



Temat specjalny

STABILIZACJA SKARP I OSUWISK

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

fot. trekandphoto, fotolia.com





Problematyka ruchów osuwiskowych jest niezwykle złożona, ponieważ dotyka różnych zagadnień z dziedziny nauk przyrodniczych, inżynierskich oraz planowania przestrzennego. Osuwiska stanowią przedmiot badań szeregu specjalistów – od zajmujących się nauką o Ziemi przez planistów, projektantów, inżynierów aż po geotechników. Choć ich podejście do problemu bywa odmienne, jednak wszystkim ostatecznie przyświeca jeden cel – dążenie do zminimalizowania ryzyka utraty stateczności stoków i zniszczenia budowli inżynierskich.

Które elementy najczęściej wpływają negatywnie na stabilność skarp lub zboczy i czy można ich uniknąć?



dr inż. RAFAŁ BUCA, dyrektor techniczny, główny projektant, Keller Polska Sp. z o.o.

Najprościej ujmując, utrata stateczności skarpy następuje, gdy jej całość lub część grawitacyjnie zsuwa się w wyniku przekroczenia przez naprężenia ścinające wytrzymałości na ścinanie materiału, z którego zbudowana jest skarpa. Różne procesy i zjawiska prowadzą do przekroczenia lub redukcji wytrzymałości na ścinanie gruntu. Należy do nich zaliczyć przede wszystkim zwiększenie ciśnienia w porach gruntu, spękanie powierzchni, pęcznienie gruntu, grawitacyjne pełzanie oraz obciążenia cykliczne, np. od ruchu drogowego czy kolejowego. Oddziaływania zwiększające naprężenia ścinające w skarpie i często prowadzące do utraty stateczności to m.in. dodatkowe obciążenia na koronie skarpy, zwiększenie ciężaru gruntu wskutek nawodnienia, np. opadów atmosferycznych, ciśnienie sphywowe, podcięcia i roboty ziemne prowadzone u jej podstawy. Najczęściej jednak to woda gruntowa jest główną przyczyną utraty stateczności skarp. Dlatego bardzo ważne jest zapewnienie odpowiedniego odwodnienia skarpy oraz zabezpieczenia jej powierzchni, tak aby infiltrująca przez nie woda nie generowała nadmiernych ciśnień, prowadzących w ostateczności do utraty stateczności.

Osuwiska należą do procesów przyrodniczych prowadzących do katastrof naturalnych lub awarii technicznych, których skutki mogą zagrażać życiu, zdrowiu i mieniu ludzi. Klasyfikacja klęsk żywiołowych i zagrożeń występujących na świecie plasuje osuwiska na piątym miejscu zarówno jeśli chodzi o liczbę ofiar, jak i pod względem strat materialnych [1]. Dlatego zapobieganie skutkom powstawania osuwisk oraz właściwa ocena ryzyka ich powstania stanowią bardzo istotne zagadnienia i są przedmiotem częstych rozważań.

Osuwiska naturalne a komunikacyjne

Osuwiskiem nazywa się przemieszczenia mas gruntowych wzdłuż powierzchni poślizgu, przy czym głębokość i prędkość przemieszczania gruntu może być bardzo zróżnicowana. Osuwiska można podzielić na cztery typy. Osuwiska konsekwentne (zsuwy) mogą powstawać ze ścięcia górotworu wzdłuż powierzchni biegnącej zgodnie z powierzchnią warstwowania – wówczas nazywa się je konsekwentno-strukturalnymi. Powstałe wzdłuż spękań i szczelin to osuwiska konsekwentno-szczelinowe. Te biegnące zgodnie z powierzchnią oddzielającą strefę zwietrzliny od podłoża określane są jako osuwiska konsekwentno-zwietrzelinowe. Osuwiska konsekwentne mogą także powstawać ze ścięcia górotworu wzdłuż powierzchni biegnącej zgodnie z powierzchnią warstwowania starych osuwisk. Ten typ osuwisk spotyka się najczęściej w rejonach górskich o budowie fliszowej.

