



Osuwisko w ciągu drogi wojewódzkiej nr 975 w miejscowości Kurów, fot. ZDW Nowy Sącz

## Geotechniczne systemy zabezpieczeń i stabilizacji na terenach osuwiskowych, cz. 2

■ prof. dr hab. inż. Kazimierz Furtak, dr hab. inż. Jan Gaszyński, prof. PK, dr inż. Zbigniew Pabian, Politechnika Krakowska

Podstawową cechą osuwiska jest niekontrolowany ruch mas ziemnych, przemieszczających się w niżej położone obszary terenu, zwanego terenem osuwiskowym. Zjawisko to jest procesem złożonym zarówno co do przyczyn jego powstawania, jak i zaistniałych problemów. Te mają różnorodne aspekty, w tym m.in. środowiskowe (przyrodnicze) techniczne, ekonomiczne, społeczne. Stąd wynika szeroki zakres koniecznych do rozwiązania problemów związanych z osuwiskami. W pierwszej części tego artykułu, która ukazała się w poprzednim numerze „Nowoczesnego Budownictwa Inżynierskiego” skupiono się na wyjaśnieniu przyczyn powstawania i rodzajach osuwisk, natomiast w tej części artykułu omówiono metody stabilizacji i zabezpieczania terenów osuwiskowych.

### 1. Stabilizacja i zabezpieczenie terenów osuwiskowych

Co oznaczają sformułowania „zabezpieczenie osuwiska” lub „stabilizacja osuwiska”? To często używane wyrażenia [4, 5, 8, 9, 11, 14, 15, 16] związane z zespołem czynności wykonywanych lub koniecznych do wykonania na terenach zaistniałych osuwisk w celu usunięcia negatywnych skutków zaistniałego zdarzenia. A jeżeli czynności takie (zapobiegawcze) wykonujemy przed wystąpieniem osuwiska, to czy „zabezpieczamy” lub „stabilizujemy osuwisko”? Krótkie bodaj zastanowienie nad tymi sformułowaniami pozwala dostrzec pewną ich niezręczność w opisie problemów osuwiskowych. Znaczenie tych uwag jest widoczne w zestawieniu z powszechnie rozumianym określeniem „osuwiska”. Otóż, jeżeli jest to ruch mas ziemnych, jak to już na początku stwierdziliśmy, to:

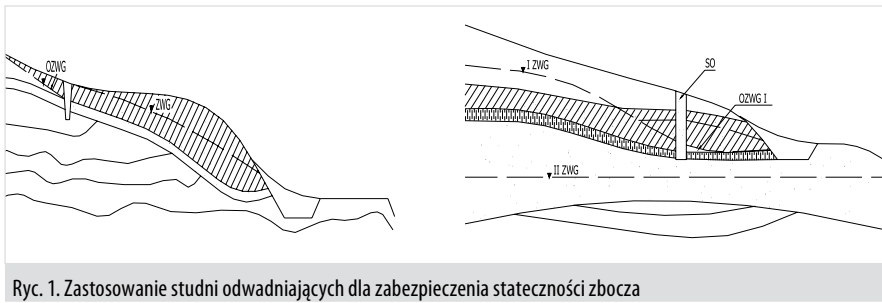
- zabezpieczyć możemy się przed ruchem tych (ziemnych) mas, czyli powstaniem osuwiska,
- usunąć możemy skutki już powstałego osuwiska poprzez nowe uformowanie (ukształtowanie) masywu gruntowego i terenu oraz zabezpieczenie go przed ponownym powstaniem osuwiska.

Stąd też stosowniejsze wydaje się mówić o zabezpieczeniu lub stabilizacji mas ziemnych (gruntowych) na terenach osuwiskowych, a nie o zabezpieczeniu osuwiska. W takim też sensie będą rozumiane, przedstawiane dalej, rozwiązania problemów zabezpieczeń i stabilizacji.

Wszelkie działania inżynierskie związane z zabezpieczeniem terenów i stabilizacją mas ziemnych można pogrupować na podstawie charakterystycznych cech, rozróżniających je między sobą. W takich też grupach zostaną one dalej omówione.

