtowania i położenia terenów osuwiskowych występujące osuwiska można podzielić na pięć charakterystycznych grup. Pierwszą z nich stanowią osuwiska położone powyżej korony dróg. Czoła takich osuwisk zajmują częściowo powierzchnię jezdni lub stykają się z koroną drogi. Kolejna grupa osuwisk to te występujące poniżej korony dróg, których obszary oderwania obejmują częściowe lub całe szerokości jezdni dróg. Do następnej grupy należą osuwiska występujące na zboczach położonych w sąsiedztwie potoków, cieków wodnych lub rzek. Obszary oderwania tych osuwisk obejmują korony dróg, a czoła – brzegi i ewentualnie dna potoków, cieków wodnych lub rzek. W odrębnym zbiorze zawierają się osuwiska na terenach położonych powyżej i poniżej dróg łącznie z ich jezdniami. Ostatnią grupę stanowią osuwiska występujące na zboczach położonych poza pasami drogowymi i poza korytami potoków, cieków lub rzek. Ten rodzaj osuwisk

dotyka terenów rolniczych i ekologicznych lub deformuje tereny budowlane [1].

Biorąc pod uwagę najczęściej występujące w praktyce inżynieryjnej przyczyny utraty stateczności nasypów, jedna z nich ma związek z budową geologiczną. Problematyczne kwestie w tym obszarze są związane z bliskością procesów geodynamicznych (np. wynikających ze szkód górniczych), występowaniem w podłożu rodzimym gruntów nienośnych i ściśliwych, zwietrzelinowych, zapadowych czy też niekorzystnym ułożeniem warstw geologicznych.

Na utratę stateczności nasypów mają także wpływ czynniki hydrologiczne i hydrogeologiczne, w tym działalność filtracyjna wód gruntowych (w szczególności przy niewłaściwie zastosowanym odwodnieniu) oraz erozja. Mogą się do tego przyczynić również błędy wykonawcze, np. związane z wykorzystaniem niewłaściwych materiałów przy budowie nasypu, oraz eksploatacyjne i konserwatorskie, w tym obciążenia dynamiczne, brak odpowiednich remontów konstrukcji oraz działalność ludzka (np. związana ze zmianą warunków wodnych, podkopanie zbocza itd.) [2].

Ocena stateczności skarp i zboczy

Z powodu dużej liczby trudnych do ustalenia niewiadomych ocenę stateczności skarp, w tym zwłaszcza istniejących zboczy, można zaliczyć do najtrudniejszych zadań geoinżynierii. Badanie stateczności skarpy pozwala obliczyć jedynie prawdopodobieństwo wystąpienia zjawisk osuwiskowych na badanym terenie. Analizę stateczności skarpy przeprowadza się najczęściej metodami Felleniusa, Bishopa czy Janbu. Dokładniejsze wyniki obliczeń stateczności można uzyskać za pomocą obliczeń komputerowych z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Analiza numeryczna metodą elementów skończonych (MES), wykorzystująca sprężysto-plastyczne modele gruntu, pozwala na analizowanie wpływu pogorszenia parametrów geotechnicznych gruntu w poszczególnych warstwach podłoża (spójności i kąta tarcia wewnętrznego) na jego stateczność [3].

W zależności od wartości współczynnika stateczności F , który jest miarą zapasu bezpieczeństwa ze względu na równowagę graniczną zbocza, można określić, czy poddane analizie zbocze lub skarpa znajdują się w stanie równowagi ogólnej. Prawdopodobieństwo wystąpienia osuwiska w zależności od uzyskanej wartości F przedstawia się następująco [4]:

- bardzo mało prawdopodobne, gdy $F > 1,5$,
- mało prawdopodobne, gdy $1,3 < F < 1,5$,
- prawdopodobne, gdy $1,0 < F < 1,3$,
- bardzo prawdopodobne, gdy $F < 1,0$.

