

Vjekoslav Budimir, ing. građ.  
Armin Roduner, B. Sc. Civ. Eng.

# KONSTRUKCIJSKO OJAČANJE GEOTEKSTILA ŽIČANIM PLETENIM MREŽAMA OD ČELIKA VISOKE ČVRSTOĆE

## 1. Uvod

Izgradnja i proširenje infrastrukturnih objekata poput željezničkih pruga, cestovnih prometnica i zgrada zahtijevaju izvođenje novih usjeka i strmina u nestabilnome tlu i stijenama (slika 1.). U idealnim uvjetima pokosi ne bi trebali imati oštri pad radi izbjegavanja narušavanja stabilnosti. Ako se to može postići, uzgoj nove vegetacije geopletivom za kontrolu erozije obično će učinkovito spriječiti pojavu erozije. Međutim, takva geopletiva imaju malu snagu i brzo se deformiraju u slučaju potrebe za osiguranjem strmih pokosa te kod površinskih ili dubinskih problema sa stabilnošću tla (slika 2.).

### 1.1. Uzgoj nove vegetacije geopletivom za kontrolu erozije

U svrhu dugoročne stabilizacije strmih stjenovitih pokosa, rast učinkovitog i funkcionalnog sloja vegetacije mora se poticati i osigurati na odgovarajući način [5], [6]. Novonastali strmi pokosi najvećim dijelom ne obiluju hranjivim tvarima zbog uklanjanja gornjega humosnog sloja zemlje [1]. Zbog nedostatka humosnog sloja vegetacija nema dovoljnu klijavost ni dubinu korijenja.

U načelu se površinska erozija mora smanjiti ili držati pod kontrolom. Pritom treba razlikovati primarnu eroziju nastalu tzv. efektom kišnih kapi od sekundarne erozije koju izazivaju bujice (slika 3.). Uloga geopletiva za zaštitu od erozije jest minimiziranje energije udara kišnih kapi i zadržavanje zrnaca zemlje u erodivnim vodama [6].

Za poticanje rasta vegetacije na nestabilnim stjenovitim padinama na raspolaganju su razni geokompoziti i geotekstili za kontrolu erozije [8]. Općenito, koriste se dva osnovna materijala, i to sintetički geotekstili, naprimjer oni izrađeni od polipropilena, te prirodni geotekstili izrađeni od jute ili kokosovih vlakana. Organski prirodni proizvodi mogu se koristiti na blažim pokosima. Njihova je prednost to što mogu pohranjivati vodu i otpuštati hranjive tvari kako se razgrađuju te tako poticati rast

biljaka. Na strmijim su pokosima bolji izbor sintetički proizvodi zbog njihove male mase koja se povećava tek kada se natope vodom. Sintetičko rješenje odlikuje se i duljom otpornošću u odnosu na organsku alternativu.



Slika 1. Testno klizište na padini pokraj sportskog terena



Slika 2. Klizište na prirodnoj padini s nagibom od oko 25°, osigurano geotekstilom/geopletivom za kontrolu erozije bez čavljanja



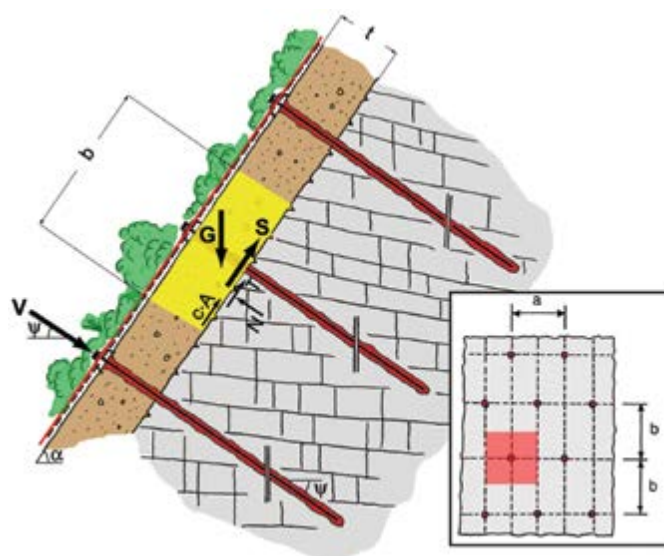
Slika 3. Erozijski kanali nastali pod utjecajem bujica kišnice, čija pojava dovodi do ispiranja zemlje te ograničavanja i/ili sprječavanja rasta biljaka