### 1.1. Regulacja stosunków wodnych w terenie osuwiskowym

Jednym z najważniejszych działań zabezpieczających teren przed powstaniem zjawisk osuwiskowych, a może i podstawowym, jest uregulowanie stosunków wodnych w tym terenie. Powszechnie rozumie się przez to wykonanie odpowiedniego systemu ujęć wód powierzchniowych i wglębnych oraz odprowadzenie ich do miejsc poza obszarem objętym zagrożeniem powstania osuwisk. Struktura systemu odwodnienia jest uzależniona od szeregu czynników lokalnych, w tym m.in. ukształtowania terenu, budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych, właściwości fizycznych i mechanicznych gruntów w podłożu, zagospodarowania terenu. Te czynniki wymagają zróżnicowanych rozwiązań.

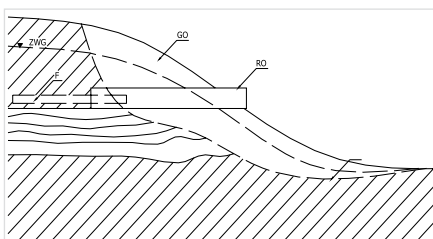


Ryc. 1. Zastosowanie studni odwadniających dla zabezpieczenia stateczności zbocza

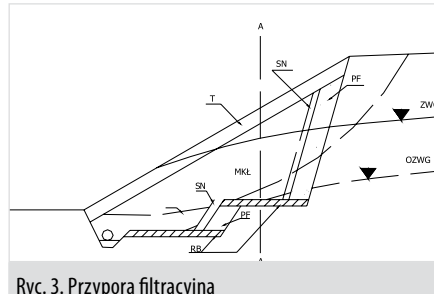
Jednym ze znanych sposobów uregulowania stosunków wodnych na terenach osuwiskowych jest zastosowanie studni odwadniających. Celem tego rozwiązania jest, jak i w innych przypadkach, obniżenie zwierciadła wód gruntowych. Na rycinie 1 pokazano schematy oddziaływań studni na zwierciadło wody gruntowej.

Przepływająca woda w gruncie oddziałuje na szkielet gruntowy, wywierając ciśnienie sphywowe. Z uwagi na kierunek przepływu (do podnóża stoku, zbocza) jest to dodatkowa siła destabilizująca. Ponieważ jej wielkość jest związana z objętością (masą) gruntu, przez który przepływa, stanowi ona znaczący przyczynek do sił destrukcji. W tej sytuacji skuteczne zastosowanie studni odwadniających wymaga takiego ich usytuowania, by powierzchnia zwierciadła została obniżona w dostatecznie dużej odległości od skarpy, a co za tym idzie, odwodnienie obejmowało potencjalną bryłę odłamu. Na rycinie 1 OZW oznacza obniżone zwierciadło wody gruntowej.

Kolejny przykład odwodnienia stanowią filtry wiertnicze (ryc. 2). Tutaj są to filtry z włókniny filtracyjnej wypełnionej żwirem (F), umieszczone w nawodnionym obszarze. Filtr ten jest wprowadzony w rurę odpływową (RO), odprowadzającą wodę na zewnątrz masywu gruntowego. W ten sposób zostaje obniżone zwierciadło wody gruntowej (ZWG), a osuwający się grunt (GO) po potencjalnej powierzchni poślizgu (PP) zostaje osuszony, przez co poprawiają się jego parametry mechaniczne (wytrzymałościowe). To oczywiście stwarza szansę do zatrzymania procesu osuwiskowego i zachowania stabilności masywu gruntowego.



Ryc. 2. Zastosowanie filtra wiertniczego do odwodnienia stoku



Ryc. 3. Przypora filtracyjjna

Odwodnienie zbocza może być połączone z równoczesną poprawą bilansu sił działających na masyw gruntowy. Przykład tego typu rozwiązania pokazano na rycinie 3. Rezultat taki można osiągnąć przy zastosowaniu przypory filtracyjnej, która z jednej strony stanowi drenaż odprowadzający wodę, a z drugiej dociążenie stoku po stronie sił utrzymujących.

