

# Geoinżynierijne metody stabilizacji skarp i zboczy

Stanisław Stryczek<sup>1</sup>, Andrzej Gonet<sup>2</sup>, Rafał Wiśniowski<sup>3</sup>



## Wstęp

Częstotliwość i nasilenie występowania zjawisk osuwiskowych związane są z ukształtowaniem morfologicznym i budową geologiczną. W związku z tym można wyodrębnić strefy o wysokim i niskim stopniu zagrożenia osuwiskowego. Potencjalne osuwiska na skarpach i zboczach powstają w wyniku działania siły ciężkości, gdy zostaje przekroczona równowaga między składowymi ścinającego naprężenia i oporem gruntów przeciw ścinaniu. Utratę istniejącej stateczności zbocza powodują więc nowe siły albo zmniejszenie się sił tarcia. Do najczęstszych przyczyn powstawania osuwisk można zaliczyć [1, 2, 3, 5, 6]:

- upad warstw gruntu lub kierunek spękań skał zgodny z kierunkiem nachylenia zbocza (naturalnego lub sztucznego),
- podmycie lub podkopanie zbocza,
- obciążenie zbocza lub terenu nad nim,
- wypełnienie wodą szczelin lub spękań nad zboczem,
- wypór wody i ciśnienie spływowe w masie gruntowej zbocza, powstające na skutek nagłego obniżenia się poziomu wody powierzchniowej (np. zapory i obwałowania ziemne),
- napór wody od dołu na górne warstwy słaboprzepuszczalne, powodujące zmniejszenie sił oporu na ścinanie,
- nasiąknięcie gruntu wodą na skutek opadów atmosferycznych lub tajania śniegu, co powoduje pęcznienie, a tym samym zmniejszenie sił tarcia i spójności gruntu,
- wietrzenie i rozluźnienie skał i gruntów, a więc niszczenie ich struktury,
- istnienie wygładzonych powierzchni poślizgu na terenach starych osuwisk (np. w ilach i iłóupkach),
- wstrząsy wywołane np. wybuchami, ruchem drogowym,
- sufozja, tzn. wynoszenie z masy gruntu drobniejszych ziarn lub cząstek przez infiltrującą wodę, powodujące powstanie kawern,
- przemarzanie i odmarzanie gruntu powodujące zmianę jego struktury i wytrzymałości na ścinanie,
- wypieranie gruntu (np. po odsłonięciu w wykopie gruntów plastycznych może nastąpić ich wypchnięcie przez nacisk warstw nadkładu i spowodować osuwisko skarpy),
- niewłaściwe zaprojektowanie nachylenia skarpy wykopu lub nasypu.

Największe zagrożenie osuwiskami zachodzi wtedy, kiedy kilka z wyżej wymienionych czynników występuje jednocześnie.

Ogólnie rzecz biorąc, ruchy osuwisk oraz ich nasilenie zależy zarówno od czynników wewnętrznych, jak i zewnętrznych. Ze względu na różnorodność równocześnie oddziałujących czynników, mogących spowodować wystąpienie osuwiska, przyjmują one różne formy (tab. 1, [2]).

<sup>1</sup> Prof. dr hab. inż.; Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH.

<sup>2</sup> Prof. dr hab. inż.; tamże.

<sup>3</sup> Dr hab. inż., prof. AGH; tamże.

