

# Stabilizacja skarp i ochrona przed erozją w ramach jednej operacji

tekst: **Dipl.-Geol. EBERHARD GRÖNER, Dipl.-Ing. ARMIN RODUNER**, Geobrugg AG, Romanshorn, Szwajcaria  
zdjęcia: **GEOBRUGG AG**

Dla długotrwałej stabilizacji naturalnych skarp i nowych wierceń w luźnej skale niezwykle ważne jest skuteczne odnowienie szaty roślinnej. W połączeniu z hydrosiewem lub suchym obsiewem bardzo skuteczne są tzw. trójwymiarowe maty antyerozyjne, wykonane z polipropylenu.

Z jednej strony budowa 3D zmniejsza energię uderzenia kropli deszczu, a z drugiej zmniejsza się w ten sposób siła oporu odprowadzanej wody. Ponadto cząsteczki gleby oraz substancje organiczne, takie jak nieduże korzenie, gałęzie i liście, można zatrzymać w strukturze pętli, poprawiając w ten sposób dostarczanie naturalnych składników odżywczych. W celu zmniejszenia ujemnego wpływu nagrzewania przez promieniowanie słoneczne, które występuje, gdy stosowane są czarne wersje kolorystyczne, dostępne są systemy, w których kolor jest dopasowany do gleby, co powoduje mniejsze nagrzewanie, a zarazem lepsze odnowienie szaty roślinnej.

Geowłókniny, które znajdują zastosowanie przy nasadzeniach, mają zwykle niewielką wytrzymałość i dlatego są skuteczne wyłącznie na zboczach o małym kącie nachylenia albo w połączeniu z takimi rozwiązaniami służącymi do stabilizacji, jak siatka z drutu.

W ciągu ostatnich 15 lat ugruntowała się na rynku pozycja siatek do stabilizacji skarp, wykonanych z drutu stalowego o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie, w połączeniu z gwoździowaniem gruntu. Siatki tego rodzaju mogą przenosić większe siły i dzięki bardzo wysokiej odporności na przebicie lepiej się nadają do utrzymania obciążenia w obszarze gwoździowania. Ich wymiarowanie do stabilizacji powierzchniowych niestabilności można wykonać za pomocą oprogramowania do projektowania, zgodnie z koncepcją Ruvolum®.

Dla zwiększenia zakresu zastosowania opisanych powyżej mat antyerozyjnych zostały one połączone w procesie produkcji z lekką siatką, wykonaną z drutu stalowego o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie dla zwiększenia nośności do 53 kN/m. Są one zasadniczo stosowane jako ochrona przed osuwaniem się podłoża i (lub) pomoc w zazielenieniu bez gwoździowania gruntu. Zdobyte doświadczenie zostało teraz wykorzystane do stworzenia produktu, który łączy w sobie zalety siatki stalowej o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie oraz maty antyerozyjnej. Gwoździowanie utrzymuje obciążenia o wartości 150 kN/m i odporności na przebicie 180 kN przy zastosowaniu systemu uchwytów mocujących.

Poniżej przedstawiamy obszary zastosowania obu systemów. Obecnie możliwe jest wydajne zabezpieczenie stromych skarp ziemnych w połączeniu z systemem gwoździowania gruntu oraz odnowieniem szaty roślinnej.



Ryc. 1. Równomiernie wyprofilowana skarpa w luźnej skale ze ściśle przylegającą matą zabezpieczającą przed erozją

## 1. Metody stabilizacji skarp

Budowa czy rozbudowa infrastruktury, np. dróg, linii kolejowych i budynków, wymaga wielu nowych wierceń i zwiększenia kąta nachylenia skarp w sypkim gruncie i skałach (ryc. 2). W idealnej sytuacji zbocza powinny mieć mały kąt nachylenia, aby uniknąć pogorszenia stabilności. Jeżeli jest to możliwe, proste metody pomocne w odnowieniu szaty roślinnej, takie jak maty antyerozyjne, są zwykle wystarczające, by ochronić podłoże przed wymyciem. Mają one jednak niewielką wytrzymałość i szybko zaczynają się odkształcać w przypadku zabezpieczania bardziej stromych skarp lub wystąpienia problemów na powierzchni bądź nawet ogólnych problemów ze stabilnością (ryc. 3).