W przypadku gdy minimalna wartość współczynnika stateczności zbocza jest mniejsza niż dopuszczalna, konieczne jest zastosowanie dodatkowych konstrukcji stabilizujących teren



Geopark w Kielcach – TECCO SYSTEM3 (G65/3), fot. Geobrugg AG

osuwiska, tak aby współczynnik stateczności po wykonaniu zabezpieczenia był większy od wymaganej wartości minimalnej.

Zgodnie z Eurokodem 7, analiza stateczności nasypu podczas budowy wymaga sprawdzenia stanów granicznych GEO oraz STR, których osiągnięcie wiąże się z utratą stateczności ogólnej masywu gruntowego lub z nadmiernymi przemieszczeniami. Eurokod 7 do wyznaczenia minimalnej wartości współczynnika stateczności F zaleca stosowanie wartości obliczeniowych parametrów geotechnicznych, oddziaływań i oporów, uzyskiwanych przez zastosowanie współczynników częściowych do wartości wyprowadzonych oraz charakterystycznych parametrów. Wartości wyprowadzone oraz charakterystyczne otrzymywane są na podstawie analizy statystycznej wyników pomiarów [5].

Znaczny postęp w poznawaniu zachowania się gruntów w złożonych sytuacjach projektowych dokonał się dzięki



Dowiedz się więcej:
www.geobrugg.com/slopes

GEOBRUGG®
BRUGG

Safety is our nature



Wykonane z zastosowaniem drutu stalowego o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie

TRWAŁA OCHRONA SKARP



System gwoździ z oblicowaniem TECCO G65/3, Zakopane, fot. Geobrugg AG

poszukiwaniom i wprowadzeniu nowoczesnych badań *in situ*, które umożliwiają interpretację otrzymywanych wyników w bardzo szerokim zakresie. Przy ustaleniu kategorii geotechnicznej obiektu i określeniu potrzebnego zakresu badań podłoża ważną rolę odgrywa stopień złożoności warunków geologiczno-inżynierskich. Dlatego wyniki badań podstawowych powinny umożliwić kompletną ocenę warunków geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych wzdłuż całej trasy

projektowanej drogi. Ocena powinna uwzględniać przede wszystkim rozpoznanie podłoża na odcinkach:

- wykopów (ocena trudności w odpajaniu gruntu, stateczności skarp, wykorzystania gruntów do robót ziemnych),
- nasypów (zwłaszcza posadowionych na gruntach ściśliwych i słabonośnych),
- występowania osuwisk oraz w strefie bezpośredniego oddziaływania obciążeń nawierzchni drogowej [6].

Właściwa ocena stateczności skarp i zboczy w budownictwie drogowym powinna stanowić jedno z głównych zagadnień w procesie projektowania, gdyż od niej zależy zapewnienie bezpieczeństwa eksploatacji dróg. Ponieważ wskaźnik stateczności F może przyjmować różne wartości w zależności od zastosowanej metody obliczeniowej oraz przyjętego podejścia obliczeniowego, wybór odpowiedniego podejścia musi zostać powiązany z programem badań geotechnicznych przewidzianym dla danej inwestycji, przekładającym się na stopień rozpoznania warunków geotechnicznych [7].

Metody stabilizacji osuwisk

Odpowiedni wybór metody stabilizacji osuwiska powinien przede wszystkim zakładać wyeliminowanie przyczyn, które wywołały zagrożenie. Ponieważ najczęściej do powstawania osuwisk przyczynia się działanie wody, podstawową zasadą stosowaną przy zabezpieczaniu osuwisk powinno być uporządkowanie warunków wodnych w terenie. Działania w tym zakresie powinny także uwzględniać niekorzystne zmiany, jakie mogą wystąpić w przyszłości.

Jedną z metod stabilizacji osuwisk jest wymiana gruntów. Można ją zastosować w przypadku, gdy obsuwająca się skarpa jest zbudowana z gruntów słabych, obszar osuwiska nie jest duży, a występujące ilości wód są niewielkie. Wówczas słabe podłoże może zostać zastąpione np. kamieniem łamanym lub pospółką. Poprawa stateczności jest także możliwa przez zmianę geometrii skarpy na skutek zmniejszenia jej pochyleń i ukształtowanie poziomych półek na skarpie. Stosowanym rozwiązaniem jest podparcie skarpy przyporą zbudowaną z narzutu kamiennego, żwiru lub pospółki, przy czym materiał przypory powinien mieć właściwości filtracyjne.