Forma osuwiska	Opis zjawiska	
Spętywanie	Bardzo powolny ruch spoiwych mas gruntowych bez wyraźnej powierzchni poślizgu, często bez wyraźnych form morfologicznych, zazwyczaj na zboczach o łagodnym nachyleniu (np. soliflukacja gleby).	
Spływy	Szybkie, krótkotrwałe i płytkie przemieszczanie gruntów spoiwych lub sypkich ze zbocza, na skutek przesylenia wodą, z wyraźną akumulacją u jego podnóża (spływy błotne lub glebowe).	
Osuwiska	Przemieszczanie mas gruntowych wzdłuż powierzchni poślizgu w wyniku przekroczenia wytrzymałości ośrodka na ścinanie. Głębokość i prędkość przemieszczeń może być bardzo różnicowana. Osuwiska tworzą różne, charakterystyczne formy morfologiczne.	
typy	Konsekwentne	Powstają ze ścięcia wzdłuż powierzchni biegnącej zgodnie z powierzchnią warstwowania (osuwiska konsekwentno-strukturalne), powierzchnią spękań i szczelin (konsekwentno-szczelinowe), powierzchnią oddzielającą strefę zwietrzelinę od podłoża (konsekwentno-zwietrzelinowe) lub powierzchnią poślizgu starych osuwisk. Osuwiska tego typu są najczęściej spotykane w rejonach górskich o budowie fliszowej, o rozwiniętym profilu zwietrzelinowym, a także w utworach zaburzonych glaciektonicznie.
	Insekwentne	W przypadkach, gdy płaszczyzna poślizgu rozwinęła się w poprzek lub skośnie do istniejących powierzchni strukturalnych wśród utworów warstwowych.
	Asekwentne	Ze ścięcia w materiale jednorodnym i niewarstwowanym, najczęściej w niezaburzonych ilach i glinach.
	Sufozyjne	Na skutek wypłukiwania cząstek gruntu przez wypływające u podstawy stoku wody gruntowe, w ośrodku gruntowym mało spoiwym (piaski pylaste, pyły piaszczyste).
Obrywy	Gwałtowne przemieszczanie (staczanie) okruchów kamiennych ze stromych odśnieżeń skalnych na skutek erozji (np. urwiska górskie, klif nadmorski).	

Tab. 1. Klasyfikacja form osuwiskowych [2]

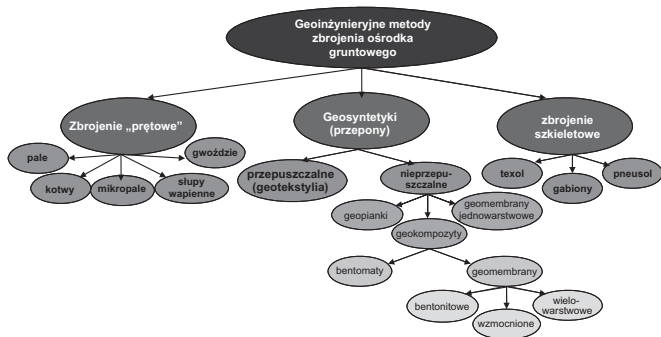
## Stabilizacja osuwisk

Pod pojęciem stabilizacji osuwisk należy rozumieć taką działalność inżynierską, aby w wyniku jej stosowania zapewnić zwiększenie stateczności zbocza. Z języka angielskiego *stability* oznacza stateczność, a zatem przez analogię działalność inżynierską związaną ze stabilizowaniem podłoża gruntowego można określić terminem „ustatecznienie” [5, 6]. Jednym z bardziej skutecznych sposobów stabilizacji osuwisk jest wykorzystanie szeroko rozumianych metod geoinżynierijnych (ryc. 1, [4]).

Miarą stateczności jest współczynnik stateczności  $F$  (z ang. *stability coefficient*), tzw. współczynnik stanu równowagi, zaś miarą ustatecznienia jest zmiana wartości współczynnika  $F$ , która następuje w efekcie zastosowania jednej z wielu metod geoinżynierijnych, w wyniku czego stabilizuje się podłoże.

Stabilizacja zboczy i skarp może być zapewniona przez zmiany [2, 4] geometrii zbocza (skarpy), parametrów wytrzymałości ośrodka gruntowego, warunków wodno-gruntowych.

