

TEHNOLOGIJA ARMIRANJA TLA GEOSINTETICIMA

Armirano tlo kao potporna konstrukcija

PRIPREMILA:
Anđela Bogdan

Pod građenjem potpornih konstrukcija podrazumijeva se ona vrsta gradnje koja djeluje tako da armatura ugrađena u nasip napreznja prenosi trenjem po dodirnoj površini između armature i tla u nasipu, armatura i nasip tvore jedno tijelo koje djeluje kao gravitacijski potporni zid s određenim posebnostima

Uvodne napomene

Armirano tlo kao potporna konstrukcija primjenjuje se u suvremenome graditeljstvu u raznim oblicima posljednjih 50

godina. Uz taj termin koriste se i termini "ojačano tlo" i "mehanički stabilizirano tlo". Taj termin označava tlo koje je ojačano vlačnim elementima kao što su metalne trake ili geosintetici.

Izgradnja prvih, primitivnih tipova potpornih konstrukcija seže daleko u prošlost. Neki povijesni primjeri ojačanja tla odnose se na nasipe od zemlje i grana drveća, koji su korišteni u Kini najmanje tisuću godina, naprimjer, zapadni dio Kineskoga zida, ili u Americi na nasipima duž rijeke Mississippi koji su se gradili u 19. stoljeću. Drugi primjeri odnose se na drvene klinove koji su se koristili za kontrolu erozije i klizišta u Engleskoj tijekom 17. i 18. stoljeća, a francuski su doseljenici duž zaljeva Fundy u Kanadi koristili štapove kako bi ojačali nasipe od blata.



Ilustracija povijesne potporne konstrukcije zapadnoga dijela Kineskoga zida (Foto: NG China, Ren Chao)

Izgradnja prvih, primitivnih tipova potpornih konstrukcija seže daleko u prošlost, primjeri ojačanja tla korišteni su u Kini najmanje tisuću godina, (zapadni dio Kineskoga zida) ili u na nasipima duž rijeke Mississippi koji su se gradili u 19. stoljeću

Suvremene metode armiranja tla za potrebe izgradnje potpornih zidova osmislio je francuski arhitekt i inženjer Henri Vidal. Nakon pet godina eksperimentiranja na modelima, godine 1963. prijavio je patent za armirano tlo – sustav u kojemu se koristi armatura čeličnim trakama. Prvi znatniji građevinski radovi izvedeni su primjenom toga sustava 1968. u Francuskoj, blizu grada Nice, na autocesti A53. Nekoliko godina poslije, početkom 70-ih godina prošloga stoljeća inženjeri su predložili korištenje geotekstila za izvođenje konstrukcija od armiranoga tla, jer su strahovali da se može razviti korozija čelične armature unutar tla. U Francuskoj je prvi rad s geosintetikom izveden 1971. Sljedećih godina Vidalova tehnologija armiranja tla uspješno se primjenjivala u mnogim različitim područjima niskogradnje, posebno u potpornim zidovima, podzidovima, branama, upornjacima mostova i drugdje, te su se tako razvili neki drugi konkurentni sustavi i u drugim zemljama, a početkom 80-ih godina prošloga stoljeća nastala je nova niša u građevinskoj industriji koja nudi sustave za armiranje tla.

Tlo se u današnje vrijeme armira uglavnom geosinteticima kako bi se povećala njegova vlačna čvrstoća i otpornost na



Primjer ojačanoga tla geosinteticima u parkovima i vrtovima (foto: Tenax)

smicanje. Razvoj polimernih materijala u obliku geosintetike donio je velike promjene u geotehničkom inženjerstvu. Proizvodi od sintetičnih materijala, namijenjeni uporabi u zemljanim građevinama (i općenito u graditeljstvu), pojavili su se u većoj mjeri prije pedesetak godina i otada se njihova primjena brzo širi.

U potrazi za primjerima potpornih konstrukcija od armiranoga tla u hrvatskim građevinskim projektima obratili smo se tvrtki *Kotonteks* iz Varaždina, koja je zastupnik i distributer *Tenax Italija*, renomiranoga europskog proizvođača geosintetika i srodnih materijala.