Drugi rodzaj osuwisk, osuwiska insekwentne, powstają, gdy płaszczyna poślizgu rozwinęła się prostopadle lub ukośnie do istniejących powierzchni strukturalnych wśród utworów warstwowych. Powierzchnia poślizgu tych osuwisk ma zwykle bardzo złożony kształt.

W przypadku, gdy powierzchnia poślizgu przebiega w gruncie jednorodnym i niewarstwowym, mamy do czynienia z osuwiskami asekwentnymi. Występują one najczęściej w niezaburzonych iłach i glinach. Ostatni rodzaj osuwisk naturalnych, osuwiska sufozyczne, występują na skutek wypływania cząstek gruntu przez wypływające u podstawy stoku lub skarpy wody gruntowe. Te osuwiska powstają głównie w gruntach mało spoistych, takich jak piaski pylaste i pyły piaszczyste.

W odróżnieniu od osuwisk naturalnych, na powstanie których nie ma wpływu działalność człowieka, osuwiska zagrażające budowlom komunikacyjnym mogą się pojawiać na terenie całego kraju. Ich występowanie jest najczęściej związane z lokalnymi warunkami wodno-gruntowymi, jednak mogą się do tego przyczynić także błędy techniczne, związane ze zbyt stromym pochyleniem skarp czy zbyt dużym podcięciem zboczy. Zastosowanie nieodpowiednich materiałów (gruntów) do budowy nasypów lub ich niewłaściwe (zbyt małe) zagęszczenie również



Nector Sp. z o.o., ul. Szlak 65/502, 31-153 Kraków
tel.: 12 631 85 50, e-mail: biuro@nector.biz



www.nector.biz

SIATKI HEKSAGONALNE NECTOR HARD O WYSOKIEJ WYTRZYMAŁOŚCI

Firma Nector jako pierwszy i jedyne producent na świecie wytwarza siatki o podwójnym splecie o wysokiej wytrzymałości.

Parametry siatki Nector hard 3,0:

- średnica drutu 3,0 mm,
- rozmiar oczka 80 mm x 100 mm,
- wytrzymałość siatki na rozciąganie $R_m > 150$ kN/m,
- wytrzymałość drutu na rozciąganie $R_m > 1770$ MPa,
- powłoka antykorozyjna klasy A, stop alucynkowy ZnAl > 255 g/m².

Siatka Nector hard jako produkt nowatorski zgłoszona została do ochrony patentowej.





fot. Gianni Caito, fotolia.com

mogą doprowadzić do powstania osuwiska, tak samo jak niedobra technologia wykonywania robót i niewłaściwe odwodnienie [2].

Stateczność drogowych budowli ziemnych

Zagadnieniem stateczności badacze interesowali się już od dawna. Pierwsze naukowe prace z tej dziedziny pojawiły się w XVIII w., lecz dopiero na początku XX w. nastąpił gwałtowny rozwój metod analizy stateczności. Wówczas opracowano fundamentalne i do dziś stosowane metody analizy, których autorami byli Petterson (1916), Fellenius (1927), Terzaghi (1925), a w drugiej połowie tego stulecia Masłow (1949), Taylor i Bishop (1954), Janbu (1956), Nonveiller (1965), Morgenstern i Price (1963), Spencer (1967).

Do dziś, mimo tak licznych badań, nie stworzono jednak jednej teorii, która rozwiązywałaby problematykę stateczności w sposób pełny i jednoznaczny. Powodem takiego stanu rzeczy jest duża liczba elementów wpływających na warunki stateczności, a także trudności w określeniu stanu naprężenia, odkształcenia i przemieszczenia dla skarp i zboczy. Do utraty przez nie stateczności przyczynia się bowiem wiele skomplikowanych czynników, do których należą w uogólnieniu siły ciężkości wywołane przyciąganiem ziemskim i innych ciał niebieskich oraz wywołane nimi naprężenia. Rozkład naprężeń w masywie gruntowym zależy od szeregu dodatkowych czynników, których dokładne określenie jest niemożliwe. Do najważniejszych należą: obciążenia dynamiczne, woda, budowa geologiczna, kształt i wymiary skarpy, warunki atmosferyczne oraz wpływy chemiczne i biologiczne. Teoretyczne rozwiązanie zagadnienia stateczności skarp utrudniają także problemy natury matematycznej, związane z rozwiązywa-

niem równań opisujących tensor naprężenia i odkształcenia w ośrodku gruntowym dla skomplikowanych warunków brzegowych w otoczeniu skarpy.