Pierwsze prace, jakie zazwyczaj należy podjąć po wystąpieniu osuwiska, mają charakter doraźny i mają na celu zabezpieczenie przed powiększeniem się zaistniałych już zniszczeń. Prace te obejmują przede wszystkim: odprowadzenie wód poza

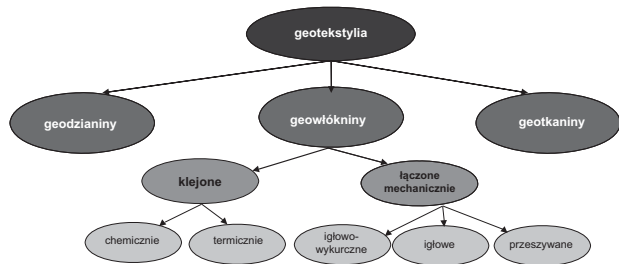


Ryc. 1. Podział geoinżynieryjnych metod zbrojenia gruntów

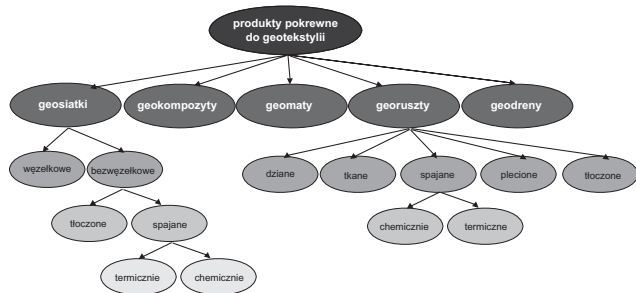
obszar objęty osuwiskiem (odwodnienie powierzchniowe), wypełnienie szczelin materiałem nieprzepuszczalnym, wykonanie tymczasowych przypór obciążających lub konstrukcji oporowych, powierzchniowe zabezpieczenie osuwisk przy pomocy geotekstyliów.

Natomiast podstawową zasadą doboru metody stabilizacji osuwiska powinno być takie rozwiązanie konstrukcyjno-technologiczne, które skutecznie wyeliminuje przyczyny powodujące powstawanie zagrożenia. Obecnie coraz szersze zastosowanie znajdują nowe metody polepszania nośności i wzmocnienia gruntów słabych i niestabilnych. Do stosowanych metod zalicza się [1, 4, 5, 6]:

- zbrojenie ośrodka gruntowego za pomocą: gwoździowania, kotwienia, palowania;
- użycie geosyntetyków, np. geotekstylia, geowłókniny, geosiatki, geomembrany (ryc. 2 i 3);
- dynamiczne zagęszczanie metodami wibracyjnymi: wibrowymiana, wibroflotacja (ryc. 4);



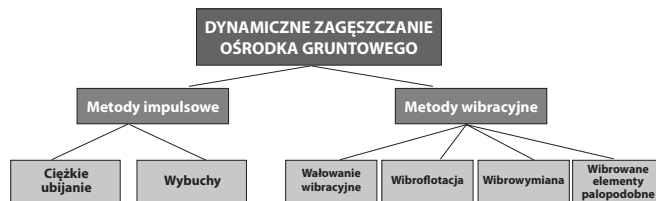
Ryc. 2. Podział materiałów geosyntetycznych przepuszczalnych



Ryc. 3. Podział materiałów geosyntetycznych przepuszczalnych pokrewnych do geotekstyliów

### Zbrojenie ośrodka gruntowego

Zbrojenie ośrodka gruntowego polega na wprowadzeniu do niego odpowiednio wybranych elementów konstrukcyjnych, a następnie zatłoczeniu dobranej zaczynu uszczelniającego w celu [1, 3, 4] poprawienia nośności gruntu, stabilizacji gruntu (osuwiska, formowanie ścian wykopów itp.), poprawy stateczności zboczy w wyniku zabezpieczenia ich przed wystąpieniem

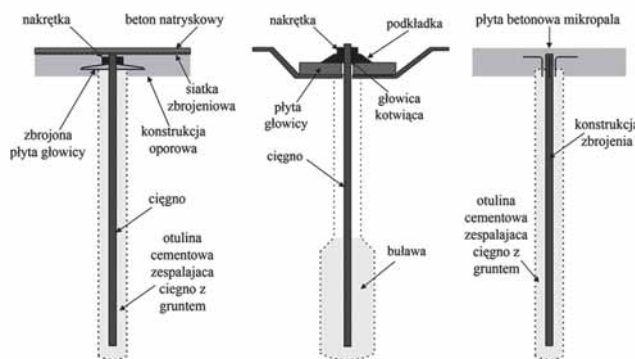


Ryc. 4. Metody dynamicznego zagęszczania ośrodka gruntowego [4]

w czasie ruchu i po wystąpieniu osuwiska, zbrojenia gruntu na drodze tworzenia konstrukcji oporowych.

