

OSUWISKA

Cz. 2. Metody stabilizacji i zabezpieczenia terenów osuwiskowych



tekst: **MARIAN KOWACKI**

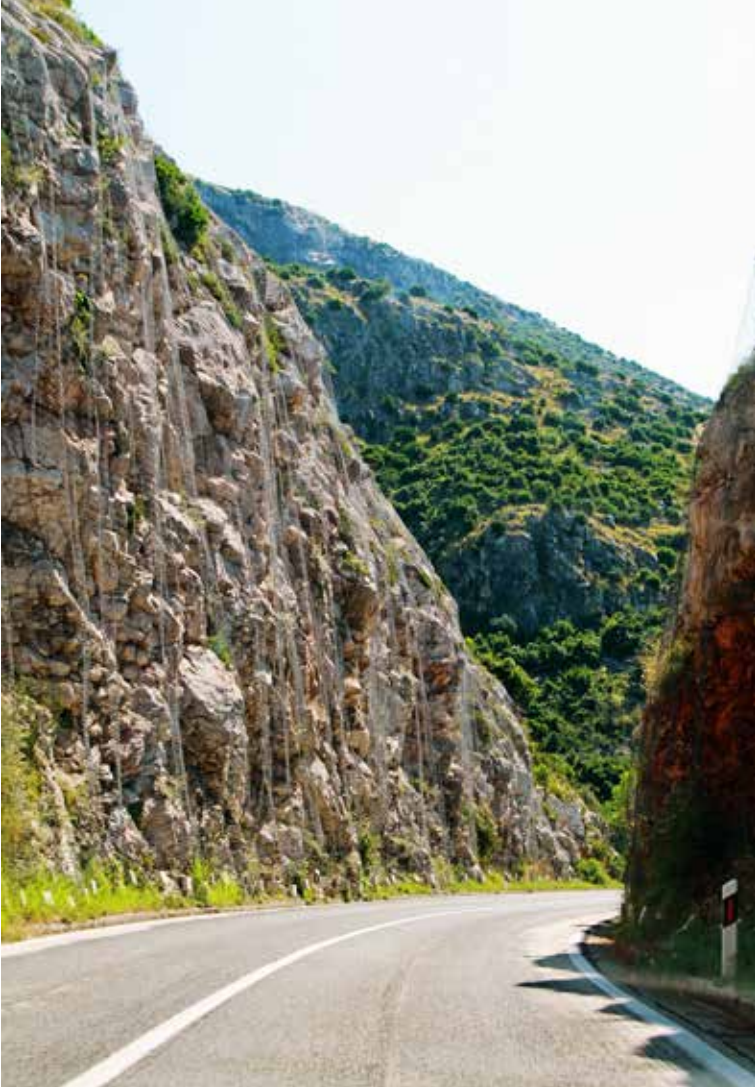
Widok na czynne osuwisko, fot. Yali Shi - Fotolia

Osuwiska, nazywane też powierzchniowymi ruchami mas ziemnych, to złożone zjawiska, których wspólną cechą jest przemieszczanie materiału w wyniku sił grawitacji z miejsc wyżej położonych do niżej leżących, zwykle przy udziale wody. Osuwiska mogą mieć przebieg powtarzalny lub występować jednorazowo. Czas trwania każdej z faz procesu osuwiskowego może być różny i zależy od charakteru oraz intensywności działających czynników. W celu oceny stateczności każdy stok, skarpe, zbocze należy rozpatrywać jako miejsce możliwych ruchów osuwiskowych [1].

Przyczyną osuwania się mas ziemnych jest utrata stateczności skarp i zboczy, będąca następstwem przekroczenia wytrzymałości gruntu na ścinanie wzdłuż dowolnej (ale ciągłej) powierzchni, zwanej powierzchnią poślizgu. Zasadniczymi siłami, które wywołują osuwanie się zboczy i skarp, są siły grawitacyjne, pochodzące od ciężaru gruntu i ewentualnej zabudowy, oraz siły hydrodynamiczne, wywołane przepływem wody przez grunt [2].