Wszystko to sprawia, że brak jest jednego rozwiązania analitycznego, które opisywałoby rozkład naprężeń w skarpie, nawet dla najprostszych i najbardziej wyidealizowanych modeli. Każdy indywidualny przypadek można jednak rozwiązywać, stosując metody numeryczne. Przy założeniu, że skarpa jest zbudowana z ośrodka sprężystego lub sprężysto-plastycznego, można zastosować jedną ze znanych metod całkowania równań różniczkowych. Należą do nich metoda różnic skończonych (MRS), metoda elementów skończonych (MES), metoda elementów brzegowych (MEB) czy metody mieszane [3].

Kryteria wyboru zabezpieczeń

W praktyce spotyka się dwa przypadki. Osuwisko zabezpiecza się lub likwiduje bądź też projektuje bezpieczne skarpy wykopu lub nasypu. Zbocza stanowią zwykle przedmiot zainteresowania dopiero wtedy, gdy na ich powierzchni lub w sąsiedztwie projektuje się inwestycję. Zwykle jest to droga, ale może być również budynek czy inny obiekt budowlany. Bywa, że obiekt już istnieje, a osuwisko powstaje w czasie budowy lub po jej zakończeniu, zagrażając bezpieczeństwu ludzi. Najczęściej zdarza się jednak, że osuwisko pojawia się w czasie robót budowlanych i wymaga pilnego zabezpieczenia i likwidacji, czyli działań pozwalających na kontynuowanie budowy.

W przypadku projektowania bezpiecznych skarp wykopów przy założonych warunkach stateczności konieczne jest ustalenie stanu początkowego stateczności, a po dobraniu konstrukcji wzmacniających wykazanie na drodze obliczeń, że przyjęta me-

toda zabezpieczenia jest wystarczająca. W trakcie projektowania skarpy należy przy ustalaniu warunków projektowania i doborze oddziaływań uwzględnić możliwość wystąpienia ekstremalnych czynników meteorologicznych, takich jak deszcze nawalne, maksymalne poziomy wód gruntowych i powierzchniowych, różnice temperatur, zjawiska sztormowe itp.

Według Eurokodu 7, w obliczeniach stateczności skarp należy uwzględnić następujące oddziaływania: ciężar gruntu, skały, wody, ciśnienie wody gruntowej, ciśnienie spływowo, obciążanie naziomu, usunięcie obciążenia (odciążenie) poprzez np. wykonanie wykopu, obciążenie pojazdami, przemieszczenia związane z pęczaniem lub osiadaniem mas gruntowych, pęcznienie i skurcz spowodowane przez wpływy klimatyczne, zmiany wilgotności, rośliny, przyspieszenie od trzęsienia ziemi, wybuchów lub obciążeń dynamicznych, działanie zamarzania, siły od napinania kotew, rozpór innych konstrukcji, które oddziałują na masyw gruntu.

W przypadku naruszenia stateczności zbocza prawidłowe działania powinny polegać na wyeliminowaniu przyczyn wywołujących zagrożenie. Natomiast w sytuacji projektowania należy przeanalizować wszystkie sytuacje i oddziaływania ekstremalne oraz ich koniunkcje, które mogłyby wystąpić w czasie eksploatacji obiektu, oraz wziąć pod uwagę fakt, czy projekt dotyczy wykonywania wykopów, czy nasypów. Pierwszą czynnością podejmowaną dla poprawienia stateczności osuwiska powinno być uporządkowanie stosunków wodnych i wyeliminowanie możliwości zawodnienia skarpy. Natomiast wybór

zabezpieczenia musi uwzględniać warunki geologiczne, wodne, wstrząsy, a także wysokość zbocza i możliwość dopływu wód z otoczenia [4].