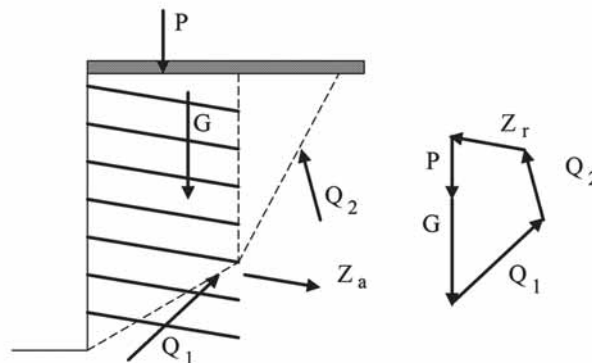
Efektywne włączenie masywu gruntowego do współpracy z konstrukcją oporową uzyskuje się m.in. poprzez stosowanie kotew iniekcyjnych, mikropali [1, 4]. Kotwa gruntowa iniekcyjna jest konstrukcją z konstrukcją cięgna, osadzonego w odwierconym w gruncie otworze, a następnie zespoloną zaczynem uszczelniającym. Kotwy mogą być [1, 7, 8]:

a) bierne, bez wstępnego naprężania, są zespolone na całej długości. Kotwy tego typu nazywane są gwoździami gruntowymi lub też śrubami skalnymi (ryc. 5a). Kotwy bierne – gwoździe nadają ośrodkowi gruntowemu zdolność przenoszenia znacznych sił rozciągających i ścinających.



Ryc. 5. Schematy konstrukcji: a) kotwy biernej bez wstępnego naprężania (gwoździe gruntowy), b) kotwy wstępnie naprężanej (kotwa), c) mikropala [1, 4, 9, 10]

Mechanizm działania gwoździ gruntowych pokazano na rysunku 6. Gwoździe w górnej części wzmocnionego nimi ośrodka gruntowego tkwią całe w bryle odłamu, nie sięgając poza potencjalną powierzchnię poślizgu, a zatem nie mają wpływu na ogólną stateczność bryły. Gwoździe w przedniej części formują rodzaj ściany czołowej z gruntu zbrojonego, nadając tej części bryły odłamu stateczność wewnętrzną. Stateczność zewnętrzną całej bryły odłamu zapewniają gwoździe usytuowane w jej dolnej części, zagłębione poza potencjalną powierzchnię poślizgu. Gwoździe muszą być wprowadzone w stateczny maszyn gruntu, do bezpiecznego w nim zakotwienia.



Ryc. 6. Zasada działania gwoździ gruntowych [1]

b) wstępnie naprężane, które zaczyn uszczelniający zespała z gruntem tylko na odcinku końcowym, nazywanym buławą

(ryc. 5b). Kotwa gruntowa wstępnie naprężana (tzw. kotwa) jest osadzany w gruncie elementem rozciągającym, przekazującym obciążenia działające na jej głowicę przez odcinek naprężony, do buławy zespolonej ze stabilnym gruntem – poza bryłą odłamu. Dlatego kotwy tego typu osiągają znaczne długości oraz duże uciążi. Celem wstępnego naprężenia kotwy jest eliminacja początkowych deformacji kotwionej konstrukcji oporowej i przez to całkowite (lub prawie całkowite) jej unieruchomienie. Kotwy te są wykorzystywane wszędzie tam, gdzie muszą być przeniesione duże siły skierowane na zewnątrz masywu gruntowego, powodowane parciem ziemi i wyporem wody. Do najistotniejszych zalet kotew wstępnie naprężanych zaliczyć można [3, 7, 8, 9] możliwość skontrolowania zakotwienia przez pomiar siły naprężającej i przemieszczeń kotwy oraz przewidywalność zachowania się kotwy.