U više od desetak godina iskustva *Kotonteks* je na području Hrvatske, Bosne i Hercegovine i Slovenije sudjelovao u izgradnji brojnih manjih, ali i većih projekata od međunarodne važnosti. U nastavku su prikazani tehnologija armiranog tla, vrste geosintetika koje se danas najčešće primjenjuju u potpornim konstrukcijama te primjeri iz nedavno završenih projekata, ali i projekata koji se trenutačno grade diljem Hrvatske.

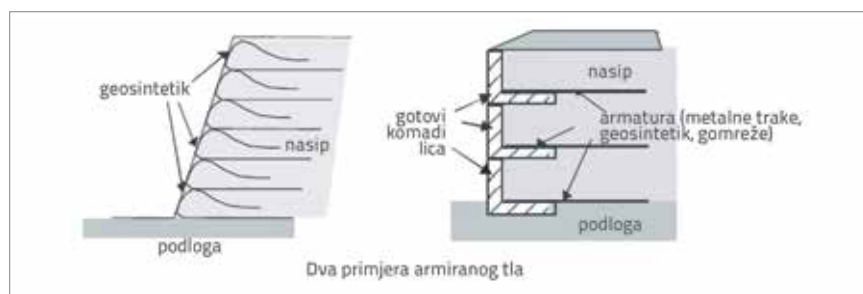
Općenito o tehnologiji armiranja tla

Pod građenjem potpornih konstrukcija podrazumijeva se ona vrsta gradnje koja djeluje tako da armatura ugrađena u nasip napreznja prenosi trenjem po dodirnoj površini između armature i tla u nasipu. Armatura i nasip tvore jedno tijelo koje djeluje kao gravitacijski potporni zid s određenim posebnostima.

Građenje potpornih konstrukcija je ona vrsta gradnje koja djeluje tako da armatura ugrađena u nasip napreznja prenosi trenjem po dodirnoj površini između armature i tla u nasipu

Ojačanome tlu armaturni elementi daju komponentu vlačne čvrstoće. Zato se danas ta tehnologija primjenjuje za ojačavanje tla u temeljima konstrukcija, na nasipima, potpornim zidovima i upornjacima mostova. Takve su građevine zapravo nasute građevine, u koje se tijekom nasipavanja i zbijanja ugrađuju vlačni elementi, odnosno geosintetici. U odnosu na konvencionalne armiranobetonske zidove takvo projektno rješenje povoljnija je opcija, posebno s ekonomskoga i estetskoga stajališta.

Tehnologija izvođenja armiranoga tla nije zasebna operacija u procesu gradnje, već je sastavni dio ugradnje i zbijanja zemljanoga materijala u nasipu i zato se armi-



Shematski prikaz potporne konstrukcije od armiranoga tla



Primjer gradnje armiranoga zida na pristupnim cestama Pelješkome mostu kod Brijeste, izvođač radova Strabag uz stručni suport Kotonteks i Tenax

rano tlo gradi brže u odnosu na neka druga konvencionalna rješenja (gabionski zidovi, armiranobetonski zidovi i drugo). Osim toga često su jeftiniji od konvencionalnih potpornih konstrukcija, posebno za visoke, strme padine i visoke nasipe. Zbog dostupnih vrsta obloga na zidu od armiranoga tla moguće je oblikovati estetski atraktivnu fasadu.

Potporne konstrukcije od armiranoga tla otporne su na seizmička opterećenja, međutim njihova je uporaba u područjima visoke seizmičnosti još uvijek donekle ograničena zbog nedostatka konačnih istraživanja; posebno ispitivanja veza između elemenata za ojačanje tla i elemenata za oblogu.