## 1.2. Sustavi za fleksibilnu stabilizaciju pokosa upotrebom žičanih pletenih mreža

Sustavi za fleksibilnu stabilizaciju pokosa žičanim pletenim mrežama u kombinaciji s čavljanjem tla danas se često koriste za osiguravanje nestabilnih zemljanih i stjenovitih pokosa. Ti su se sustavi pokazali učinkoviti uz uvjet da su bili primijenjeni pravilno (slika 4.). Međutim, zbog nedostatka temeljnih osnova regulative poput standarda i direktiva primjena takvih sustava često nije dovoljno ili uopće regulirana, a podosta se zanemaruje i provjera njihove primjene.



Slika 4. Stabilizacija pokosa žičanom pletenom mrežom od čelika visoke čvrstoće i geopletiva za kontrolu erozije (sustav TECCO® G65/3)



Slika 5. Površinske nestabilnosti paralelne s pokosom

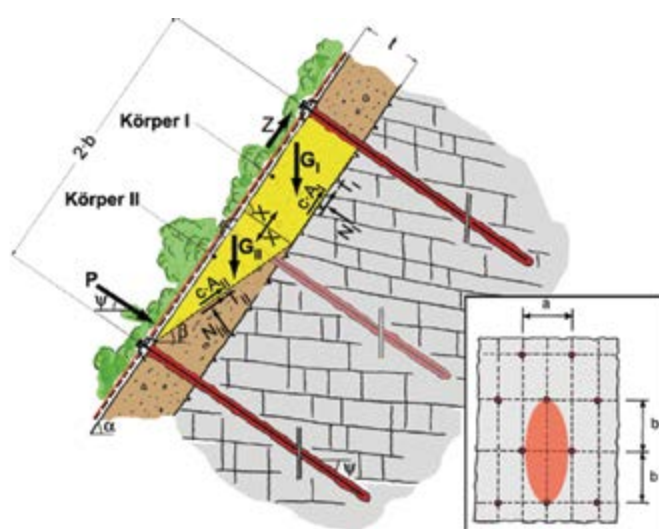
Također, dobavljači često nude i ugrađuju sustave koji nisu prilagođeni lokalnim prilikama u pogledu statike tla ili upotrebljavaju dijelove koji međusobno nisu kompatibilni. Zato se može dogoditi to da zbog oštećenja pojedinih sastavnih dijelova, sustavi uopće ne funkcioniraju ili su pak krajnje nestabilni, što može imati fatalne posljedice. Nosivost cjelokupnog sustava ili njegovih pojedinih dijelova (mreža, spojnica, raznih dodataka) mora biti dobro poznata, tako da se stabilnost projektiranih sustava može bez problema računski provjeriti [2], [4].

## 1.3. Dimenzioniranje radi sprječavanja površinskih nestabilnosti

Površinske nestabilnosti mogu se izmjeriti RUVOLUM® konceptom za projektiranje. Taj je koncept univerzalan i koristi se za dimenzioniranje sustava za osiguranje površinskih nestabilnosti na nestabilnome tlu kod vrlo nestabilnih stjenovitih pokosa.

Nosivost tla temeljni je ulazni podatak za dimenzioniranje, a podaci se dobivaju iz više uzastopnih testova u realnim uvjetima. Rügger je detaljno opisao RUVOLUM® koncept za dimenzioniranje 2002. i 2004. godine. Taj koncept obuhvaća studiju površinskih nestabilnosti paralelnih s pokosom (slika 5.) te istraživanje nestabilnosti između pojedinih sidara (slika 6.).

Utjecaj prevelikoga hidrostatičkog tlaka, tlaka protoka i seizmičkih sila također se može uzeti u obzir. Mrežni softver dostupan je na [www.geobrugg.com](http://www.geobrugg.com) (pod "my-Geobrugg").