Metody stabilizacji skarp i osuwisk

Do najważniejszych działań zabezpieczających teren przed powstaniem zjawisk osuwiskowych należy **uregulowanie stosunków wodnych** na danym terenie, polegające na wykonaniu odpowiedniego systemu ujęć wód powierzchniowych i głębszych oraz odprowadzeniu ich do miejsc poza obszarem objętym zagrożeniem powstania osuwisk. Budowa systemu odwodnienia zależy przy tym od wielu czynników lokalnych, m.in. od ukształtowania terenu, budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych, właściwości fizycznych i mechanicznych gruntu w podłożu, zagospodarowania terenu.

Uregulowanie stosunków wodnych na terenach osuwiskowych jest możliwe m.in. przez zastosowanie **studni odwadniających**, co ma na celu obniżenie zwierciadła wód gruntowych. Odpowiedni efekt uzyskuje się przez przeniesienie na trzony studni dużych sił ścinających, pochodzących od ciężaru przemieszczającego się masywu gruntowego. Skuteczne zastosowanie studni odwadniających polega na usytuowaniu ich w taki sposób, aby powierzchnia zwierciadła została obniżona w odpowiednio dużej odległości od skarpy, a odwodnienie obejmowało potencjalną bryłę odłamu.

Innym przykładem odwodnienia są **filtry wiertnicze**, np. z włókniny filtracyjnej wypełnionej żwirem, umieszczone w na-



Dowiedz się więcej:
www.geobrugg.com/slopes



Safety is our nature



Wykonane z zastosowaniem drutu stalowego o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie

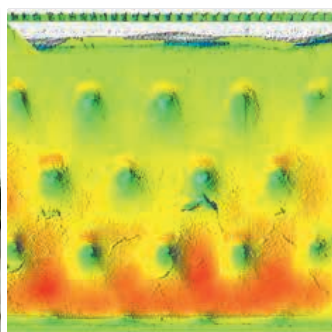
TRWAŁA OCHRONA SKARP



Walenstadt, Szwajcaria, siatka Spider S4-230 firmy Geobruigg



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



www.geobruigg.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 siatki oraz 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.geobruigg.com>

wodnionym obszarze. Odwodnienie zbocza może być także połączone z równoczesną poprawą bilansu sił działających na masyw gruntowy, co osiąga się m.in. przez zastosowanie przypory filtracyjnej, która z jednej strony stanowi drenaż odprowadzający wodę, a z drugiej dociążenie stoku po stronie sił utrzymujących.

Jednymi z najczęściej stosowanych elementów konstrukcyjnych w rozwiązywaniu problemów geotechnicznych, zasadniczo w każdym rodzaju i zakresie prac budowlanych, są **pale**. Znajdują zastosowanie do przenoszenia obciążeń od obiektów kubaturowych wszelkiego przeznaczenia, budowli hydrotechnicznych i przemysłowych, obiektów komunikacyjnych (w tym liniowych). Stosuje się je także do wzmocnienia masywu gruntowego dla mobilizacji w nim sił stabilizujących, przeciwstawiających się procesom osuwiskowym.

Do metod stabilizacji osuwisk należy też **wymiana gruntów**, stosowana w przypadku, gdy obsuwająca się skarpa jest zbudowana z gruntów słabych, obszar osuwiska nie jest duży, a występujące ilości wód są niewielkie. Słabe podłoże zastępuje się wówczas np. kamieniem łamanym lub pospółką. Poprawę stateczności uzyskuje się również przez zmianę geometrii skarpy dzięki zmniejszeniu jej pochylecia i ukształtowanie poziomych półek na skarpie. Podparcie skarpy stanowić może przypora zbudowana z narzutu kamiennego, żwiru lub pospółki – ważne, aby materiał przypory miał właściwości filtracyjne.

Jednym ze stosowanych rozwiązań są **przypory dociążające**, stosowane w celu zwiększenia wielkości sił stabilizujących masyw gruntu. Przypory wykonuje się z materiałów gruboziarnistych, takich jak kamień łamany, żwir z piaskiem itp. Warstwę narzutu układa się na naturalnym zboczu, przy czym ważnym



AARSLEFF

elementem jest połączenie narzutu z naturalnym podłożem. Zwykle wykonuje się to przez zeszkolowanie naturalnego zbocza, unikając dzięki temu tworzenia gładkiej, naturalnej powierzchni poślizgu. Uzupełnieniem tego zabezpieczenia są rowy odwadniające.