Postoji zabrinutost oko trajnosti i dugotrajnoga učinka nekih vrsta armature za ojačanje tla, naprimjer, čeličnih traka, jer je moguća pojava korozije takvih materijala. S druge strane, polimerni materijali razgrađuju se kada su izloženi ultraljubičastim zrakama i mogu se oštetiti grubim rukovanjem na licu mjesta ili oštrim



Ojačanje tla za gradnju donjega ustroja željezničke pruge na dionici Vrbovec – Križevci

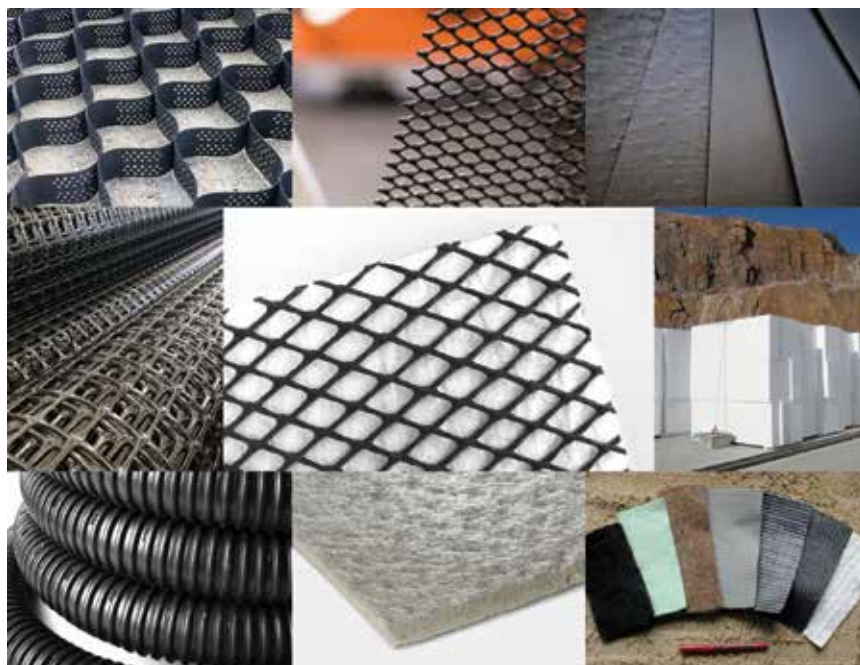
kamenjem u ispuni. Prilikom gradnje na mekim tlima potrebno je paziti na to da se armatura ne poopterećuje.

Potporne konstrukcije od armiranoga tla otporne su na seizmička opterećenja, no njihova uporaba u područjima visoke seizmičnosti ima neka ograničenja zbog nedostatka konačnih istraživanja

Ispitivanje slijeganja i stabilnosti armiranoga tla

Kod projektiranja plitkih temelja projektanti uzimaju u obzir dva kriterija: nosivost i slijeganje. Nosivost općenito ovisi o čvrstoći tla, dok slijeganje općenito ovisi o stlačivosti tla. U slučaju slaboga tla poboljšanje nosivosti i smanjenje slijeganja može se postići geosintetskom armaturom. Analiza armiranoga temelja razmatra se s obzirom na izvlačenje i puknuće (ili izbijanje) geosintetske armature.

Kako se visina ojačanoga tla povećava, tako se povećavaju vrijednosti posmičnoga naprezanja unutar tla. Vlačne sile koje djeluju u armaturi pridonose normalnome naprezanju koje djeluje duž potencijalnih kliznih površina unutar armiranoga tla, čime se povećava sila ot-



Najčešće vrste geosintetika

pora trenja duž njih. Maksimalne vlačne sile pojavljuju se unutar armiranoga tla, a ne na njegovu licu (fasadi). Maksimalna vlačna sila u svakome redu armaturnih elemenata razdvaja armirano tlo u dvije različite zone: "aktivnu" zonu neposredno iza obloge i "pasivnu" zonu. Debljina slojeva u armiranome tlu ovisi o prirodi ispune i armature te o geometriji konstrukcije. Materijal za punjenje mora

biti prikladan za zbijanje. Granulirani materijal za punjenje obično se zbjija do 95 posto maksimalne suhe gustoće određene u modificiranome Proctorovu testu. Unutarnje slijeganje armiranoga tla uvjetovano je prirodom i zbijenošću nasipa te vertikalnim naprezanjima unutar njega (koji ovisе o visini armiranoga tla). Unutarnja stabilnost armiranoga tla provjerava se u svakoj pojedinoj fazi gradnje kako bi se osiguralo to da ne dođe do oštećenja u armaturi ili oko nje ili na licu zida armiranoga tla. To se ispituje metodama granične ravnoteže, kojima se ispituju samo krajnja granična stanja. Veličina deformacija obično se kontrolira primjenom odgovarajućih faktora sigurnosti kako bi se uzele u obzir varijacije u svojstvima materijala, opterećenjima, metodama analize i drugo. Međutim, ako se utvrdi to da su deformacije kritične, potrebno je izraditi numeričku analizu za procjenu pomaka u armiranome tlu.