Ryc. 2. Miejscowe osuwanie się zbocza na terenie obiektu sportowego



Ryc. 3. Osuwanie się skarpy, której zbocze jest nachylone pod kątem ok. 25°, zabezpieczonego geowłókniną lub matą antyerozyjną w celu odnowienia szaty roślinnej bez gwoździowania

### 1.1. Wsparcie procesu odnowienia szaty roślinnej za pomocą mat antyerozyjnych

W celu stworzenia długotrwałej stabilizacji skarp konieczna jest skuteczna i funkcjonalna warstwa roślinności [1, 2]. Świeżo ukształtowane zbocza, złożone w większości z luźnych skał, posiadają zwykle mało składników odżywczych z powodu usunięcia poziomego próchnicznego [3]. Ponieważ usuwana jest warstwa roślinności, brakuje korzeni i naturalnych depozytów nasion.

W zasadzie należy ograniczyć lub kontrolować erozję zewnętrzną. Czyniąc to, trzeba rozróżnić erozję pierwotną, wywołaną przez tzw. efekt kropli, od erozji wtórnej, spowodowanej



Ryc. 4. Kanaly erozji wywołane efektem płynięcia odprowadzanej wody, które powodują wyplukiwanie gleby i zmniejszają bądź nawet uniemożliwiają wzrost roślin

przez efekt płynięcia (ryc. 4). Mata zabezpieczająca przed erozją powinna minimalizować energię uderzenia kropli i zatrzymywać cząsteczki gleby w odprowadzanej wodzie [4].

Dostępne są różne maty antyerozyjne i geowłókniny, których zadaniem jest wspieranie procesu odnowienia szaty roślinnej na zboczach o luźnej skale (norma SN 640 550 [5]). Zasadniczo istnieją dwa różne materiały wyjściowe: geowłókniny syntetyczne, np. wykonane z polipropylenu, oraz naturalne geowłókniny, wykonane z materiałów organicznych, np. włókna juty lub kokosowe. Organiczne produkty naturalne można stosować w przypadku bardziej płaskich zboczy. Ich zaletą jest, że gromadzą trochę wody i uwalniają składniki odżywcze podczas rozkładu, wspomagając w ten sposób wzrost roślin. Na bardziej stromych zboczach to jednak produkty syntetyczne sprawdzają się lepiej z powodu niskiej masy, która zmienia się tylko wtedy, gdy nasiąka wodą. Wyroby syntetyczne również pozostają dłużej odporne w porównaniu z wyrobami organicznymi.

### 1.2. Elastyczne systemy stabilizacji skarp za pomocą siatki stalowej

Elastyczne systemy stabilizacji skarp, wykonane ze stalowej siatki, w połączeniu z systemem gwoździowania gruntu są obecnie szeroko stosowane w celu zabezpieczenia stromych skarp o luźnym gruncie i odłamkach skalnych. Systemy te są bardzo skuteczne, o ile zostały prawidłowo zastosowane (ryc. 5). Z powodu braku podstawowych uregulowań, np. norm i dyrektyw, często nie są stawiane żadne albo niewystarczające wymagania w zakresie systemów zabezpieczeń, a sprawdzenie stabilności jest niejednokrotnie zaniedbywane.

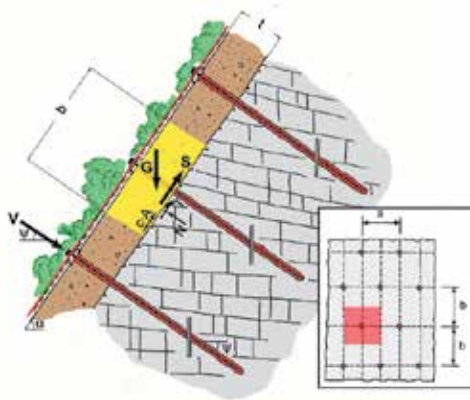
Skutkiem tego jest, że dostawcy oferują i instalują systemy, które nie są przystosowane do miejscowych warunków statycznych lub z użyciem komponentów niepasujących do siebie nawzajem. Oznacza to, że systemy mogą okazać się zawodne i potencjalnie skutkować utratą życia w wyniku zerwania materiału oraz drastycznych poziomów niestabilności. Odporność systemu jako całości oraz jego poszczególnych elementów (siatek i mocowań) na przeniesienie obciążenia musi być znana w celu zastosowania odpowiednich modeli wymiarowania dla koniecznego sprawdzenia stabilności [6, 7].