Doraźnym rozwiązaniem służącym do uporządkowania warunków wodnych jest zastosowanie odwodnienia



Geobrugg Partner in Poland, Os. Bohaterów Września 82,
31-621 Kraków, biuro@geobrugg.com




www.geobrugg.pl

RUVOLUM® – NARZĘDZIE INŻYNIERSKIE ONLINE DLA SYSTEMÓW TECCO® ORAZ SPIDER®

Narzędzie inżynierskie RUVOLUM będące dostępne online jest darmowym programem do wymiarowania systemów zabezpieczenia skarp. W zależności od wprowadzanych parametrów geotechnicznych narzędzie to określa siły i obciążenia działające na powierzchnię siatkioraz w punktach jej kotwienia. Użytkownik, jako wynik obliczeń otrzymuje w pełni bezpieczne i zweryfikowane rozwiązanie techniczne w zakresie stabilizacji skarp.

Narzędzie RUVOLUM® jest dostępne na stronie:
<http://applications.geobrugg.com>

powierzchniowego w postaci płytkich rowów przechwytyjących wodę, ułożonych w spadku większym niż 2%. Praktycznym sposobem osuszenia nawodnionego gruntu w skarpie jest wywiercenie w niej otworów, do których wprowadza się filtry rurowe z perforowanego tworzywa sztucznego. Nachylenie otworów powinno być większe niż 5%. Innym rozwiązaniem może być zastosowanie ostróg drenujących lub przypór filtracyjnych, wykonanych poniżej warstwy wodonośnej i powierzchni poślizgu, wypełnionych materiałem kamiennym zabezpieczonym przed zamulaniem.

Jeśli powierzchnia poślizgu położona jest głęboko, a podłoże poniżej wytrzymałe, wówczas do stabilizacji osuwisk stosuje się pale lub studnie wypełnione betonem. Odpowiedni efekt uzyskuje się przez przeniesienie na trzony pali lub studni dużych sił ścinających, pochodzących od ciężaru przemieszczającego się masywu gruntowego. Pale wiercone o dużych średnicach lub studnie usytuowane w jednym rzędzie przenoszą obciążenia poziome. Pale o małych średnicach wykonuje się w układach koźłowych. Głowice pali łączone są w poziomie terenu rusztem żelbetowym.

Aby wzmocnić grunt na terenie osuwiska lub pod korpusem drogowym, często stosuje się kolumny cementowo-wapienne. Uzyskana w ten sposób głęboka stabilizacja nawodnionych gruntów spoistych i organicznych powoduje zwiększenie ich wytrzymałości na ścinanie w kolumnach przecinających potencjalną powierzchnię poślizgu oraz osuszenie. Dzięki równoczesnemu drenującemu działaniu kolumn możliwość powstawania lokalnych zmian ciśnienia porowego w gruncie zostaje zredukowana, zapobiegając tym samym niebezpieczeństwu powstawania głębiej nowych linii poślizgu.

Płytkie zsuwy gruntu po wytrzymałych warstwach podłoża można stabilizować powierzchniowo za pomocą układanych na skarpie geosiatek komórkowych lub żelbetowych płyt dociskowych, mocowanych do podłoża kotwami wstępnie sprężonymi. Ważne jest, by konstrukcje oporowe stosowane do zabezpieczania osuwisk nie powodowały spiętrzania wody gruntowej obecnej w korpusie drogowym, co mogłoby spowodować wzrost sił parcia. Do umocnień terenów osuwiskowych powinno się stosować racjonalnie ukształtowane lekkie konstrukcje oporowe, takie jak lekkie ściany oporowe z wieloma poziomymi półkami, kaszyce, gabiony, konstrukcje quasi-skrzyniowe i z gruntu zbrojonego.