Geosintetici

Na tržištu postoji nekoliko različitih vrsta geosintetika: geotekstili, geomreže, geomembrane, geokompoziti i drugo. Polimerna priroda proizvoda čini ih pogodnima za upotrebu u tlu kojem je potrebna visoka razina trajnosti. Primjenjuju se



Rekonstrukcija nerazvrstane ceste NC97 Jasenska kroz dolinu rijeke Neretve kod Opuzena, primjena geokompozita (geomreža sa geotekstilom), izvođač radova Strabag uz stručni suport Kotonteks



Izvođenje radova rekonstrukcije nasipa Virje Otok – Brezje na Dravi, duljine 3,7 km, izvođač radova Vodogradnja Varaždin i Hidrotehnika Čakovec



Sanacija klizišta uz prugu M202 Zagreb-Rijeka od km 479+650 do km 479+970" u mjestu Karlovac

u svim područjima graditeljstva kao što su prometnice, hidrotehničke građevine, podzemne građevine, mostovi, zgradarstvo, sportski objekti, objekti zaštite okoliša, a često se primjenjuju i u poljoprivredi i šumarstvu. U nastavku su ukratko prikazane pojedine vrste geosintetika.

Geotekstil

Geotekstil je propustan, polimerni tekstilni materijal, koji može biti tkani ili netkani, a koristi se u dodiru s tlom i/ili drugim materijalima u geotehničkim i ostalim građevinskim zahvatima. Netkani geotekstili jesu materijali dobiveni iglanjem polimernih vlakana. Najvažnije funkcije netkanih geotekstila jesu separacija, odnosno razdvajanje materijala čija se svojstva znatno razlikuju kako bi se sačuvala cjelovitost i povoljno djelovanje materijala, filtracija koja omogućuje prolazak vode bez miješanja materijala, drenaža kao proces u kojemu se dopušta slobodan tok vode bez gubitaka čestica iz tla, zaštita drugih geosintetika od mehaničkih onečišćenja. Tkani geotekstili pro-

izvode se tehnologijom tkanja polipropilenskih vlakana, a odlikuju se visokom vlačnom čvrstoćom i malim istezanjem. Primjer korištenja geotekstila može se vidjeti na Savskome nasipu, i to u sklopu projekta "Modernizacija lijevoobalnih savskih nasipa od Račinovaca do Nove Gradiške – Projekt izgradnje berme lijevoobalnog Savskog nasipa", koji je završen u siječnju 2019.

Geomreže

Geomreže su proizvedene od polietilena visoke gustoće (HDPE) ili polipropilena (PP) posebnom tehnologijom ekstrudiranja. Time se postiže orijentacija molekula polimera, čime se znatno povećavaju mehaničke karakteristike materijala. Čvorovi su integralan dio strukture i omogućuju krutost mreža u svim smjerovima u ravni. Takve geomreže svojom visokom vlačnom čvrstoćom i malim istezanjem uspješno armiraju nasip od koherentnoga ili nekoherentnoga materijala. Koriste se za izradu armiranih potpornih konstrukcija bez posebne obrade lica pok-



Izgradnja potporne konstrukcije za bušotinski radni prostor u Gornjim Plavicama



Postavljanje dvoosne geomreže u retenciji Lonjsko polje, izođač radova Lapor iz Velike Gorice



Modernizacija i elektrifikacija željezničke pruge na dionici Zaprešić - Zabok

sa, a moguće ih je koristiti u različitim kombinacijama s licem od prefabriciranih elemenata. Najčešće se primjenjuju jednoosne i dvoosne geomreže.