Slika 6. Lokalne nestabilnosti između pojedinih sidara



## 2. Evaluacija geopletiva za kontrolu erozije

Početna ispitivanja provedena su 2000. u cilju pronalazjenja prikladnoga geopletiva za zaštitu od erozije na strmim pokosima, koji će djelovati u kombinaciji sa žičanom pletenom mrežom od čelika visoke čvrstoće. Ispitivanja su proširena na geopletiva za kontrolu erozije sa širim područjem primjene.

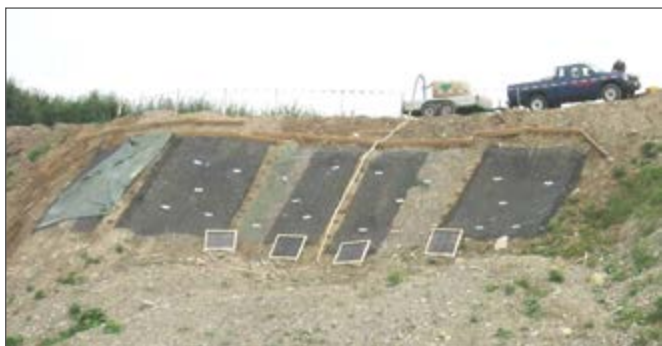
U suradnji s inženjerskom tvrtkom Rüegger Flum utvrđeni su sljedeći zahtjevi:

- dobra propusnost kod posipanja vlažnim i suhim sjemenjem da bi u supstrat dospjelo što više sjemenja
- dobra prilagodljivost tlu
- mala površinska masa čak i prilikom prodiranja vode
- dobro prianjanje geopletiva uz supstrat i nizak rizik od proklizavanja
- dobro zadržavanje zrnaca zemlje, organske tvari i sjemenja
- boja koja nalikuje podlozi uz manje zagrijavanje.

Za navedenih ispitivanja 2000. na testnim poligonima u kantonu Valais, u Švicarskoj postavljena su razna geopletiva za zaštitu od erozije. Ispitane su sljedeće varijante geopletiva (slika 7.):



**Slika 7. Testni poligon za evaluaciju geopletiva za zaštitu od erozije (testni poligon okrenut je prema jugozapadu te se nalazi na rijetko naseljenom području koje je izloženo ekstremnim promjenama vremena)**



**Slika 8. Testni poligon s okvirima u vrijeme sjetve**

- Segment I.: trodimenzionalno, vrlo gusto, troslojno geopletivo izrađeno od crnog polipropilena
- Segment II.: trodimenzionalno valovito geopletivo za zaštitu od erozije izrađeno od crnog polipropilena
- Segment III.: dvodimenzionalna ravna geomreža od crnog polipropilena.

Vegetacija se obnavljala suhom sjetvom. Najbolje ozelenjavanje postignuto je trodimenzionalnim valovitim geopletivom u Segmentu II. Došlo se do zaključka da dvodimenzionalna ravna geomreža za zaštitu od erozije iz Segmenta III. ne zadržava baš najbolje zrnca zemlje i sjemenja. U segmentu I. crna boja na površini dovela je do jačeg zagrijavanja pokosa, što je pak uzrokovalo sušenje sjemenja ili potpuni izostanak klijanja.

Na temelju prethodno opisanih ispitivanja 2003. pokrenuta su nova ispitivanja trodimenzionalnog geopletiva. Cilj je bio istražiti njegovu sposobnost zadržavanja čestica, prilagodljivost tlu te propusnost prilikom posipavanja. Za tu svrhu izabrano je 18-milimetarsko geopletivo izrađeno od ekstrudiranih monofilamenata s površinskom masom od 600 g/m<sup>2</sup>. Udio rupa bio je veći od 95 posto. Slika 8. prikazuje testni poligon (Bischofszell, Švicarska).

Gore opisana geopletiva za kontrolu erozije (geomat) prikazana su na krajnjemu desnom dijelu slike 8. Ostali su segmenti služili kao referentni segmenti bez geopletiva za zaštitu od erozije i/ili su na njih bili postavljeni slični proizvodi od polipropilena. Kako bi se procijenila propusnost, postavljeni su drveni okviri površine 1 m<sup>2</sup>, koji se mogu vidjeti na dnu slike.