Nośność kotwy zależy od oporu na pobocznicę buławy. Wartość tego oporu wynika z wartości pola powierzchni pobocznic, cech mechanicznych gruntu, w których jest uformowana, oraz skuteczności zespolenia z gruntem, zależnej od technologii formowania buławy. Największe uciążi kotew uzyskuje się, gdy buławy są formowane w gruntach niespoistych, zagęszczonych i stosowane są duże wartości ciśnienia iniekcji. Ze względu na rodzaj siły w buławie wyróżnia się [1]:

- kotwy z buławami rozciągającymi, w których ciągną przekazują na nią siłę poprzez przyczepność do stwardniałego zaczynu wzdłuż buławy (ryc. 7a). Pod wpływem naprężeń rozciągających stwardniały zaczyn ulega poprzecznym spękaniami. Takie samo zjawisko występuje w kotwie biernej (gwoździu gruntowym), której ciągną, będąc na całej długości zespolone ze związanym zaczynem, powoduje jego rozciąganie.
- kotwy z buławami ściskającymi posiadają ciągną zakończone stalową płytą lub rurą (ryc. 7b i c). Siła z ciągną przekazywana jest przez płytę na buławę od jej końca. Stwardniały zaczyn tworzący buławę kotwy jest ściskany, a zatem niebezpieczeństwo spękań nie występuje.

Mikropale (ryc. 5c) najczęściej formowane są ciśnieniowo (podobnie jak kotwy gruntowe), lecz mogą być również wykonywane w sposób znacznie uproszczony.

Biorąc za kryterium technologiczne uformowanie mikropali, można wyróżnić pięć kategorii: formowane iniekcyjne, iniekowane wielodrutowe, stalowe (wbijane, wciskane, wwibrowane), z powiększoną buławą, z rdzeniem stalowym.

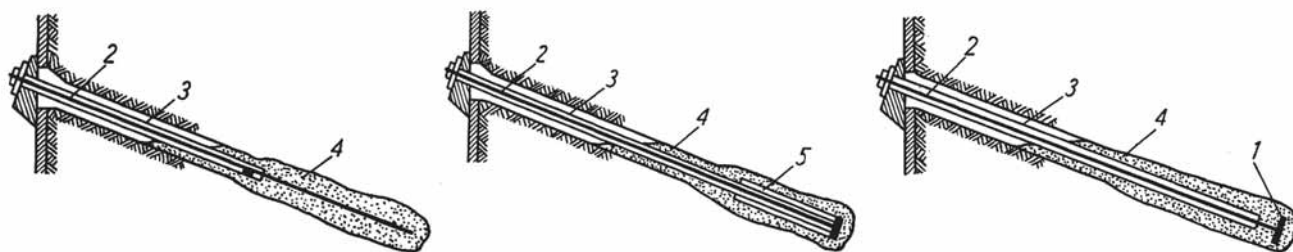
Elementem nośnym mikropala jest przekrój stalowy lub prefabrykat żelbetowy, umieszczony osiowo w pału na całej jego długości i zacementowany (ryc. 8). Elementy stalowe mogą stanowić: poje-

dynczy pręt okrągły, parę prętów powiązanych razem, rura stalowa, dwuteownik, dwa kątowniki lub ceowniki zespawane lub połączone przewiązkami. Poszczególne elementy mogą być montowane w całości lub składane z oddzielnych odcinków, a następnie łączone przez spawanie. Rury i pręty mogą mieć połączenia gwintowane [4].

