Tehnologija ozelenjavanja pokosa stabiliziranih nosivom mrežom

Vjekoslav Budimir, dipl.ing.građ. ^a

^a Geobrugg AG, Aachstrasse 11, CH-8590 Romanshorn, Switzerland

PODACI O RADU

DOI: 10.31075/PIS.65.03.08

Stručni rad

Primljen: 09/06/2019

Prihvaćen: 25/09/2019

Koresponding autor:

Vjekoslav.Budimir@geobrugg.com

Ključne reči:

Pokos

Usjek

Geotekstil

Software RUVOLUM®

REZIME

Za uspješnu i dugotrajnu stabilizaciju prirodnih pokosa i novih usjeka u nestabilnim tlima i trošnim stijenama, obnova vegetacije je izuzetno bitna. U kombinaciji sa suhom sjetvom i hidrosjetvom tzv. trodimenzionalno geopletivo za kontrolu erozije može biti u tu svrhu vrlo učinkovito. S druge strane, 3D konstrukcija smanjuje energiju udara kišnih kapi te erodivnu silu vode na pokosu. Geotekstili, 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 pletivom. U zadnjih 15 godina, stabilizacija pokosa nosivim mrežama od visokovrijednog čelika u kombinaciji sa sidrima, pokazala se kao dobro rješenje. Nosive mreže prenose sile u sidra, preko pričvrstnih ploča, a zahvaljujući velikoj otpornosti na proboj mogu se unositi veće sile u sidra na pokosu. Za određivanje adekvatnog rastera sidara i kombinacije tipa i promjera sidra i tipa nosive mreže koristi se software RUVOLUM®, razvijen u tu svrhu. Kako bi se proširilo područje primjene gore navedenih geopletiva za kontrolu erozije, isti se primjenjuju u kombinaciji s laganom nosivom mrežom od visokovrijednog čelika, što im povećava nosivost na 53 kN/m ili jačom nosivom mrežom nosivosti 150 kN/m. Zbog brže i jednostavnije ugradbe koriste se geokompoziti koji dolaze kao kombinacija dobrih strana nosive čelične mreže od visokovrijednog čelika i geopletiva za kontrolu erozije. Opterećenje od 150 kN/m i otpornost na probijanje od 180 kN može se prenijeti u sidra ako se koristi sustav pričvrstnih ploča. Ovdje ćemo prikazati razvoj i primjenu ovog sustava. Zahvaljujući gore opisanom sustavu, sad je u kombinaciji sa sustavom sidrenjem tla moguće učinkovito osigurati strme zemljane pokose te ovisno o lokaciji, i obnoviti vegetaciju.

1. UVOD

1.1 Opis problema

Izgradnja i proširenje infrastrukture poput cesta, željezničkih pruga i zgrada zahtjeva izvođenje novih usjeka i strmina u nestabilnom 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 pomoću geopletiva 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 ili kod površinskih ili većih problema sa stabilnosti [Slika 2].

Slika 1. Testno klizište na padini pokraj sportskog terena.

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

1.2 Uzgoj nove vegetacije pomoću geopletiva za kontrolu erozije

U svrhu dugoročne stabilizacije pokosa rast učinkovitog i funkcionalnog sloja vegetacije mora se poticati i/ili omogućiti [5] [6]. Novonastali stjenoviti pokosi najvećim dijelom ne obiluju hranjivim tvarima zbog uklanjanja gornjeg sloja zemlje [1]. Uslijed nedostatka sloja vegetacije nema dovoljno ni korijenja ni sjemenja.

U načelu se površinska erozija mora smanjiti ili držati pod kontrolom. Pritom moramo razlikovati primarnu eroziju nastalu tzv. efektom kišnih kapi od sekundarne erozije koju izazivaju bujice [Slika 3]. Uloga geopletiva za zaštitu od erozije je minimiziranje energije udara kišnih kapi i zadržavanje zrnaca zemlje u erodivnim vodama [7].

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

Za poticanje rasta vegetacije na nestabilnim stjenovitim padinama na raspolaganju imamo razne geokompozite i geotekstile za kontrolu erozije [8]. Općenito koristimo dva osnovna materijala: sintetičke geotekstile, npr. one izrađene od polipropilena i prirodne geotekstile izrađene od jute ili kokosovih vlakana. Organski prirodni proizvodi se mogu koristiti na blažim pokosima. Njihova se prednost odnosi na činjenicu da mogu pohranjivati vodu i otpuštati hranjive tvari kako se razgrađuju te tako poticati rast biljaka. Na strmijim pokosima bolji izbor su

sintetički proizvodi zbog njihove male težine koja se povećava tek kad se natope vodom. Sintetičko rješenje odlikuje se i duljom otpornošću u odnosu na organsku alternativu.