Na podanym schemacie przyporę filtracyjną stanowi suchy mur z kamienia łamanego (MKŁ), uzupełniony pospółką filtracyjną (PF) z siatką nylonową (SN). Ujęta woda jest odprowadzana rynną betonową, a całość konstrukcji przykryta tłuczniem (T), stanowiącym dociążenie zbocza poprawiającym jego warunki stateczności. Przy pomocy tej konstrukcji zwierciadło wody gruntowej (ZWG) zostaje obniżone do poziomu (OZWG).

**1.2. Przypory dociążające**

Rozwiązanie to jest stosowane w celu zwiększenia wielkości sił stabilizujących masyw gruntu (ryc. 4). Przypory są wykonywane z materiałów gruboziarnistych, takich jak kamień łamany, żwir z piaskiem itp. Odpowiednio przygotowaną i zagęszczoną warstwę narzutu układa się na naturalnym zboczu, miąższość

warstwy zależy od wielkości dociążenia potrzebnej do uzyskania wymaganej wartości współczynnika bezpieczeństwa.

Ważnym elementem jest połączenie narzutu z naturalnym podłożem. Z reguły wykonuje się to przez zeszkodkowanie naturalnego zbocza. Unika się w ten sposób tworzenia gładkiej, naturalnej powierzchni poślizgu. Uzupełnienie tego zabezpieczenia stanowią rowy odwadniające.



Ryc. 4. Przypora dociążająca

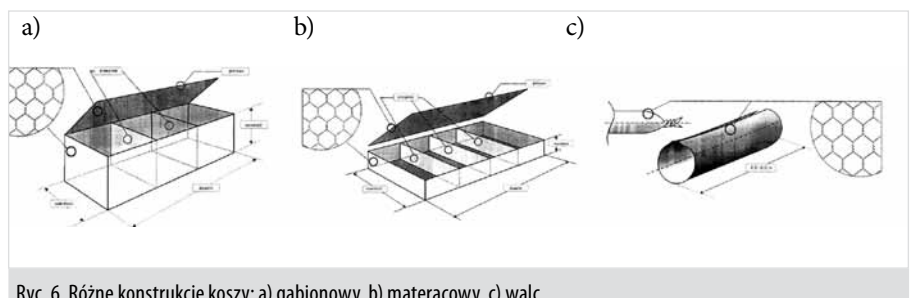
Na rycinie 5 pokazano alternatywne rozwiązanie przypory z rozbudowanym systemem odprowadzenia wody spływającej po stoku. Warstwa narzutu jest tu podparta kamiennym murem na zaprawie cementowej, stanowiącym swego rodzaju fundament. Ta konstrukcja poprawia warunki stateczności.



Ryc. 5. Przypora dociążająca z murem kamiennym

**1.3. Gabiony**

Skutecznym, często stosowanym i mającym duże walory estetyczne rozwiązaniem jest zabezpieczanie zboczy gabionami. Podstawowym elementem gabionu jest siatka. Wytwarza się ją z drutu o średnicy 2,0–3,5 mm. Zabezpieczenie antykorozyjne stanowi galwaniczna osłona: Zn, Zn + Al, Zn + PCV. Siatki mogą być formowane w kosze, materace lub walce (ryc. 6a–6c).



Ryc. 6. Różne konstrukcje koszy: a) gabionowy, b) materacowy, c) walc

Są wypełnione kruszywem o odpowiednio dobranej granulacji. Tak przygotowane elementy układa się w regularny sposób na stoku (ryc. 7). Stanowią one dociążenie stabilizujące (jak przypory), a ponadto umożliwiają przez swoją porowatą strukturę swobodny odpływ wody. Nie gromadzi się ona zatem w masie gruntu, nie powoduje jego uplastycznienia i nie wywiera nacisku związanego z występowaniem ciśnienia spływowego.



Ryc. 7. Zabezpieczenie stoku gabionami

## 1.4. System geokomórkowy

Innym sposobem zabezpieczenia stateczności skarp i stoków jest system geokomórkowy. Podstawowym jego elementem jest matryca przypominająca budową i kształtem plaster miodu w ulu. Stanowi ją szereg powiązanych ze sobą regularnych komórek o określonej wysokości. Są one wypełnione zagęszczonym gruntem (kruszywem kamiennym), tworząc swego rodzaju materac (ryc. 8).