Kaszyce są konstrukcjami oporowymi wykonanymi z żelbetowych elementów prefabrykowanych, wypełnionych gruntem niespoistym o dużej przepuszczalności. Zwykle wykonuje się je pochylone do stoku, przy czym jak wynika z praktyki, skutecznie stabilizują skarpy o wysokości do 5–6 m. Elastyczna konstrukcja umożliwia redystrybucję naprężeń w poszczególnych elementach kaszyc i dostosowuje się do występujących deformacji podłoża. Jedną z odmian tego typu rozwiązań są ściany oporowe T-wall, w których zastosowano prefabrykowane elementy żelbetowe w kształcie litery T. Lico tych elementów stanowi jednocześnie front wznoszonej ściany oporowej, natomiast trzon elementów współpracuje z gruntem zasypowym, spełniając funkcję zakotwienia. Dzięki zwornikom betonowym umieszczanym w zagłębieniach trzonu poszczególne elementy niższego i wyższego rzędu są ustabilizowane w sposób zapewniający ich stateczność.

Jaką rolę odgrywa prowadzenie okresowych pomiarów przemieszczeń powierzchniowych i wgłębnych w zabezpieczeniach przeciwoerozyjnych i stateczności globalnej skarp?



Prof. dr hab. inż. MAREK CAŁA, dziekan Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie

Monitoring, według PN-EN 1997-1, jest jednym z elementów zapewniających bezpieczeństwo i jakość obiektu budowlanego i powinien być prowadzony podczas budowy i po jej zakończeniu. Ma na celu sprawdzenie słuszności założeń projektowych i upewnienie się, że w trakcie i po zakończeniu budowy konstrukcja będzie nadal zachowywać się zgodnie z wymaganiami. Aktualnie dostępnych jest szereg metod monitoringu, w tym także umożliwiających pomiar dużych i trudno dostępnych obszarów, np. za pomocą dronów czy interferometrii satelitarnej. Metody i zasady monitoringu geotechnicznego zostały usystematyzowane w normie PN-EN ISO 18674-1:2015. Oczywiście, zakres prowadzonego monitoringu musi uwzględniać uwarunkowania danego obiektu. Dla oceny skuteczności zabezpieczeń przeciwoerozyjnych często wystarczająca jest okresowa inspekcja wizualna obiektu. W przypadku np. osuwisk monitoring powierzchniowy i wgłębny jest istotny dla oceny dynamiki procesów osuwiskowych. Wgłębne pomiary pozwalają określić lokalizację powierzchni poślizgu, co jest kluczowe dla projektowania zabezpieczeń. W takich warunkach monitoring powinien być prowadzony także podczas wykonywania zabezpieczeń i po oddaniu obiektu do użytkowania. Częstotliwość pomiarów powinna być dostosowana do intensywności obserwowanych zjawisk.

Do stabilizacji osuwisk stosuje się także gabiony w postaci koszy ze stalowej siatki o podwójnym splecie. Elementy prostokątne w postaci bloków i materacy układa się warstwowo, z przesunięciem w stronę stoku. Wytrzymałe i elastyczne konstrukcje oporowe z gabionów są odporne na deformacje podłoża. Dostosowują się także do zmian ukształtowania terenu. Ponieważ kosze mogą być wypełnione od wierzchu urodzajną ziemią, istnieje możliwość obsadzenia ich zielonymi pnączami.

Wzorując się na naturze, która w naturalnym środowisku utrzymuje strome zbocza w stateczności przez korzenie drzew, krzewów i przewarstwienia skalne, do stabilizacji osuwisk stosowane są także konstrukcje oporowe z gruntu zbrojonego. Jako zbrojenie wykorzystuje się np. gwoździe gruntowe w postaci prętów stalowych w osłonie z zaczynu cementowego (kotwy bierne), wykonywane poziomo lub ukośnie, w otworach wierconych lub wbijane.