Jednoosne geomreže

Jednoosne geomreže orijentirane su u jednome smjeru i takva geomreža u jednome smjeru može nositi visoka vlačna opterećenja. Ta vrsta mreže koristi se za izvedbu potpornih zidova od armiranoga tla, upornjaka mostova, pokosa i pojačanja temelja nasipa. Sa životnim vijekom od 120 godina mogu biti povoljno rješenje za izgradnju nasipa na slabo nosivome tlu, u velikome broju slučajeva izbjegavajući potrebu za zabijanjem pilota ili iskopom slaboga tla i njegovom zamjenom zrnatim materijalima. Imaju sposobnost apsorpcije naprezanja i pre-

raspodijele u ojačanu masu i tako dodatno povećavaju otpor armiranoga tla statičkim i dinamičkim opterećenjima. Primjer primjene jednoosnih mreža može se vidjeti na projektu izgradnje potporne konstrukcije za bušotinski radni prostor u Gornjim Plavicama, a u sklopu kojega radovi su izvedeni u rujnu 2017.

Dvoosne geomreže

Dvoosne geomreže koriste se za ojačanje tla u izgradnji cesta, željezničkih pruga, zemljanih radova, temelja i potpornih konstrukcija, kontrole erozije, rezervoara i brana (nasipa), kanala, odlaganja krutog otpada i zadržavanja tekućeg otpada, pokrovnih slojeva i za održavanje ravnosti podloženoga tla preko mekoga i slabo nosivoga tla. Mogu se upotrijebiti i za smanjenje debljine materijala

za punjenje i za povećanje nosivosti temeljnoga tla. Otvori dvoosnih geomreža pomažu u agregatnome povezivanju i zbijanju (efekt ukleštenja), čime se omogućuje učinkovito pojačanje i zatvaranje tla. Efekt ukleštenja postiže se kod dvoosnih geomreža čiji su čvorovi kruti i čija je snaga najmanje 90 posto osnovnoga sustava. Izbor odgovarajuće dvoosne mreže ponajprije je definiran zbijenostću podloženoga sloja, veličinom opterećenja i granulometrijskim sastavom tla. Primjer primjene dvoosne geomreže može se pronaći u projektu izgradnje nasipa u retenciji Lonjsko polje.

Geokompoziti

Geokompoziti jesu kombinacija najboljih karakteristika različitih materijala, a obično se sastoje od najmanje dvaju ge-



Postavljanje geokompozita na pruzi Dugo Selo – Borongaj, izvođač Swietelsky





Laguna Lukavec, Hrvatske Šume

osintetičkih materijala. Postoje različite vrste geokompozita.

Kombinacija geomreže i geotekstila jest ona kada se geotekstil koristi na jednoj ili obje strane geomreže. Funkcije razdvajanja i filtracije tla uvijek su zadovoljene, ali funkcija odvodnje znatno se poboljšava u usporedbi s korištenjem samo geotekstila. Primjena geomreža i geotekstila u cestogradnji može se vidjeti na projektu izgradnje ceste u dolini Neretve, kao i na čvorištu Brijeste.

Kombinacija geotekstila i geomembrana jest ona kada se geotekstil može ugraditi ispod geomembrane ili iznad nje, a omogućuje veću otpornost na probijanje, trenje povezano s klizanjem kao i veću vlačnu čvrstoću armiranome tlu. Još jedan primjer geokompozita jest projekt izgradnje željezničke pruge Dugo Selo – Borongaj.

Geomembrane

Geomembrana jest sintetička membranska obloga odnosno barijera koja se koristi s materijalom kako bi se kontrolirao prolazak tekućine i/ili plina u armiranome tlu. Proizvod je koji zbog svojih tehničkih specifikacija, kvalitete, otpornosti i široke primjene priznaju mnogi investitori, projektanti i izvođači radova koji izvode projekte vezane uz zaštitu okoliša (naprimjer, odlagališta otpada, tekući otpadni spremnici, spremnici za gnojivo i drugo), konstrukcije i hidrotehničku infrastrukturu (brtvila za sprečavanje filtriranja vode kroz bazene, kanale, zemljane brane branike i drugo) te projekte izgradnje cesta, parki-

rališta i benzinskih postaja. Geomembrane izrađuju se od polietilena visoke ili niske gustoće (HDPE ili LLDPE) te u raznim debljinama od 1,00 mm do 2,5 mm. Kao primjer može se navesti ugradnja HDPE geomembrane na projektu sanacije odlagališta otpada Lukavac, a u sklopu kojega su radovi izvedeni u lipnju 2010.