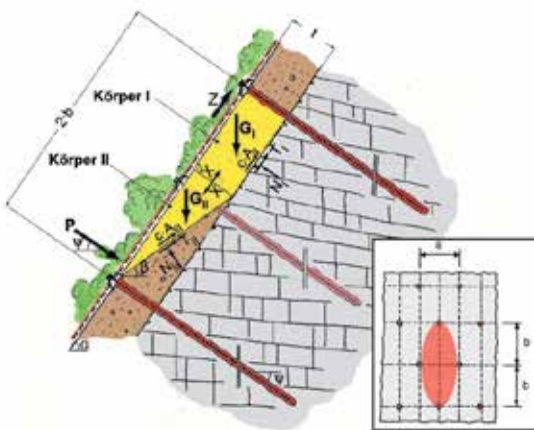
Ryc. 5. Stabilizacja skarp za pomocą siatki stalowej o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie i maty antyerozyjnej (system Tecco® G65/3)

### 1.3. Wymiarowanie dla zapobieżenia niestabilności powierzchniowej

Niestabilność powierzchniową można mierzyć zgodnie z koncepcją wymiarowania Ruvolum®. Jest ona uniwersalna i można ją stosować do wymiarowania w systemach zabezpieczeń przed niestabilnością powierzchniową w luźnym gruncie oraz na zboczach o mocno obłuzowanych skałach. Odporność na przeniesienie obciążenia stanowi podstawę wymiarowania; jest ona ustalana w warunkach rzeczywistych, w powtarzalnych testach. Rüegger opisał szczegółowo koncepcję wymiarowania Ruvolum® w [1, 6]. Koncepcja ta obejmuje analizę niestabilności powierzchniowych równoległych do zbocza (ryc. 6), a także badanie miejscowych niestabilności pomiędzy poszczególnymi gwoździami (ryc. 7).



Ryc. 6. Powierzchnowe niestabilności równoległe do zbocza



Ryc. 7. Miejscowe niestabilności pomiędzy poszczególnymi gwoździami

Można również wziąć pod uwagę wpływ nadmiernego ciśnienia hydrostatycznego, ciśnienia sphywu i sił sejsmicznych. Oprogramowanie jest dostępne online pod adresem: [www.geobrugg.com](http://www.geobrugg.com) (zakładka myGeobrugg).

## 2. Ocena maty antyerozyjnej

Badania wstępne prowadzono w 2000 r. w celu dokonania oceny odpowiedniej maty zabezpieczającej przed erozją na bardziej stromych zboczach w połączeniu z siatką stalową o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie. Rozszerzono je w 2003 r. o matę antyerozyjną, oferującą szeroki wachlarz zastosowań. We współpracy z firmą inżynierską Rüegger Flum zostały sformułowane następujące wymagania:

- dobra przepuszczalność dzięki zraszaniu, aby możliwie jak najwięcej mokrych i suchych nasion dostało się na podłoże;
- duża łatwość dopasowania do gruntu;
- niska masa powierzchni, nawet z dostępem wody;
- dobre przyleganie maty do podłoża – małe ryzyko ześlizgnięcia;
- duża zdolność do zatrzymywania wody w cząsteczkach gleby, materii organicznej i nasionach;
- dopasowanie kolorystyczne dla uzyskania naturalnego wyglądu – mniejsze nagrzewanie.

Podczas prób prowadzonych w 2000 r. różne maty zabezpieczające przed erozją zostały użyte na obszarach testowych w Valais w Szwajcarii.

Zastosowane były następujące warianty (ryc. 8):

- obszar I – trójwymiarowa mata antyerozyjna, bardzo gęsta, trójwarstwowa, wykonana z czarnego polipropylenu.
- obszar II – trójwymiarowa mata pofałdowana, zabezpieczająca przed erozją, wykonana z czarnego polipropylenu;
- obszar III – dwuwymiarowa płaska geosiatka, wykonana z czarnego polipropylenu.