Do zbrojenia współczesnych konstrukcji oporowych wykonywanych z gruntu używane są powszechnie geosyntetyki, które



Kotwienie zbocza, Stump-Hydrobudowa Sp. z o.o.



Prace geoinżynierskie, fot. Soley Sp. z o.o.



Zabezpieczanie osuwiska, kotwienie palisady, fot. Titan Polska Sp. z o.o.

przenosząc naprężenia rozciągające w gruncie, mogą pełnić także inne funkcje – separacyjne, filtracyjne i drenażu. Do zbrojenia skarp stosuje się m.in. geowłókniny i geosiatki, w tym geosiatki komórkowe o zwiększonej wytrzymałości materiału wypełniającego, zagęszczonego w komórkach. Aby wzmocnić system ukorzenia roślinności na skarpie, do trwałej powierzchniowej ochrony przeciwozyjnej skarp korpusów drogowych wykorzystuje się również materiały geosyntetyczne z płaskich i przestrzennych siatek [8].

W ostatniej fazie procesu umocnienia skarp czy ścian wykopów znajduje zastosowanie także torkretowanie. Zbrojony torkret umacnia zewnętrzną część pochylonej powierzchni zbocza lub skarpy o dużym nachyleniu. Technologia torkretowania do wzmacniania skarp i ścian wykopów jest najczęściej używana w przypadku niewielkich wykopów bez innych technik wzmacniania i stabilizacji gruntu, do zabezpieczenia skarp przed obrywaniem się luźnych kamieni, do stabilizacji rumoszy skalnych oraz do wzmacniania skarp techniką gwoździowania. W technologii wzmacniania skarp i wykopów stosuje się obie metody torkretowania – mokrą i suchą [9].

Literatura

- [1] Furman S.: *Doświadczenia własne w zakresie likwidacji osuwisk*. „Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie. Seria Materiały Konferencyjne” 2009, nr 88 (z. 144), s. 9–44.
- [2] Białoobrzeski T., Sucharzewski A.: *Wzmocnienie podłoża w kontekście awarii stateczności skarpy na podstawie wybranego przykładu*. „Infrastruktura Transportu” 2013, nr 6, s. 40–43.
- [3] Wysokiński L.: *Zasady poprawnej analizy obliczeń stateczności zboczy*. Materiały konferencyjne SITK Problematyka osuwisk w budownictwie komunikacyjnym. Kraków–Zakopane 2000, s. 171–186.
- [4] Wysokiński L.: *Posadowienie obiektów budowlanych w sąsiedztwie skarp i zboczy*. Instrukcja ITB nr 304. Warszawa 1991.
- [5] Lechowicz Z., Wrzesiński G.: *Ocena stateczności nasypu na podłożu organicznym według Eurokodu 7*. „Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska” 2013, nr 60, s. 158–167.
- [6] Szydło A., Stigler-Szydło E.: *Jak zmniejszać ryzyko występowania osuwisk skarp drogowych*. „Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie. Seria Materiały Konferencyjne” 2009, nr 88 (z. 144), s. 357–377.
- [7] Batog A., Stigler-Szydło E.: *Stateczność skarp nasypów modernizowanej drogi ekspresowej S-8 w ujęciu Eurokodu 7 i aktualnych przepisów krajowych*. „Drogownictwo” 2010, nr 2, s. 39–44.
- [8] Trojnar K.: *Zagrożenia budowy drogowych osuwiskami i sposoby ich eliminowania*. „Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie. Seria Materiały Konferencyjne” 2009, nr 88 (z. 144), s. 379–393.
- [9] Majchrzak W.: *Technologia torkretowania. Wzmocnienie skarp, wykopów i konstrukcji oporowych betonem natryskowym*. „Geoinżynieria. Drogi, mosty, tunele” 2013, nr 1, s. 40–42.





Czy właściwe rozpoznanie warunków hydrogeologicznych ma wpływ na zastosowanie odpowiednich zabiegów wzmacniających stateczność skarpy?