1.3 Sustavi za fleksibilnu stabilizaciju pokosa upotrebom žičanih pletenih mreža

Sustavi za fleksibilnu stabilizaciju pokosa pomoću žičanih pletenih mreža 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 načela poput standarda i direktiva takvi sustavi često nisu dovoljno ili uopće regulirani, a njihova provjera se podosta zanemaruje.

Slika 4. Stabilizacija pokosa pomoću žičane pletene mreže od čelika visoke čvrstoće i geopletiva za kontrolu erozije (sustav TECCO® G65/3).

Nadalje, dobavljači često nude i/ili ugrađuju sustave koji nisu prilagođeni lokalnim okolnostima u pogledu statike ili upotrebljavaju dijelove koji međusobno nisu kompatibilni. To znači da se može dogoditi da zbog pucanja dijelova sustavi uopće ne funkcioniraju ili su pak krajnje nestabilni, što može imati fatalne posljedice. Nosivost cjelokupnog sustava ili njegovih pojedinih dijelova (mreža, spojnice ili dodaci) mora biti dobro poznata, tako da se stabilnost projektiranih sustava može bez problema provjeriti [4] [2].

1.4 Dimenzioniranje radi sprječavanja površinskih nestabilnosti

Površinske nestabilnosti mogu se izmjeriti pomoću RUVOLUM® koncepta za projektiranje. Taj je koncept univerzalan i koristi se za dimenzioniranje sustava za osiguranje površinskih nestabilnosti na nestabilnom tlu i izuzetno nestabilnih stjenovitih pokosa. Nosivost čini temelj za dimenzioniranje; podatci se dobivaju iz više uzastopnih testova u realističnim uvjetima. Rüegger je detaljno opisao RUVOLUM® koncept za dimenzioniranje 2002. i 2004. godine. Taj koncept

obuhvaća studiju površinskih nestabilnosti paralelne s pokosom [Slika 5] kao i istraživanje nestabilnosti između pojedinih sidara [Slika 6].

Slika 5. Površinske nestabilnosti paralelne s pokosom.

Utjecaj prevelikog hidrostatskog tlaka, tlaka protoka i seizmičkih sila se također može uzeti u obzir. Online softver je dostupan na www.geobrugg.com (pod "myGeobrugg").

Slika 6. Lokalne nestabilnosti između pojedinih sidara.

2. EVALUACIJA GEOPLETIVA ZA KONTROLU EROZIJE

Početna ispitivanja provedena su 2000. s ciljem pronalaženja prikladnog geoplektiva za zaštitu od erozije na strmim pokosima, koji će djelovati u kombinaciji sa žičanom pletenom mrežom od čelika visoke čvrstoće. Ispitivanja su proširena 2000. na geoplektiva 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 što je moguće više sjemenja dospjelo u supstrat

- Dobra prilagodljivost tlu
- Mala površinska težina čak i kod prodiranja vode
- Dobro prijanjanje geoplektiva uz supstrat / nizak rizik od proklizavanja
- Dobro zadržavanje zrnaca zemlje, organske tvari i sjemenja
- Boja koja nalikuje podlozi / manje zagrijavanje

Za vrijeme navedenih ispitivanja 2000. godine postavljena su razna geoplektiva za zaštitu od erozije na testnim poligonima u kantonu Valais, Švicarska.

Ispitane se sljedeće varijante geoplektiva [Slika 7]:

- Segment I: Trodimenzionalno, vrlo gusto, troslojno geoplektivo izrađeno od crnog polipropilena.
- Segment II: Trodimenzionalno valovito geoplektivo za zaštitu od erozije, izrađeno od crnog polipropilena.
- Segment III: Dvodimenzionalna ravna geomreža od crnog polipropilena.

Slika 7 Testni poligon za evaluaciju geoplektiva za zaštitu od erozije

Testni poligon gleda na jugozapad te se nalazi na rijetko naseljenom području koje je izloženo ekstremnim promjenama vremena.