Švicarska tvrtka Verdyol bila je zadužena za izvođenje hidrosjetve. Taj proces uključuje miješanje vode sa sjemenjem, organskim pokrovom (tzv. malčem) i vezivnim sredstvom na bazi algi. Korišten je malč od šupljih vlakana duljine veće od 4 mm. Otprilike četiri tjedna nakon sjetve testni poligon isprala je obilna kiša, što je dovelo do površinskog klizanja na pokosu. Nakon još šest tjedana ispitivanjem je utvrđeno to da je površina referentnih segmenata smanjena za oko 10 posto. Posljedično je došlo do slabog rasta biljaka. S druge strane više od 90 posto površina pokrivenih geopletivom na pokosu s nagibom od 30° do 45° bilo je prekriveno slojem nove vegetacije (slika 9.).

Ne temelju tih rezultata na tržište je 2004. pušteno geopletivo za kontrolu erozije trgovačkog naziva TEC-MAT® (slika 10.), koje je imalo sljedeće karakteristike:

- ekstrudirani monofilamenti od polipropilena s nepravilnim prstenima
- debljina 18 mm
- površinska masa 600 g/m<sup>2</sup>
- udio šupljina > 95%
- boja *curry* zelena.



*Slika 9. Testni poligon otprilike 10 tjedana nakon hidrosjette i obilne kiše. Na lijevoj strani slike nalazi se referentna površina bez geopletiva za zaštitu od erozije s manje od 10 posto ozelenjene površine. Na desnoj strani vidi se površina s geopletivom s više od 90 posto obnovljene vegetacije.*



*Slika 10. Geopletivo za kontrolu erozije TECMAT® u kombinaciji sa žičanom pletenom mrežom od čelika visoke čvrstoće TECCO® G65/3 na području s čavljanjem tla*

### 3. Primjeri upotrebe

#### 3.1. Miraflores, Panama

U tome slučaju pokos je stabiliziran upotrebom sustava TECCO® G65/3 na stjenovitome pokosu u cijelosti nepravilnog oblika. Geopletivo za kontrolu erozije TECMAT® može se dobro prilagoditi podlozi, osim ondje gdje to onemogućava oštar nagib pokosa (slika 11.). S druge strane susjedna područja obiluju vegetacijom. Naznake vegetacije vidljive su i na nekim osiguranim dijelovima.

#### 3.2. Remscheid, Njemačka

Na lokaciji u Remscheidu trošna stijena osigurana je sustavom TECCO® G65/3 nakon odrona. Uvjeti za



*Slika 11. Osigurani stjenoviti pokos u Mirafloresu, u Panami. Geopletivo za zaštitu od erozije može biti dobro rješenje i za pokose nepravilnog oblika.*



*Slika 12. Osiguranje pokosa nakon odrona na trošnoj stijeni*

rast biljaka bili su dobri, kao što se i vidi na pokosu, koji je relativno jednolik. Teško je bilo učvrstiti geopletivo na „čvrstoj“ podlozi, zbog čega se na nekim dijelovima geopletivo TECMAT® pomaknulo.

#### 3.3. Dorndorf, Njemačka

Na toj lokaciji trebalo je osigurati nestabilni stjenoviti pokos jednolikog profila. Određeni su dijelovi ukopani ondje gdje je izvedeno čavljanje tla kako bi se učvrstila žičana pletena mreža od čelika visoke čvrstoće TECCO® G65/3. Geopletivo za kontrolu erozije dobro se prilagođavalo pokosu, uz izvrsno prijanjanje i mali udio šupljina ispod geopletiva za zaštitu od erozije (slika 13.).

Navedena tri primjera dokazuju to da je kombinacija geopletiva za zaštitu od erozije i žičane pletene mreže





*Slika 13. Nestabilni stjenoviti pokos jednolikog profila uz koju geoletivo za zaštitu od erozije dobro prijanja*

od čelika visoke čvrstoće učinkovito rješenje za takve probleme. U pogledu pokosa nepravilnog oblika (npr. slike 11. i 12.) utvrđeno je to da geoletivo za kontrolu erozije ne prijanja uvijek ravnomjerno uz podlogu. Zbog toga je važno hidrosjetvu obaviti uz korištenje organskog pokrova (malč) šupljih vlakana (duljina vlakana < 4 mm). Zbog slabije apsorpcije vode kod sintetičkih geoletiva, ona su manje podložna proklizavanju pod teretom. Ovisno o supstratu, učvršćivanje geoletiva može izazivati probleme. Slika 13. primjer je dobrog prilagođavanja podlozi. Geoletivo se ne bi trebalo pomicati ni pod opterećenjem. U svakome slučaju geoletivo mora biti prikladno za prskanje sa sjemenjem.