Ryc. 8. Obszary testowe w celu dokonania oceny maty zabezpieczającej przed erozją

Obszar testowy zwrócony na południowy zachód, w odosobnionym miejscu, o ekstremalnych zmianach warunków: sucho – wilgotno.

Proces odnowienia szaty roślinnej był prowadzony w formie suchego obsiewu. Najlepsze rezultaty uzyskano na trójwymiarowej macie pofałdowanej na obszarze II. Zakłada się, że zdolność do zatrzymania wody przez dwuwymiarową płaską matę zabezpieczającą przed erozją, taką jak zastosowano w obszarze III, jest zbyt mała dla cząsteczek gleby i nasion. W przypadku obszaru I stwierdzono, że czarne powierzchnie powodują większe nagrzewanie zbocza, co doprowadziło do szybkiego wysuszenia nasion lub spowodowało, że w ogóle nie zakiełkowały.

Wyciągając wnioski z poprzednich testów, w 2003 r. przeprowadzono badania polowe z użyciem geomaty trójwymiarowej. Celem była analiza zdolności do zatrzymania wody w macie, jej przyleganie do podłoża i stopień, w jakim może nasiąknąć przy zraszaniu. Krótka lista obejmowała matę antyerozyjną o grubości 18 mm, wykonaną z wytłaczanych włókien (monofilamentów), o masie powierzchniowej 600 g/m<sup>2</sup>. Proporcja wgłębień wynosi > 95%. Rycina 8 przedstawia obszary testowe (Bischofszell, Szwajcaria).

Jak opisano powyżej, maty antyerozyjne (geomaty) zostały umieszczone skrajnie po prawej stronie. Pozostałe pola



Ryc. 9. Obszary testowe i ramy do testów w czasie siania



Ryc. 10. Obszar testowy ok. 10 tygodni po wykonaniu hydrosiewu oraz po obfitym deszczu. Po lewej stronie powierzchnia kontrolna bez maty zabezpieczającej przed erozją z mniej niż 10-procentowym efektem zazielenienia. Po prawej obszar z geomatą i efektem zazielenienia powyżej 90%



Ryc. 11. Mata antyerozyjna Tecmat w połączeniu z siatką z drutu stalowego o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie Tecco® G65/3 na obszarze gwoździowania gruntu

stanowią powierzchnie kontrolne, bez mat zabezpieczających przed erozją i podobnych produktów wykonanych z polipropylenu. Aby stwierdzić, jaka jest przepuszczalność, zastosowano drewniane ramy o powierzchni 1 m<sup>2</sup>. Można je zobaczyć przy dolnej krawędzi zdjęcia.

W Verdyol (Szwajcaria) wysiano nasiona na obszarze testowym za pomocą hydrosiewu. W tym procesie wodę miesza się z nasionami, ściółką i spoiwem na bazie alg. Ściółka jest tzw. ściółką eksportową, wykonaną z pustych włókien o długości < 4 mm. Około cztery tygodnie po wysiewie nasion spadł obfity deszcz nad obszarem testowym, co spowodowało osuwiska powierzchniowe na zboczu. Kolejne sześć tygodni później w badaniu obszaru ujawniono, że na obszarze kontrolnym pozostało 10% wysianych nasion. Stwierdzono naocznie niewielki przyrost roślin.

Ponad 90% powierzchni tego obszaru z geomatą, o nachyleniu 30–45°, pokrywała warstwa roślinności (ryc. 10).

Po uwzględnieniu tych wyników w 2004 r. matę antyerozyjną wprowadzono na rynek pod nazwą handlową Tecmat. Ma następującą charakterystykę (ryc. 11):

- wyfalczone monofilamenty wykonane z polipropylenu o nieregularnej strukturze pętli,
- grubość: 18 mm,
- masa powierzchniowa: 600 g/m<sup>2</sup>,
- proporcja zagłębień: > 95%,
- kolor: zielone curry.

### 3. Przykłady zastosowania

#### 3.1. Miraflores, Panama

Stabilizacja skarpy z użyciem systemu Tecco® G65/3 na skalistej skarpie – matę antyerozyjną Tecmat można łatwo dopasować do każdego rodzaju podłoża. Kształt pofałdowań pokazuje, że niektóre obszary są bardzo nieregularne (ryc. 12). Dzięki dobrym warunkom do wzrostu sąsiednie obszary są soczyście zielone. Wstępne oznaki istnienia roślinności pojawiły się również w zabezpieczanym obszarze.