Dr inż. ANDRZEJ BATOG, prodziekan ds. dydaktyki Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej

Wiele czynników ma wpływ na stateczność skarp, ale podczas analizowania przyczyn wystąpienia osuwisk stosunkowo często okazuje się, że głównym lub jednym z istotnych powodów było niedostateczne rozpoznanie warunków hydrogeologicznych bądź błędy popełnione podczas ich rozpoznania. Najczęściej z takimi sytuacjami można spotkać się w przypadku skarp wykopów drogowych, dla których niedostateczne rozpoznanie hydrogeologiczne, w tym warunków filtracji i wielkości przepływu wód gruntowych, prowadzić może w analizie stateczności skarp do nieuwzględnienia wszystkich potencjalnych oddziaływań destabilizujących. Warunki wodne występujące w skarpie gruntowej mają znaczący wpływ na układ sił oraz wielkość naprężeń, wywołują dodatkowe obciążenie siłami hydrodynamicznymi oraz wpływają na wytrzymałość gruntów na ścianie. Niedoszacowanie wpływu tych czynników w analizie stateczności, w szczególności wielkości sił ciśnienia sphywowego, skutkować może wystąpieniem na skarpach zsuwów powierzchniowych lub głębszych osuwisk.



Dr hab. inż. KAZIMIERZ KŁOSEK, prof. nadzw., Katedra Geotechniki i Dróg Politechniki Śląskiej

Częstym przykładem osuwisk skarp są takie, w których dochodzi do przerwania ciągłości ciągów drenarskich, zlokalizowanych w przypowierzchniowej warstwie podłoża. Zjawiska te trudno jest zdiagnozować i przewidzieć na etapie badań geotechnicznych i hydrologicznych podłoża gruntowego. Sieci drenarskie rzadko są lokalizowane na mapach, w tym również archiwalnych. Autorowi są znane przypadki inwestycji na terenach, gdzie wykonano nawet kilka tysięcy odwiertów kontrolnych, w których nie natrafiono na ich istnienie lub błędnie zidentyfikowano materiał pobranych próbek, myląc elementy sączków np. z gruzem ceglany. Sytuacji takich nie uniknięto również przy budowie autostrad, gdzie występowały duże problemy ze statecznością skarp wykopów, w obrębie których przerwano taki drenaż. Wiązało się to często z brakiem właściwego nadzoru na etapie realizacji robót ziemnych, kiedy można było jeszcze zareagować na fakt natrafienia lub uszkodzenia systemu odwodnienia wgłębne i jego zabezpieczenia. Brak odpowiednich działań prowadzi do niekontrolowanego wypływu wody z przerwanego drenażu na skarpe oraz zwiększenia zawilgocenia niżej leżących gruntów, aż do ich upłynnienia. Konsekwencją tego stają się sphywy erozyjne gruntu, a w dalszej kolejności zsuwy lub typowe osuwiska. Zjawiska te z reguły nie występują natychmiast, lecz po określonym czasie i nasilają się po oddaniu danej inwestycji do eksploatacji. Sytuacja ta sprawia, że inwestor obarcza winą za powstałe szkody wykonawcę robót i żąda ich usunięcia, widząc w nim sprawcę zaistniałej awarii. Wykonawca wprawdzie uszkodził system drenarski, ale nie uczynił tego świadomie, gdyż z reguły nie miał żadnej wiedzy o jego istnieniu. Rodzi to dalsze problemy natury prawnej, finansowej i użytkowej. Konkludując powyższe, można zaryzykować stwierdzenie, że w wielu działaniach inżynierskich ważniejsza od wiedzy staje się wyobraźnia i doświadczenie oraz zdrowy rozsądek i umiejętność przewidywania zjawisk, co do których nasza wiedza jest ograniczona bądź wadliwa.



Regularne lokalne osuwiska skarpy w miejscach przerwanego i odsłoniętego drenu



solidny fundament

GEOINŻYNIERIA...

... również

**W BUDOWNICTWIE
KOLEJOWYM**



TITAN POLSKA

www.titan.com.pl