#### **4. Konstrukcijsko ojačanje geotekstila žičanim pletenim mrežama od čelika visoke čvrstoće**

Jasno je to da se sustav može optimizirati upotrebom kombinacije geoletiva za kontrolu erozije i žičanih pletenih mreža od čelika visoke čvrstoće. Kao prvo, konstrukcija geoletiva ojačana je sama po sebi. To omogućuje učinkovitije osiguranje protiv proklizavanja. Daljnja se prednost odnosi na jednostavno postavljanje jer se isti postupak primjenjuje i za geoletiva za kontrolu erozije i za žičanu pletenu mrežu od čelika visoke čvrstoće.

Početa ispitivanja pletene mreže DELTAX® G80/2 provedena su 2012. godine. Unutarnji promjer očica te mreže iznosi 80 mm, a debljina žice 2 mm. Nosivost joj je 53 kN/m'. Često se koristi bez čavljanja kao pokrivač, čak i na strmim pokosima na kojim se nalaze samo manje stijene. Ojačanje geoletiva za kontrolu erozije omogućava zadržavanje manjih stijena na njihovu mjestu. Neki se sustavi primjenjuju i



*Slika 14. TECCO® GREEN nakon hidrosjetve*

bez čavljanja tla. Kako je opisano u trećem poglavlju, geoletivo za kontrolu erozije ne može uvijek podnijeti opterećenja a da se ponešto ne ošteti. Očekuje se to da se pojedini kanali ispod mreže pomaknu u linijama pada, osobito ako je geoletivo teško pričvrstiti. Kako bi bilo moguće odgovarajuće osigurati i ozeleniti nestabilne pokose ili one izložene površinskim klizištima, neophodno je pokušati ojačati geoletivo za kontrolu erozije žičanom pletenom mrežom od čelika visoke čvrstoće TECCO® G65/3 (slika 14.). Unutarnji promjer očica te mreže iznosi 65 mm, a debljina žice 3 mm. Nosivost joj je 150 kN/m', dok otpornost na probijanje pokraj pričvrstnih ploča duljine 33 x 20 cm iznosi 180 kN. Slika 14. pokazuje to da je izbor vlakana organskog pokrova (tzv. malča) vrlo važan. Duga vlakna ne mogu u dovoljnoj mjeri prodrijeti kroz geoletivo za zaštitu od erozije.

#### **5. Zaključci i izgledi za budućnost**

Za zaštitu od erozije u pravilu se preferiraju prirodna biorazgradiva, organska geoletiva. Međutim, njihova se učinkovitost smanjuje na strmim pokosima. Trodimenzionalna geoletiva, naprimjer ona izrađena od polipropilena, u prednosti su zahvaljujući njihovoj manjoj masi i dobrom zadržavanju čestica. Lakša geoletiva za kontrolu erozije u boji podloge teže se zagrijavaju i omogućuju bolje ozelenjavanje površina te su manje upadljiva.

Konstrukcijsko ojačanje geotekstila koji se upotrebljavaju kao geoletiva za kontrolu erozije, pomoću žičanih pletenih mreža od čelika visoke čvrstoće, povećava njihovo područje primjene i nosivost.

Površinske nestabilnosti mogu se stabilizirati do dubine od dva metra žičanim pletenim mrežama od čelika visoke čvrstoće s minimalnom otpornosti na

probijanje od 180 kN. Takve se mreže mogu pouzdano projektirati programom RUVOLUM®. Čak se i veće nestabilnosti mogu stabilizirati ako su dimenzionirane na pravi način.

Također, ispitano je to do koje se mjere svojstva sintetičkih geopletiva mogu kombinirati s onima organskima. Jedno od rješenja jest učvrstiti geopletivo izravno i ojačati ga kokosovim vlaknima, jutom ili drvenom vunom. Daljnji razvoj prirodnih geopletiva nudi i druga rješenja u teoriji. Ozelenjavanje pokosa zaista je vrlo složeno pitanje i ovisi o mnogim čimbenicima.