#### 3.2. Remscheid, Niemcy

Zabezpieczenie zwietrzałej formacji skalnej za pomocą systemu Tecco® G65/3 po osunięciu ziemi. Warunki do wzrostu są dobre, jak widać na zboczu. Skarpa jest stosunkowo równa. Trudno jest zamocować matę na twardym podłożu i dlatego w Tecmat zdarzają się niewielkie przesunięcia.

#### 3.3. Dorndorf, Niemcy

Równomiernie wyprofilowana skarpa luźnej skały. Krótkie odcinki zostały wykopane w pobliżu gwoździ w celu ustabilizowania siatki stalowej o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie Tecco® G65/3. Mata antyerozyjna może być dobrze dopasowana do skarpy – ściśle przylegająca, z małą liczbą zagłębień pod matą zabezpieczającą przed erozją (ryc. 1).

Powyższe przykłady pokazują, że można z dużym powodzeniem zastosować połączenie mat zabezpieczających przed erozją z siatką stalową o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie. Na zboczach o nieregularnych profilach (np. punkty 3.1 i 3.2) okazało się, że mata antyerozyjna nie zawsze leży równo na skarpie. Dlatego ważne jest przy hydrozasiewie, aby na matę wstrzyknąć ściółkę eksportową (długość włókien < 4 mm). Z powodu niższej zdolności pochłaniania wody przez maty syntetyczne są one mniej podatne na ześlizgiwanie pod obciążeniem. W zależności od warunków podłoża trudno jest zamocować matę. Przykład opisany w pkt. 3.3 pokazuje dobre przyleganie do podłoża. Mata nie będzie się przesuwać nawet przy obciążeniu. Pomimo to musi być odpowiednia do zraszania w procesie zasiewu.

### 4. Strukturalne wzmocnienie geowłóknin za pomocą siatki wykonanej z drutu stalowego o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie

Było oczywiste, że system można zoptymalizować dzięki połączeniu mat antyerozyjnych i siatek metalowych z drutu stalowego o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie. Po pierwsze, mata zabezpieczająca przed erozją jest strukturalnie wzmocniona. Umożliwia to skuteczniejsze zamocowanie, przeciwdziałając ślizganiu. Po drugie,



Ryc. 12. Zabezpieczona skalista skarpa w Miraflores w Panamie. Matę zabezpieczającą przed erozją i siatkę mogły się łatwo dopasować do nieregularnego zbrocza



Ryc. 13. Zabezpieczenie wyciętego zbocza po osunięciu ziemi w zwietrzalej skale

jest o wiele łatwiejszy montaż – matę antyerozyjną i siatkę stalową o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie można zastosować na zboczu podczas jednorazowej operacji.

Testy wstępne w zakresie produktu standardowego przeprowadzono w 2012 r. z użyciem plecionej siatki o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie Deltax® G80/2. Wewnętrzna średnica siatki wynosi 80 mm, a drut ma grubość 2 mm. Jego nośność to 53 kN/m'. Jest często stosowana bez gwoździowania jako zasłona, nawet na stromych zboczach, gdzie najczęściej są tylko małe kamienie. Wzmocnienie maty antyerozyjnej zapewnia wystarczające wsparcie, powodując utrzymanie małych kamieni w miejscu. Niektóre systemy są również stosowane z gwoździowaniem gruntu. Jak opisano w rozdziale 3, matę antyerozyjną nie może unieść obciążenia we wszystkich zastosowaniach bez szkód. Poszczególne kanały pod siatką mają się przesuwac w liniach spadku, szczególnie jeżeli matę trudno przymocować. Aby umożliwić odpowiednie zamocowanie na zboczach narażonych na osuwiska powierzchniowe lub w przypadku ogólnych problemów ze stabilnością, konieczne było wypróbowanie i wzmocnienie maty antyerozyjnej siatką stalową o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie Tecco® G65/3 (ryc. 14). Wewnętrzna średnica siatki wynosi 65 mm, a drut ma grubość 3 mm. Jej nośność wynosi 150 kN/m', a odporność na przebicie 180 kN w systemie uchwytów mocujących, gdzie długość krawędzi wynosi 33 x 20 cm. Rycina 14 pokazuje, że ważny jest wybór włókien ściółki. Długie włókna nie są w stanie wystarczająco penetrować maty zabezpieczającej przed erozją.