Talpe

Plastične su talpe ekološki prihvatljivi, lagani i izdržljivi geosintetici te su napredna alternativa konvencionalnim materijalima kao što su čelik, beton ili drvo zbog mogućnosti smanjenja investicijskih troškova. Plastične talpe imaju pedesetogodišnje jamstvo i ne zahtijevaju održavanje. Otporne su na koroziju i utjecaj atmosferskih i bioloških čimbenika, uključujući UV zračenje i morsku vodu. Također su otporne na mehanička oštećenja, uključujući ogrebotine, pukotine i abrazije. Najveće prednosti primjene talpi za mehaničku stabilizaciju tla jesu jednostavna instalacija zahvaljujući laganoj konstrukciji i ravnoj površini te brza ugradnja uz pomoć standardnih građevinih alata i strojeva. Primjer primjene talpi može se vidjeti na projektu rekonstrukcije savskog nasipa u dužini 7,3 km između naselja Donje Bukevje i Strmec Bukevski, a u sklopu kojega su radovi izvedeni u studenome 2016.



Hidroizolacija tunela Kamenice, Pelješac 2022., izvođači radova Kotonteks i Strabag

Armirano tlo kao projektno rješenje u sklopu EU-ova projekta "Cestovna povezanost s južnom Dalmacijom"

Jedan od važnijih i aktualnih projekata u kojima se na pojedinim objektima primjenjuje tehnologija armiranoga tla jest kapitalni projekt Republike Hrvatske "Cestovna povezanost s južnom Dalmacijom". Izgradnja Pelješkoga mosta i njegovih pristupnih cesta trenutačno je najveći infrastrukturni projekt u Hrvatskoj. Preduvjet da prva vozila prijeđu preko Pelješkoga mosta jest izgradnja pristupnih cesta, koje su sastavni dio projekta povezivanja južne Dalmacije s ostatkom Hrvatske. Most Dumanja Jaruga i njegovi oslonci dio su pristupnih cesta mostu sa strane poluotoka Pelješca. Ideja o gradnji armiranog tla Tenax Rivel sustava te njegova uspješna realizacija nastala je na temelju suradnje dviju tvrtki, Kotonteks kao nositelj Tenax Rivel tehnologije te

tvrtke Strabag izvođača radova na pristupnim cestama mostu Pelješac. Izvedbeni projekt potpornih konstrukcija od armiranoga tla na pozicijama upornjaka mosta Dumanja Jaruga I. te zida Doli u sklopu izgradnje pristupnih cesta mostu sa strane poluotoka Pelješca izradila je tvrtka *Geotech d.o.o.*

Izgradnja Pelješkoga mosta i njegovih pristupnih cesta trenutačno je najveći infrastrukturni projekt u Hrvatskoj

Most Dumanja Jaruga I. započinje u km 9+290 i završava u km 9+710 te se proteže preko četiriju raspona pojedinačnih duljina 90,0, 120,0, 120,0 i 90,0 m, dok zid Doli započinje u km 8+085 te završava u km 8+265. Na obje lokacije predviđene su potporne konstrukcije od armiranoga

tla radi nepovoljne geomorfologije terena (dolina) gdje bi izvedba nasipa u stabilnoj geometriji zahtijevala korištenje velike količine materijala. Kako bi se omogućila stabilnost nasipa u upornim zonama U0 i U4 mosta Dumanja Jaruga I., planirana je i izvedena izgradnja armiranih potpornih konstrukcija tla. Most Dumanja Jaruga I. Maksimalne je visine 13 metara. Za uporne zone U0 i U4 mosta Dumanja Jaruga I. planirane su potporne građevine dužine 102 m i 155,60 m. Iznad armiranoga tla izgrađen je dodatan nasip (nagib 1V : 1,5H) visine osam metara. Za armiranje tla u tom projektu korištena je jednosa geometrija od polietilena visoke gustoće (HDPE). Armiranje tla izvodi se odozdo prema gore. Izgradnja prati određene korake, odnosno faze izgradnje koje se u principu uvijek ponavljaju. Ojačana potporna konstrukcija sastavljena je od pojedinačnih tipova koji su ponajprije definirani visinom, vrstom i rasporedom planiranih geometrija.