## Literatura

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

## UDK: 625.12

Adresa autora:

Vjekoslav Budimir, ing. građ.  
vjekoslav.budimir@geobrugg.com

Armin Roduner, B. Sc. Civ. Eng.  
armin.roduner@geobrugg.com

Geobrugg AG Predstavništvo u RH,  
Geobrugg AG Romanshorn Švicarska

## SAŽETAK

Za uspješnu i dugotrajnu stabilizaciju prirodnih pokosa i novih usjeka u nestabilnim tlima i trošnim stijenama vrlo je važna obnova vegetacije. U tu svrhu vrlo učinkovito može biti tzv. trodimenzionalno geopletivo za kontrolu erozije u kombinaciji sa suhom sjetvom i hidrosjetvom. S druge strane 3D konstrukcija smanjuje energiju udara kišnih kapi te erodivnu silu vode na pokosu. Geotekstil, koji se inače upotrebljavaju kao pomoć pri sjetvi, imaju većinom malu snagu te su zbog toga učinkoviti samo na blažim pokosima ili u kombinaciji sa žičanim pletenim mrežama. U zadnjih 15 godina mreže od čelika visoke čvrstoće, korištene za stabilizaciju pokosa, pokazale su se kao dobro rješenje u kombinaciji s čavljanjem tla. Takve mreže mogu prenijeti i veće sile, a zahvaljujući velikoj otpornosti na probijanje, opterećenje na čavljanje bolje se prenosi. Njihovu prilagodbu za stabilizaciju površinskih nestabilnosti moguće je izvesti programom za projektiranje, razvijenim na temelju tzv. RUVOLUM® koncepta. Kako bi se područje primjene gore navedenih geopletiva za kontrolu erozije proširilo, primjenjuju se u kombinaciji s laganom mrežom od čelika visoke čvrstoće, što im povećava nosivost na 53 kN/m. Većinom se koriste kao rasprostrta zaštita i/ili pomoć pri uzgoju nove vegetacije bez čavljanja tla. Stečeno iskustvo sada se primjenjuje u izradi proizvoda koji su kombinacija dobrih strana žičane pletene mreže od čelika visoke čvrstoće i geopletiva za kontrolu erozije. Opterećenje od 150 kN/m i otpornost na probijanje od 180 kN može se prenijeti na čavljanje ako se koristi sustav pričvrstnih ploča.

**Ključne riječi:** kontrola erozije, geomat, geopletivo, mreža od čelika visoke čvrstoće, hidrosjetva, nosiva mreža

**Kategorizacija:** stručni rad

## SUMMARY

### CONSTRUCTIVE REINFORCEMENT OF GEOTEXTILE BY HIGH-STRENGTH STEEL WOVEN WIRE MESHES

Vegetation renewal is very important for a successful and long-lasting stabilization of natural slopes and new cuts in unstable soils and weathered rocks. For this purpose, the so-called three-dimensional erosion control geomat can be very effective, combined with dry seeding or hydroseeding. On the other hand, a 3D construction reduces the energy of raindrop impact and erosive energy of water on the slope. Geotextiles, which are otherwise used to assist seeding, are mostly not very strong and due to this, they are efficient only for milder slopes or combined with woven wire meshes. In the past 15 years, high-strength steel meshes used for slope stabilization have proven a good solution combined with soil nailing. Such meshes can transfer even larger forces, thanks to their great break-through resistance, and the load is better transferred onto nailing. Their adjustment to stabilization of surface instabilities can be carried out by a design program, developed on the basis of the so-called RUVOLUM® concept. In order to expand the application scope of the above-mentioned erosion control geomats, they are used in combination with a light high-strength steel mesh, which increases their load-carrying capacity to 53 kN/m. They are mostly used as laid-out protection and/or assistance in growing new vegetation without soil nailing. The acquired experience is now used to make products which are a combination of the good sides of high-strength steel woven wire meshes and erosion control geomats. A 150 kN/m load and breakthrough resistance of 180 kN can be transferred onto nailing, if a fastening plate system is used.

**Key words:** erosion control, geomat, high-strength steel mesh, hydroseeding, load-bearing mesh

**Categorization:** professional paper