Obnova vegetacije vršena je suhom sjemenjem. Najbolje ozelenjavanje postignuto je pomoću trodimenzionalnog valovitog geoplektiva u Segmentu II. Došlo se do zaključka da dvodimenzionalna ravna geomreža za zaštitu od erozije iz Segmenta III ne zadržava zrnca zemlje i sjemenja baš najbolje. U segmentu I slab albedo crnih površina doveo je do jačeg zagrijavanja pokosa, što je pak uzrokovalo sušenje sjemena ili potpuni izostanak klijanja.

Na temelju ranijih testova 2003. su pokrenuta nova ispitivanja trodimenzionalnog geoplektiva. Cilj je bio istražiti njegovo zadržavanje čestica, prilagodljivost tlu i propusnost prilikom posipavanja. Za tu svrhu izabrano je 18 milimetarsko geoplektivo izrađeno od ekstrudiranih monofilamenata i s površinskom težinom od 600 g/m². Udio rupa bio je veći od 95%. Slika 8 prikazuje odnosni testni poligon (Bischofszell, Švicarska).

Slika 8. Testni poligon s okvirima u vrijeme sjetve

Gore opisana geopletiva za kontrolu erozije (geomat) prikazani su na krajnjem desnom dijelu slike. 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 m². Mogu se vidjeti na dnu slike.

Tvrtka "Verdyol" (Švicarska) bila je zadužena za izvođenje hidrosjetve. Taj proces uključuje miješanje vode sa sjemenjem, organskim pokrovom (tzv. malčom) i vezivnim sredstvom na bazi algi. Korišten je malč od šupljih vlakana duljine veće od 4 mm. Otprilike 4 tjedna nakon sjetve testni poligon isprala je obilna kiša, što je dovelo do površinskog klizanja na pokosu. Nakon još 6 tjedana studijom je utvrđeno da je površina referentnih segmenata smanjena za oko 10%. Posljedično je došlo do slabog rasta biljaka. S druge strane, više od 90% površina pokrivenih geopletivom na pokosu s nagibom od 30 do 45° bilo je prekriveno slojem nove vegetacije [Slika 9].

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

Ne temelju ovih rezultata na tržište je 2004. godine pušteno geopletivo za kontrolu erozije trgovačkog naziva TECMAT®, a krasile su ga sljedeće karakteristike [Slika 10]:

- Ekstrudirani monofilamenti od polipropilena s nepravilnim prstenima
- Debljina 18 mm
- Površinska težina 600 g/m²
- Udio šupljina > 95%
- Boja curry zelena

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 Primjer: Miraflores, Panama

Stabilizacija pokosa upotrebom sustava TECCO® G65/3 na stjenovitom pokosu totalno nepravilnog oblika. Geopletivo za kontrolu erozije TECMAT® može se dobro prilagoditi podlozi, osim tamo gdje to onemogućava oštar nagib pokosa [Slika 11]. S druge strane, susjedna područja obiluju vegetacijom. Naznake vegetacije vidljive su i na nekim osiguranim dijelovima.

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

3.2 Primjer: Remscheid, Njemačka

Osiguranje trošne stijene pomoću sustava TECCO® G65/3 nakon odrona. Uvjeti za rast biljaka su dobri, kao što se i vidi na pokosu. Pokos je relativno jednolik. Teško je učvrstiti geopletivo na "čvrstoj" podlozi, zbog čega se na nekim dijelovima geopletivo TECMAT pomaknulo.

Slika 12. Osiguranje pokosa nakon odrona na trošnoj stijeni.

3.3 Primjer: Dorndorf, Njemačka

Nestabilni stjenoviti pokos jednolikog profila. Određeni su dijelovi ukopani tamo 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 prilagođava pokosu – odlično prijanjanje uz mali udio šupljina ispod geopletiva za zaštitu od erozije [Slika 13].

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

Navedena tri primjera potvrđuju da je kombinacija geopletiva za zaštitu od erozije i žičane pletene mreže od čelika visoke čvrstoće učinkovito rješenje za ovakve probleme. U pogledu pokosa nepravilnog oblika (npr. [Slika 11] i [Slika 12]) utvrđeno je da geopletivo 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). Radi slabije apsorpcije vode sintetičkih geopletiva isti su manje podložni proklizavanju pod teretom. Ovisno o supstratu, učvršćivanje geopletiva može iziskivati probleme. Slika 13 služi kao primjer dobrog prilagođavanja podlozi.

Geopletivo se ne bi trebao pomicati ni pod opterećenjem. U svakom slučaju, geopletivo mora biti prikladno za prskanje sa sjemenjem.