Ryc. 8. Istota systemu geokomórkowego. Perforowane ścianki komórek ułatwiają przepływ wody gruntowej. W zależności od potrzeb ścianki mogą być pełne

Ułożone poziomo spełniają rolę bądź to wzmocnienia podłoża gruntowego (przez zwiększenie jego nośności), bądź też zabezpieczenia zbocza, gdy stanowią mur oporowy (ułożone jedna na drugiej, ryc. 9).



Ryc. 9. Mur oporowy wykonany w systemie geokomórkowym

## 1.5. Zabezpieczenia powierzchniowe

System geokomórkowy może być z powodzeniem wykorzystany do zabezpieczenia powierzchniowego skarp. Omówione wcześniej komórki ułożone pochyło na skarpi stanowią jej wzmocnienie i zabezpieczenie. Mają więc wszechstronne zastosowanie w budownictwie ziemnym – hydrotechnicznym i komunikacyjnym (ryc. 10).



Ryc. 10. Zabezpieczenie zbocza w systemie geokomórkowym

Innym sposobem stabilizacji skarpy, w szczególności ochrony przed odpadającymi kamieniami i odłamkami skał jest zastosowanie siatki Tecco (ryc. 11). Ma ona opinię bardzo skutecznego i pewnego rozwiązania.



Ryc. 11. Zabezpieczenie powierzchniowe systemem Tecco

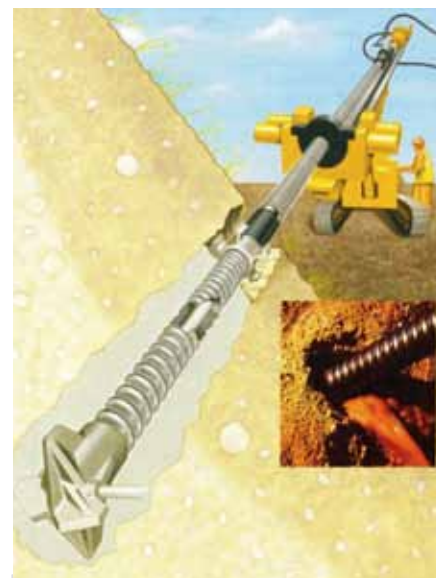
## 1.6. Kotwy gruntowe

Zabezpieczenia powierzchniowe nie zawsze są wystarczające dla ustabilizowania masywu gruntowego. Ponadto skuteczne ich działanie wymaga umocowania tych elementów w taki sposób, aby nie zsunęły się wraz z opadającym gruntem (lub skałami). Do rozwiązania tego problemu stosuje się elementy kotwiące, zwane kotwami skalnymi lub gwoździami gruntowymi. O tym, które określenie jest adekwatne, decyduje charakter pracy zastosowanego elementu. Obecnie stosowanych jest wiele rodzajów gwoździ (kotew) proponowanych przez liczne firmy, a różniących się od siebie szczegółami konstrukcyjnymi i technologią wykonania. Na rycinach 12 i 13 przedstawiono jeden z rozpowszechnionych systemów [11, 13, 14] – Titan. Wysokiej jakości materiał i solidna konstruk-

cja elementu kotwiącego zapewnia dużą skuteczność i trwałość tego rozwiązania. Montowane z trzymetrowych odcinków kotwy o różnych średnicach mogą osiągać, w zależności od potrzeb, praktycznie dowolne długości.



Ryc. 12. System Titan zastosowany do konstrukcji oporowych



Ryc. 13. Kotwy Titan stabilizujące obiekty drogowe



Ryc. 14. Montaż gwoździ gruntowych dla zabezpieczenia zbocza

Na rycinie 14 pokazano fragment prac zabezpieczających – przy użyciu gwoździ gruntowych – zagrożonego procesem osuwiskowym zbocza.