## 5. Wnioski i perspektywy na przyszłość

W zasadzie najlepsze są organiczne maty zabezpieczające przed erozją, które są naturalnie biodegradowalne. Jednak granica ich użyteczności kończy się na zastosowaniu na bardziej stromych zboczach. Zaletą trójwymiarowych geomat, np. wykonanych z polipropylenu, jest to, że ważą mniej i charakteryzują się dużą zdolnością do zatrzymywania wody. Dopasowane pod względem koloru, lżejsze maty antyerozyjne mniej się nagrzewają i przynoszą lepsze rezultaty przy odnawianiu szaty roślinnej, oprócz tego, że są mniej widoczne.

Strukturalne wzmocnienie geowłókniny za pomocą siatek stalowych o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie, które są

Ryc. 14. Tecco® Green po hydrosiewie



używane jako maty antyerozyjne, zwiększa ich zakres użycia dzięki podwyższonej nośności.

Niestabilności powierzchniowe można zabezpieczyć do głębokości 2 m za pomocą siatek stalowych o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie, których minimalna odporność na przebicie wynosi 180 kN. Można je niezawodnie zaprojektować, zgodnie z koncepcją Ruvolum®. Ogólne niestabilności można również zabezpieczyć, jeżeli są odpowiednio zwymiarowane.

Ponadto analizowano zakres, w jakim własności geomat syntetycznych można połączyć z własnościami mat organicznych. Jednym z wariantów jest bezpośrednie przymocowanie mat i wzmocnienie ich za pomocą włókien kokosowych, z juty lub wełny drzewnej. Rozwój naturalnych geomat na bazie papieru to kolejna możliwość. Zazielenienie skarp jest z pewnością bardzo skomplikowanym tematem i zależy od wielu czynników.

## Literatura

- [1] Rügger R., Weingart K., Bickel M.: *Flexible Oberflächensicherungssysteme aus hochfesten Drahtgeflechten in Kombination mit Boden- und Felsnägeln. 3 Fallbeispiele*. Technische Akademie Esslingen. Beitrag für 3. Kolloquium Bauen in Boden und Fels. Esslingen 2004.
- [2] Rügger R., Eberle T.: *Stützkonstruktionen aus bewehrter Erde: Richtlinie für Planung, Bemessung, Ausschreibung, Ausführung, Überwachung und Unterhalt*. Aarau: Departement Bau, Verkehr Umwelt, Abt. Tiefbau. Aarau 2006.
- [3] Bosshard A., Mayer P., Mosimann A.: *Leitfaden für Naturgemässe Begrünungen in der Schweiz*. Ö+L Ökologie und Landschaft GmbH, 2013.
- [4] Rügger R., Flum D.: *Anforderungen an flexible Böschungsstabilisierungssysteme bei der Anwendung in Boden und Fels*. Österreichische Geologische Gesellschaft. Salzburg 2006.
- [5] SN-Norm 640 550. *Geotextilien und die Prüfvorschriften nach VSS/SVG*. Geotextilhandbuch, 2003.
- [6] Rügger R., Flum D., Haller B.: *Hochfeste Geflechte aus Stahldraht für die Oberflächensicherung in Kombination mit Vernagelungen und Verankerungen (Ausführliche Bemessungshinweise)*. Technische Akademie Esslingen. Beitrag für 2. Kolloquium Bauen in Boden und Fels. Esslingen 2002.
- [7] Flum D., Strolz M., Roduner A.: *Grossfeldversuche mit flexiblen Böschungsstabilisierungssystemen*. Technische Akademie Esslingen. Beitrag für 9. Kolloquium Bauen in Boden und Fels. Esslingen 2014.
- [8] Rügger R.: *Die Hauptaufgaben der Geotextilien: theoretische Ansätze und Dimensionierungskriterien*. „Schweizer Ingenieur und Architekt“ 1986, Bd. 104, Heft 40.

Przeczytaj więcej na [www.geobrugg.com](http://www.geobrugg.com)