Detalj s gradilišta Jaruge Pelješac, izvođač radova Strabag uz stručni suport Kotonteks i Tenax



Zračni snimak potporne konstrukcije na gradilištu mosta, Jaruge Pelješac, izvođač radova Strabag uz stručni suport Kotonteks i Tenax

Potporna konstrukcija izrađena od armiranoga tla sastoji se od sljedećih osnovnih dijelova: tla (zemljani materijal za ispunu), armaturne mreže Q-335 i armaturne šipke Φ 8,0 mm (rebraste armature B500B) za formiranje prednje strane potporne konstrukcije na odabranome nagibu (80°) i jednoosne geomreže od polietilena visoke gustoće (HDPE). Faze armiranja tla jesu sljedeće:

- 1. faza: iskop postojećega terena u kosini u stabilnoj geometriji za potrebe izrade armirane potporne konstrukcije
- 2. faza: ugradnja prve ploče armaturne mreže Q-335 u dno iskopa za formiranje prednje strane potporne konstrukcije na odabranome nagibu (80°)
- 3. faza: postavljanje geomreža različitih duljina
- 4. faza: postavljanje geokompozita na geomrežu kako bi se spriječila erozija materijala nasipa kroz prednju stranu potporne konstrukcije
- 5. faza: ugradnja armaturnih šipki Φ 8,0 mm od rebraste armature B 500B radi učvršćivanja geomreže (stabilizacija prednje strane potporne konstrukcije) na svakih 45 centimetara

- 6. faza: priprema sloja armiranoga tla debljine 65 cm nasipanjem materijala i zbijanjem u dva sloja.

Nakon izrade svakoga reda nasipa izvodi se odgovarajuće zbijanje uz pomoć vibracija, dok se zbijanje izvodi ručno uz prednju stranu. Ponavljanjem navedenih faza (od 2. do 6. faze) potporna konstrukcija izrađuje se od armiranoga tla do pune visine.

Zaključne napomene

Razumijevanje tehnologije izgradnje potpornih konstrukcija i osnovnih mehanizama nosivosti zidova od armiranoga tla zajedno s prikazom prednosti takvih zidova u odnosu na konvencionalne armiranobetonske konstrukcije može doprinijeti povećanju broja takvih nasutih građevina na našim prostorima. Izgradnjom nasutih građevina od armiranoga tla mogu se postići znatne visine potpornih konstrukcija (visine veće od 50 metara). Takve potporne konstrukcije izvrstan su način smanjenja troškova izgradnje nasipa u geomorfološki složenim uvjetima koji zahtijevaju velike količine materijala za nasipe. Još jedna prednost jest to

što se materijal iz iskopa može koristiti za zatrpavanje, a s obzirom na to da se prednja strana može drugačije oblikovati, takva vrsta potporne konstrukcije jest i estetski ugodno rješenje.

Izvori:

- [https://en.wikipedia.org/wiki/Henri_Vidal_\(engineer\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Henri_Vidal_(engineer))
- <https://kotonteks.hr/>
- <https://www.geotech.hr/potporne-konstrukcije-od-armiranog-tla/>
- https://www.larimit.com/mitigation_measures/994/
- <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/reinforced-soil>
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5951437/>
- <https://civildigital.com/reinforced-soil-principles-soil-reinforcing-advantages/>
- <https://theconstructor.org/wp-content/uploads/2020/07/collage.jpg>
- https://construction-update.co.uk/wp-content/uploads/sites/9/2021/11/Subgrade_LowResImageTVAIue.jpg
- www.tenax.net

Fotografije: KOTONTEKS