Odmianą opisanego rozwiązania są kotwy ślimakowe Chance [17] (ryc. 15). Lekkie i proste w montażu mogą być stosowane w różnych rozmiarach. Wokół centralnej żerdzi są zamontowane spiralne ostrza trące (nośne) w liczbie od dwóch

do czterech. Umożliwiają one wkręcanie kotwy w grunt, jak również stawiają opór siłom wyrwającym. Poziome rozmieszczenie kotew blisko siebie wpływa na wzmocnienie gruntu. Po wprowadzeniu kotew do gruntu można zastosować jedną z metod stabilizacji powierzchniowych (torkret, siatki stalowe itp.).



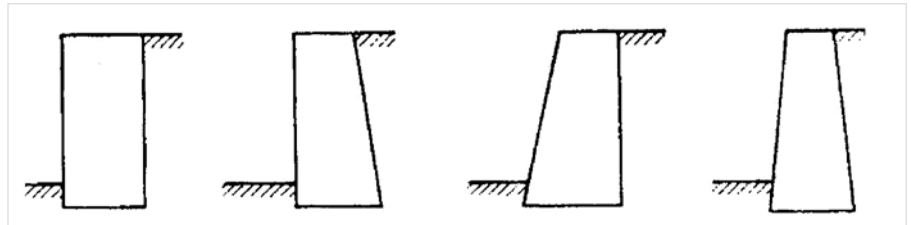
Ryc. 15. System kotew ślimakowych Chance

### 1.7. Pale

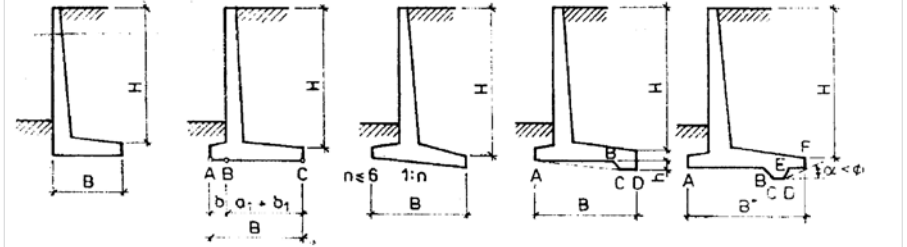
Pale są jednymi z najczęściej stosowanych elementów konstrukcyjnych w rozwiązywaniu problemów geotechnicznych, praktycznie w każdym rodzaju i zakresie prac budowlanych. Tak więc stosuje się je do przenoszenia obciążeń od obiektów kubaturowych wszelkiego przeznaczenia, budowli hydrotechnicznych i przemysłowych, obiektów komunikacyjnych (w tym liniowych), a także do wzmocnienia masywu gruntowego dla mobilizacji w nim sił stabilizujących, przeciwstawiających się procesom osuwiskowym [4, 15]. Schemat grupy pali spełniających te założenia przedstawia rycina 16.

### 1.8. Konstrukcje oporowe

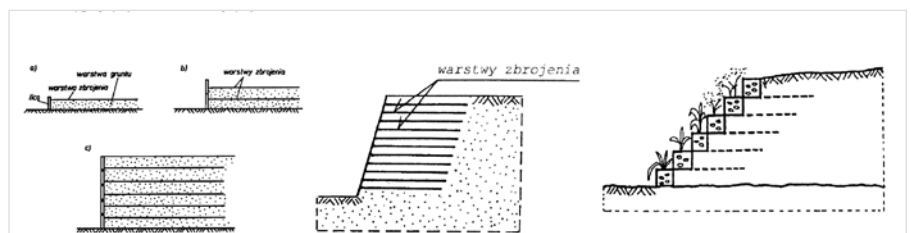
Klasyczne konstrukcje oporowe są wykonywane z różnych materiałów budowlanych, takich jak kamień, cegła, drewno i najbardziej rozpowszechniony beton (żelbet). Celem tych konstrukcji jest podparcie masywu gruntowego (lub innego materiału rozdrobnionego) dla zapewnienia mu stateczności, którą może utracić z uwagi na ukształtowanie lub niekorzystne właściwości mechaniczne stabilizowanego ośrodka. Stąd też naturalna wydaje się możliwość wykorzystania tych konstrukcji do stabilizacji mas gruntowych na terenach zagrożonych zja-