Obliczenia stateczności zbocza

Istnieją różne metody obliczania wartości współczynnika stateczności zboczy i skarp. Szczegółowy opis tych metod znaleźć można m.in. w pracach [3, 4, 5, 6]. Najbardziej znane metody polegają na dzieleniu zbocza lub skarpy na pionowe paski, według których następnie liczy się sumę sił, przy czym



Przykłady zabezpieczania skarp i zboczy, fot. NBI Media



dla każdego paska można przyjmować różne parametry gruntu oraz warunki równowagi [7].

Biorąc pod uwagę rodzaj uwzględnianych sił oraz sprawdzanych warunków równowagi, stosuje się zwykle następujące metody [2]:

- metoda Felleniusa – jest najprostszą metodą pasków. Nie uwzględnia sił między nimi, a jedynie wykorzystuje warunek równowagi momentów. Przyjmuje powierzchnię poślizgu kołowo-cylindryczną;
- metoda Bishopa – uwzględniając pionowe i poziome oddziaływanie sąsiednich pasków, wykorzystuje tylko warunek równowagi momentów. Przyjmuje powierzchnię poślizgu kołowo-cylindryczną;
- metoda Nonveiller'a – uwzględnia oddziaływania międzypaskowe oraz korzysta z warunku równowagi momentów. Pozwala na analizę powierzchni poślizgu o kształcie dowolnej krzywej;
- metoda Janbu – uwzględnia oddziaływania międzypaskowe. Warunek równowagi opiera się na sumie rzutów sił na oś poziomą. Pozwala na analizę powierzchni poślizgu o kształcie dowolnej krzywej;
- metoda Morgensterna – Price'a – wykorzystuje równanie momentów względem środka podstawy paska, równanie rzutów na kierunek styczny do podstawy paska oraz równanie rzutów na kierunek normalny do podstawy paska. Pozwala na analizę powierzchni poślizgu o kształcie dowolnej krzywej;
- metoda Bakera – Garbera – korzysta z trzech warunków równowagi, co czyni ją tym samym pierwszą w pełni poprawną

(z punktu widzenia statyki) metodą analizy stateczności zboczy. Pozwala na analizę powierzchni poślizgu o kształcie dowolnej krzywej.

Dla większości wymienionych metod obliczeniowych istnieją programy komputerowe umożliwiające przeprowadzenie analizy przez poszukiwanie najbardziej prawdopodobnej powierzchni poślizgu, czyli takiej, która charakteryzuje się najmniejszym współczynnikiem stanu równowagi F . Dostępne programy wykorzystują metodę losową lub założonego algorytmu, przy czym w zasadzie obie sprowadzają się do wielokrotnego obliczania wartości współczynnika F .

Ostatnie lata przyniosły rozwój metod związanych z zastosowaniem rachunku prawdopodobieństwa do oceny stateczności. W praktyce przyjmuje się losowość tylko czynników najistotniejszych, do których zalicza się przede wszystkim parametry wytrzymałościowe, a więc spójność i kąt tarcia wewnętrznego.

Stosowane w obliczeniach prawdopodobieństwa powstania osuwiska metody probabilistyczne mogą wykorzystywać zarówno ogólnie znane modele deterministyczne, jak i procedury czysto losowe. W metodach deterministycznych przyjmuje się, że stateczność jest zachowana, gdy potencjalny opór na ścinanie wzdłuż założonej linii poślizgu jest większy od sił ścinających. Zwykle warunek ten jest wyrażony przez stosunek uogólnionych sił utrzymujących zbocze w równowadze do sił dążących do jej naruszenia. Na ogół stosowaną miarą charakteryzującą stateczność w ujęciu deterministycznym jest współczynnik stateczności. Z kolei w ujęciu probabilistycznym zakłada się, że czynniki decydujące o stateczności mają charakter losowy. Dlatego też odpowiednie miary stateczności są w tym przypadku również zmiennymi losowymi.