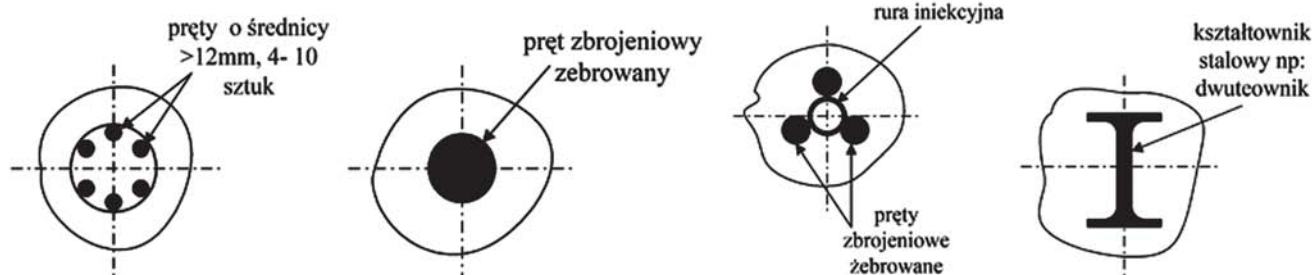
Nowym kierunkiem stabilizowania skarp i zboczy jest stosowanie geotekstyliów (geosiatki, geotkaniny, geowłókniny, konstrukcje komórkowe itp.).

Zalety użytkowe geotekstyliów uwidaczniają się w szczególności w możliwościach ograniczenia spadku nośności rozluźnionego poziomo ośrodka gruntowego, ograniczenia ciągłych i nieciągłych odkształceń oraz naprężeń przestrzennych w podłożu, jak i redystrybucji dodatkowych naprężeń stycznych w strefie kontaktu z nawierzchnią. W pracach geoinżynierskich do najczęściej stosowanych geotekstyliów zaliczyć można (ryc. 2, 3, [5, 6]):

- geodziańny – są to wyroby włókiennicze powstałe w procesie dziania z jednej (monofila) lub wielu nitki (przędzy, multifilów), uformowanych w łączące się ze sobą oczka w odpowiednim splocie dziewiarskim. Dzianiny charakteryzują się dużą odkształcalnością, połączoną często z niewielką zdolnością powrotu do stanu pierwotnego kształtu po odjęciu jednokierunkowych, jak i wielokierunkowych sił rozciągających;
- geowłókniny – są płaskimi, nietkanymi wyrobami tekstylnymi, wytworzonymi metodą klejenia (chemicznie lub termicznie) lub mechanicznego łączenia (igłowania lub przeszywania) luźnego układu (w postaci runa) wysokopolimeryzowanych włókien syntetycznych. Charakterystyczną i unikalną cechą tych tworzyw, niespotykaną dotychczas w przyrodzie, jest połączenie w jednym materiale właściwości hydraulicznych mineralnego filtru lub drenażu z dużą wytrzymałością na rozciąganie;
- geotkaniny – są to materiały tkane wykonane z wysokowytrzymałej poliestrowej przędzy włókienniczej przepłataną pod kątem prostym, łączonej mechanicznie w procesie tkania, w postaci płaskiej równomiernej struktury tkanej. Włókna poliestrowe zastosowane w geotkaninach są bardzo odporne na zmiany wytrzymałości pod wpływem obciążenia;
- geosiatki (ang. *geonet*) – polimerowe płaskie struktury, w których otwory są znacznie większe niż pozostałe elementy składowe;
- geokompozyty przepuszczalne (*geocomposite*) – materiały mające w składzie co najmniej jeden wyrób geotekstylny lub geotekstylny pokrewny;
- geomaty (*geosynthetic mate*) – polimerowe wyroby warstwowe wykonane z dwóch warstw geotekstyliów, przedzielonych warstwą materiału mineralnego (np. bentonit – *clay liner*, piasek – *sand mate*);



Ryc. 7. Rodzaje kotew: a) kotew o buławie rozciąganej, b i c) kotew o buławie ściskanej: 1. płytka połączona z ciągną, 2. ciągną, 3. rura osłaniająca ciągną przed działaniem zaczynu, 4. zaczyn iniekcyjny, 5. rura kotwiąca [1]



Rys. 8. Typowe przekroje mikropali [4]



□ georuszty (*geogrid*) – polimerowe płaskie struktury zawierające regularną, otwartą siatkę wewnętrznie połączonych, wytrzymałych na rozciąganie elementów;

□ geodreny (*geodrain*) – materiał składający się z geowłókniny filtracyjnej oraz rdzenia pozwalającego na przepływ wody wewnątrz lub wzdłuż jego powierzchni.