Ryc. 17. Ściany oporowe masywne



Ryc. 18. Ściany oporowe płytowo-kątowe

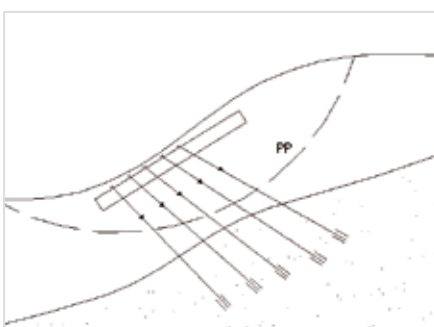


Ryc. 19. Zabezpieczanie skarpy konstrukcją oporową z gruntu zbrojonego

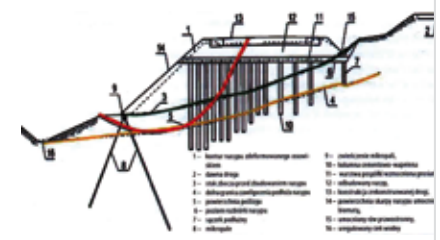
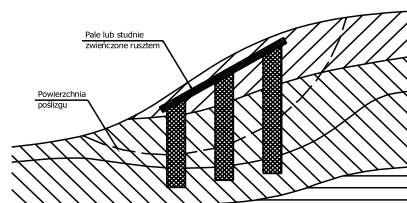
wiskami osuwiskowymi. Różnorodność rozwiązań jest tu ogromna i przekracza ramy opracowania. Na rycinach 17 i 18 podano kilka przykładów ukształtowania przekroju poprzecznego klasycznych ścian oporowych [1, 2, 6].

Obecnie są szeroko stosowane współczesne rozwiązania w konstrukcjach oporowych. Wykorzystuje się w nich jako materiał podstawowy budowlany grunt naturalny lub materiały gruntopodobne

(odpady poprodukcyjne, żużle itp.). Do tych materiałów wprowadza się elementy metalowe, z tworzyw sztucznych lub inne, formując je w konstrukcje oporowe z gruntu zbrojonego. Stanowią one skuteczne rozwiązanie dla zabezpieczenia stateczności skarp i zboczy, a jednym z ich podstawowych walorów jest zbliżona do naturalnego środowiska gruntowego struktura. Schemat konstrukcji oporowej z gruntu zbrojonego przedstawia rycina 19.



Ryc. 16. Pale stabilizujące zbocze zagrożone zjawiskami osuwiskowymi





Ryc. 20. Zabezpieczenie skarpy metodą hydroobsiewu

Charakterystycznym elementem tej technologii jest układanie na przemian warstw gruntu i zbrojenia. Powstaje w ten sposób, na ogół dwuskładnikowa, regularna struktura periodyczna, mająca zdolność przenoszenia znaczących obciążeń rozciągających i ścinających.

### 1.9. Zabezpieczenie zboczy metodami naturalnymi

Hydroobsiew jest działaniem wzorowanym na naturalnym zjawisku rozprzestrzeniania się nasion roślin w przyrodzie. Jednym z oczywistych faktów jest to, że korzenie roślin wytwarzają w gruncie strukturę mniej lub bardziej regularnej sieci, umożliwiającej przeniesienie przez grunt znacznych obciążeń rozciągających i ścinających.

Przyroda podsuwa człowiekowi pomysły działań mających na celu przystosowanie środowiska gruntowego do przenoszenia znaczących obciążeń, wynikających z zagospodarowania i użytkowania terenu. Obciążenia takie nie są na ogół możliwe do przeniesienia przez grunt naturalny z uwagi na jego podstawowe cechy fizyczne: nieciągłość i rozdrobnienie. Stąd też godna uwagi i polecenia jest koncepcja hydroobsiewu jako metody zabezpieczania zboczy (ryc. 20) [8]. Inne rozwiązania umocnienia zboczy konstrukcjami biotechnicznymi są omówione w pracy [12].