Kolejnym popularnym rozwiązaniem jest zabezpieczanie zboczy **gabionami**. Podstawowym elementem gabionu jest siatka wytwarzana z drutu o średnicy 2,0–3,5 mm, której zabezpieczenie antykorozyjne stanowi galwaniczna osłona. Siatki formuje się w kosze, materace lub walce, wypełnione kruszywem o odpowiednio dobranej granulacji. Gabiony, podobnie jak przypory, stanowią dociążenie stabilizujące, a przez swoją porowatą strukturę umożliwiają swobodny odpływ wody, która nie gromadzi się w masie gruntu, a co za tym idzie, nie powoduje jego uplastycznienia i nie wywiera nacisku związanego z występowaniem ciśnienia spływowego.

Znanym i stosowanym sposobem zabezpieczenia stateczności skarp i stoków jest **system geokomórkowy**, którego podstawowy element stanowi matryca, przypominająca budową i kształtem plaster miodu. Na matrycę składa się szereg powiązanych ze sobą regularnych komórek o określonej wysokości, wypełnionych zagęszczonym gruntem (kruszywem kamiennym), co tworzy swego rodzaju materac. Matryce ułożone poziomo pełnią funkcję wzmocnienia podłoża gruntowego (przez zwiększenie jego nośności) lub zabezpieczenia zbocza, gdy ułożone jedna na drugiej stanowią mur oporowy.

System geokomórkowy jest z powodzeniem wykorzystywany do zabezpieczenia powierzchniowego skarp – komórki ułożone pochyło na skarpie stanowią jej wzmocnienie i zabezpieczenie. Jednak samo zabezpieczenie powierzchniowe nie zawsze jest wystarczające dla ustabilizowania masywu gruntowego. Stosuje się wówczas **elementy kotwiące**, zwane **kotwami skalnymi** lub **gwoździami gruntowymi**. Obecnie używa się w tym celu wielu rodzajów gwoździ (kotew), oferowanych przez liczne firmy, różniących się między sobą szczegółami konstrukcyjnymi i technologią wykonania.

Często stosowanym rozwiązaniem do wzmocnienia gruntu na terenie osuwiska lub pod korpusem drogowym są **kolumny cementowo-wapienne**. Wzmocnienie podłoża za ich pomocą polega na głębokiej stabilizacji nawodnionych gruntów spoistych i organicznych przez zmieszanie ich z palonym wapnem. W efekcie uzyskuje się zwiększenie wytrzymałości gruntu na ścinanie w kolumnach przecinających potencjalną powierzchnię poślizgu oraz osuszenie go. Z kolei drenujące działanie kolumn zmniejsza możliwość powstawania lokalnych zmian ciśnienia porowego w gruncie, zapobiegając niebezpieczeństwu powstawania głębiej nowych linii poślizgu.

Kolejnym rozwiązaniem stosowanym do stabilizacji skarp i osuwisk są **konstrukcje oporowe**. Klasyczne konstrukcje oporowe wykonuje się z różnych materiałów budowlanych – kamienia, cegły, drewna i – najbardziej rozpowszechnionego – betonu (żelbetu). Konstrukcje te mają za zadanie podparcie masywu gruntowego (lub innego materiału rozdrobnionego), tak aby zapewnić mu stateczność, którą może utracić na skutek ukształtowania lub niekorzystnych właściwości mechanicznych stabilizowanego ośrodka. Różnorodność stosowanych w tym przypadku rozwiązań jest bardzo szeroka. W konstrukcjach oporowych jako materiał podstawowy wykorzystuje się budowlany grunt naturalny lub



GROUND ENGINEERING

projektowanie geotechniczne
specjalistyczne roboty geotechniczne
badania elementów geotechnicznych



AARSLEFF

na północnym odcinku S7 i DK16 to:
50 obiektów inżynierskich
posadowionych na żelbetowych palach
prefabrykowanych wbijanych,
w tym most przez Wisłę w Kiezmarku, most przez Nogat
oraz największy most extradosy zbudowany w Polsce.

aarsleff.com.pl



Kadzielnia, Kielce, kurtyna skalna TECCO G65/3 firmy Geobrugg



Wzmocnienie i przebudowa zeskoku Wielkiej Krokwi w Zakopanem przy pomocy systemu samowierzących mikropali iniekcyjnych TITAN, czerwiec 2017 r.

materiały gruntopodobne (odpady poprodukcyjne, żużle itp.), do których wprowadza się elementy metalowe, z tworzyw sztucznych lub inne, formując je w konstrukcje oporowe z gruntu zbrojonego. Oprócz skutecznego zabezpieczenia stateczności skarp i zboczy jednym z podstawowych walorów konstrukcji oporowych jest struktura zbliżona do naturalnego środowiska gruntowego.