Tab. 1. Metody stabilizacji i zabezpieczeń stoków [1]

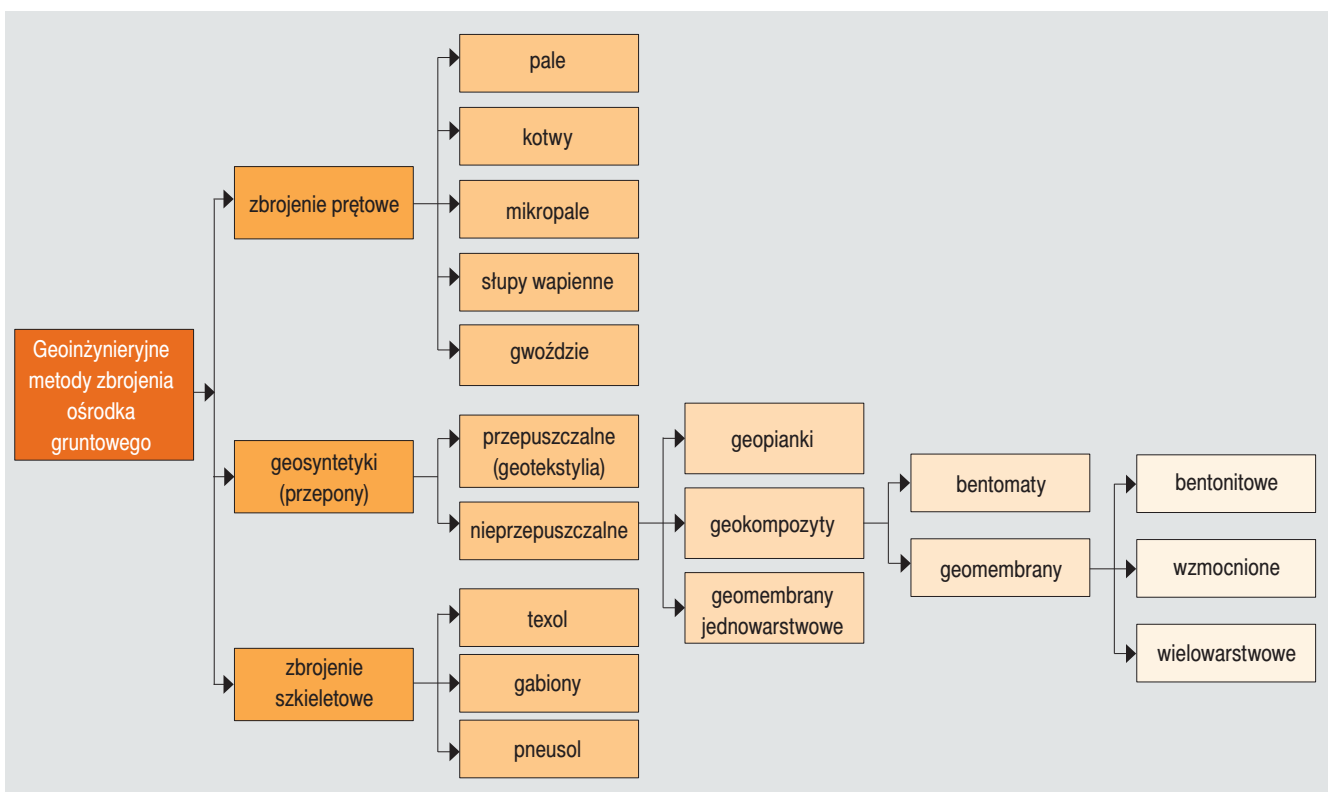
Rodzaje zabezpieczeń					
N	Naturalne	K	Konstrukcyjne	G	Geosyntetyczne
N1	Rowy odprowadzające. Niedopuszczenie do erozji i zawilgocenia	K1	Konstrukcje oporowe masywne, mury kamienne	G1	Ochrona przed erozją
N2	Przypory z grubego kruszywa lub faszyny	K2	Konstrukcje oporowe ażurowe, kaszyce, palościanki	G2	Ochrona przed deformacjami powierzchniowymi
N3	Zmiana kształtu zbocza na bardziej stateczne. Tarasowanie, podsypywanie w dolnej części	K3	Kotwy, gwoździe	G3	Drenaż i odwodnienia
N4	Wymiana gruntów osuniętych na piaski, żwiry, kliniec	K4	Gabiony	G4	Siatki i ruszty jako zbrojenie
N5	Zbrojenie wymiany gruntów naturalnych np. faszyna, kołki, bambus	K5	Ruszty, siatki, przypory na powierzchni zbocza	G5	Bariery i izolacje
N6	Zabudowa biologiczna, obsiew, hydroobsiew	K6	Drenaże poziome wiercone, wgłębne galerie odwodnieniowe i drenażowe		
N7	Zabudowa biologiczna, darniowanie, darniowanie w kratę				
N8	Zabudowa biologiczna, tarasowanie, nasadzenie gniazdowe				
N9	Maty biologiczne, bawełniane, słomiane, kokosowe itp. z nasionami				