4 OJAČAVANJE GEOPLETIVA NOSIVIM MREŽAMA

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

Početna ispitivanja pletene mreže DELTAX® G80/2 provedena su 2012. Unutarnji promjer očica te mreže iznosi 80 mm, a debljina žice je 2 mm. Nosivost joj je 53 kN/m'. Često se koristi bez čavljanja kao pokrivač, čak i na strmim pokosima na kojim vjerojatno ima samo manjih stijena. Ojačanje geopletiva za kontrolu erozije omogućava zadržavanje manjih stijena na svom mjestu. Neki se sustavi primjenjuju i bez čavljanja tla. Kako je opisano u Poglavlju 3, geopletivo za kontrolu erozije ne može uvijek podnijeti opterećenja bez da se ponešto ne ošteti. Očekuje se da se pojedini kanali ispod mreže pomaknu u linijama pada, osobito ako je geopletivo teško pričvrstiti.

Kako bi bilo moguće adekvatno osigurati i ozeleniti nestabilne pokose ili one izložene površinskim klizištima, neophodno je pokušati ojačati geopletivo 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 pričvršnih ploča duljine 33 x 20 cm iznosi 180 kN. Slika 14 pokazuje da je izbor vlakana organskog pokrova (tzv. malča) izuzetno važan. Duga vlakna ne mogu u dovoljnoj mjeri prodrijeti kroz geopletivo za zaštitu od erozije.

Slika 14. TECCO® GREEN nakon hidrosjetve

5. ZAKLJUČAK

U pravilu se preferiraju prirodno biorazgradiva, organska geopletiva za zaštitu od erozije. Međutim, njihova se učinkovitost smanjuje na strmim pokosima. Trodimenzionalna geopletiva, npr. ona izrađena od polipropilena, tu su u prednosti zahvaljujući njihovoj manjoj težini i dobrom zadržavanju čestica. Lakša geopletiva za kontrolu erozije u boji podloge teže se zagrijevaju i omogućuju bolje ozelenjavanje površina te su manje upadljivi.

Konstruktivsko ojačanje geotekstila koji se upotrebljavaju kao geopletiva 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 2 m pomoću žičanih pletenih mreža od čelika visoke čvrstoće s minimalnom otpornosti na probijanje od 180 kN. Te se mreže mogu pouzdano projektirati pomoću programa RUVOLUM®. Čak se i veće nestabilnosti mogu stabilizirati ako su dimenzionirane na pravi način. Nadalje, ispitano je do koje se mjere svojstva sintetičkih geopletiva mogu kombinirati s onim organskih geopletivima. Jedno od rješenja je 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

Technology of greening slopes stabilized by a supporting net

Vjekoslav Budimir, B.Sc. CE.

Geobrug AG, Aachstrasse 11, CH-8590 Romanshorn, Switzerland

Abstract: For the successful and long-term stabilization of natural slopes and new cuttings in unstable soils and rugged rocks, vegetation restoration is extremely important. Combined with dry sowing and water sowing three-dimensional erosion control geopliding can be very effective for this purpose. On the other hand, 3D construction reduces the impact energy of rain drops and the eroding force of water on the slope. Geotextiles, which are otherwise used as a sowing aid, are generally of low power and are therefore effective only on milder cuts or in combination with wire knitting. In the last 15 years, stabilization of slopes with high-grade steel mesh in combination with anchors has proven to be a good solution. The load-bearing nets transmit forces into the anchors via the fastening plates, and due to the high puncture resistance, greater forces can be introduced into the anchors on the slopes. The RUVOLUM® software, developed for this purpose, is used to determine the adequate anchor grid and the combination of the type and diameter of the anchor and the type of support network. In order to extend the scope of the above erosion control geoplants, they are applied in combination with a lightweight high-grade steel support net, which increases their payload to 53 kN / m or a stronger payload net of 150 kN / m. For faster and easier installation, geocomposites are used, which come as a combination of the good sides of a high-grade load-bearing steel mesh and geoknitting for erosion control. A load of 150 kN / m and a

puncture resistance of 180 kN can be transferred to the anchors if a fastening system is used. Here we will show the development and application of this system. Thanks to the system described above, it is now possible, in combination with the soil anchoring system, to effectively provide steep slopes and, depending on location, to restore vegetation.

Keywords: Slope, notch, geotextile, RUVOLUM® software

LITERATURA

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