Do stabilizacji wykorzystuje się także **metody naturalne**. Działaniem wzorowanym na naturalnym zjawisku rozprzestrzeniania się nasion roślin w przyrodzie jest hydroobsiew. Korzenie roślin, wytwarzając w gruncie strukturę mniej lub bardziej regularnej sieci, umożliwiają przenoszenie przez grunt znacznych obciążeń rozciągających i ścinających. Do zbrojenia współczesnych konstrukcji oporowych wykonywanych z gruntu powszechnie stosuje się **geosyntetyki**. Te materiały, przenosząc naprężenia rozciągające w gruncie, mogą pełnić 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. W celu wzmocnienia systemu ukorzenienia roślinności na skarpie do trwałej powierzchniowej ochrony przeciwozyjnej skarp korpusów drogowych używane są również materiały geosyntetyczne z płaskich i przestrzennych siatek [5, 6].

Do zabezpieczenia skarp coraz częściej stosuje się metody mieszane, łączące tradycyjne technologie ze sposobami aktywnego zabezpieczania – w formie barier przeciwdławkowych, które wykorzystywane są tam, gdzie nie ma możliwości np. zabezpieczenia powierzchniowego. Bariery wykonuje się w postaci panelu przechwytyjącego, zawieszono na słupach z dodatkowymi linami wzmacniającymi oraz rozpraszaczami energii.

Rolą barier jest ograniczenie prędkości (energii), z którą mogłyby uderzyć spadający głaz i zatrzymanie go [7].

Podsumowanie

W praktyce inżynierskiej – zarówno podczas wykonywania wykopów i nasypów, jak również w trakcie eksploatacji obiektów drogowych – występowanie osuwisk i zsuwy skarp i zboczy należą do zjawisk częstych. Będące ich wynikiem liczne przypadki awarii i zniszczeń konstrukcji jezdni drogowych wymagają zwrócenia szczególnej uwagi na bezpieczne projektowanie skarp, ich monitorowanie oraz obserwację zaistniałych osuwisk, tak aby umożliwić podjęcie właściwych działań w odpowiednim czasie.

Literatura

- [1] Wysokiński L., Frankowski Z.: *Problemy zagospodarowania zboczy wysoczyzn i dolin rzecznych*. XI Międzynarodowe Targi Geologiczne Geo-Eko-Tech. Warszawa 2013.
- [2] Furtak K., Sala A.: *Stabilizacje osuwisk komunikacyjnych metodami konstrukcyjnymi*. „Geoinżynieria. Drogi, mosty, tunele” 2005, nr 3, s. 12–22.
- [3] Cała M., Flisiak J.: *Analiza stateczności skarp i zboczy w świetle obliczeń analitycznych i numerycznych*. XXIII ZSMG. Kraków 2000.
- [4] Wysokiński L.: *Metody prognozowania i zabezpieczania osuwisk*. XXV Konferencja Naukowo-Techniczna *Awarie budowlane 2011*, Międzyzdroje, 24–27 maja 2011.



foto: PiLensPhoto, fotolia.com

- [5] Trojnar K.: *Zagrożenia budowli drogowych osuwiskami i sposoby ich eliminowania*. „Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie” 2009, nr 88 (z. 144), s. 379–393.
- [6] Szruba M.: *Stabilizacja skarp i zboczy*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2016, nr 5, s. 74–78.
- [7] *Bariery ochronne* (online). Maccaferri Polska Sp. z o.o. Dostępny w Internecie: <http://www.geotim.pl/produkt/25/bariery-ochronne> (dostęp 11 sierpnia 2017).