Systemy zabezpieczeń

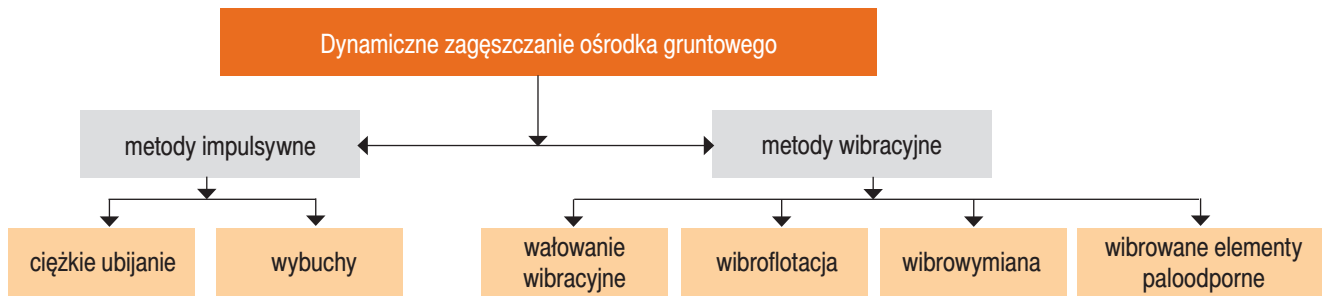
Zabezpieczenie czy też stabilizacja osuwisk to pojęcia, których używa się zarówno w przypadku czynności wykonywanych lub koniecznych do wykonania na terenach zaistniałych osuwisk w celu usunięcia negatywnych skutków zaistniałego zdarzenia, jak i dla czynności zapobiegawczych, wykonywanych przed wystąpieniem osuwiska. Jak zauważają autorzy artykułu [8], precyzyjniej jest mówić o zabezpieczeniu lub stabilizacji mas ziemnych (gruntowych) na terenach osuwiskowych, a nie o zabezpieczeniu osuwiska.

Najważniejszym działaniem w kwestii zabezpieczenia terenu przed powstawaniem zjawisk osuwiskowych jest uregulowanie

miejsowych stosunków wodnych. Jednym z rozwiązań w tym zakresie jest zastosowanie studni odwadniających w celu obniżenia zwierciadła wód gruntowych. Innym rozwiązaniem są filtry wiertnicze, dzięki którym zwierciadło wody gruntowej obniża się, osuwający się po potencjalnej powierzchni poślizgu grunt zostaje osuszony, przez co ulegają poprawie jego parametry mechaniczne. Wskutek tych działań istnieje szansa, że proces osuwiskowy zostanie zatrzymany, a masyw gruntowy zachowa stabilność. Odwodnienie zbocza może się odbyć także z zastosowaniem przypory filtracyjnej. Z jednej strony stanowi ona drenaż odprowadzający wodę, a z drugiej dociążenie stoku po stronie sił utrzymujących [8].



Ryc. 1. Podział geoinżynierskich metod zbrojenia gruntów [12]



Ryc. 2. Metody dynamicznego zagęszczania ośrodka gruntowego [12]

W celu zwiększenia wielkości sił stabilizujących masyw gruntu stosuje się przypory dociążające, wykonane z materiałów gruboziarnistych (np. kamień łamany, żwir z piaskiem). Innym często stosowanym i skutecznym rozwiązaniem jest zabezpieczanie zboczy gabionami, które oprócz wartości użytkowej cechują się także walorami estetycznymi. Gabiony wykonane są z siatki wytwarzanej z drutu o średnicy 2,0–3,5 mm, których antykorozyjne zabezpieczenie stanowi osłona galwaniczna. Siatki wypełnione kruszywem o odpowiednio dobranej granulacji formowane są w kosze, materace lub walce, które następnie układa się w regularny sposób na stoku. Gabiony, podobnie jak przypory, stanowią dociążenie stabilizujące, a dzięki swej porowatej strukturze pozwalają na swobodny odpływ wody [8].

Zabezpieczenie stateczności skarp uzyskuje się także przez zastosowanie systemu geokomórkowego, którego podstawowym

elementem jest matryca, przypominająca kształtem i strukturą plaster miodu. Wypełnione zagęszczonym gruntem (kruszywem kamienistym), powiązane ze sobą regularne komórki o określonej wysokości, ułożone poziomo, pełnią funkcję wzmocnienia podłoża gruntowego (przez zwiększenie jego nośności) lub zabezpieczenia zbocza, gdy ułożone jedna na drugiej stanowią mur oporowy. Ponadto system geokomórkowy może być z powodzeniem wykorzystany do powierzchniowego zabezpieczenia skarp.

Jednak nie zawsze samo zabezpieczenie powierzchniowe jest wystarczające dla ustabilizowania masywu gruntowego. Elementy takiego zabezpieczenia wymagają umocowania w taki sposób, aby nie zsunęły się wraz z opadającym gruntem lub skałami. W tym celu stosuje się elementy kotwiące, zwane kotwami skalnymi lub gwoździami gruntowymi [8].

Jednymi z najczęściej stosowanych elementów konstrukcyjnych w rozwiązywaniu problemów geotechnicznych są pale,

AARSLEFF



ROBOTY FUNDAMENTOWE



GŁĘBOKIE WYKOPY



OSUWISKA



HYDROTECHNIKA

Roboty palowe i wzmocnianie gruntu

- żelbetowe pale prefabrykowane wbijane
- fundamenty palowe pod słupy sieci trakcyjnej
- pale stalowe i drewniane
- pale formowane w gruncie (CFA, FDP)
- mikropale iniekcyjne
- kolumny betonowe i cementowo-gruntowe
- jet-grouting

Prace pomiarowe i projektowe

- badania nośności i ciągliwości pali
- pomiary wibracji i pomiary inklinometryczne
- prace projektowe realizowane we własnej pracowni projektowej

Zabezpieczenia wykopów i konstrukcje oporowe

- stalowe ścianki szczelne - wciskane, wibrowane i wbijane
- ścianki berlińskie
- palisady z pali wierconych
- gwoździe i iniekcyjne kotwy gruntowe
- roboty ziemne i odwodnienia wykopów

Roboty hydrotechniczne

- konstrukcje hydrotechniczne na wodach morskich i śródlądowych
- przesłony przeciwyfiltracyjne



Przykłady zabezpieczania skarp i zboczy, fot. NBI Media, Geobruigg AG

które znajdują zastosowanie w niemal każdym rodzaju i zakresie prac budowlanych. Wykorzystywane są do przenoszenia obciążeń od obiektów kubaturowych wszelkiego przeznaczenia, budowli hydrotechnicznych i przemysłowych, obiektów komunikacyjnych (w tym liniowych), jak również do wzmocnienia masywu gruntowego dla mobilizacji w nim sił stabilizujących, przeciwstawiających się procesom osuwiskowym [9].

Do zabezpieczania skarp wykorzystuje się także konstrukcje oporowe w celu podparcia masywu gruntowego (lub innego materiału rozdrobnionego), tak by zapewnić mu stateczność, którą może utracić ze względu na ukształtowanie lub niekorzystne właściwości mechaniczne stabilizowanego ośrodka. Klasyfikacja konstrukcji oporowych wykonuje się z różnych materiałów

budowlanych, takich jak kamień, cegła, drewno. Najczęściej stosowanym materiałem jest beton (żelbet).

Naturalną metodą zabezpieczania zboczy jest hydroobsiew, który polega na hydromechanicznym (hydrodynamicznym) nanoszeniu na powierzchnię gruntu mieszanki, w skład której wchodzi ciecierz, mieszanka nasion traw i roślin motylkowych, substancje użyźniające podłoże i poprawiające jego strukturę oraz zabezpieczające powierzchnię przed erozją i wysychaniem. Dzięki zastosowaniu tej metody tworzy się optymalne środowisko dla rozwoju nasion. Korzenie roślin powstałych dzięki temu zabiegowi wytworzą w gruncie strukturę mniej lub bardziej regularnej sieci, która z kolei umożliwi przenoszenie przez grunt znacznych obciążeń rozciągających i ścinających.

Podsumowanie

Aby zaprojektować zabezpieczenie skarp autostrad i dróg, niezbędne jest bardzo dokładne rozpoznanie terenu. Polskie przepisy wymagają zaprojektowania wierceń i sondowań, które nie zawsze są w stanie dokładnie przedstawić potencjalne problemy związane z zabezpieczeniem skarp po ich wykonaniu. W niektórych sytuacjach nawet najlepsze projekty będą się na tyle rozmięły z rzeczywistością, że w fazie realizacji projekt będzie trzeba uzupełnić. Dlatego właśnie tak ważną rolę w trakcie realizacji projektu odgrywa właściwa współpraca pomiędzy wykonawcą, nadzorem i projektantem.

Znaczącą kwestią dla ustalenia realnych wartości parametrów do obliczeń jest dokładne rozpoznanie geologiczno-inżynierskie. Wartości te wpływają bowiem w dużej mierze na stopień skomplikowania zabezpieczeń osuwiskowych. Co więcej, niedokładne rozpoznanie będzie miało konsekwencje w postaci wzrostu kosztów realizacji zabezpieczenia osuwisk [10].

Literatura

[1] Wysokiński L.: *Metody prognozowania i zabezpieczania osuwisk*. XXV Konferencja Naukowo-Techniczna *Awarie budowlane 2011*. Międzyzdroje, 24–27 maja 2011.

[2] Furtak K., Sala A.: *Stabilizacje osuwisk komunikacyjnych metodami konstrukcyjnymi*. „Geoinżynieria. Drogi, mosty, tunele” 2005, nr 3.

[3] Czyżewski K., Wolski W., Wójcicki S., Żbikowski A.: *Zapory ziemne*. Arkady. Warszawa 1973.

[4] Glazer Z.: *Mechanika gruntów*. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa 1977.

[5] Madej J.: *Metody sprawdzania stateczności zboczy*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 1981.

[6] Wysokiński L.: *Posadowienie obiektów budowlanych w sąsiedztwie skarp i zboczy*. Instrukcja Instytutu Techniki Budowlanej, nr 304. Warszawa 1991.

[7] *Instrukcja obserwacji i badań osuwisk drogowych*. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych. Warszawa 1999.

[8] Furtak K., Gaszyński J., Pabian Z.: *Geotechniczne systemy zabezpieczeń i stabilizacji na terenach osuwiskowych*, cz. 2. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne 2012, nr 1 (40), s. 44–48.

[9] Trojnar K.: *Jak eliminować osuwiska drogowe? – cz. 1*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2009, nr 5 (26), s. 66–68.

[10] Gniwek A.: *Przyczyny wystąpienia osuwiska w zabezpieczonym wykopie autostradowym*. XXV Konferencja Naukowo-Techniczna *Awarie budowlane 2011*. Międzyzdroje, 24–27 maja 2011.

[11] Cała M.: *Osuwiska w Polsce i na świecie*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2009, nr 3 (24), s. 68–74.

[12] Stryczek S., Gonet A., Wiśniowski R.: *Geoinżynieryjne metody stabilizacji skarp i zboczy*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2008, nr 6 (21), s. 78–81.



**GABIONY
ŚCIANY OPOROWE
KOTWY GRUNTOWE
GEOSYNTETYKI
ZABEZPIECZENIA
PRZECIWEROZYJNE**