Geotekstylia mogą spełniać szereg funkcji, często kilka jednocześnie. Zasadniczo funkcje te można podzielić na:

a) filtracyjne, jeżeli objętości wody gruntowej przesączającej się przez grunt są znaczne, to wówczas geotekstylia pracują jako filtr:

□ zapewniają równowagę gruntu przy przeciekaniu wody między poszczególnymi warstwami podłoża oraz zatrzymują drobne cząstki materiału, nie przeszkadzając przy tym przepływowi wody, filtr zachowuje swoją porowatość i zapobiega przedostawaniu się innych drobnych cząstek bezpośrednio na tekstylny, co pozwala uniknąć tworzenia się nieprzepuszczalnej blokady,

□ chronią przed erozją stoki i zbocza zatrzymując drobnoziarnisty materiał, pozwalając jednocześnie na przepływ wody;

b) ochronne:

□ stosowane jako ochrona geomembran przed uszkodzeniami mechanicznymi;

□ separacyjne:

□ ograniczają przemieszanie różnych warstw gruntu o różnych funkcjach, między którymi są umieszczone, szczególnie między gruntem drobnoziarnistym spoistym (gliny, iły, pyły) a piaskiem, pospółką lub kruszywem gruboziarnistym, jak żwir, kliniec lub tłuczeń;

□ separują podbudowę niezwiązaną od podłoża wysadzinowego,

□ umieszczone w warstwie kruszywa lub na powierzchni kontaktu kruszywa z podłożem, zabezpieczają ją przed postępującym zniszczeniem wywołanym bocznymi przemieszczeniami kruszywa przy rozciąganiu i ścinaniu, zanieczyszczeniem kruszywa przez drobne cząstki gruntu podłoża, zagłębieniem się ziaren kruszywa w podłożu i zniszczeniem ziaren kruszywa od powtarzalnych obciążeń,

□ pozwalają na utrzymanie dwóch warstw materiału ośrodka gruntowego oddzielnie. Obie warstwy materiału mogą być całkowicie suche, lecz także bardzo często mogą być w nich zatrzymane różne ilości wody;

d) drenażowe:

□ tworzą naturalny filtr dla cząstek mogących się przedostać z otaczającego gruntu, grubsze cząstki osadzają się na geotekstyliach, drobniejsze natomiast na utworzony w ten sposób podkład,

□ zapewniają odprowadzenie wody z powierzchni podłoża, umożliwiają wykonywanie drenów odwadniających poziomych i pionowych;

e) wzmacniające i stabilizujące:

□ pomagają rozwiązać złożone problemy geotechniczne dotyczące występowania uciążliwych deformacji, spowodowanych uplastycznieniem i osiadaniami warstw słabych w wyniku utraty równowagi między obciążeniem i siłami wewnętrznymi (grunty słabonośne, namuły organiczne, torfy, gytie, miękkoplastyczne grunty spoiste itp.),

□ wzmacniają zdolność warstwy kruszywa do rozkładania obciążeń na grunt, przedłużają jej trwałość, zmniejszają naprężenia w podłożu, a w konsekwencji spowalniają akumulację trwałych mikrodekształceń, deformację powierzchni,

□ umożliwiają przeniesienie sił rozciągających oraz zwiększają stabilność budowli na słabonośnym podłożu;

f) przeciwerozyjne;

g) uszczelniające.

W tabeli 2 przedstawiono funkcje poszczególnych rodzajów produktów geosyntetycznych.