### 2. Podsumowanie

Omawiany problem konstrukcyjnego zabezpieczania masywów gruntowych w terenach zagrożonych zjawiskami osuwiskowymi jest bardzo obszerny. Składa się na to wiele czynników, a niektóre z nich to:

- losowość zjawisk osuwiskowych mająca źródło w naturalnych uwarunkowaniach, takich jak np. budowa geologiczna terenu, warunki hydrogeologiczne, czynniki klimatyczne;
- kwestie społeczne związane z zagospodarowaniem i użytkowaniem terenów, mające korzenie m.in. w tradycjach regionalnych i kulturowych;

- uwarunkowania ekonomiczne związane z możliwością finansowania niejednokrotnie dużych przedsięwzięć zwiększających bezpieczeństwo użytkowania terenów zagrożonych zjawiskami osuwiskowymi;
- możliwości wykorzystania środków technicznych i nowoczesnych technologii w warunkach miejscowych.

To nie wszystkie aspekty tego zagadnienia, ale i one uwidaczniają ogrom problemów związanych z osuwiskami, z których został podjęty zaledwie fragment jednego z nich – konstrukcyjnego zabezpieczenia terenów osuwiskowych.

### Literatura

- [1] Dembicki E. et al.: *Fundamentowanie*. Wydawnictwo Arkady. Warszawa 1987.
- [2] Furtak K., Sala A.: *Stabilizacja osuwisk komunikacyjnych metodami konstrukcyjnymi*. „Geoinżynieria. Drogi, Mosty, Tunele” 2005, nr 3, s. 12–22.
- [3] Gaszyńska-Freiwald G.: *The Influence of Clay-Slates Texture of the Carpathian Flysch on the Parameters of Deformation. Soil Parameters from in situ and Laboratory Tests. Monograph*. Poznań 2010.
- [4] Gaszyński J., Poślajko M.: *Stabilization of the Landslides Along the National Roads*. In: Proc. of the 17<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Millpress Science Pub Aleksandria 2009. Poznań 2010.
- [5] Grzywacz W.: *Informacja o skali zagrożenia osuwiskami dróg krajowych na terenie Małopolski*. „Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie” 2009, nr 88.
- [6] Jarominiak A.: *Lekkie konstrukcje oporowe*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 1999.
- [7] Kania M.: *Analiza warunków stateczności budowli w sąsiedztwie zbocza przy różnych efektywnych głęboko-*

ściach posadowienia. „Geoinżynieria. Drogi, Mosty, Tunele” 2007, nr 3.

- [8] Kessler A., Trzpis B.: *Wykorzystanie systemów geokomórkowych w rozwiązaniach konstrukcyjnych zabezpieczeń osuwisk*. „Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie” 2009, nr 88.
- [9] Kołodziejczyk S.: *Stabilizacja skarpy i nasypów drogowych*. „Geoinżynieria. Drogi, Mosty, Tunele” 2008, nr 2.
- [10] Kowalski W.C.: *Geologia inżynierska*. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa 1988.
- [11] Mrozik M., Sierant J.: *Zalety gwoździowania skarpy w połączeniu z oblicowaniem elastycznym, na przykładzie dużych inwestycji drogowych – obwodnicy miejscowości Lubień w ciągu drogi S7 oraz obwodnicy Grodzka Śląskiego w ciągu drogi S1*. „Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie” 2009, nr 88.
- [12] Pisarczyk S.: *Geoinżynieria. Metody modyfikacji podłoża gruntowego*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2005.
- [13] Sierant J.: *Wielkie możliwości małych pali*. „Geoinżynieria. Drogi, Mosty, Tunele” 2008, nr 4.
- [14] Sołtysik R.: *Zabezpieczanie skarpy i korpusów drogowych w rejonach osuwiskowych przy pomocy palisad z pali DFF kotwionych mikropalami TITAN*. „Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie” 2009, nr 88.
- [15] Trojnar K.: *Jak eliminować osuwiska drogowe? – cz. 1. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2009, nr 5 (26), s. 66–68; Jak eliminować osuwiska drogowe? – cz. 2. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2009, nr 6 (27), s. 66–69.*
- [16] Wójcik A., Mrozek T.: *Osuwisko i jego elementy jako zagrożenia dla infrastruktury komunikacyjnej czyli coś, o czym wszyscy wiemy*. „Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie” 2009, nr 88.
- [17] Żak M.: *Podtrzymując świat*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2010, nr 1 (28), s. 62–65.
- [18] *Instrukcja badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych*. GDDKiA. Warszawa 1998.