#### Podsumowanie

Stabilizacja skarp i zboczy polega na realizacji szeregu prac geoinżynierskich, przy pomocy których uzyskuje się więk-

Funkcja	Rodzaj stosowanego materiału geosyntetycznego
Filtracja	Geowłókniny igłowane, przesywane, klejone termicznie i chemicznie, geotkaniny.
Drenaż	Geodreny, grube geowłókniny igłowane i przesywane, geokompozyty przepuszczalne.
Wzmocnienie	Georuszty, geosiatki bezwęzłkowe, geokompozyty przepuszczalne, geowłókniny igłowane i przesywane, geotkaniny.
Umocnienie przeciwerozyjne	Geosiatki komórkowe, geomaty, gęste geosiatki bezwęzłkowe, geowłókniny igłowane i przesywane, geotkaniny, geokompozyty przepuszczalne.
Uszczelnienie	Geomembrany jednowarstwowe i wielowarstwowe (w tym wzmocnione), bentomaty, geomembrany bentonitowe.
Separacja	Geowłókniny igłowane, przesywane, klejone termicznie i chemicznie, geotkaniny, gęste geosiatki bezwęzłkowe, czasami cienkie geomembrany.
Ochrona	Geowłókniny igłowane, przesywane, klejone termicznie i chemicznie, geotkaniny.

Tab. 2. Funkcje materiałów geosyntetycznych [5, 6]

szanie stateczności zbocza. Podstawowa zasada doboru metody stabilizacji zboczy polega na wykonaniu takiego rodzaju prac inżynierskich, w wyniku których eliminuje się przyczyny powodujące powstawanie zagrożenia. Jednym z bardziej skutecznych sposobów zabezpieczania zboczy, a zwłaszcza podatnych na występowanie osuwisk, jest zbrojenie ośrodka gruntowego. W efekcie tego zabiegu wzdłuż powierzchni poślizgu mobilizowany jest dodatkowy opór przeciw ścinaniu. Opór ten jest efektem powstawania dodatkowej spójności. Wielkość wartości tej spójności jest funkcją zbrojenia gruntu oraz parametrów technologicznych prac związanych z odbudową stateczności stabilizowanych zboczy.

Wybór optymalnego systemu stabilizacji skarp i zboczy powinien uwzględniać zarówno czynniki o charakterze technicznym, jak również ekonomicznym, socjologicznym i prawnym. Za najważniejsze kryteria wyboru odpowiedniej metody stabilizacji można uważać koszt przedsięwzięcia i jego spodziewany efekt. Z punktu widzenia bezpieczeństwa konieczne jest monitorowanie zachowania się zestabilizowanego zbocza, głównie poprzez prowadzenie okresowych pomiarów przemieszczeń powierzchniowych i wgłębnych.

#### Literatura

- Jarominiak D.: *Lekkie konstrukcje oporowe*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 2000.
- Nowacki J., Naborczyk J., Petrasz J., Sala A.: *Instrukcja obserwacji i badań osuwisk drogowych*. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych. Warszawa 1999.
- Pisarczyk S.: *Gruntoznawstwo inżynierskie*. Wydawnictwo PWN. Warszawa 2001.
- Stryczek S., Gonet A.: *Geoinżynieria*. „Studia, Rozprawy, Monografie” 2000, nr 71. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie.
- Wysokiński L.: *Skuteczność stosowania geosyntetyków*. „Materiały Budowlane” 2001, nr 7, s. 27–29.
- Wysokiński L.: *Funkcje i zasady układania geosyntetyków*. „Materiały Budowlane” 2001, nr 7, s. 2–6.
- Zabuski L.: *Ogólne zasady i metody stabilizacji zboczy. Stabilizacja masywów skalnych w podłożu budowli hydrotechnicznych*. Materiały konferencyjne. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa 2000.
- Zabuski L.: *Stabilizowanie skarpy drogowej. Stabilizacja masywów skalnych w podłożu budowli hydrotechnicznych*. Materiały konferencyjne. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa 2002.
- Materiały ze strony <http://www.titan.com.pl>.
- Materiały ze strony <http://www.keller.com.pl>.

Praca została zrealizowana w ramach badań własnych na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH