

# Konstrukcije nasipa od armiranog tla

---

**Kocmanić, Karlo**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:138579>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Karlo Kocmanić**

**Konstrukcije nasipa od armiranog tla**

**Završni rad**

**Rijeka, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Preddiplomski stručni studij**

**Geotehničko inženjerstvo**

**Karlo Kocmanić  
JMBAG:0114024251**

**Konstrukcije nasipa od armiranog tla**

**Završni rad**

**Rijeka, rujan 2019.**



## **IZJAVA**

Završni rad izradio sam samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

---

Karlo Kocmanić

U Rijeci, 16. rujna 2019. godine

**Zahvala:**

Veliku zahvalnost dugujem svojoj mentorici prof.dr.sc. Martini Vivodi Prodan što mi je omogućila izradu završnog rada, na prijateljskom pristupu i stručnoj pomoći, brojnim savjetima i smjericama kojima mi je pomogla u izradi ovog završnog rada, i što je uvijek imala vremena i strpljenja za moje upite.

Najveću zaslugu pripisujem mojoj sestri i mojim roditeljima, što su uvijek bili uz mene i bez obzira da li se radilo o sretnim ili tužnim trenutcima, nikada me nisu prestali gurati naprijed i bez njih sve što sam do sada postigao bilo bi nemoguće.

## **Sažetak:**

U ovom završnom radu obrađene su konstrukcije nasipa od armiranog tla. Ukratko je opisana povijest primjene armiranog tla. Kako se armirano tlo sastoji od dva gradiva a to su armatura i nasipni materijal, detaljno je opisana sama armatura, od vrsta koje se koriste do njihovog načina ugradnje, te vrste nasipnog materijala. Također je opisana i primjena u graditeljstvu te prednosti i nedostaci armiranog tla. Prikazana je analiza proračuna armiranja tla te je riješen primjer zadatka analitičkim putem gdje je potrebno proračunati potrebnu duljinu geomreža, odnosno unutarnju i vanjsku stabilnost armiranog nasipa, i numeričkim putem gdje je proračunat faktor sigurnosti upotrebom metode granične ravnoteže programskim paketom Rocscience, u programu Slide, i utvrđena razina stabilnosti zasjeka.

Ključni pojmovi: Nasip, armirano tlo, armatura, vrste materijala, ugradnja, prednosti, nedostaci.

## **Summary:**

In this final paper, the constructions of reinforced soil embankments are discussed. The history of application of reinforced soil is briefly described. As reinforced soil consists of two materials, namely reinforcement and embankment material, the reinforcement itself is described in detail, from the types used to their installation method, and the type of embankment material. Construction applications and the advantages and disadvantages of reinforced soil are also described. An analysis of the soil reinforcement calculation is presented and an example of the problem is solved by analytical method, where it was necessary to calculate the required length of geogrids, the internal and external stability of the reinforced embankment, and numerically, where the factor of safety was calculated using the boundary equilibrium method using Rocscience software in Slide program.

Keywords: Embankment, reinforced ground, reinforcement, material types, advantages, disadvantages, installation, interaction

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ARMIRANO TLO.....	3
3. PRIMJENA ARMIRANOG TLA .....	8
4. GRADIVA ARMIRANOG TLA .....	20
4.1 Armatura.....	20
4.1.1. Metalne armature .....	21
4.1.2 Armature od stakloplastike.....	25
4.1.3. Geosintetici.....	25
4.1.2.1 Geotekstili.....	30
4.1.2.2 Geomreže.....	36
4.2 Nasipni materijal armiranog tla.....	41
4.3. Lica građevina od armiranog tla .....	43
5. IZVEDBA POTPORNIH KONSTRUKCIJA OD ARMIRANOG TLA.....	57
5.1 Izvedba konstrukcija od armiranog tla armiranog geosintetikom.....	60
5.2. Izvedba konstrukcija od armiranog tla sa krutim oblogama lica.....	65
6. PREDNOSTI I NEDOSTACI KONSTRUKCIJA OD ARMIRANOG TLA .....	69
6.1 Prednosti armiranog tla .....	69
6.2 Nedostaci armiranog tla.....	70
7. TROŠKOVI GRAĐEVINA OD ARMIRANOG TLA .....	71
8. ANALIZA PRORAČUNA ARMIRANJA TLA GEOSINTETIKOM .....	73
9. PRORAČUN OJAČANJA NASIPA GEOMREŽOM .....	78
9.1 Analitički proračun nasipa ojačanog geomrežom.....	78
9.2. Numerička analiza potporne konstrukcije od armiranog tla .....	90
10. ZAKLJUČAK.....	94
Literatura:.....	95



<b>Popis slika</b>	<b>Stranica</b>
Slika 1. Mehanički stabiliziran zemljani zid (N.Y. D.O.T. Geotech Manual, 2007.)	4
Slika 2. Primjer mehanički stabiliziranog zemljanog zida ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	4
Slika 3. Ojačano tlo u prirodi (Rainkilor, 1981.)	5
Slika 4. Vidalov patent Terre Armee (Roje-Bonacci, 2005.)	6
Slika 5. Razlika između ne-ojačanog (a) i ojačanog (b) tla ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> .)	7
Slika 6. Kolnički nasip ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	8
Slika 7. Lučni most ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	9
Slika 8. Upornjak mosta ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	9
Slika 9. Fazna gradnja ceste ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	10
Slika 10. Prometna barijera ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	10
Slika 11. Zvučni zid ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	11
Slika 12. Pristupni nasip mosta ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	11
Slika 13. Proširenje mosta ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	12
Slika 14. Privremeni potporni zid ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	12
Slika 15. Podizanje vrha nasipa brane ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	13
Slika 16. Preljevni zid ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	13
Slika 17. Zid preljeva ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	14
Slika 18. Obnova i popravak brane ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	14
Slika 19. Zemljana brana sa dva lica ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	15
Slika 20. . Dio brane ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	15
Slika 21. Željeznički nasip ( <a href="http://www.abg-geosynthetics.com">http://www.abg-geosynthetics.com</a> )	16
Slika 22. Primjena u zračnoj luci ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	16
Slika 23. Primjena u industriji ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	17
Slika 24. Primjena u vojsci ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	17
Slika 25. Dijelovi potporne građevine ( <a href="https://m-kvadrat.ba">https://m-kvadrat.ba</a> )	20
Slika 26. Visoko prijanjajuće rebraste trake ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	22
Slika 27. Visoko prijanjajuće „ljestve“ ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	22
Slika 28. Metalne trake od galvaniziranog čelika ( <a href="https://www.tensar.com.hr">https://www.tensar.com.hr</a> )	23
Slika 29. Zatrpavanje metalne armature ( <a href="https://www.tensar.com.hr">https://www.tensar.com.hr</a> )	23

Slika 30. Čelične trake ili „ljestve“ ( <a href="https://www.tensar.com.hr">https://www.tensar.com.hr</a> )	24
Slika 31. Georešetka ( <a href="http://si.fggeogrid.com">http://si.fggeogrid.com</a> )	27
Slika 32. Geomembrana ( <a href="https://www.epttech.com">https://www.epttech.com</a> )	27
Slika 33. Geokompozit ( <a href="https://www.sinteza-lining.si">https://www.sinteza-lining.si</a> )	28
Slika 34. Glinena geosintetička barijera ili uložak ( <a href="https://www.sinteza-lining.si">https://www.sinteza-lining.si</a> )	28
Slika 35. Geocijev ( <a href="http://www.oceanreinforced.com">http://www.oceanreinforced.com</a> )	29
Slika 36. Geopjena ( <a href="https://www.geofoam.com">https://www.geofoam.com</a> )	29
Slika 37. Netkani geotekstil ( Koerner 2005.)	30
Slika 38. Primjer netkanog geotekstila ( <a href="https://geotextilemembranes.co.uk">https://geotextilemembranes.co.uk</a> )	31
Slika 39. Tkani geotekstil ( <a href="https://www.gradjevinarstvo.rs">https://www.gradjevinarstvo.rs</a> )	32
Slika 40. Izgled tkanog geotekstila ( <a href="https://www.geomat.eu">https://www.geomat.eu</a> )	33
Slika 41. Tržišni zahtjevi getekstila ( Koerner, 2016.)	35
Slika 42. Geomreže ( <a href="http://www.geotekstili.com">www.geotekstili.com</a> )	36
Slika 43. Spajanje preklapanjem (Babić i suradnici, 1995.)	38
Slika 44. Spajanje šivanjem (Babić i suradnici, 1995.)	39
Slika 45. Poseban spoj (Babić i suradnici, 1995.)	40
Slika 46. Nekoherentni nasipni materijal ( <a href="http://mattinglyengineers.com">http://mattinglyengineers.com</a> )	42
Slika 47. Armirano tlo bez lica (Roje-Bonacci, 2005.)	43
Slika 48. Lice od betonskih, križnih elemenata gledano sa nasipa (Bathurst, 2015.)	44
Slika 49. Lice od betonskih, križnih elemenata ( <a href="https://www.maccaferri.com">https://www.maccaferri.com</a> )	45
Slika 50. Šesterokutni betonski elementi na licu armiranog tla ( <a href="http://consmethod.blogspot.com">http://consmethod.blogspot.com</a> )	45
Slika 51. Predgotovljeni modularni blokovi (N.Y. D.O.T. Geotech Manual, 2007.)	46
Slika 52. Prefabricirani T-elementi ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	47
Slika 53. Metalna obloga ( <a href="http://www.retainingsolutions.com.au">http://www.retainingsolutions.com.au</a> )	48
Slika 54. Primjer preklapanja geomreže na licu armiranog tla ( <a href="http://www.abg-geosynthetics.com">http://www.abg-geosynthetics.com</a> )	49
Slika 55. Primjer ozelenjavanja lica zida ( <a href="https://www.green-tech.co.uk">https://www.green-tech.co.uk</a> )	50
Slika 56. Lice zida od žičane mreže ( <a href="https://reinforcedearth.com">https://reinforcedearth.com</a> )	50
Slika 57. Lice zida od zavarene mreže ( <a href="https://bluestonesupply.com">https://bluestonesupply.com</a> )	51
Slika 58. Lice armiranog tla od zavarene mreže u 3D pogledu sa ozelenjenom površinom ( <a href="http://www.acegeosyntheticsecopark.com">http://www.acegeosyntheticsecopark.com</a> )	51

Slika 59. Lice zida od zavarene mreže u presjeku ( <a href="http://www.acegeosyntheticsecopark.com">http://www.acegeosyntheticsecopark.com</a> )	52
Slika 60. Lice armiranog tla od gabiona u 3D pogledu ( <a href="http://www.acegeosyntheticsecopark.com">http://www.acegeosyntheticsecopark.com</a> )	53
Slika 61. Lice zida od gabiona u presjeku ( <a href="http://www.acegeosyntheticsecopark.com">http://www.acegeosyntheticsecopark.com</a> )	54
Slika 62. Sustav Terramesh (T. Ivšić, 2009.)	55
Slika 63. Sustav Terramesh u izvedbi preklopa geotekstila (T. Ivšić, 2009.)	55
Slika 64. Terramesh sa a) vertikalnim licem b) "razbijenim" licem ( <a href="https://www.geofabrics.co">https://www.geofabrics.co</a> )	56
Slika 65. Terramesh sa „zelenim“ licem ( <a href="https://www.geofabrics.co">https://www.geofabrics.co</a> )	56
Slika 66. Teleskopska metoda (Jones, 1985.)	58
Slika 67. Dijelovi konstrukcije od armiranog tla za izvedbu klizne metode (Jones, 1985.)	59
Slika 68. Daske prve faze ( <a href="http://www.archiexpo.com">www.archiexpo.com</a> )	61
Slika 69. Koraci izvedbe prve faze ( <a href="http://www.archiexpo.com">www.archiexpo.com</a> )	62
Slika 70. Preklapanje geosintetika ( <a href="http://www.archiexpo.com">www.archiexpo.com</a> )	63
Slika 71. Ponavljane postupka do potrebne visine ( <a href="http://www.archiexpo.com">www.archiexpo.com</a> )	64
Slika 72. Prva faza izrade konstrukcije ( Jones, 1985.)	65
Slika 73. Postavljanje metalne armature ( <a href="http://www.trulinecivil.com">http://www.trulinecivil.com</a> )	66
Slika 74. Druga faza izrade konstrukcije (Jones, 1985.)	66
Slika 75. Zbijanje materijala ( <a href="http://www.trulinecivil.com">http://www.trulinecivil.com</a> )	67
Slika 76. Postavljanje panela( <a href="http://www.trulinecivil.com">http://www.trulinecivil.com</a> )	67
Slika 77. Treća faza izrade konstrukcije (Jones, 1985.)	68
Slika 78. Stezaljke ( <a href="http://www.trulinecivil.com">http://www.trulinecivil.com</a> )	68
Slika 79. Kontrola vanjske stabilnosti (Koerner, 2005.)	73
Slika 80. Kontrola unutarnje stabilnosti (Koerner, 2005.)	73
Slika 81. Dijagrami unutarnje stabilnosti (Koerner, 2005.)	74
Slika 82. Prikaz geometrije geosintetika u poprečnom presjeku ( Koerner, 2005.)	76
Slika 83. Zadani geotehnički profil	78
Slika 84. Bočni pritisak od tla i vanjskog opterećenja	80
Slika 85. Prikaz udaljenosti i duljine polaganja slojeva u AutoCAD-u	83
Slika 86. Dimenzije potrebne za proračun stabilnosti	84
Slika 87. Početni model nasipa	91

Slika 88. Prikaz faktora sigurnosti armiranog tla u Slide-u	92
Slika 89. Prikaz faktora sigurnosti bez armiranja tla u Slide-u	93

<b>Popis tablica</b>	<b>Stranica</b>
1. Tablični prikaz dužine geotekstila za svaki sloj	82
2. Parametri materijala	89
3. Parametri geomreže	89

## 1. UVOD

Za armirano tlo i potporne konstrukcije možemo reći da imaju veoma široku i raznoliku primjenu u geotehničkom inženjerstvu bilo da se radi o izgradnji mostova, tunela, cesta pa sve do izgradnje brana i upotrebi u vojne svrhe. Također možemo reći da se koriste od samog početka graditeljstva a u prirodi i životinjskom svijetu i puno ranije. Mali primjer toga je ptičje gnijezdo ojačano grančicama ili travkama ili pak korijenje stabala koje djeluje kao armatura te štiti kosine od klizišta. Samo po sebi, armirano tlo predstavlja potpornu konstrukciju koja se sastoji od nasipnog materijala i same armature koja se nalazi u tlu za njegovo ojačanje. Međutim odabir materijala i armature ovisi o tlu u kojem se gradi, svrsi nasipa ili potporne konstrukcije i načinu izgradnje.

Usporedno sa razvitkom tehnologije se razvijaju i nove vrste armatura. Prije su se koristile metalne armature ali razvojem jeftinih geosintetičkih materijala njihova upotreba opada. Jedna od prednosti potpornih konstrukcija od armiranog tla, govoreći u estetskom obliku, je široka paleta odabira lica ili poruba. Iako lice ima malu ulogu u preuzimanju opterećenja, njegovim oblikovanjem bilo montažnim betonskim pločama, modularnim blokovima, ozelenjavanjem lica od geosintetike pa sve do dekorativnih porubnih elemenata, moguće je veoma jednostavno uklopiti potpornu konstrukciju u okruženje u kojem se nalazi. Kao i svaka konstrukcija koja se oko nas nalazi, potporne konstrukcije i armirano tlo imaju svoje prednosti i mane, iako je njihova izgradnja od 25%-50% jeftinija u usporedbi sa konvencionalnim armiranobetonskim potpornim konstrukcijama.

U prvom dijelu završnog rada je opisano armirano tlo, njegova upotreba kroz povijest, te mogućnosti njegove primjene u današnje vrijeme.

U drugom dijelu rada objašnjena su gradiva armiranog tla sa prednostima i nedostacima svakog gradiva, opisana je armatura i nasipni materijal koji se koristi kod armiranog tla a nakon toga opisana su lica građevina od armiranog tla.

U trećem dijelu rada opisane su faze gradnje potpornih zidova armiranog tla pomoću geosintetike i krutih obloga lice te prednosti i nedostaci armiranog tla i troškovi izgradnje armiranih struktura.

U zadnjem dijelu završnog rada napravljena je analiza proračuna tla armiranog geosintetikom te je napravljen primjer proračuna ojačanja tla pomoću geomreže.

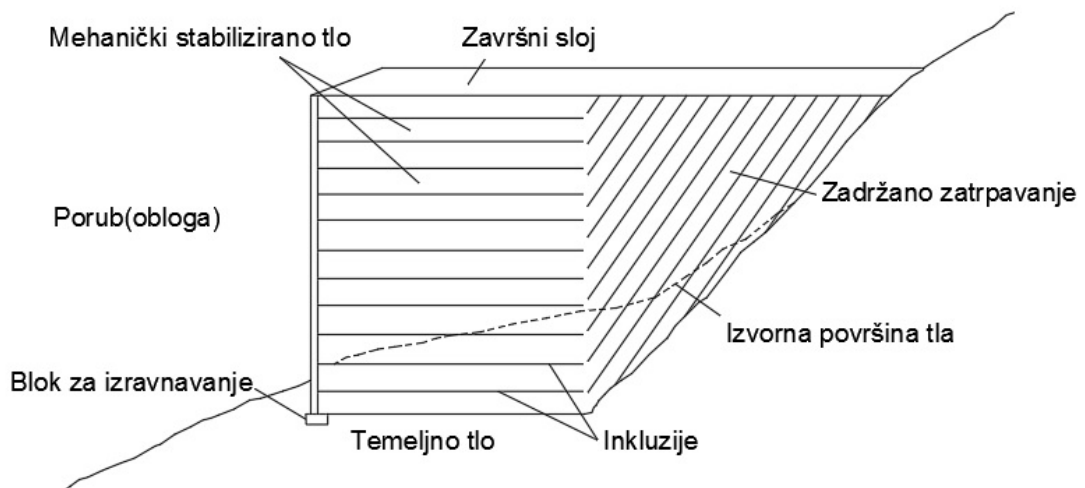
## 2. ARMIRANO TLO

Armirana tla spadaju u relativno novi tip zemljanih konstrukcija, a čine ga tlo ojačano vlačnim elementima - armaturom. Zemljanim tlom nazivaju se sve vrste kamene sitneži, kamena, pijeska, šljunka, gline, praha i sve njihove mješavine. (Koerner, 2016.) Armirana tla koriste se u širokom spektru graditeljstva, a njihova primjena opisana je detaljnije dalje u radu.

Armirano tlo definira se kao kompozit tla i geosintetičke armature, najčešće od geotekstila ili geomreže, ponekad polimernih ili metalnih traka, a sve rjeđe od metalnih mreža. Armiranjem tla izvode se: potporni zidovi, strmi pokosi nasipa, stabilizacija nestabilnih kosina, poboljšanje temeljnog tla te ojačanja nosivih slojeva prometnica. (Minažek i Mulabdić, 2013.)

Povećanjem primjene geosintetika pojavila su se pitanja o mehanizmima djelovanja između tla i geosintetike kao armature te učinkovitosti i ekonomičnosti primjene različitih tipova geosintetike za različite uvjete u tlu. To je potaklo razvoj istraživanja mehanizama interakcije tla i armature kroz razvoj teorijskih i numeričkih modela, modelskih ispitivanja te ispitivanja na konstrukcijama koje su obradili Minažek i Mulabdić (2013) u svom radu.

I dalje se razvijaju nove metode, često od strane specijaliziranih izvođača i dobavljača. Osobe koje su odgovorne za planiranje, projektiranje i provođenje poboljšanja i dopune na takvim mjestima trebaju razumjeti primjenu, ograničenja i troškove povezanih s mnoštvom dostupnih mjera i tehnologija. Primjer mehanički stabiliziranog zemljanog zida prikazan je na slici 1. i 2.



Slika 1. Mehanički stabiliziran zemljani zid (N.Y. D.O.T. Geotech Manual, 2007.)



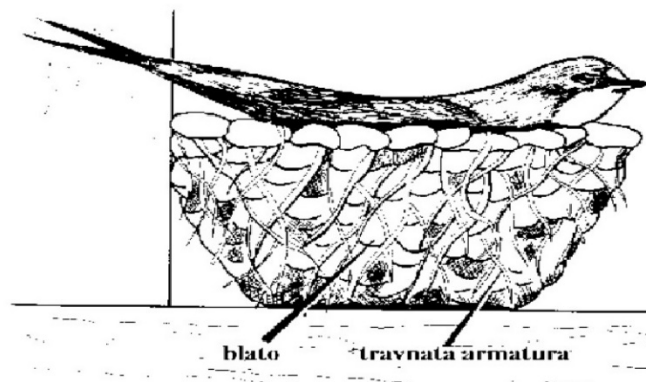
Slika 2. Primjer mehanički stabiliziranog zemljanog zida (<https://reinforcedearth.com>)



Koherentno tlo ima određenu vlačnu čvrstoću, koja se ukoliko je potrebno može povećati ugradnjom armature. Ova činjenica je poznata još iz Starog Zavjeta gdje u Knjizi Izlaska 5:6-9 stoji da se u starom Egiptu koristila slama za ojačanje opeka. Pri rekonstrukciji poznatog zigurata iz Ur-a pronađena je armatura, isprepletana trska, u blokovima od, na suncu sušenog blata. Poznata su ojačanja od trupaca, najranije metoda za svladavanje blatnjavih dionica putova. (Roje-Bonacci, 2005.)

Nekoherentno tlo nema vlačnu čvrstoću. Mogućnost dodavanja armature u građevine od nekoherentnog tla proširuje područja njegovog korištenja u graditeljstvu a posebice je primjena ojačanog tla pri građenju na lošim tlima. U tom slučaju određene vrste dodatnih gradiva imaju filtrirajuću i razdvajajuću ulogu osim samog osiguranja vlačne čvrstoće. (Roje-Bonacci, 2005.)

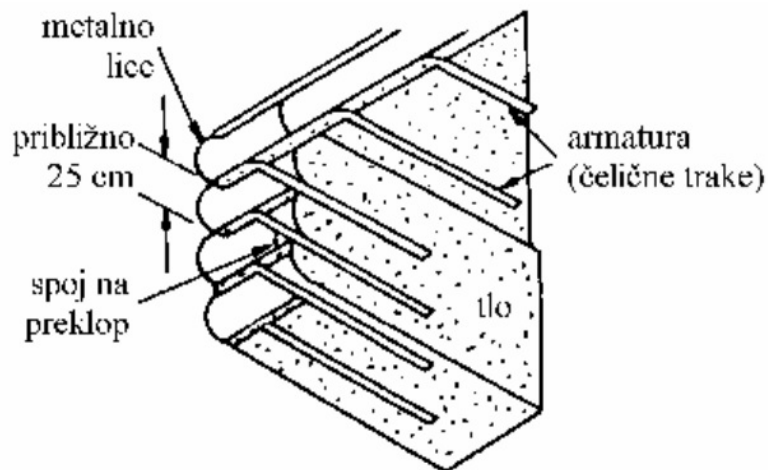
Mnoge građevine koje se nalaze u prirodi i životinjskom svijetu dokaz su da armirano tlo nije izumio čovjek a jedan od primjera je ptičje gnijezdo prikazano na slici 3.



Slika 3. Ojačano tlo u prirodi (Rainkilor, 1981.)

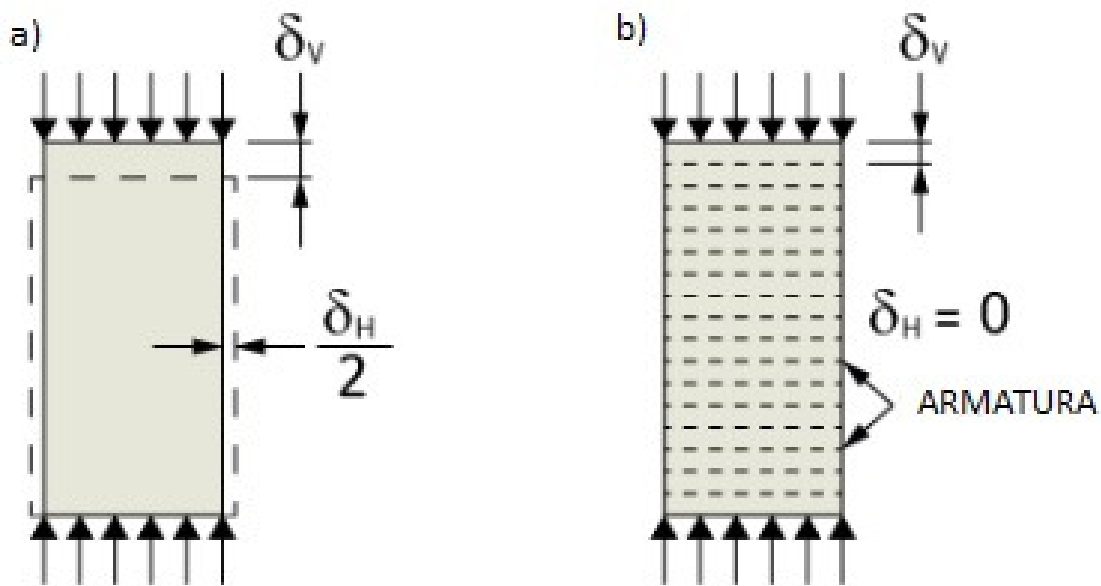
Ojačanje ili armiranje tla raznim materijalima, koja mogu preuzeti vlačne čvrstoće, kao npr. trava, slama, granje, trupci i slično, koristi se odavna u graditeljstvu. Sva spomenuta gradiva organskog su porijekla i nisu postojana u vremenu. Prvi ozbiljniji pokušaji učinjeni su pojavom čelika.

H. Vidal je 1963. godine izveo prve pokuse sa armiranim tлом a svoj izum je patentirao 1966. godine. Osnova prvih građevina je čelična, trakasta armatura pričvršćena za metalnu košuljicu koja se nalazi na licu ili porubu građevine. (Roje-Bonacci, 2005.) Izvorni presjek prikazan je na slici 4.



Slika 4. Vidalov patent Terre Armee (Roje-Bonacci, 2005.)

Pojednostavljeni model pomaže nam objasniti princip koji je nadahnuo tehnike ojačanog tla. Razmotrimo li element tla na slici 5(a), koji je dio beskonačne mase: primjenom vertikalnog napreznja, dolazi do vertikalnih deformacija,  $\delta_v$ , i horizontalnih,  $\delta_h/2$ . Kada se, kao na slici 5(b), u tlo postavi armatura, pritisak koji stvara zbijeno stanje tla, pomaže u odupiranju horizontalnim silama i smanjenju horizontalnih deformacija. Stoga postavljanje armature u tlo smanjuje horizontalne deformacije i naprezanja koja se primjenjuju na tlo. (Koerner, 2016.)



Slika 5. Razlika između ne-ojačanog (a) i ojačanog (b) tla ( <https://reinforcedearth.com>.)

### 3. PRIMJENA ARMIRANOG TLA

Armirano tlo koristi se u tlu kojem je potrebno povećati vlačnu čvrstoću a danas ima široku primjenu u mnogim područjima niskogradnje gdje je primjena uvjetovana korištenjem lokalnih materijala za nasipavanje, što znatno pojeftinjuje gradnju. Osim upotrebe lokalnog materijala mogu se koristiti i industrijski ostaci samo ako zadovoljavaju mehanička svojstva koja su tražena za nasip. Armirano tlo ne zahtijeva tešku mehanizaciju niti iziskuje puno ljudskog rada. Izvedba armiranog tla zahtijeva materijal kojim se armira i tlo koje se armira. Iz tog razloga ove su građevine u osnovi nasute građevine, u koje se tijekom nasipavanja i zbijanja ugrađuju vlačni elementi, armature. (Roje-Bonacci, 2005.)

Armirano tlo je vrsta gradnje u kojoj armatura ugrađena u nasip, preuzima naprezanja trenjem po dodirnoj površini između armature i tla u nasipu. Armatura i nasip djeluju kao jedno tijelo. Armirano tlo ima raznoliku primjenu a neke od njih su:

- Nasipi kolnika



Slika 6. Kolnički nasip (<https://reinforcedearth.com>)

- Lučni mostovi i tuneli



Slika 7. Lučni most (<https://reinforcedearth.com>)

- Upornjaci mostova



Slika 8. Upornjak mosta (<https://reinforcedearth.com>)

- Privremena fazna gradnja cesta i mostova



Slika 9. Fazna gradnja ceste (<https://reinforcedearth.com>)

- Prometna barijera



Slika 10. Prometna barijera (<https://reinforcedearth.com>)

- Zvučni zid



Slika 11. Zvučni zid (<https://reinforcedearth.com>)

- Proširenje kolnika
- Pristupni nasip mosta



Slika 12. Pristupni nasip mosta (<https://reinforcedearth.com>)

- Proširenja mostova



Slika 13. Proširenje mosta (<https://reinforcedearth.com>)

- Privremeni potporni zid



Slika 14. Privremeni potporni zid (<https://reinforcedearth.com>)

- Podizanje vrha nasipa brane





Slika 15. Podizanje vrha nasipa brane (<https://reinforcedearth.com>)

- Zidovi preljeva

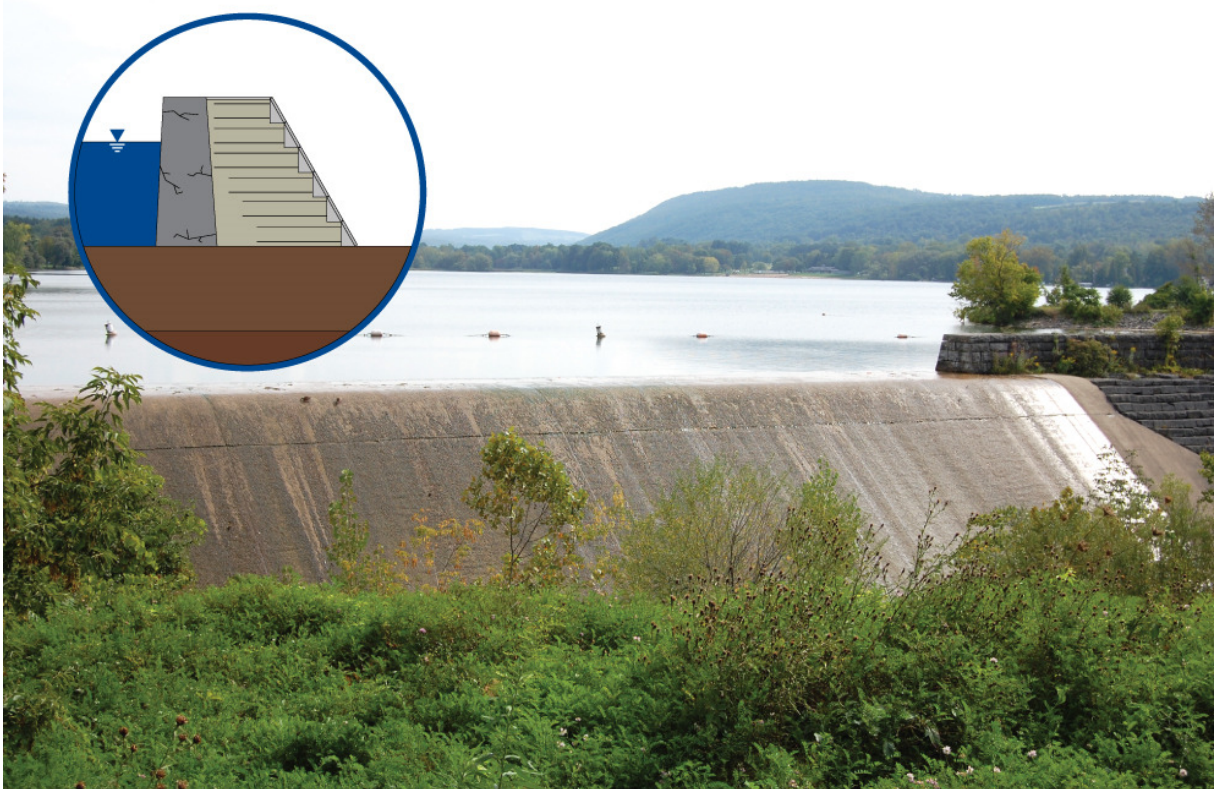


Slika 16. Preljevni zid (<https://reinforcedearth.com>)



Slika 17. Zid preljeva (<https://reinforcedearth.com>)

- Obnova i popravak brana



Slika 18. Obnova i popravak brane (<https://reinforcedearth.com>)

- Zemljana brana sa dva lica



Slika 19. Zemljana brana sa dva lica (<https://reinforcedearth.com>)

- Dijelovi brane



Slika 20. . Dio brane (<https://reinforcedearth.com>)

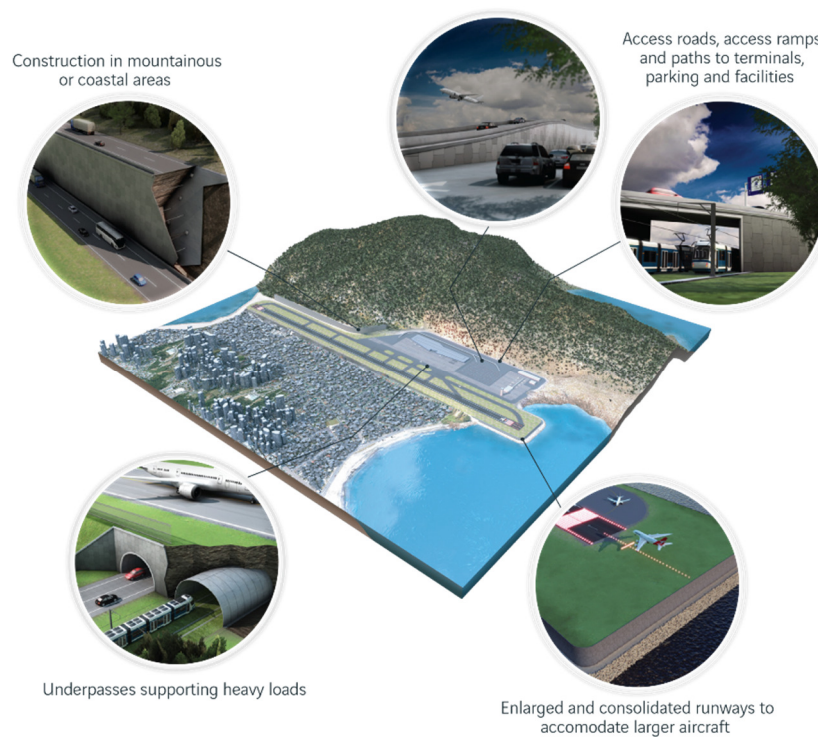
- Zaštita od eksplozije
- Skladišta za streljivo

- Željeznički nasip



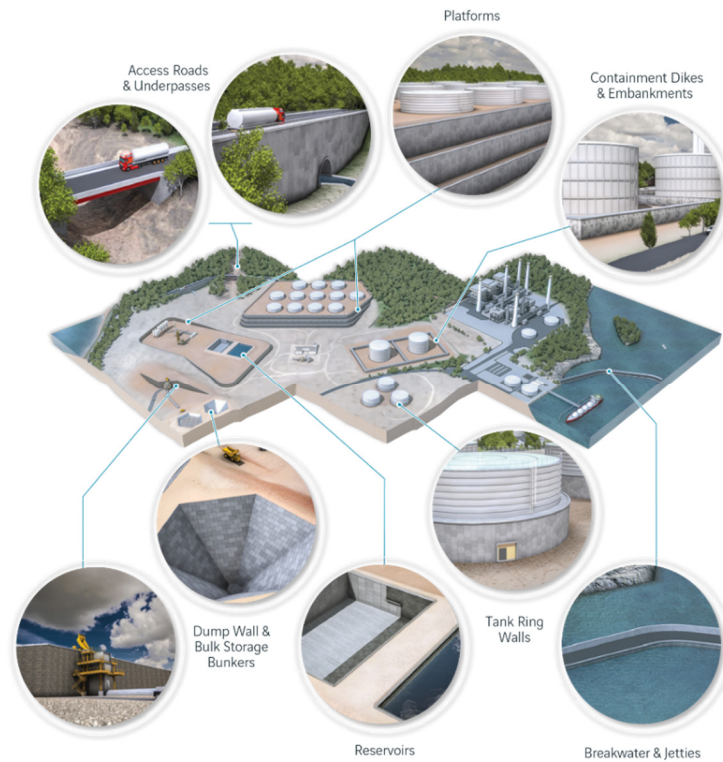
Slika 21. Željeznički nasip (<http://www.abg-geosynthetics.com>)

- Zidovi drobilica u kamenolomima
- Široka primjena u zračnim lukama



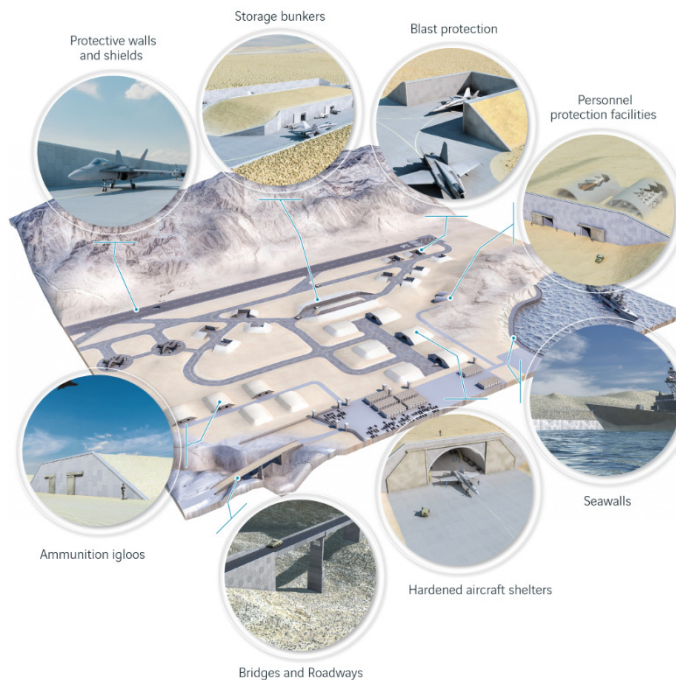
Slika 22. Primjena u zračnoj luci (<https://reinforcedearth.com>)

- Široka primjena u industrijskoj i rudarskoj grani



Slika 23. Primjena u industriji (<https://reinforcedearth.com>)

- Široka primjena u vojnim svrhama



Slika 24. Primjena u vojsci (<https://reinforcedearth.com>)

U Hrvatskoj se već dugi niz godina rade istraživanja armiranog tla pokusom izvlačenja na Građevinskom fakultetu u Osijeku gdje je razvijen veliki uređaj za izvlačenje (nazvan tip GFOS) koji po svojim svojstvima pripada malobrojnim uređajima koji imaju mogućnost ispitivanja realnih materijala ispune s promjerima zrna većih dimenzija.

Minažek i Mulabdić (2016) u svom radu detaljno je opisuju interakciju između tla i armature u modelskom ispitivanju izvlačenja armature, kao i utjecaj rubnih uvjeta i način provedbe pokusa.

Modelske pokusom izvlačenja armature iz tla gdje je u metalnu kutiju uređaja za izvlačenje ugrađena armatura koja se nalazi između dva sloja tla, određena je sila koja je potrebna za izvlačenje i pomaci koji se pojavljuju po duljini armature. Pokus izvlačenja provodio se kontroliranim prirastom sile uz odgovarajuće normalno naprezanje. Kod velikih vrijednosti normalnih naprezanja i velike duljine armature može nastupiti slom armature umjesto izvlačenja zbog prekoračenja njene vlačne čvrstoće.

Nakon provedenih istraživanja došli su do zaključka da su geomreže, čija je primjena najdominantnija u odnosu na druge geosintetičke materijale u slučaju ojačanja tla, puno djelotvornija od geotekstila, a da su ukupni učinci u armiranom tlu ovisni o tipu geomreže i značajkama tla kao i da se u krupnozrnatom tlu najviše vide razlike u učinkovitosti pojedinih geomreža.

Također, utvrđeno je da ispitivanja u velikim uređajima za izvlačenje uz minimaliziranje utjecaja rubnih uvjeta mogu dati pouzdane rezultate i podatke koji su potrebni u projektiranju konstrukcija od armiranog tla kada se koristi geosintetička armatura kao zatega u tlu.

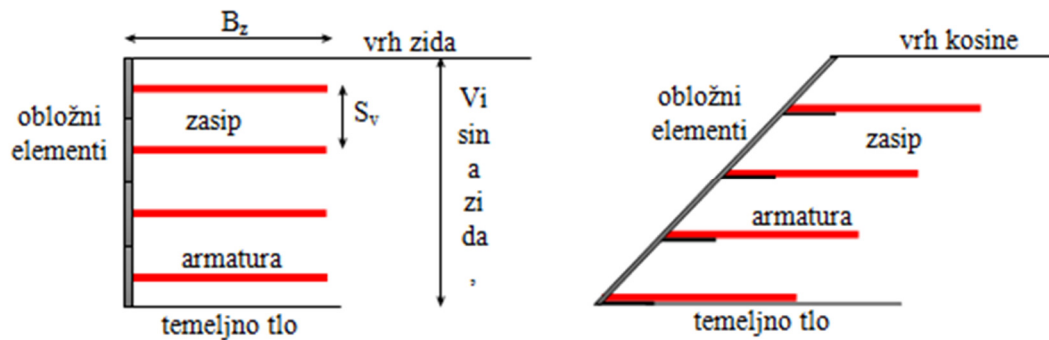
Istraživanja su pokazala da sidrene zone geomreža mogu biti kraće nego što su uobičajene u praksi, kao i da se u slučajevima povećanja stabilnosti nosivih slojeva (prometnice, temeljenja) koristi samo mali dio raspoložive vlačne čvrstoće geomreže. (Minažek i Mulabdić, 2013.)

Dobro svojstvo armiranog tla je u tome što opterećenje preuzima trenutkom završetka izvođenja. Opterećenje podloge je minimalno zbog toga što građevina svojom širinom leži na podlozi a nema zaseban temelj. Takvo opterećenje jednako je opterećenju nasipom iste visine. Ove građevine se ne dimenzioniraju na utjecaj vode iz razloga što za to nisu predviđene te se zato rade od nekoherentnog materijala zbog postizanja dobrog

dreniranja tla. Uz malo truda, vidljivi dijelovi zidova mogu se vrlo lijepo i estetski oblikovati.

## 4. GRADIVA ARMIRANOG TLA

Armatura i nasip su dva osnovna gradiva armiranog tla. Osim osnovnog gradiva mogu se dodati elementi lica ili poruba koji su najčešće ukrasni a trebali bi biti prilagođeni okolini i upotrebi građevine.



Slika 25. Dijelovi potporne građevine (<https://m-kvadrat.ba>)

### 4.1 Armatura

Općenita uloga armature u tlu je da preuzme vlačne sile kao i sile trenja koje se događaju na spoju armatura-tlo i armatura-armatura. Ukoliko je to potrebno mora omogućiti propuštanje vode tj. tekućine okomito ili u ravnini armature te spriječiti miješanje slojeva tla različitih svojstava. (Kovačević-Zelić, GEOSINTETICI U PROMETNICAMA)

Armature koju je patentirao H. Vidal izrađena je od metala ali tu se pojavio problem sa trajnosti metala tj. dolazilo je do pojave korozije. U današnje vrijeme još se koriste metalne armature ali se proizvodnjom jeftinih i zadovoljavajućih proizvoda od plastičnih materijala izbor armatura povećao.

Prvi pokusi na potpornoj konstrukciji s armaturnim trakama od nemetala, stakloplastike presvučene poliesterom, izvedeni su 1966. godine. Stakloplastiku su napale bakterije i zid je uništen nakon 10 mjeseci. (Roje-Bonacci, 2005.)



#### **4.1.1. Metalne armature**

Metalne armature su uglavnom od galvaniziranog i nehrđajućeg čelika.

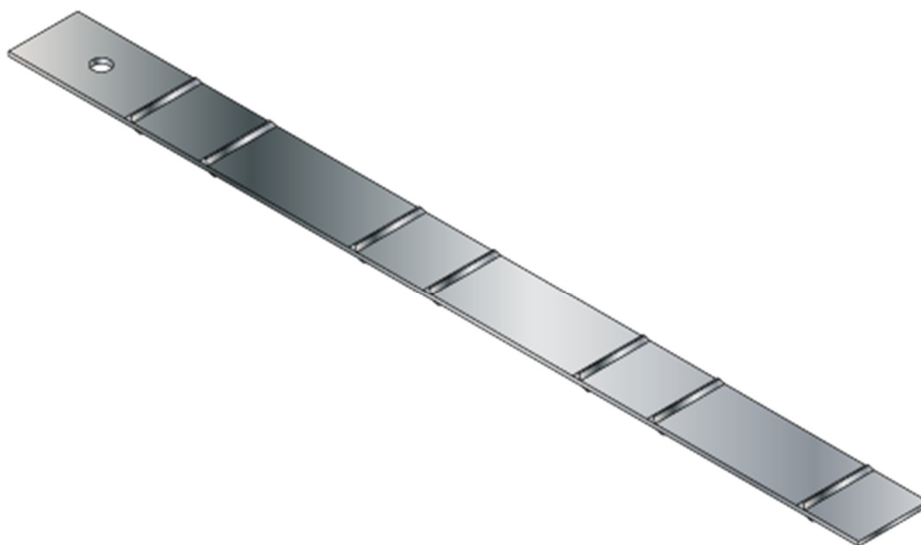
U armiranom tlu gdje se koriste metalne armature faktori koji utječu na koroziju metala su:

- nehomogenost materijala (dolazi do jakog rupičastog oštećenja armature čak i zbog male količine gline u nekoherentnom tlu)
- stupanj zasićenosti, gdje je zasićenost jedan od najvažnijih faktora kod pojave korozije

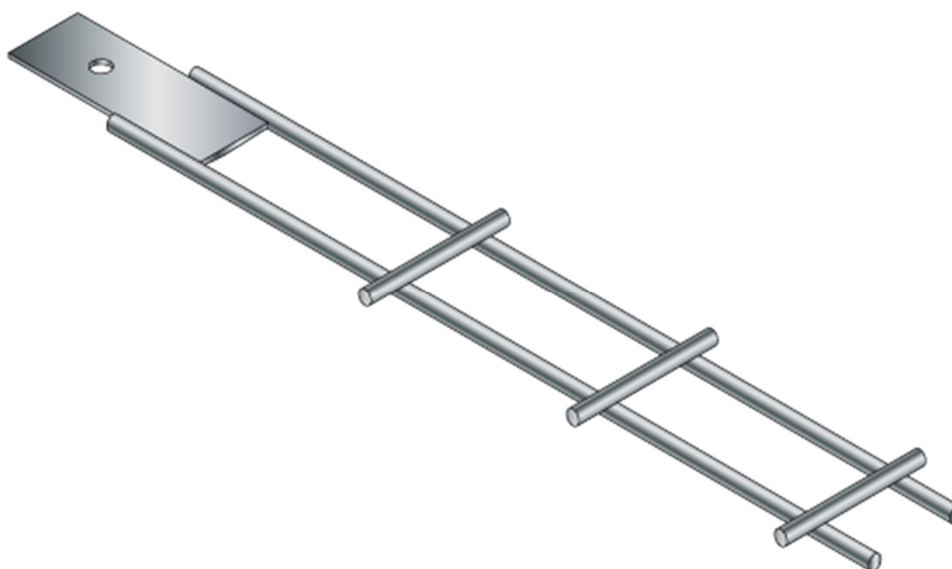
Postizanjem neutralne sredine oslobođene kisika mogla bi se izbjeći pojava korozije metalnih armatura u tlu ali ovaka sredina pogoduje bakterijama. (Suljić, 2010.)

Metali koji se koriste kao armatura imaju svoje prednosti i mane, koje moramo gledati tijekom projektiranja. Galvanizirane trake traju koliko i cinčana zaštita a kod nehrđajućeg čelika moramo paziti prilikom rukovanja, jer i najmanja oštećenja mogu izazvati „rupičavost“. (Suljić, 2010.)

Izvedeno je mnogo pokusa s različitim metalnim trakama, a rezultate ispitivanja prikazali su Schlosser i Bastick, (1991.). Galvanizirani čelik tj. čelik koji je presvučen slojem od cinka pokazao je najbolje rezultate a koristi se i danas, jer se pokazao kao najpovoljniji u uvjetima kada se ukopava u tlo. Na slici 26. prikazana je metalna traka a na slici 27. metalne „ljestve“.



Slika 26. Visoko prijanjajuće rebraste trake (<https://reinforcedearth.com>)



Slika 27. Visoko prijanjajuće „ljestve“ (<https://reinforcedearth.com>)



Slika 28. Metalne trake od galvaniziranog čelika (<https://www.tensar.com.hr>)



Slika 29. Zatrpavanje metalne armature (<https://www.tensar.com.hr>)



Slika 30. Čelične trake ili „ljestve“ (<https://www.tensar.com.hr>)

#### **4.1.2 Armature od stakloplastike**

Stakloplastika ( eng. *fiberglass*) je kompozitni materijal sastavljen od orijentiranih staklenih niti preliivenih smolom. Pojedinačne staklene niti su potpuno elastične i jače od većine čelika i stabilne su na puzanje. Ovakav materijal pokazuje veliku žilavost i otpornost na koroziju. Standardni oblik je traka koja se formira u obliku ukosnica tj. dvostruko savijenih traka. Trajnost konstrukcije armirane trakama od stakloplastike predviđa se oko 100 godina. (Suljić, 2010.)

#### **4.1.3. Geosintetici**

Geosintetik je proizvod u obliku vrpce ili trodimenzijske strukture, čija je najmanje jedna sastavnica načinjena od sintetičkoga ili prirodnoga polimera i koji se upotrebljava u dodiru s tlom ili drugim materijalima u geotehničkim i ostalim građevnim zahvatima. (<http://struna.ihjj.hr>)

Geosintetici se pojavljuju kao novi inženjerski materijali u širokom rasponu primjene, a brzina kojom se srodni proizvodi razvijaju i koriste je nevjerojatna. ( Koerner, 2005.)

Samo neki od razloga takve brze primjene i razvitka su:

- Visoka kontrola kvalitete zbog proizvodnje u kontroliranim uvjetima u tvornici
- Mogu biti brzo ugrađeni
- Obično zamjenjuju sirovine
- Zamjenjuju teške dizajne koristeći tlo ili druge građevinske materijale
- U određenim slučajevima njihova je uporaba propisana propisima
- Općenito su konkurentni u odnosu na tlo ili druge građevinske materijale koje zamjenjuju
- Omogućili su nemoguće dizajne i primjene mogućima
- Aktivno se prodaju i široko su dostupni
- Njihova tehnička baza podataka je razumno uspostavljena
- Integriraju se u profesiju putem generičkih specifikacija

Materijali od geosintetika imaju 5 glavnih funkcija:

1. Odvajanje
2. Ojačanje
3. Filtraciju
4. Drenažu
5. Nepropusnost

Dva glavna cilja su bolja izvedba i bolja ekonomičnost od tradicionalnih materijala bilo u nižoj ukupnoj cijeni i dužem vijeku trajanja ili nižoj cijeni održavanja i zamjene. (Koerner, 2005.)

Postoji osam tipova geosintetika a to su:

1. Geotekstili
2. Geomreže
3. Georešetke ( Slika 31)
4. Geomembrane (Slika 32)
5. Geokompoziti (Slika 33)
6. Glinene geosintetičke barijere ili ulošci (Slika 34)
7. Geocijevi (Slika 35)
8. Geopjene (Slika 36)

Od navedenih geosintetika kao armatura u armiranom tlu se koriste dva, a to su geotekstili i geomreže koji su detaljnije opisani dalje u radu.



Slika 31. Georešetka (<http://si.fggeogrid.com>)



Slika 32. Geomembrana (<https://www.epttech.com>)



Slika 33. Geokompozit (<https://www.sinteza-lining.si>)



Slika 34. Glinena geosintetička barijera ili uložak (<https://www.sinteza-lining.si>)





Slika 35. Geocijev (<http://www.oceanreinforced.com>)



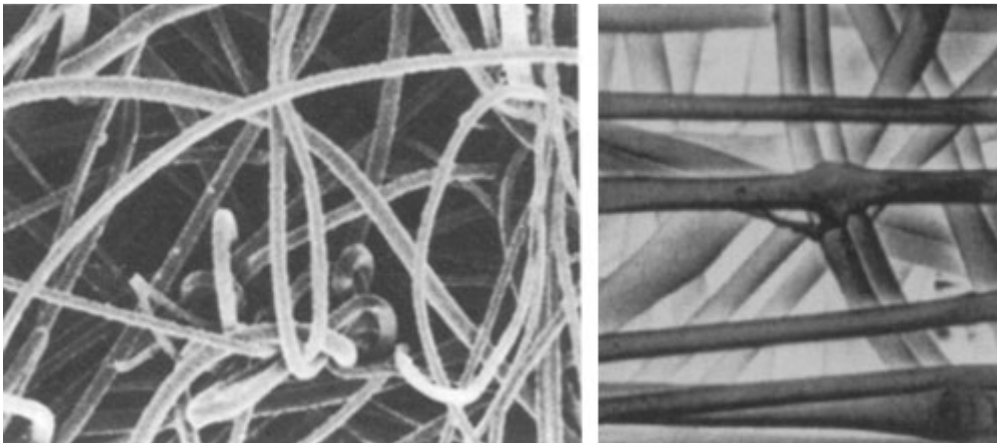
Slika 36. Geopjena (<https://www.geofam.com>)

#### **4.1.2.1 Geotekstili**

Planaran, propusan, polimerni, tekstilni materijal koji se upotrebljava u dodiru sa tlom ili drugim materijalima pri geotehničkim i ostalim zahvatima. (<http://struna.ihjj.hr>)

Rast uporabe geotekstila u zadnjih 25 godina je izvanredan. U tradicionalnom smislu riječi radi se o tekstilu, ali u sebi ima sintetička vlakna, za razliku od prirodnih poput pamuka, vune ili svile, i iz tog razloga nema problema vezanih uz biodegradaciju i kraći životni vijek. Pomoću sintetičkih vlakana proizlazi fleksibilna, porozna tkanina napravljena standardnim strojevima za tkanje, spojena netkanim načinom ili pletena. Upotreba geotekstila se i dan danas širi, ali funkcija „tkanine“ je da obavlja barem jednu od četiri funkcije: razdvajanje, armiranje, filtraciju i drenažu. Iako je prva namjena netkanih geotekstila bila za podne obloge, u današnje vrijeme se najčešće koriste za armaturu tla zbog svoje otpornosti na habanje, nepoderivosti, ograničenog izduženja, vodopropusnosti i dobrog filtrirajućeg svojstva, postojanosti boje i perivosti. (Koerner, 2005.)

Na slici 36. prikazan je primjer netkanih geotekstila.



Slika 37. Netkani geotekstil ( Koerner 2005.)

Iz vrste geotekstila koja se najviše koristi je, bez sumnje, ona od netkanog geotekstila (Slika 38), koja se često naziva i filc. Ova vrsta geotekstila pojavljuje se kao mreža nastala od vlakana kratkog spoja ili izravno s nitima. Kao što ime sugerira, izrada ovih tekstila ne zahtijeva korake za proizvodnju pređe i njihovo tkanje. Ova vrsta proizvodnog procesa rezultira proizvodima sa nasumičnom raspodjelom vlakana, što omogućava da se određeni dio vlakana distribuira u trećoj dimenziji unutar tekstilne mreže. Ova je trodimenzionalna raspodjela važna jer daje debljinu strukturi ovog proizvoda koja je potrebna za funkcije filtracije, odvodnje i zaštite. Vezivanje vlakana koje čine mrežu se vrši korištenjem različitih mehaničkih, toplinskih ili kemijskih postupaka, ovisno o svojstvima koja su potrebna za gotov proizvod. Postupci korišteni za proizvodnju ove vrste geotekstila omogućuju proizvodnju težih i debljih vrsta geotekstila. (Koerner, 2016.)



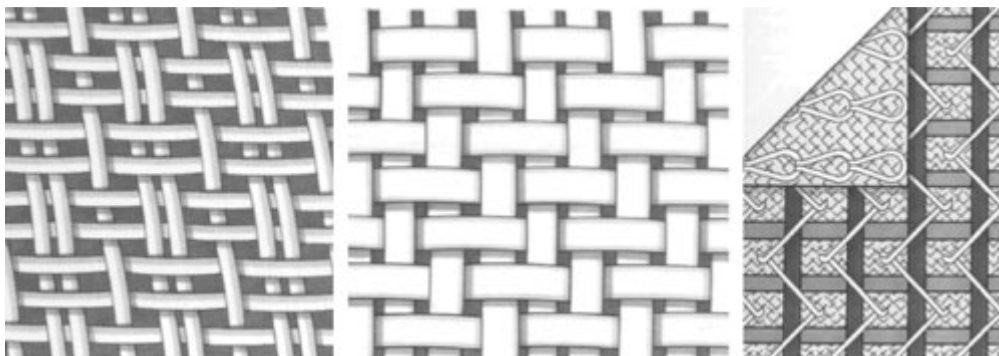
Slika 38. Primjer netkanog geotekstila (<https://geotextilemembranes.co.uk>)

Netkani geotekstili obično nisu dobri za projekte stabilizacije ili pojačanja. Često ćemo ih pronaći u ulozi zaštite sustava oblaganja geomembrane od unutarnjih i vanjskih prodora. Netkani geotekstil će se slomiti brže od njihovih tkanih kopija. Iako netkani geotekstil ima manju vlačnu čvrstoću od tkanog tipa, ipak nudi veliku čvrstoću, trajnost i izvrsna svojstva odvodnje. Ovaj tip geotekstilnih tkanina je lakše rezati, ima visoku

propusnost vode i ne gubi snagu tijekom vremena, na isti način kao i tkanina, kada se koristi ispod zemlje. To ga čini idealnim za korištenje ispod prilaznih puteva i cesta te u sustavima odvodnje oborinskih voda, gdje je potrebna dugotrajna stabilizacija tla i filtriranje. (<http://www.maxtalsa.com>)

Tkani geotekstil je onaj koji najviše nalikuje konvencionalnom tekstilu, jer koristi tradicionalnu metodu izrade tekstila koja uključuje pripremu pređe i njezino tkanje. Tkanje se može definirati kao spajanje dvije okomite niti zajedno. Iako postoji mnogo različitih načina i obrazaca tkanja, uvijek ćemo u ovim proizvodima pronaći niz prediva koje stoje uzdužno, a druga poprečno. Za proizvodnju tkanih geotekstila postoji nekoliko vrsta prediva i niti (mon-filamenti, multifilamenti, film s prorezima, fibrilirani slojni film, itd.) i mogu se ispreplesti zajedno ovisno o potrebnim svojstvima i gotovom proizvodu. (Koerner, 2016.)

Na slici 39. i 40. prikazani su primjeri tkanog geotekstila



Slika 39. Tkani geotekstil (<https://www.gradjevinarstvo.rs>)



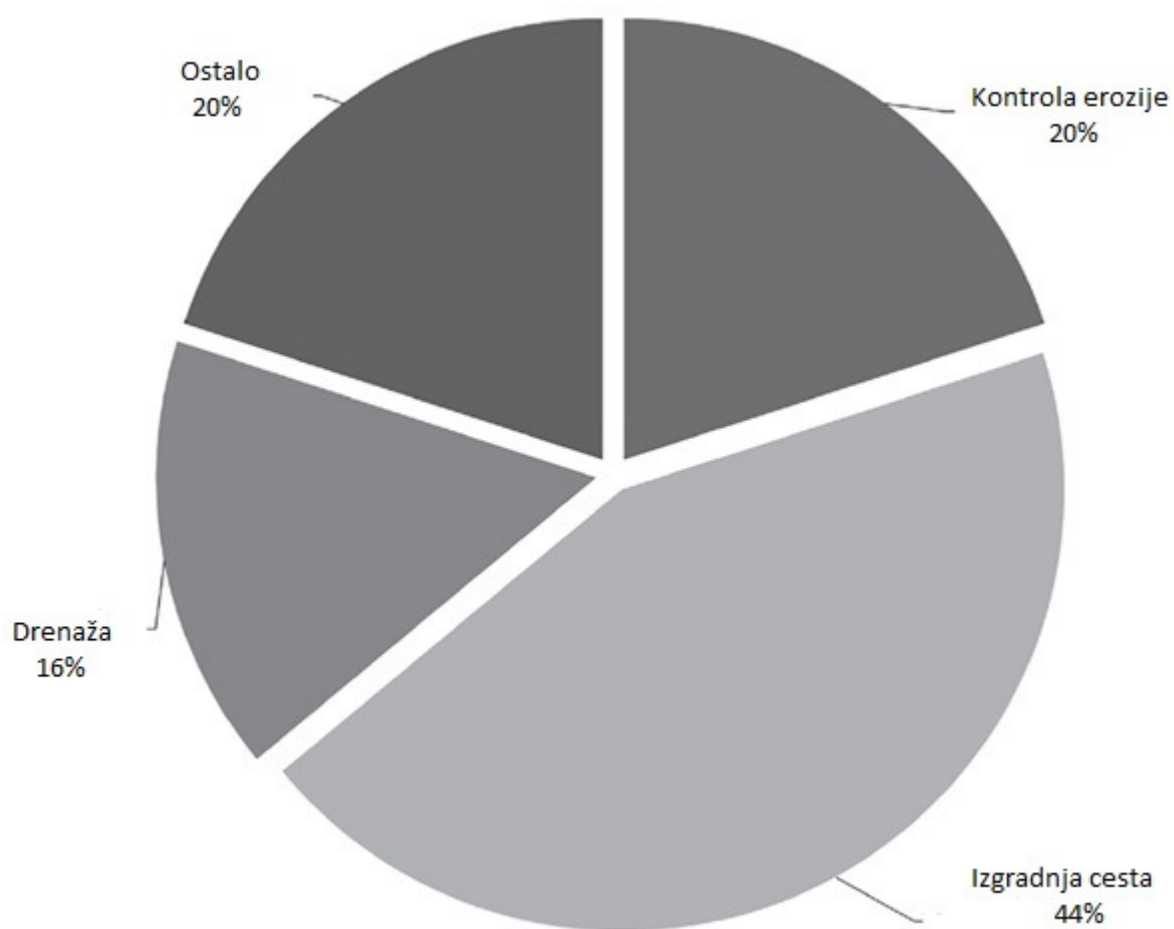
Slika 40. Izgled tkanog geotekstila (<https://www.geomat.eu>)

Tkanje niti ili filmova zajedno znači da ti geotekstili nisu jako porozni, što ih čini lošim za projekte gdje je odvodnja važna. Ista karakteristika ih čini idealnim za projekte kontrole erozije, gdje voda mora prolaziti preko površine bez odvodnje do tla ispod. Tkani geotekstili također će se oduprijeti koroziji i zadržati dugotrajnu primjenu. Čvrstoća i izdržljivost tkanih geotekstila, daju mu visoku vlačnu čvrstoću, što ga čini pogodnim za korištenje pod terasama, stazama, parkiralištima i za druge primjene gdje je neophodna visoka čvrstoća ali i ekonomičnost. (<http://www.maxtulsa.com>)

Da bi geotekstili mogli ispuniti određenu ulogu na gradilištu, oni moraju biti posebno projektirani tako da izvršavaju jednu ili više specifičnih funkcija komplementarnih sa prirodnim materijalima koji se nalaze u tlu. Da bi se zadovoljile ove funkcije, geotekstil stoga mora ponuditi pravu kombinaciju specifičnih fizičkih svojstava. Ova fizička svojstva se uglavnom zadovoljavaju odgovarajućom kombinacijom sirovina, proizvodnim postupkom i podešavanjem proizvodnih parametara. Stoga je u velikoj mjeri bitan rezultat procesa pretvaranja polimera u tekstil, kojim proizvod stječe specifična svojstva koja ga čine geotekstilom prilagođenim uporabi na radnom mjestu. (Koerner 2016.)

Najbitnije funkcije geotekstila su: (Koerner 2016.)

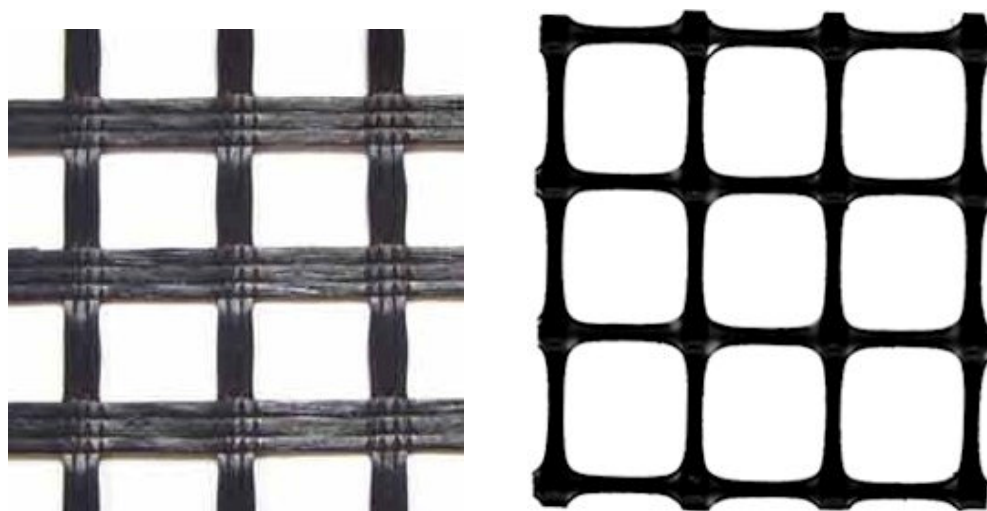
- **Filtracija**: Geotekstili se koriste za zadržavanje sitnih čestica tla sa kojima su u kontaktu. Ova funkcija uključuje prolaz vode kroz sam materijal i zadržavanje čestica tla na strani od koje dolazi voda prema tekstilu. To je vjerojatno najčešća funkcija geotekstila, a ujedno i razlog za njihovo stvaranje sredinom 1960-ih.
- **Odvajanje**: Geotekstili se koriste za zadržavanje čestica različitih granulometrijskih sastava u dva različita sloja i za sprečavanje miješanja dvaju susjednih slojeva. Gdje god su dva tla koja su u kontaktu s nekompatibilnom granulometrijom, neophodan je prirodni ili sintetički separator koji osigurava dugoročnu izvedbu konstrukcije.
- **Odvodnja**: Geotekstili se koriste kao pasivni element za odvodnju tekućina ili plina. Funkciju odvodnje ponekad obavlja sam geotekstil, ali češće se kombinira s drugim elementima (odvodna jezgra, perforirane cijevi itd.). Ova kombinacija naziva se drenažnim geokompozitima.
- **Ojačanje**: Geotekstil se koristi za povećanje nosivosti mekih tla ili za apsorpiranje značajnih sila trenja na sučelju tla i glatke površine gdje postoji rizik od klizanja. Ojačanje je svojstvo koje se često koristi u području cestovnog inženjerstva. Primjena geotekstila za armiranje može povećati modul mekog tla i zadovoljiti nosive zahtjeve u izgradnji ceste ili mosta. Također se koristi u području inženjerstva okoliša za povećanje sile trenja glatke geomembrane.
- **Zaštita**: Geotekstil se koristi za zaštitu geomembrana, betonskih ploča ili bilo kojeg drugog relativno krhkog elementa koji zahtijeva posebnu pozornost. Zaštita je svojstvo koje se uglavnom koristi u inženjerstvu okoliša, zajedno s upotrebom geomembrane. U nekim drugim slučajevima primjenu nalazimo u građevinarstvu, osobito u gradnji tunela.



Slika 41. Tržišni zahtjevi getekstila ( Koerner, 2016.)

#### 4.1.2.2 Geomreže

Geomreže su materijali od geosintetike koji su izrađeni od polimernih materijala kao što su polietilen, poliester i polipropilen, a mogu biti tkane, toplinski spojene iz traka ili ekstrudirane. Zbog velike vlačne čvrstoće, geomreže se najčešće upotrebljavaju za ojačanje i stabilizaciju slabonosivog tla. Prije su se geomreže proizvodile bušenjem rupa u plati materijala. Danas se takve geomreže rade tzv. postupkom ekstruzije. To je postupak u kojem se u materijalu buše rupice, a zatim se materijal razvlači ovisno o veličini otvora oka geomreže koji želimo. Razvojem tehnologije i istraživanjem, nastaju novi tipovi geomreža koje se proizvode drugačijim postupcima i imaju druge namjene. Danas imamo geomreže od poliesteranih vlakana obloženih polietilenom. Kod ovog procesa mnoštvo neprekinutih vlakana spaja se u jednu nit koja se tada tka u uzdužnom i poprečnom smjeru s određenim razmakom između rebara. Preklopi se dodatno učvršćuju te se tada vrši oblaganje vlakana. Postoje i geomreže od poliesteranih ili polietilenskih traka koje se spajaju laserom ili ultrazvukom. ([www.geotekstili.com](http://www.geotekstili.com))



Slika 42. Geomreže ([www.geotekstili.com](http://www.geotekstili.com))

Geomreže se u većini slučajeva upotrebljavaju za ojačanje i stabilizaciju slabonosivog tla. U ovom slučaju, materijal čija je veličina frakcije veća od otvora oka mreže se nasipa na geomrežu te dolazi do uklještenja materijala u otvorima geomreže i tako nastaje sustav

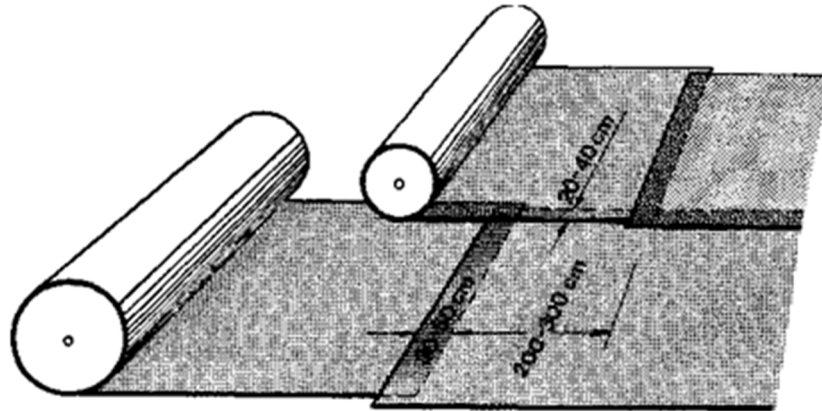


koji je otporan na vanjske sile. Osim za stabilizacije i ojačanja slabonosivog tla geomreže se koriste i za ojačanje asfalta tako da se između slojeva asfalta ugradi geomreža. Važna je uporaba geomreže kod sanacije kolnika u svrhu sprečavanja reflektiranja postojećih pukotina na novom sloju asfalta. Geomreža preuzima djelovanje sila i sprečava nastajanje pukotina na novougrađenom sloju asfalta. Također važna namjena geomreža je za zaštitu od erozije tla. Za ovu namjenu postoje dvodimenzionalne geomreže koje imaju male otvore oka te trodimenzionalne geomreže. Ovisno o proizvođaču geomreže se mogu razlikovati, ali su njihova primarna funkcija i način djelovanja jednaki. (<http://www.geotekstili.com>)

Bilo koja vrsta geosintetike, bilo da je riječ o geotekstilima, geomrežama, geomembranama ima određenu širinu i duljinu, te je kod većih građevina potrebno njihovo spajanje. Postoji više vrsta spojeva, ali od svih spojeva se traži da imaju istu mogućnost prenošenja sila. Najjednostavnija vrsta spajanja je preklapanje, a može se koristiti u gotovo svim vrstama geosintetika. Ostale vrste spajanja mogu biti šivanje (kod geotekstila), vezivanje (kod geomreža), lijepljenje i posebne kombinacije spojeva. Spojevi mogu biti ugrađeni tokom proizvodnje ili na gradilištu. ( Koerner 2005.)

### **Spajanje preklapanjem**

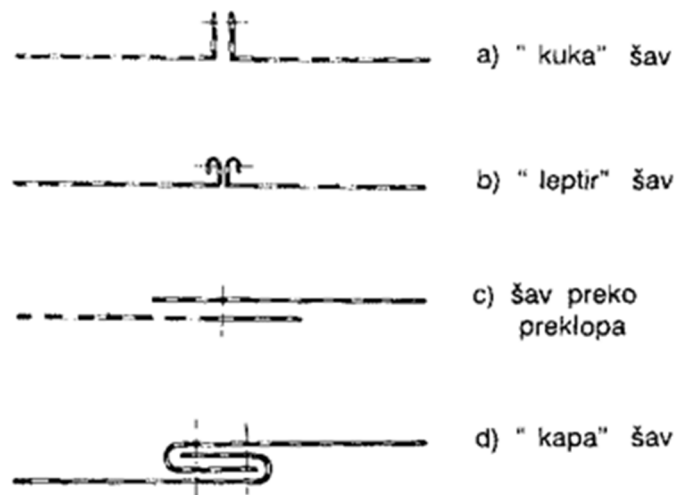
Preklapanje je najjednostavniji način spajanja geosintetika. Primjenjuje se ako iznad njega dolazi određena masa tla koja pritisne spoj, kao što su primjerice nasipni slojevi kod prometnica. Kad su posrijedi građevine pod vodom, to je i jedini mogući način spajanja geotekstila na mjestu same ugradnje. Za tu je vrstu spojeva važna, veličina preklopa. Za veličinu preklopa, ne može se dati opće pravilo, jer ona ovisi o položaju i funkciji spoja u građevini, o vrsti tla i nekim drugim uvjetima, pa, mora, biti određena projektom. Približno, veličina preklopa iznosi 30 do 50 cm. Preklopi se nekada osiguravaju drvenim kolčićima ili plastičnim pribadačama, pa se u takvim slučajevima, veličina preklopa može nešto smanjiti. Kod geomreža, preklopi iznose 15 do 25 cm, a, osiguravaju se vezanjem. (Babić i suradnici 1995.)



Slika 43. Spajanje preklapanjem (Babić i suradnici, 1995.)

### **Spajanje šivanjem**

Šivanje je dobar način spajanja, a primjenjuje se za geotekstile, jer se dobivaju pouzdani i čvrsti spojevi. Veličina, preklopa može se pri tome smanjiti čak do 10 cm. Taj se način spajanja kod geotekstila često upotrebljava. Upotrebljavaju se posebni šivaći strojevi i poseban sintetični konac (PE, PA). Debljina konca (linijska u tex) mora biti takva da odgovara ušici igle šivaćeg stroja, te da konac lako prolazi kroz materijal, bez prevelikog trenja i oštećivanja materijala. Načini spajanja šivanjem predloženi su na slici 44. (Babić i suradnici, 1995.)



Slika 44. Spajanje šivanjem (Babić i suradnici, 1995.)

### Spajanje lijepljenjem

Ovaj se način spajanja rjeđe primjenjuje zato što postoji malo ljepila kojima se geosintetici mogu pouzdano slijepiti, a dobra su ljepila poput sintetičnih smola, skupa. Ipak, geotekstili se mogu slijepiti termičkim načinom pomoću plamenika, ali taj je način neujednačen i nije sasvim siguran, pa se rjeđe provodi. (Babić i suradnici, 1995.)

### **Spajanje posebnim spojevima**

Ako geotekstili preko spojenih mjesta moraju prenijeti vlačnu silu mogu se izraditi posebni spojevi koji podnose tu silu. Ti se spojevi rade tako da se na obje strane geotekstila načini obrub. U oba obruba uvuče se neki nosivi element (čvrsta, šipka i sl.), a obrubi se povežu skupa pomoću plastičnih ili metalnih prstenova ili kopči. (Babić i suradnici, 1995.)



Slika 45. Poseban spoj (Babić i suradnici, 1995.)

## 4.2 Nasipni materijal armiranog tla

Kao nasipni materijal koristi se nekoherentno tlo. Razlog tome je dobro prianjanje takve vrste tla uz armaturu, ali i dobra filtrirajuća svojstva. Potporne građevine od armiranog tla ne dimenzioniraju se na djelovanje hidrostatskog tlaka, već se smatraju vodopropusnim građevinama, a iz tog razloga potrebno je osigurati da građevine budu propusne za vodu. (Roje-Bonacci, 2005.)

Mehanički stabilizirano tlo zahtijeva visoku kvalitetu nasipnog materijala za trajnost, dobru drenažu, konstruktivnost i dobru interakciju armature tla koja se može dobiti iz dobro gradiranih i granuliranih materijala. Takvi sustavi ovise o trenju između elemenata za pojačanja i tla. U takvim slučajevima je specificiran i potreban materijal s visokim svojstvima trenja. (Ivšić i Bolanča, 2010.)

Nasipni materijal može sadržavati određenu količinu sitnih čestica, ali ona mora biti propisana projektom i konstantno se provjeravati. Sve što inače vrijedi za nasipe od nekoherentnih materijala vrijedi i za ovaj koji se ugrađuje u armirane potporne građevine. Sredstva za zbijanje treba prilagoditi mogućnostima armature. (Roje-Bonacci, 2005.)

Pod nekoherentne materijale spadaju šljunak (G) i pijesak (S) a po granuliranosti W-dobro granuliran, P-slabo granuliran, U-jednoliko granuliran.

Neki se sustavi oslanjaju na pasivni pritisak na elemente za pojačanje, a u tim slučajevima i kvaliteta zasipa je uvijek kritična. Zahtjevi tih vrsta izvedbe općenito eliminiraju tlo s visokim sadržajem gline. (Ivšić i Bolanča, 2010.)

Kvalitetna granulirana ispuna ima prednosti u drenaži, osigurava veću izdržljivost za metalnu armaturu i zahtijeva manje armature. Postoje i značajne prednosti rukovanja, postavljanja i zbijanja u korištenju zrnatih tala. Uz pravilnu upotrebu potrebnog materijala za nasipavanje veoma je važno zbijanje i drenaža. Do oštećenja potpornih građevina najčešće dolazi zbog nestručnog zasipavanja lošim nasipnim materijalom gdje se u području neposredno uz zid nasipni materijal previše zbija. (Ivšić i Bolanča, 2010.)

Primjer nekoherentnog materijala prikazan je na slici 46.



Slika 46. Nekoherentni nasipni materijal (<http://mattinglyengineers.com>)

Ponekad se u nasipu koristi materijal iz nasipa koji nije u potpunosti nekoherentan. Takav materijal mora biti bez organskih tvari i drugih štetnih tvari. Zahtjevi za zbijanje nasipavanja razlikuju se u neposrednoj blizini zida (unutar 1,5 do 2 m). Lakša oprema za zbijanje koristi se blizu bočne stijenke radi sprečavanja nakupljanja visokih bočnih pritisaka od zbijanja. Koherentni materijali mogu se upotrebljavati za izgradnju lica potporne konstrukcije zbog svoje fleksibilnosti i zato jer mogu tolerirati manja izobličenja prilikom izgradnje. Unatoč tome, preporučuje se visokokvalitetni nasipni materijal kako bi se olakšalo zbijanje i minimaliziralo zahtjeve za pojačanje. (N.Y. D.O.T. Geotech Manual, 2007.)

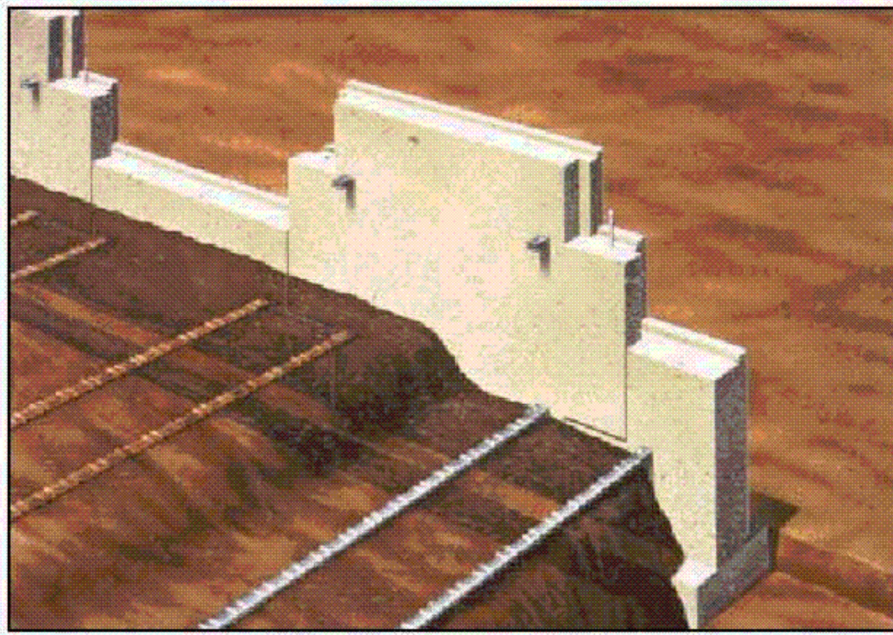
### 4.3. Lica građevina od armiranog tla

Početna uloga poruba ili lica zida od armiranog tla bila je prijenos naprezanja. Prvobitna ideja je bila da se pomoću traka aktivni potisak sa lica zida preuzima i prenosi u tijelo građevine trenjem. No nakon određenog vremena uočeno je da to to kriva pretpostavka jer lice ima veoma malu ulogu u preuzimanju opterećenja. Upotreba lica pravilnija je kada zid mora biti uspravan, a u slučaju kada nasip ima određeni nagib lice više ima estetsku nego nosivu ulogu. Kod uspravnih građevina pojavljuje se osipanje materijala na licu ali samo do mjere zauzimanja kuta prirodnog pokosa nasipnog materijala. (Roje-Bonacci, 2005.) Na slici 48. prikazan je detalj armiranog tla geosintetičkom mrežom bez lica gdje se vidi osipanje.



Slika 47. Armirano tlo bez lica (Roje-Bonacci, 2005.)

Prema patentu H. Vidala lice ovih građevina napravljeno je od čeličnog lima (Slika 4.) dok revoluciju izaziva betonski element križnog oblika s četiri točke za prihvaćanje armature. Na slici 48. vidi se stražnje lice ovih elemenata i rebrasta armatura od čeličnih traka.



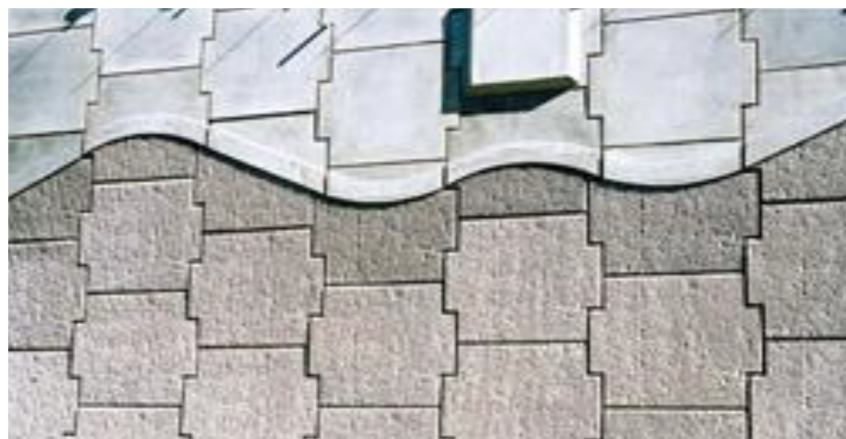
Slika 48. Lice od betonskih, križnih elemenata gledano sa nasipa (Bathurst, 2015.)

Lica građevina od armiranog tla možemo podijeliti na:

- Montažne betonske ploče
- Modularni blokovi
- Metalne obloge
- Geosintetici
- Zavarene žičane mreže
- Gabion

**Montažne betonske ploče** prikazane na slici 50. Montažne betonske ploče imaju debljinu od 140 mm i imaju križnu, kvadratnu, pravokutnu, dijamentnu ili šesterokutnu geometriju. Temperaturno i vlačno ojačanje je potrebno, ali će se razlikovati ovisno o veličini ploče. Okomito susjedne jedinice obično su povezane „iglama“. (N.Y. D.O.T. Geotech Manual, 2007.)



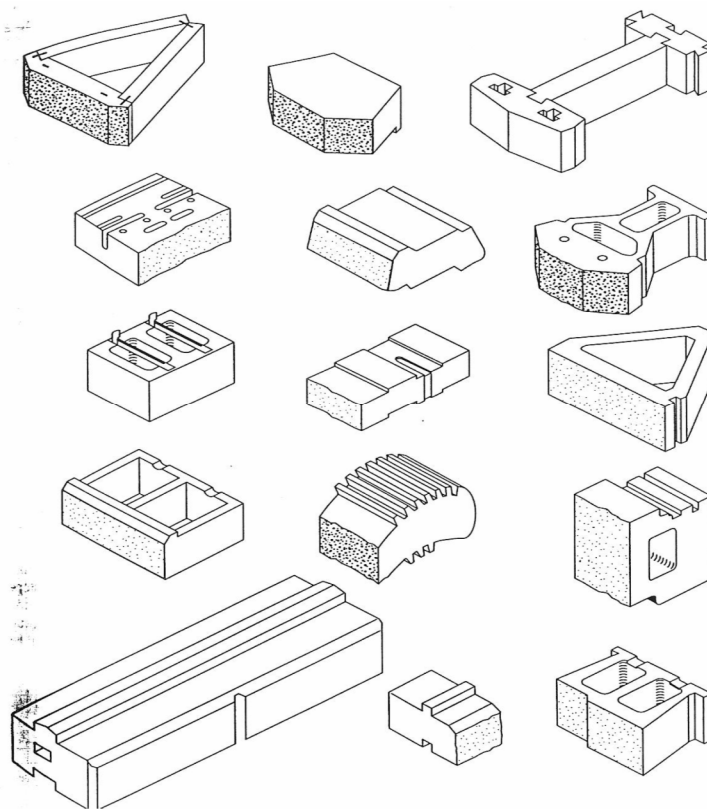


Slika 49. Lice od betonskih, križnih elemenata (<https://www.maccaferri.com>)

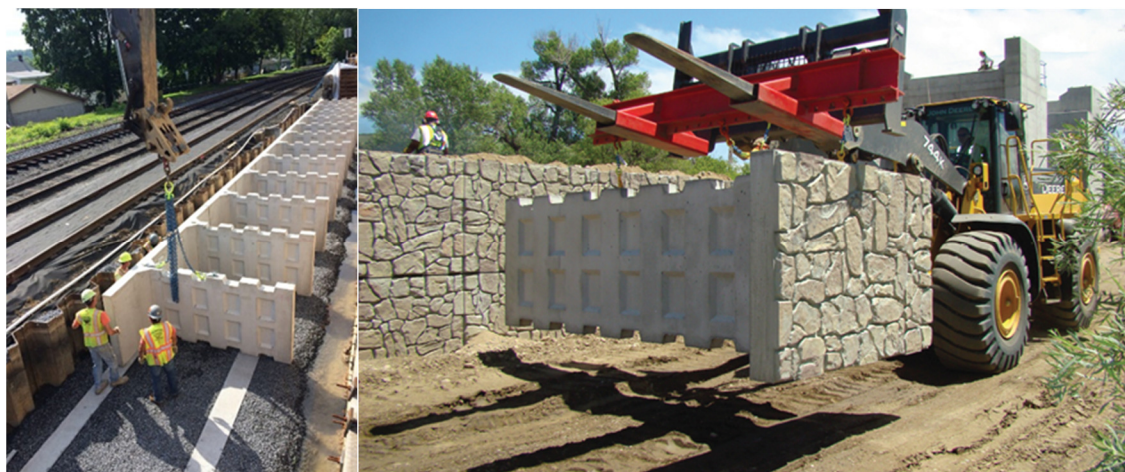


Slika 50. Šesterokutni betonski elementi na licu armiranog tla  
(<http://consmethod.blogspot.com>)

**Modularni blokovi.** Riječ je o relativno malim, betonskim jedinicama koje su posebno projektirane i proizvedene za postavljanje na zidne sustave. Masa ovih jedinica obično se kreće od 15 do 50 kg, a jedinice od 35 do 50 kg se rutinski koriste za projekte autocesta. Visine jedinica obično se kreću od 100 do 200 mm ovisno o proizvođaču. Izložena dužina lica obično varira od 200 do 450 mm. Nominalna širina (dimenzija okomita na površinu zida) jedinica se obično kreće između 200 i 600 mm. Jedinice se mogu proizvesti u čvrstom obliku ili sa jezgrama. Jedinice su obično suho naslagane tj. bez betona ili tekućeg veziva. Susjedne okomite jedinice mogu biti povezane „iglama“, usnama ili ključevima. Primjeri modularnih blokova su prikazani na slici 51., a modularni T-elementi na slici 52. (N.Y. D.O.T Geotech. Manual, 2007.)



Slika 51. Predgotovljeni modularni blokovi (N.Y. D.O.T. Geotech Manual, 2007.)



Slika 52. Prefabricirani T-elementi (<https://reinforcedearth.com>)

**Metalne obloge.** Izvorni Reinforced Earth® sustav imao je elemente od pocinčanog čeličnog lima oblikovanog u obliku pola cilindra. Iako se prefabricirani betonski paneli danas najčešće koriste u armiranim zidovima, metalne obloge (Slika 53.) mogu biti prikladne u konstrukcijama u kojima je otežan pristup ili teško rukovanje. (N.Y. D.O.T. Geotech Manual, 2007.)



Slika 53. Metalna obloga (<http://www.retainingsolutions.com.au>)

**Geosintetici.** Različite vrste geotekstilnih armatura preklapaju se na prednjoj strani kako bi se oblikovalo otkriveno lice potpornog zida. Ova su lica osjetljiva na ultraljubičasto svjetlo i oštećenja uslijed požara. Geomreža koja se koristi za ojačavanje tla može se preklopiti kako bi oblikovala lice potporne konstrukcije (Slika 54). Vegetacija može narasti kroz strukturu rešetke i može pružiti zaštitu od ultraljubičastog svjetla za geomrežu i ugodan izgled. (N.Y. D.O.T. Geotech Manual, 2007.) Osim navedenih geomreža, lice armiranog tla može biti izvedeno i od geotekstila npr. tkani polipropilenski geotekstil (Propex 2044) ili netkani geotekstil (Typar ili Geosyn 451).



Slika 54. Primjer preklapanja geomreže na licu armiranog tla (<http://www.abg-geosynthetics.com>)

Iz razloga što lice ne sudjeluje u prijenosu opterećenja mogućnosti njegovog oblikovanja su neograničene.



Slika 55. Primjer ozelenjavanja lica zida (<https://www.green-tech.co.uk>)

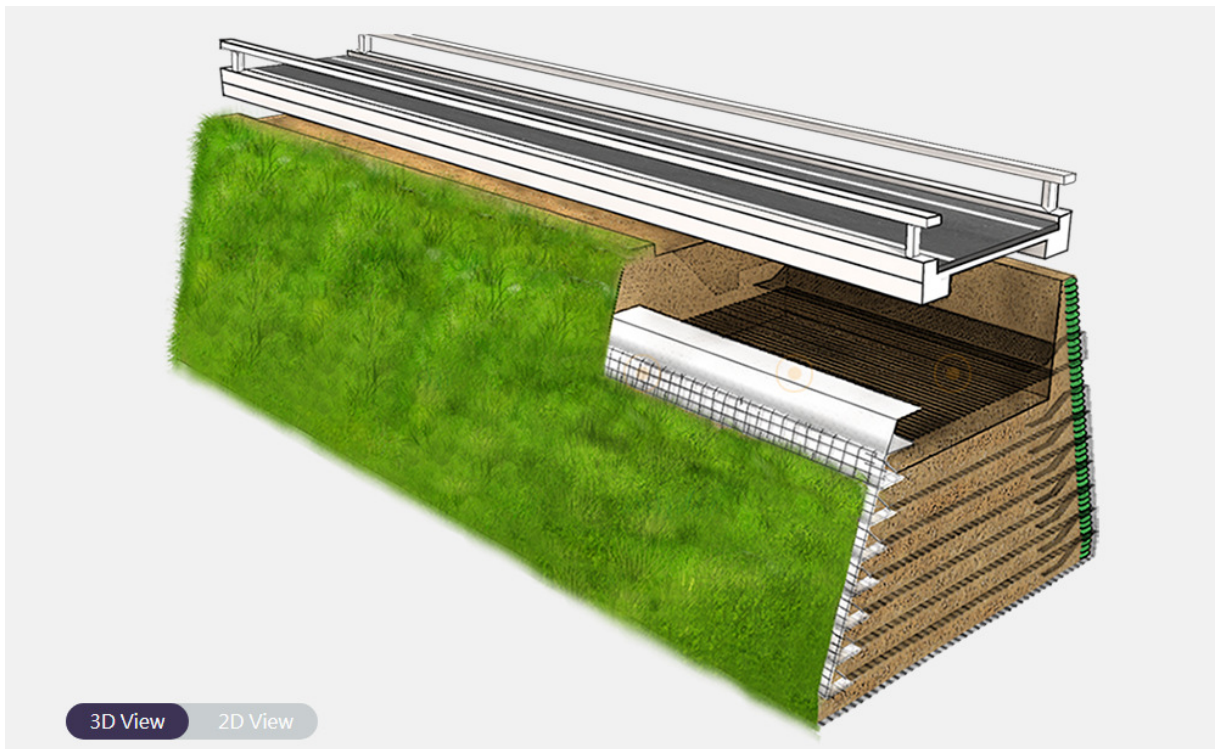
**Zavarene žičane mreže.** Žičana mreža (Slika 56.-59.) može se saviti na prednjem dijelu zida radi oblikovanja lica zida. Ova vrsta obloga koristi se u sustavima potpornih zidova Hilfiker, Tensar i Reinforced Earth®. (N.Y. D.O.T. Geotech Manual, 2007.)



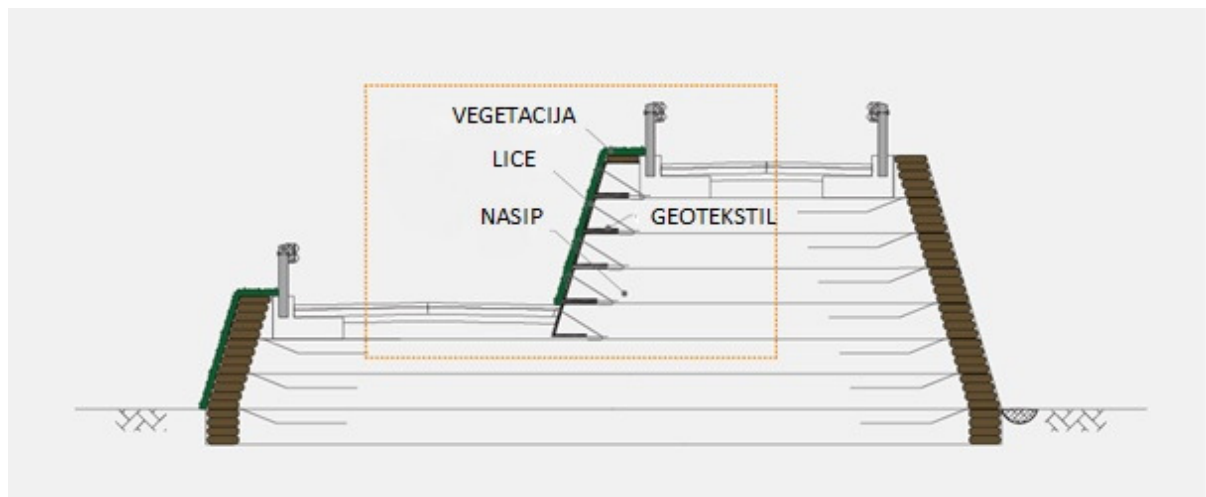
Slika 56. Lice zida od žičane mreže (<https://reinforcedearth.com>)



Slika 57. Lice zida od zavarene mreže ( <https://bluestonesupply.com>)



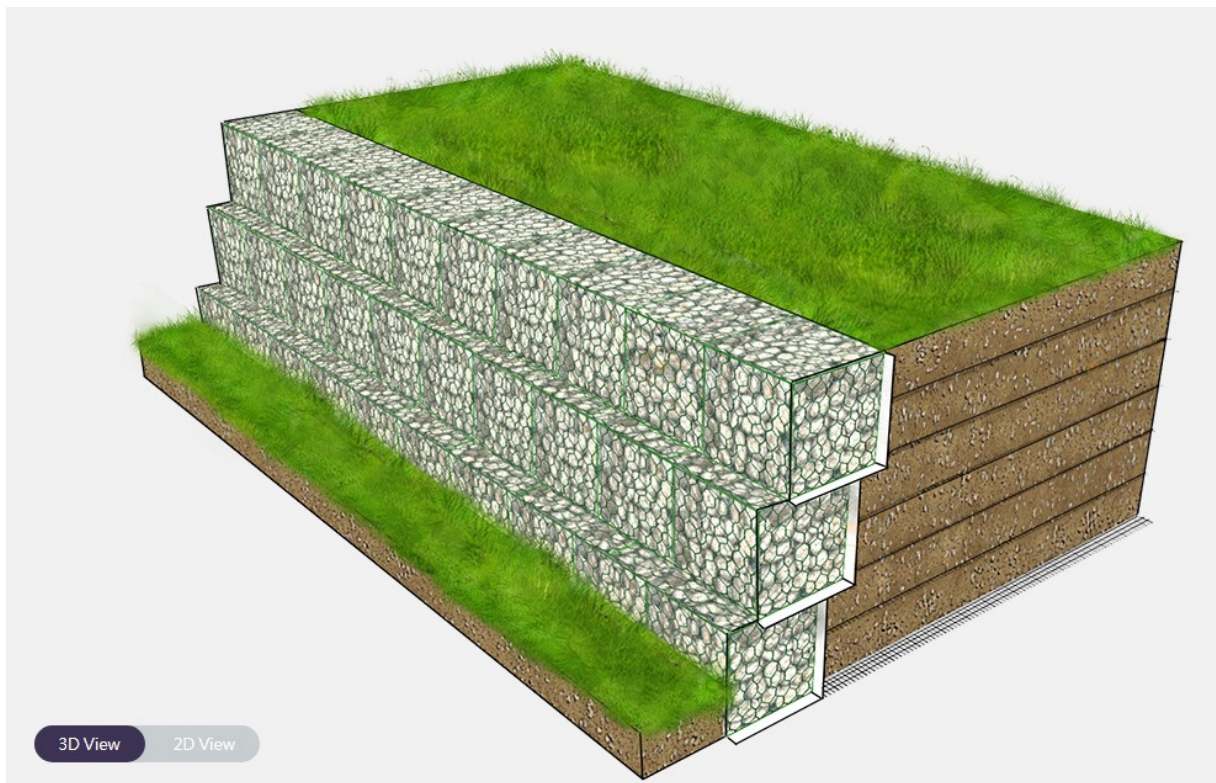
Slika 58. Lice armiranog tla od zavarene mreže u 3D pogledu sa ozelenjenom površinom  
(<http://www.acegeosyntheticsecopark.com>)



Slika 59. Lice zida od zavarene mreže u presjeku (<http://www.acegeosyntheticsecopark.com>)

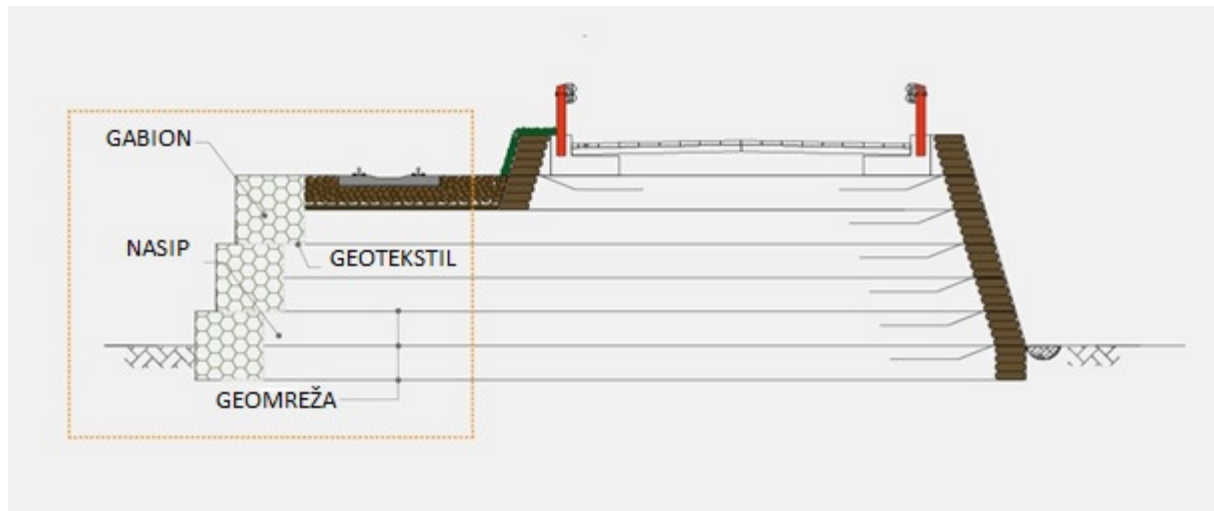


**Gabioni.** Gabionski zid se izvodi pretežno u svrhu osiguranja stabilnosti tla iza zida, ali može biti izveden i kao obložni zid. Izrađuje se od gabionskih koševa koji se slažu u jednom ili više redova, ovisno o visini zida. Koševi imaju oblik kaveza zatvorenog sa svih strana. Izrađeni su od pocinčane heksagonalne mreže te od lomljenog kamena koji se ugrađuje u koševе. Slaganjem gabionskih koševa u pravilnom rasporedu nastaju potporne konstrukcije koje predstavljaju alternativno rješenje betonskim konstrukcijama u području osiguranja stabilizacije tla. (<https://www.geotech.hr>) Na slikama 60. i 61. dani su primjeri lica od gabiona.



Slika 60. Lice armiranog tla od gabiona u 3D pogledu

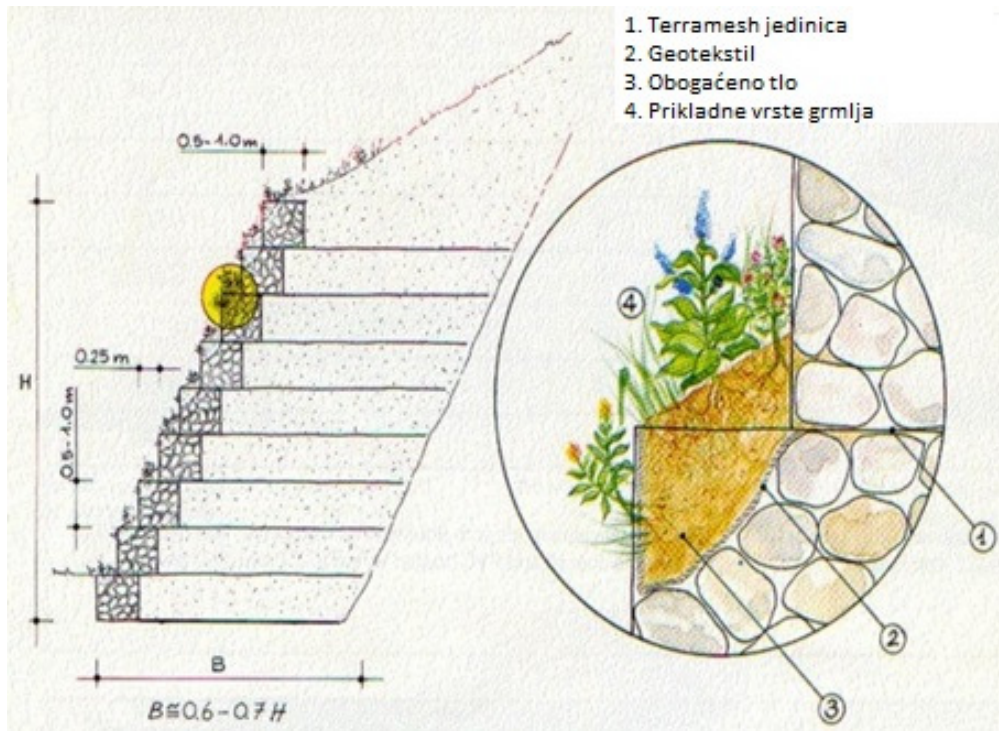
(<http://www.acegeosyntheticsecopark.com>)



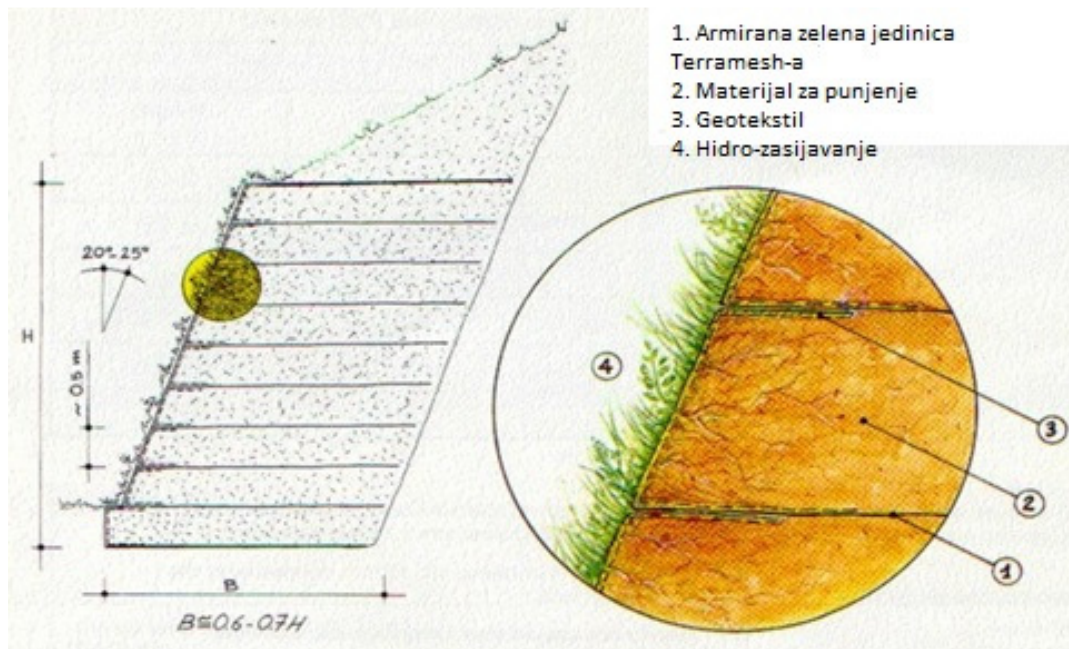
Slika 61. Lice zida od gabiona u presjeku (<http://www.acegeosyntheticsecopark.com>)

Jedan od najpoznatijih proizvođača gabiona zove se Maccaferri a njihov najpoznatiji proizvod je Terramesh® sustav.

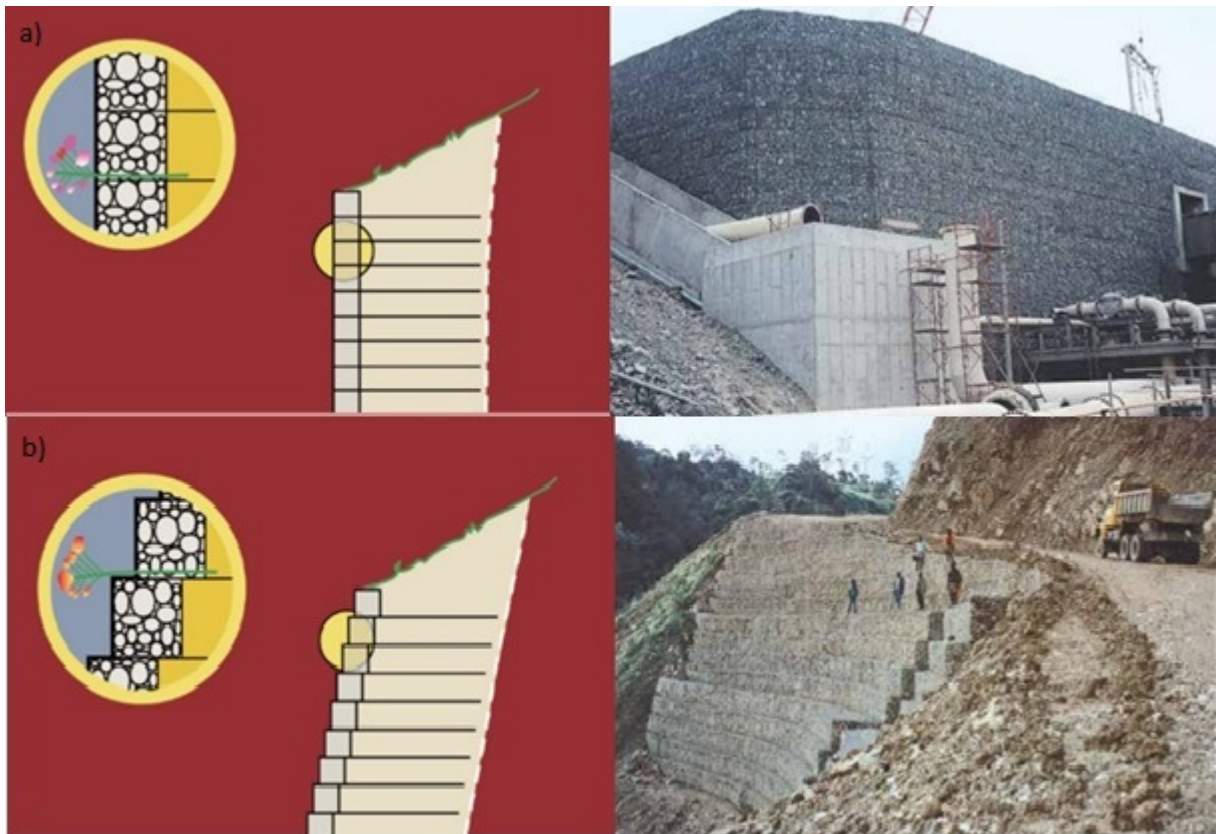
**Terramesh sustav** (Slika 62.) sastoji se od elemenata izrađenih od heksagonalne mreže izrađene od teško pocinčane plastificirane žice promjera 2,7 mm, za uporabu u svrhu armiranja nasipa. Vanjsko je lice sustava gabionski koš koji se puni odgovarajućim kamenom. Iza gabionskog lica postavljen je sidreni dio od čeličnih heksagonalnih mreža na koje se ugrađuje odgovarajući nasipni materijal. (Babić, 2015.) Terramesh sustav možemo podijeliti na one sa vertikalnim (Slika 64(a)) i „razbijenim“ licem (Slika 64(b)). Također postoji i zeleni ili Green Terramesh (Slika 65.) sustav koji je strukturom nalik na Terramesh sustav, samo što je predviđen za ozelenjavanje na licu zida.



Slika 62. Sustav Terramesh (T. Ivšić, 2009.)



Slika 63. Sustav Terramesh u izvedbi preklopa geotekstila (T. Ivšić, 2009.)



Slika 64. Terramesh sa a) vertikalnim licem b) "razbijenim" licem (<https://www.geofabrics.co>)



Slika 65. Terramesh sa „zelenim“ licem (<https://www.geofabrics.co>)

## 5. IZVEDBA POTPORNIH KONSTRUKCIJA OD ARMIRANOG TLA

Izvedba potporne građevine od armiranog tla je jednostavna, premda postoje razlike u izvedbi tla ojačanog geosinteticima, sa ili bez lica i ostalih izvedbi. (Roje-Bonacci, 2005.)

Kod svih izvedbi nužno je osigurati pravilno postavljanje armature i vrlo oprezno nasipavanje, kako se armatura ne bi pomaknula ili oštetila. Zidovi s krutim licem, betonskim križnim elementima ili metalnim elementima, imaju osiguran rub, potreban da nasipni materijal ne bježi prilikom zbijanja. Građevine bez lica koje su armirane geosintetikom, moraju imati pomoćne podupirače prilikom nasipavanja sloja i njegovog zbijanja. (Roje-Bonacci, 2005.)

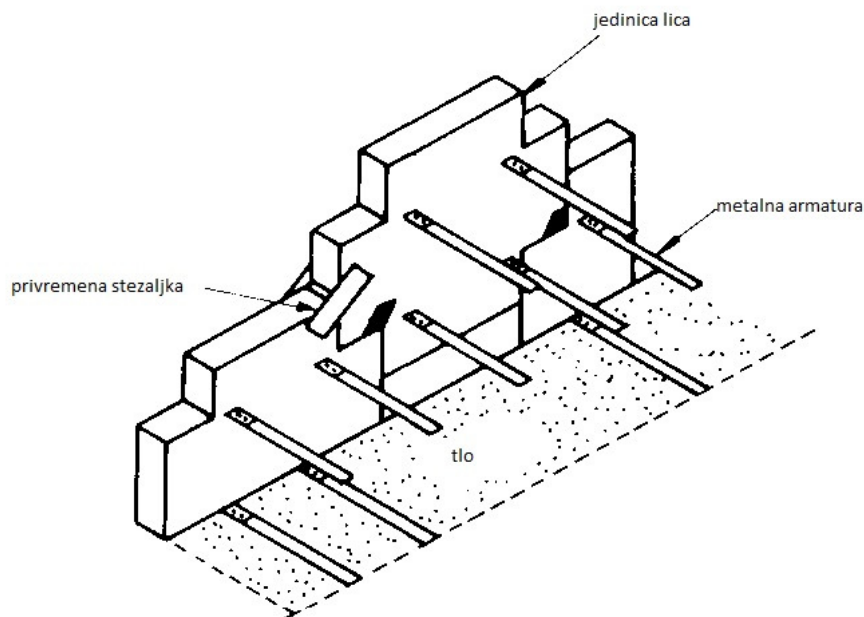
Za postizanje ekonomičnosti obično je važna brzina gradnje, a to se može postići jednostavnošću konstrukcije. Hambley (1979), detaljno je opisao one aspekte jednostavne konstrukcije bitne za potporne građevine od armiranog tla a neki od tih aspekata i pravila pri izvedbi potpornih konstrukcija od armiranog tla su: (Jones, 1985.)

- Koristiti materijale koji su lako dostupni i jednostavni za korištenje.
- Projektirati iskope s ravnom bazom.
- Koristiti temelje jednostavnih oblika i detalja.
- Oblikovati sve površine vodoravno ili okomito.
- Ako je potrebno, predvidjeti ponovno korištenje oplata.
- Gdje je to moguće, konstruirati strukture stabilne u svim fazama izgradnje.
- Popraviti oštećenu armaturu i staviti tlo u jednu ravninu.
- Koristiti ojačanje srednje veličine, izbjegavati male dijelove ili teške i velike elemente zbog kojih je otežan transport i fiksiranje bez opreme za dizanje.

U skladu s gore opisanim općim pravilima, potrebne su konstrukcijske tehnike kompatibilne sa korištenjem tla kao građevinskog materijala. Upotreba tla smještenog u slojeve strukture, rezultira slijeganjem unutar mase tla, uzrokovanog gravitacijskim silama. Ova slijeganja unutar tla, rezultiraju aktiviranje elemenata za ojačanje koji se nalaze u ravninama dok se slojevi tla koji razdvajaju ravnine ojačanja zbijaju. Potrebne su tehnike gradnje koje omogućuju da se ovo unutrašnje sabijanje unutar tla ispuni. (Jones, 1985.)

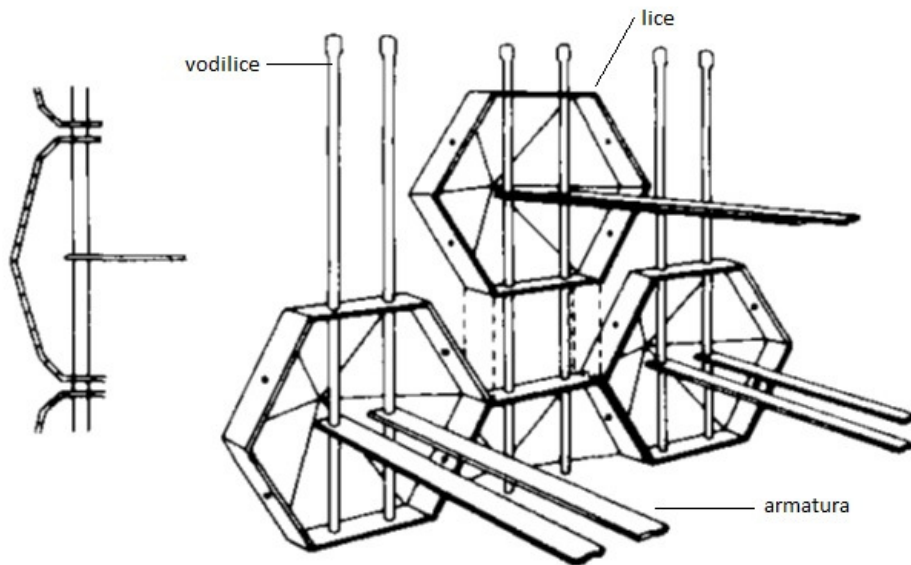
Prva tehnika naziva se metoda harmonike, sustav koji je uveo Vidal koristeći metalno cilindrično lice (Slika 4.). Sastoji se u tome da se lice može deformirati poput mijeha harmonike i tako pratiti slijeganje nasipa pri zbijanju. (Jones 1978.)

Drugi tip je teleskopska metoda (Slika 66.) koju je Vidal razvio 1978. godine za građevine s licem od betonskih elemenata. Ovo se postiže umetanjem stišljivih umetaka između elemenata lica, koja "vise" na armaturi dok se ne zbije nasip, a armatura ne dođe u konačni položaj. (Jones 1978.)



Slika 66. Teleskopska metoda (Jones, 1985.)

Treći način naziva se klizna metoda (Slika 67.). Kod ove metode armatura nije spojena s elementima lica, već klizi po posebnim vodilicama. (Jones 1978.)



Slika 67. Dijelovi konstrukcije od armiranog tla za izvedbu klizne metode (Jones, 1985.)

## **5.1 Izvedba konstrukcija od armiranog tla armiranog geosintetikom**

Prednost konstrukcija armiranih geosinteticima je u tome što se prvi sloj geosintetika može direktno postaviti na podlogu sa koje se prethodno treba ukloniti samo humus. Ukoliko je tlo loše nosivosti tada prvo treba ukloniti prvi sloj tla ili ga prethodno kompaktirati. (Bolanča, 2012.)

U posebnim slučajevima, kada je temeljno tlo vrlo meko, humus se ne skida. Tada se može prema zahtjevima projekta ili nadzornog inženjera zatražiti od izvođača da pokosi travu i ostalo nisko raslinje. Da bi se spriječilo ponovno izrastanje trave i posječenog raslinja, može se izvesti prskanje kemijskim sredstvima. Izvođač mora koristiti takva kemijska sredstva koja neće zagaditi okoliš i podzemnu vodu te ugroziti život i zdravlje ljudi niti će biti štetna za geosintetik koji će se polagati na uređeno tlo. U određenim slučajevima može se prema projektnom rješenju ili odluci nadzornog inženjera dopustiti da se panjevi i korijenje ne vade iz tla. ( Rukavina, 2010.)

Tokom gradnje konstrukcije armirane geosinteticima, bilo da se geosintetik preklapa ili ne, imamo više načina izvedbe. Jedan od načina je pomoću čeličnog L profila od armaturne mreže, dok je drugi način pomoću podupora na koje dolaze daske koje se kasnije miču (Slika 68.). U oba slučaja možemo razlikovati tri osnovne faze izvedbe.





Slika 68. Daske prve faze (www.archiexpo.com)

## FAZA 1

### Polaganje geosintetika

Geosintetici se ne smiju polagati na smrznuto tlo ili snijeg te za vrijeme kiše ili kada se ona očekuje, a treba ga polagati pažljivo i dobro zategnuti tako da se ne stvaraju nabori. (Rukavina, 2010.)

Da bi se postavio prvi ali i svi ostali slojevi geosintetika prvo se postavlja čelični L nosač od armaturne mreže (Slika 69a), koja će pomoći u oblikovanju vanjske strane zida. (Kovačević-Zelić, Geosintetici u prometnicama)

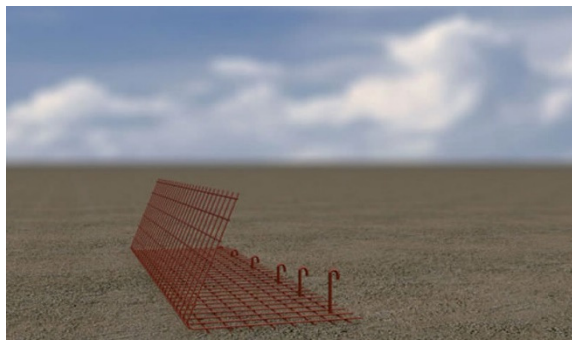
Kad je geosintetik položen na tlo, ne dopušta se preko njega prijelaz građevinskih strojeva, kamiona i drugih vozila, budući da bi moglo u protivnom doći do oštećenja geosintetika. Po postavljenom geosintetiku građevinski strojevi smiju prelaziti najranije nakon nanošenja nasutog sloja u debljini od minimalno 30 cm. Kod posebnih namjena može biti zahtijevana i veća debljina nasutog sloja. (Mintas, 2010.)

Geosintetik se polaže na tlo i preko čeličnog L profila, ali se ostavlja dovoljno materijala za preklop (Slika 69b). Da bi se smanjio broj spojeva, a ukoliko je rola geosintetike dovoljne širine, ona se odmotava po dužini zida. (Bolanča, 2012.)

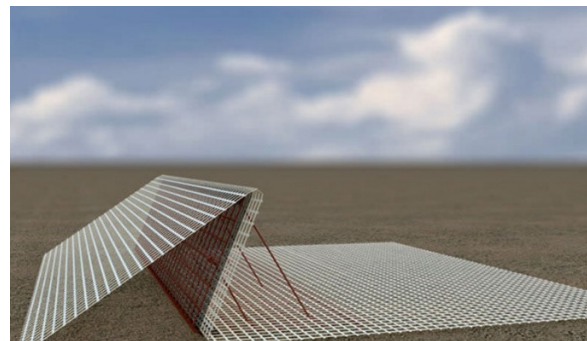
### Nasipavanje i zbijanje

Na geosintetik se razastire zemljani materijal i mehanički se zbijaju (Slika 69c) dok se uz vanjsku ivicu mehanički ili ručno oblikuje nadvišenje. Posebnu pozornost treba obratiti da ne bi došlo do oštećenja geosintetika. (Bolanča, 2012.)

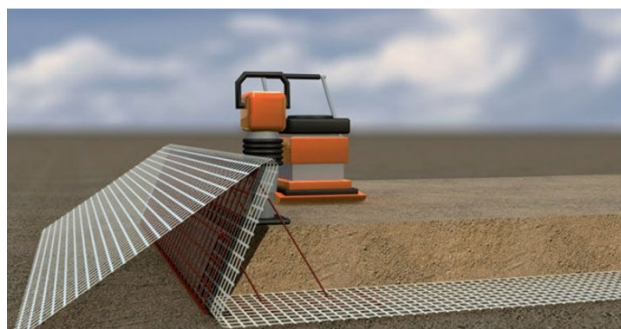
Materijal treba navoziti po već djelomično zbijenom nasipu, po mogućnosti uvijek po novom tragu, tako da se i navoženjem omogući određeno i jednolično zbijanje slojeva nasipa. S nasipanjem novog sloja nasipa može se otpočeti tek kada je prethodni sloj dovoljno zbijen i kada je tražena zbijenost dokazana ispitivanjem. (Mintas, 2010.)



a)



b)



c)

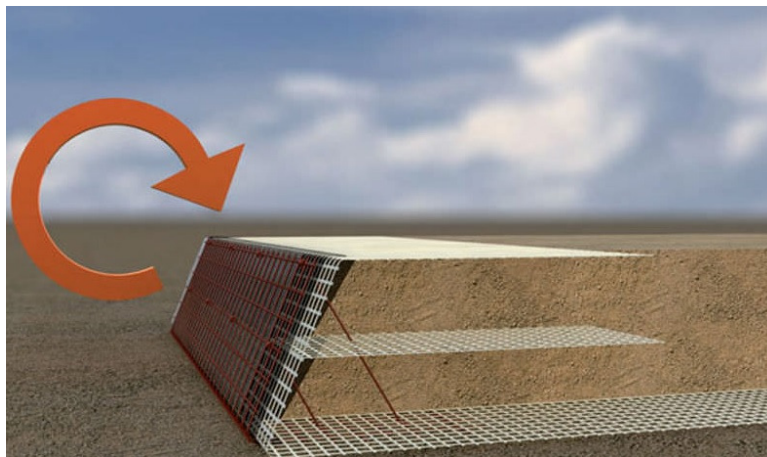
Slika 69. Koraci izvedbe prve faze ([www.archiexpo.com](http://www.archiexpo.com))

Izvođač mora koristiti takve strojeve, kamione i sredstva za nabijanje da ne ošteti geosintetik. Na mjestima gdje se ošteti geosintetik, izvođač je obavezan provesti

odgovarajući popravak na svoj trošak. Nadalje, izvođač mora rad na ugradnji i zbijanju nasipa izvesti na takav način da ne izazove efekt pregnječenja tla u podlozi ispod geosintetika. Sve štete izazvane pregnječenjem tla padaju na teret izvođača. (Mintas, 2010.)

## FAZA 2

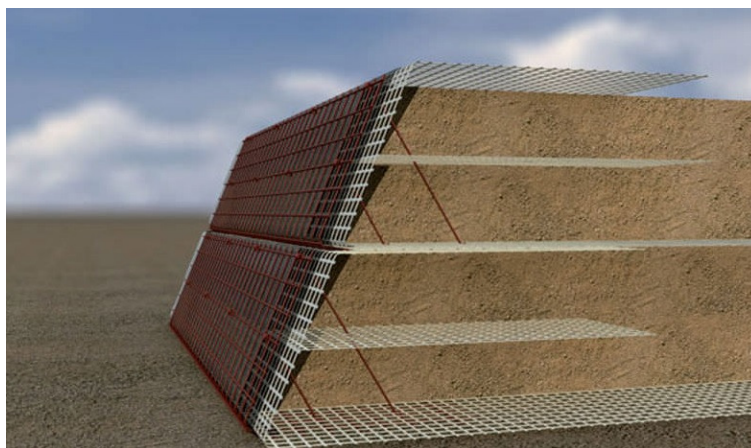
Prebačeni dio geosintetika se preklapa preko tla uz dosipavanje materijala te se mehanički zbija (Slika 70.). Umjesto preklopa i spoja na gornji sloj geosintetika preko trenja, ti se slojevi mogu međusobno zašiti. ( Kovačević-Zelić, Geosintetici u prometnicama)



Slika 70. Preklapanje geosintetika (www.archiexpo.com)

## FAZA 3

Postupak se ponavlja na isti način za svaki nadolazeći sloj (Slika 71.). ( Kovačević-Zelić, Geosintetici u prometnicama)



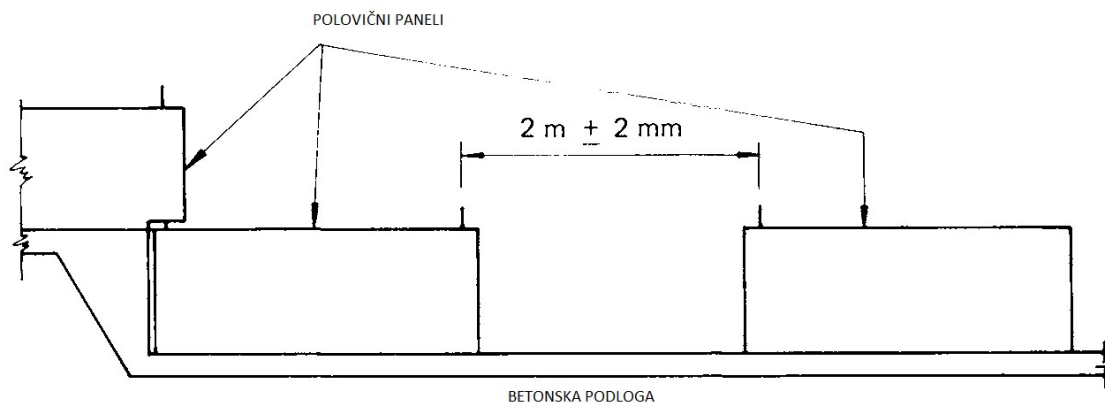
Slika 71. Ponavljane postupka do potrebne visine ([www.archiexpo.com](http://www.archiexpo.com))

## 5.2. Izvedba konstrukcija od armiranog tla sa krutim oblogama lica

U ovom slučaju opisana je izvedba konstrukcije armiranog tla armiranog pomoću metalnih traka, a lice konstrukcije izvedeno je od prefabriciranih betonskih panela.

### FAZA 1

Nakon izrade betonske podloge (Slika 72.), postavljaju se tzv. polovični betonski paneli (Slika 72.) između kojih je potrebno ostaviti prostor za standardnu betonsku jedinicu, nakon čega slijedi njezino postavljanje (Slika 74.). ( Jones, 1985.)



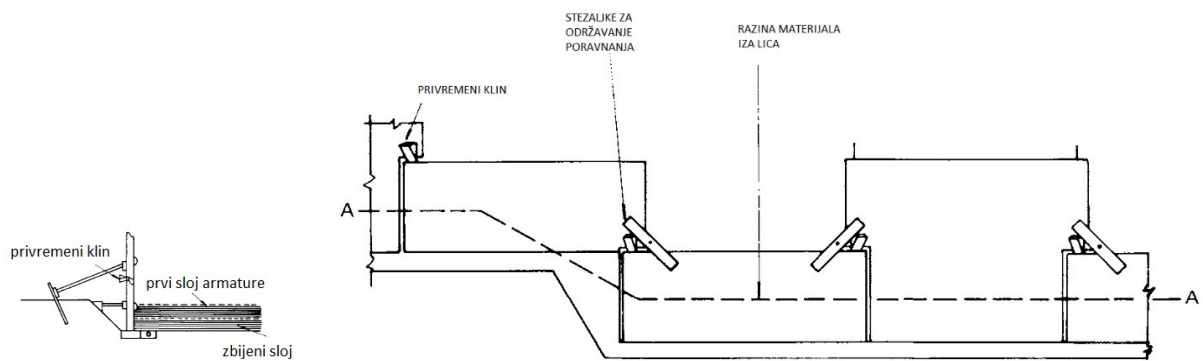
Slika 72. Prva faza izrade konstrukcije ( Jones, 1985.)

### FAZA 2

Postavlja se materijal i zbijja se do nivoa prvog reda postavljene armature (Slika 73.), A-A presjek (Slika 74.), zbijanje unutar 2 m od lica (Slika 75.) mora se obaviti oprezno kako ne bi došlo do prekomjernog izobličenja betonskih obloga. Postavlja se naredni red armature i nastavlja se sa dovozom materijala. ( Jones, 1985.)



Slika 73. Postavljanje metalne armature (<http://www.trulinecivil.com>)



Slika 74. Druga faza izrade konstrukcije (Jones, 1985.)



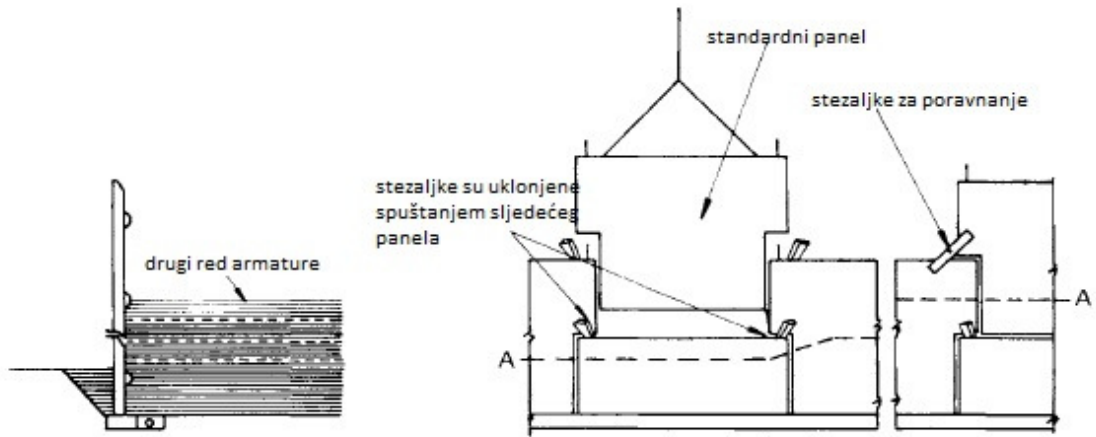
Slika 75. Zbijanje materijala (<http://www.trulinecivil.com>)

### FAZA 3

Kad punjenje dosegne razinu A-A uklanjamo stezaljke (Slika 77.). Postavlja se još jedan red panela (Slika 76.) i privremenih klinova. Premještaju se stezaljke (Slika 78.) na viši nivo i nastavlja se ciklus. Kako traje montaža, uklanjaju se privremeni klinovi, kako bi smo omogućili vertikalno slijeganje mase tla. ( Jones, 1985.)



Slika 76. Postavljanje panela(<http://www.trulinecivil.com>)



Slika 77. Treća faza izrade konstrukcije (Jones, 1985.)



Slika 78. Stezaljke (<http://www.trulinecivil.com>)



## **6. PREDNOSTI I NEDOSTACI KONSTRUKCIJA OD ARMIRANOG TLA**

U ovom poglavlju biti će opisane prednosti i nedostaci potpornih konstrukcija od armiranog tla.

### **6.1 Prednosti armiranog tla**

Potporne konstrukcije od armiranog tla imaju brojne prednosti u usporedbi s konvencionalnim armirano betonskim i betonskim potpornim konstrukcijama a neke od prednosti su: (U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2001.)

- Koristite se jednostavni i brzi postupci gradnje i ne zahtijevaju veliku građevinsku opremu.
- Ne zahtijevajuiskusne majstore s posebnim vještinama za izgradnju.
- Potrebno je manje pripremnih radova za razliku od ostalih alternativa.
- Potrebno je manje prostora za izgradnju ispred same građevine.
- Ne trebaju velike i krute potporne temelje
- Isplative su
- Tehnički su izvedive visine veće od 25 m.
- Čvrstoća, fleksibilnost i otpornost
- Očekivani dugi radni vijek
- Prilagodljivost širokom rasponu okruženja
- Prilagodljivost estetskim zahtjevima

Korištenje vegetiranih lica armiranog tla na padinama koje se mogu uređivati u kombinaciji s prirodnim okolišem također mogu pružiti estetsku prednost nad zadržavanjem zidnih struktura. Međutim, postoje neki potencijalni problemi s održavanjem koji se moraju riješiti, kao što su košnja trave na visoravnim padinama, međutim, one se mogu riješiti u projektu. (N.Y. D.O.T. Geotech Manual, 2007.)

## 6.2 Nedostaci armiranog tla

Sljedeći opći nedostaci mogu biti povezani sa svim građevinama od armiranog tla: (N.Y. D.O.T. Geotech Manual, 2007.)

- Zahtijevaju relativno veliko mjesto iza zida ili vanjskog lica za zadržavanje širina zida za unutarnju i vanjsku stabilnost.
- Mehanički stabiliziran zemljani zid zahtijeva odabir granuliranog punjenja. (Na mjestima gdje nedostaje granuliranih tala, trošak uvoza odgovarajućeg materijala za punjenje može učiniti sustav neekonomičan).
- Zahtjevi za ojačano tlo obično su manje ograničavajući.
- Prikladni kriteriji za projektiranje su potrebni za rješavanje korozije čelične armature, pogoršanje određenih tipova izloženih elemenata kao što je geosintetika pomoću ultravioletnih zraka i potencijalno degradiranje polimernih armatura u zemlji.
- Budući da se projektiranje i izgradnja svih armiranih sustava još uvijek razvija, specifikacije i praksa ugovaranja nisu u potpunosti standardizirani, posebno za armirani sloj tla.

## 7. TROŠKOVI GRAĐEVINA OD ARMIRANOG TLA

Troškovi građevina od armiranog tla sastoje se od mnogih čimbenika kao što je veličina i vrsta nagiba, vrstu *in-situ* tla, dostupnih materijala za zatrpavanje, završnu obradu te mnogih drugih čimbenika. (N.Y. D.O.T. Geotech Manual, 2007.)

Općenito, upotreba građevina od armiranog tla rezultira uštedama u rasponu od 25% do 50%, a možda i više u usporedbi s konvencionalnom armiranobetonskim potpornim konstrukcijama. Ostale uštede troškova uključuju jednostavnost gradnje i brzinu izgradnje. (N.Y. D.O.T. Geotech Manual, 2007.)

Stvarni trošak specifične strukture od armiranog tla ovisit će o trošku svake njegove glavne komponente. U slučaju građevine od armiranog tla sa licem od predgotovljenih betonskih panela, tipični relativni troškovi su:

- Izgradnja panela i izvođačka dobit – 20% do 30% ukupnih troškova.
- Armatura – 20% do 30% ukupnih troškova.
- Sustav obloge – 25% do 30% ukupnih troškova.
- Materijal za nasipavanje - od 35% do 40% ukupnih troškova.

S obzirom na ekonomiju, čimbenici koje treba uzeti u obzir su sljedeći:

- Količina zemljanih radova.
- Veličina površine nagiba.
- Prosječna visina nagiba.
- Kut nagiba.
- Privremeni i trajni zahtjevi za zaštitu od erozije.
- Trošak i dostupnost right-of-way potreba.
- Komplicirane horizontalne i vertikalne promjene poravnanja.
- Potreba za privremenim sustavima temelja pri iskopavanju.
- Održavanje prometa tijekom gradnje.
- Estetika.
- Zahtjevi za ograde i prepreke u prometu.

## Čimbenici odabira građevine

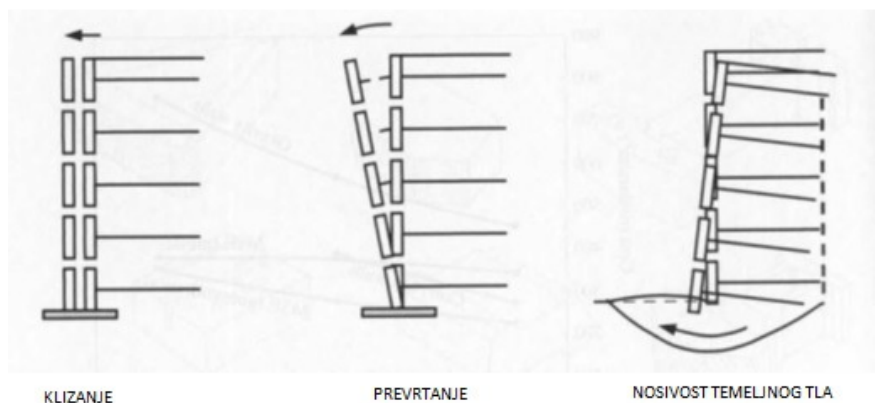
Glavni čimbenici koji utječu na odabir građevine od armiranog tla za bilo koji projekt uključuju:

- Geološki i topografski uvjeti.
- Uvjeti okoliša.
- Veličina i priroda strukture.
- Estetika
- Razmatranja trajnosti
- Kriterij izvedbe
- Dostupnost materijala
- Iskustvo sa određenim sustavom ili njegovom primjenom.
- Trošak.

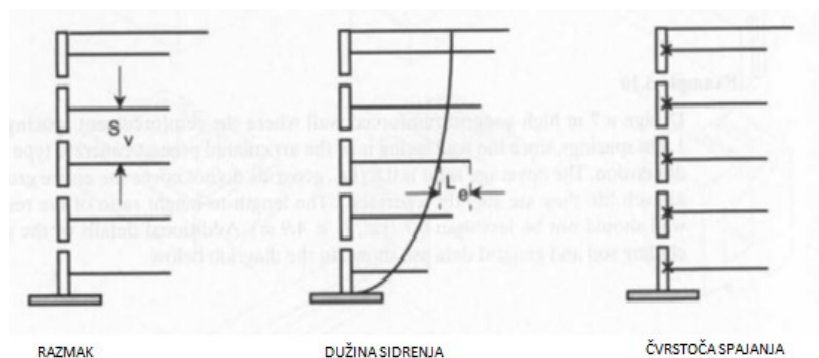
## 8. ANALIZA PRORAČUNA ARMIRANJA TLA GEOSINTETIKOM

Proračun armiranja tla pomoću geosintetika možemo podijeliti na dvije provjere stabilnosti: unutarnju i vanjsku.

U proračunu unutarnje stabilnosti proračunavamo međusobnu udaljenost između geosintetika, njihovu duljinu te duljinu preklapanja. Kontrolom vanjske stabilnosti provjeravamo promatrani armirani nasip na prevrtanje i klizanje te nosivost temeljnog tla. Mehanizmi sloma provjeravaju se s ciljem dobivanja faktora sigurnosti koji opisuju mogućnost pojave sloma tla. Na slici 79. i 80. prikazane su redom kontrole vanjske i unutarnje stabilnosti.

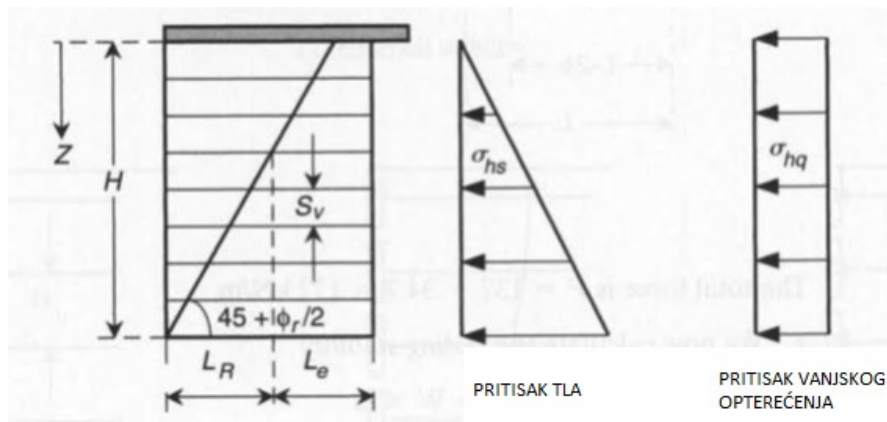


Slika 79. Kontrola vanjske stabilnosti (Koerner, 2005.)



Slika 80. Kontrola unutarnje stabilnosti (Koerner, 2005.)

Za određivanje razmaka slojeva geosintetika, usvaja se pretpostavka linearne raspodjele opterećenja tla korištenjem Rankine-ovih uvjeta aktivnog potiska tla iza nasipa (Slika 81.).



Slika 81. Dijagrami unutarnje stabilnosti (Koerner, 2005.)

gdje su:

$\sigma_{hs}$  - bočni pritisak tla

$\sigma_{hq}$  - bočni pritisak od vanjskog opterećenja

$K_a = \tan^2(45 - \varphi/2)$  - koeficijent aktivnog potiska tla, gdje je

$\varphi$  - kut trenja tla iza nasipa

$\gamma$  - zapreminska težina tla

$z$  - dubina sloja od površine terena

$q$  - opterećenje na površini nasipa

$$\sigma_{hs} = K_a * \gamma * z \quad (1)$$

$$\sigma_{hq} = K_a * q \quad (2)$$

$$\sigma_h = \sigma_{hs} + \sigma_{hq} \quad (3)$$

Nakon što je dobivena vrijednost ukupnog opterećenja koje djeluje na nasip, potrebno je odrediti međusobni vertikalni razmak između slojeva geosintetika,  $S_v$  prema izrazu (4):

$$S_v = \frac{T_{allow}}{\sigma_h * FS} \quad (4)$$

Gdje su:

$S_v$  – vertikalni razmak slojeva

FS- faktor sigurnosti

$T_{allow}$  – dopuštena vlačna čvrstoća geosintetika, dobiva se preko izraza (5):

$$T_{allow} = \frac{T_{ult}}{RF_{ID} * RF_{CR} * RF_{CBD}} \quad (5)$$

Gdje su:

$T_{ult}$  – maksimalna vlačna čvrstoća geosintetika

$RF_{ID}$ ,  $RF_{CR}$ ,  $RF_{CBD}$  – redukcijski faktori oštećenja prilikom ugradnje, puzanja i kemijsko-biološke degradacije

Faktor sigurnosti FS iznosi 1.3-1.5 ukoliko koristimo  $T_{allow}$

Zatim određujemo duljine polaganja geosintetika u zoni sidrenja,  $L_e$ . Dobivene vrijednosti pridružuju se neaktivnim duljinama geosintetika  $L_R$  unutar aktivne zone, kako bi dobili ukupnu duljinu geosintetika (Slika 82.).

$$L = L_e + L_R \quad (6)$$

$$L_R = (H - z) * \tan(45 - \frac{\varphi}{2}) \quad (7)$$

$$L_e = \frac{S_v * \sigma_h * FS}{2(c_a + \gamma * z * \tan\delta)} \quad (8)$$

$$L_o = \frac{S_v * \sigma_h * FS}{4(c_a + \gamma * z * \tan\delta)} \quad (9)$$

Gdje su:

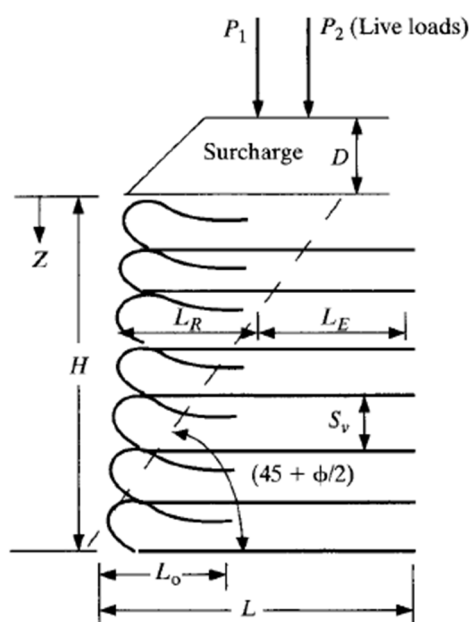
$L_e$  – sidrena duljina geosintetika (minimalno 1 m)

$L_R$  – neaktivna duljina sidrenja

$L_o$  – duljina preklapanja geosintetika (minimalno 1 m)

$C_a$ - adhezija između tla i geosintetika

$\delta$ - kut trenja između tla i geosintetika



Slika 82. Prikaz geometrije geosintetika u poprečnom presjeku ( Koerner, 2005.)



Nakon što je proračunata unutarnja stabilnost potrebno je provjeriti faktore sigurnosti vanjske stabilnosti koja se sastoji od kontrole stabilnosti na prevrtanje, klizanje i naprezanje temeljnog tla.

Kontrola stabilnosti na prevrtanje:

$$FS_{PR} = \sum \frac{\text{momenti otpora}}{\text{momenti prevrtanja}} \quad (10)$$

Kontrola stabilnosti na klizanje:

$$FS_{KL} = \sum \frac{\text{pasivne sile}}{\text{aktivne sile}} \quad (11)$$

Kontrola nosivosti temeljnog tla:

$$FS_{NO} = \sum \frac{\text{nosivost}}{\text{pritisak temelja}} \quad (122)$$

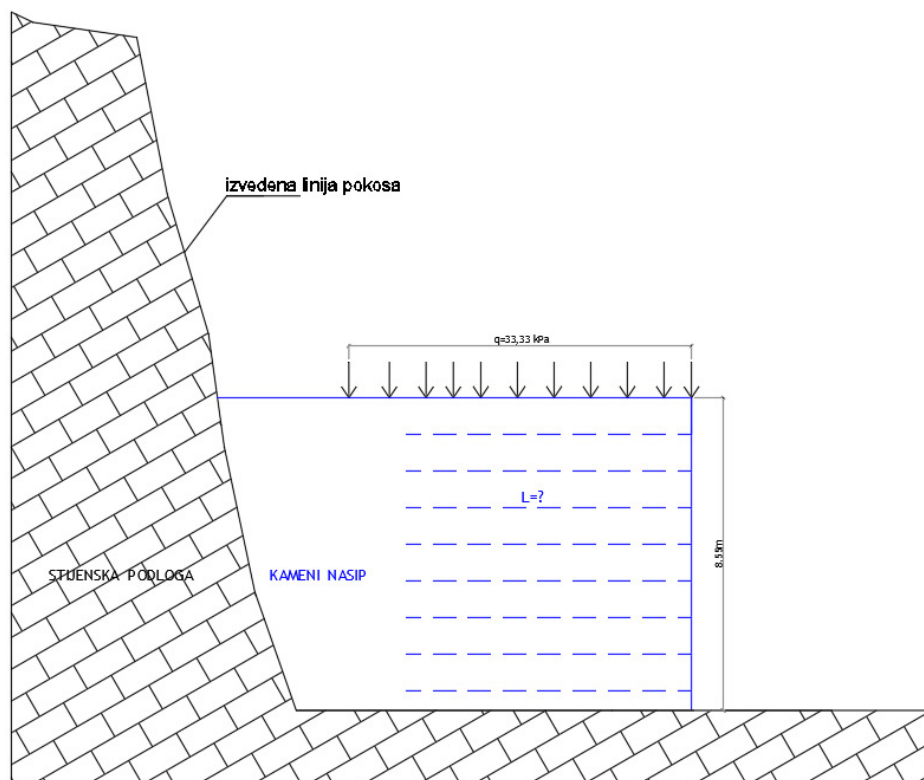
## 9. PRORAČUN OJAČANJA NASIPA GEOMREŽOM

### 9.1 Analitički proračun nasipa ojačanog geomrežom

Na sadašnjem terenu izgrađenom od vapnenačke stijenske podloge predviđena je izvedba nasipa, vertikalnog nagiba u visini 8.55 m. Na nasip djeluje vanjsko opterećenje te ga je potrebno dodatno ojačati, odnosno armirati te izvesti isključivo s kamenim nasipnim materijalom. Za zadani geotehnički profil (Slika 83.) i parametre materijala, potrebno je:

- proračunati potrebnu duljinu geomreže, odnosno unutarnju i vanjsku stabilnost armiranog nasipa,
- proračunati faktor sigurnosti upotrebom metode granične ravnoteže programskim paketom Rocscience, programom Slide, i utvrditi razinu stabilnosti zasjeke.

Proračun vanjske kontrole zida od armiranog tla provedeno je prema Eurocode-u 7, projektni pristup 3.



Slika 83. Zadani geotehnički profil

Parametri vapnenačke stijenske podloge:

$\gamma_{st} = 21 \text{ kN/m}^3$  - zapreminska težina stijenske podloge

$\sigma_{ci} = 75 \text{ MPa}$  - jednoosna tlačna čvrstoća intaktne stijene (eng. *UCS, unconfined compressive strength*)

$\sigma_{cd} = 75/1,4 = 53,57 \text{ MPa}$

GSI = 40 - geološki indeks čvrstoće (eng. *Geological Strength Indeks, GSI*)

$m_i = 8,0$  - konstanta intaktne stijene (eng. *Intact rock constant*)

$D = 1,00$  - faktor poremećenja (eng. *Disturbance factor*)

Parametri kamenog nasipa

$\gamma_n = 19 \text{ kN/m}^3$  - zapreminska težina kamenog nasipa

$\varphi_k = 40^\circ$  - kut unutarnjeg trenja nasipa

Računski efektivni kut trenja:

$$\tan(\varphi_d) = \frac{\tan(\varphi_k)}{1,25} = 0,67$$

$$\varphi_d = 33,87$$

$C = 0 \text{ kN/m}^2$  - kohezija nasipa

$$C_d = \frac{C}{1,25} = 0 \text{ kN/m}^2$$

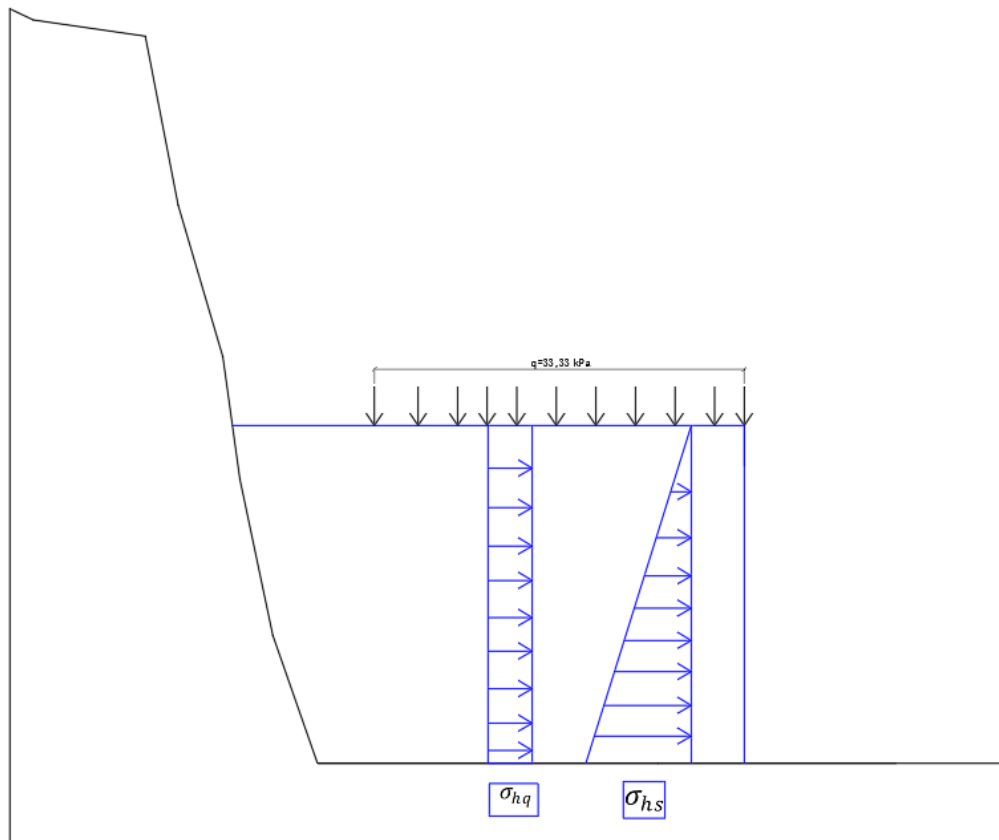
Bočni pritisak tla i vanjskog opterećenja:

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\varphi_d}{2} \right) = 0,284$$

$$\sigma_{hs} = K_a * \gamma * z = 5,40 * z$$

$$\sigma_{hq} = K_a * q = 9,47 \text{ MPa}$$

$$\sigma_h = \sigma_{hs} + \sigma_{hq} = 5,40 * z + 9,47$$



Slika 84. Bočni pritisak od tla i vanjskog opterećenja

### Međusobna udaljenost i duljina polaganja slojeva

$T_{ult} = 90 \text{ kPa}$  – krajnja vlačna čvrstoća

$RF_{ID}$ ,  $RF_{CR}$ ,  $RF_{CBD}$  – redukcijski faktori oštećenja prilikom ugradnje, puzanja i kemijsko-biološke degradacije

Raspon redukcijskih faktora za nasip:

$$RF_{ID} = 1.3$$

$$RF_{CR} = 2.5$$

$$RF_{CBD} = 1.3$$

$T_{allow}$  - dopuštena vlačna čvrstoća

$$T_{allow} = \frac{T_{ult}}{RF_{ID} * RF_{CR} * RF_{CBD}} = \frac{90}{4.23} = 21.27$$

$$S_v = \frac{T_{allow}}{\sigma_h * FS} = \frac{21.27}{(5,40 * 8.55 + 9,47) * 1.5} = 0.25 \text{ m} \quad 17 \text{ slojeva} * 0.25 \text{ m} = 4.33 \text{ m}$$

$$S_v = \frac{T_{allow}}{\sigma_h * FS} = \frac{21.27}{(5,40 * 4.22 + 9,47) * 1.5} = 0.44 \text{ m} \quad 6 \text{ sloja} * 0.44 \text{ m} = 2.64 \text{ m}$$

$$S_v = \frac{T_{allow}}{\sigma_h * FS} = \frac{21.27}{(5,40 * 1.58 + 9,47) * 1.5} = 0.79 \text{ m} \quad 2 \text{ sloja} * 0.79 \text{ m} = 1,58 \text{ m}$$

Potrebne duljine geomreže za svaki sloj prikazane su u tablici 1.

Tablica 1. Tablični prikaz dužine geotekstila za svaki sloj

Sloj	Dubina	Sv(m)	Le(m)	Le min(m)	Lr(m)	Lcalc(m)	L
25	0,82	0,79	<b>1,05</b>	1	3,98	4,98	5
24	1,61	0,79	<b>0,70</b>	1	3,58	4,58	
23	2,05	0,44	<b>0,35</b>	1	3,35	4,35	
22	2,49	0,44	<b>0,32</b>	1	3,12	4,12	
21	2,93	0,44	<b>0,30</b>	1	2,90	3,90	
20	3,37	0,44	<b>0,28</b>	1	2,67	3,67	4
19	3,81	0,44	<b>0,27</b>	1	2,44	3,44	
18	4,25	0,44	<b>0,26</b>	1	2,22	3,22	
17	4,5	0,25	<b>0,15</b>	1	2,09	3,09	
16	4,75	0,25	<b>0,15</b>	1	1,96	2,96	3
15	5	0,25	<b>0,14</b>	1	1,83	2,83	
14	5,25	0,25	<b>0,14</b>	1	1,70	2,70	
13	5,5	0,25	<b>0,14</b>	1	1,57	2,57	
12	5,75	0,25	<b>0,14</b>	1	1,44	2,44	
11	6	0,25	<b>0,14</b>	1	1,31	2,31	
10	6,25	0,25	<b>0,14</b>	1	1,18	2,18	
9	6,5	0,25	<b>0,13</b>	1	1,06	2,06	2
8	6,75	0,25	<b>0,13</b>	1	0,93	1,93	
7	7	0,25	<b>0,13</b>	1	0,80	1,80	
6	7,25	0,25	<b>0,13</b>	1	0,67	1,67	
5	7,5	0,25	<b>0,13</b>	1	0,54	1,54	
4	7,75	0,25	<b>0,13</b>	1	0,41	1,41	
3	8	0,25	<b>0,13</b>	1	0,28	1,28	
2	8,25	0,25	<b>0,13</b>	1	0,15	1,15	1
1	8,5	0,25	<b>0,13</b>	1	0,03	1,03	

$S_v$  – vertikalni razmak slojeva

$L_e$  – potrebna duljina sidrenja (minimalno 1m)

$$L_e = \frac{S_v * \sigma_h * FS}{2(c_a + \gamma * z * \tan \delta)}$$

$L_R$  – neaktivna duljina sidrenja

$$L_R = (H - z) * \tan\left(45 - \frac{\varphi_d}{2}\right)$$

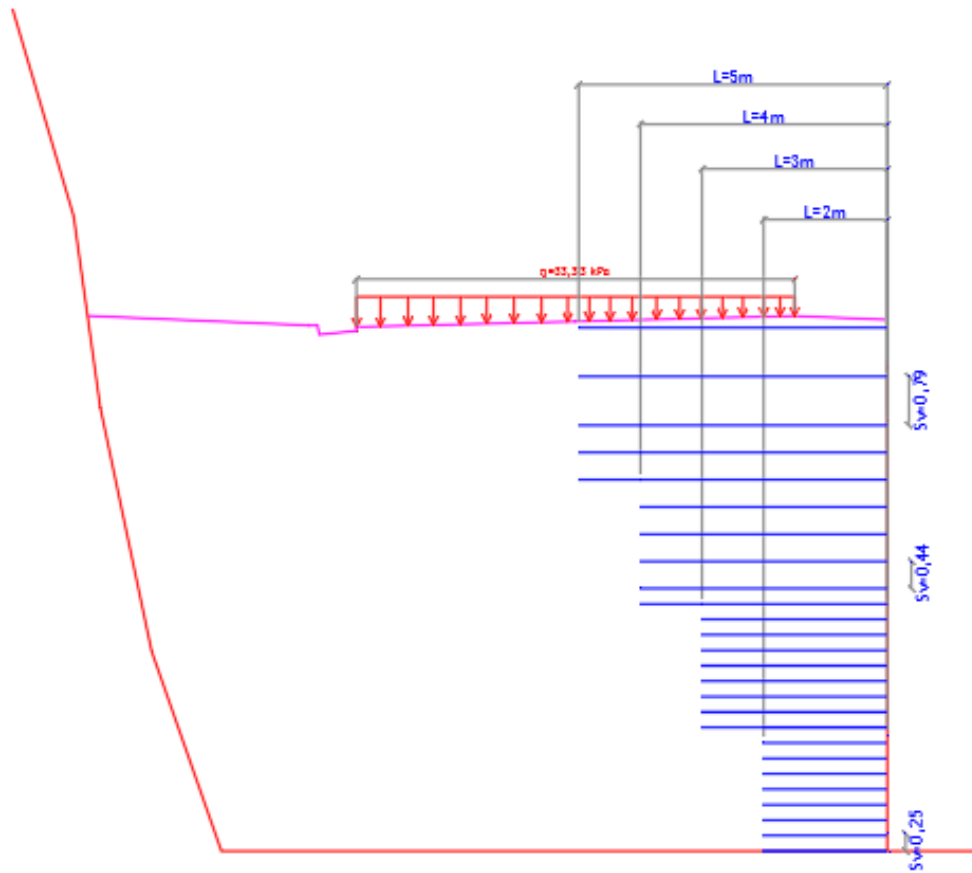
$L_{calc} = L_e(\min) + L_R$

$L$  – usvojena duljina geomreže

$L_o$  – duljina preklapanja slojeva (minimalno 1 m)

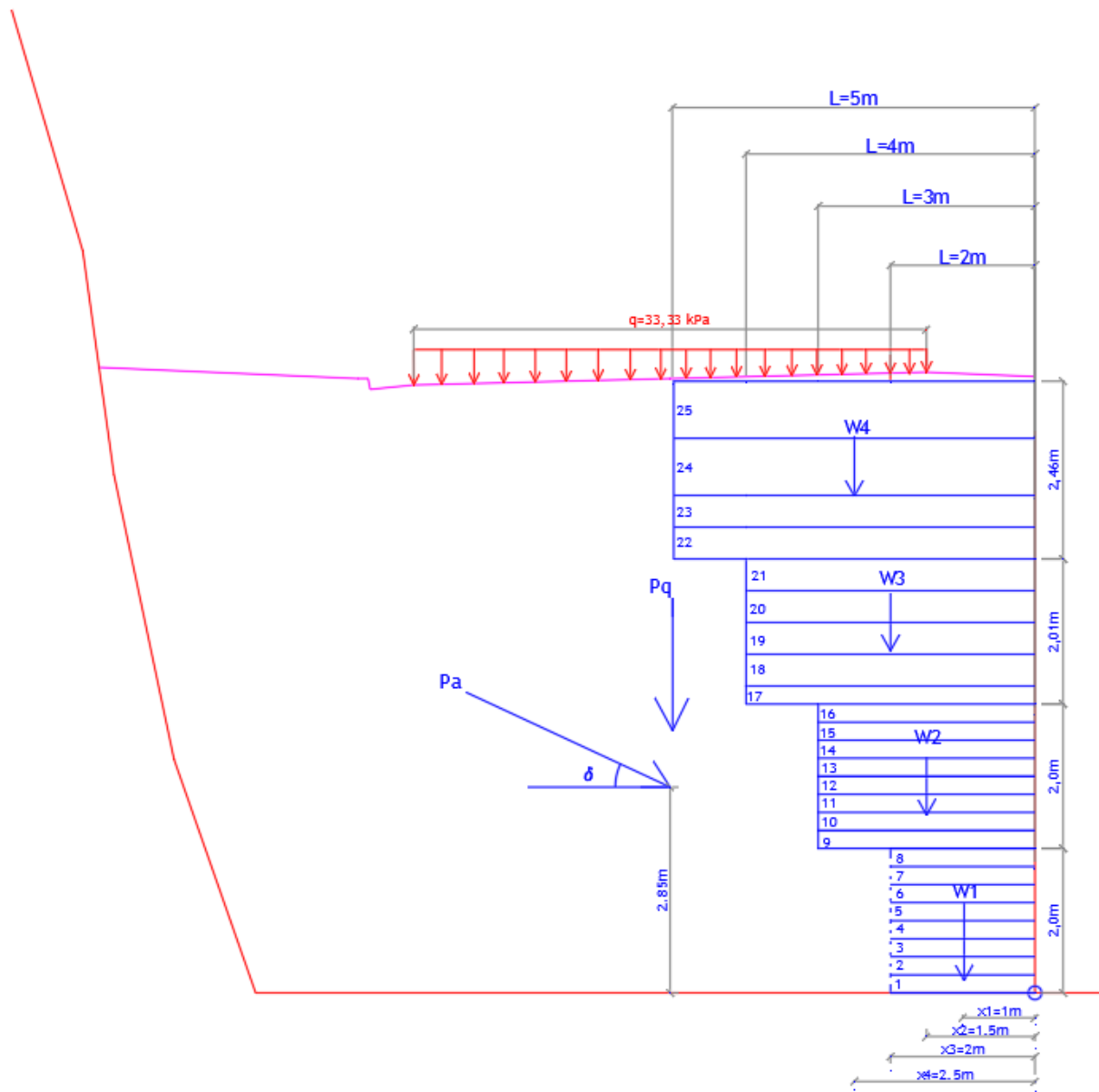
$$L_o = \frac{S_v \cdot \sigma_h \cdot FS}{4(c_a + \gamma \cdot z \cdot \tan \delta)} = \frac{0.79 \cdot (5.40 \cdot 0.79 + 9.47) \cdot 1.5}{4 \cdot 19 \cdot 0.79 \cdot \tan(\delta)} = 0.31 \text{ m}$$

(minimalno dozvoljeno 1m) usvojeno 1 m



Slika 85. Prikaz udaljenosti i duljine polaganja slojeva u AutoCAD-u

KONTROLE STABILNOSTI



Slika 86. Dimenzije potrebne za proračun stabilnosti



Karlo Kocmanić, Završni rad

$$w_{1k} = 2 \cdot 2 \cdot 19 = 76,00 \text{ kN}$$

$$w_{2k} = 2 \cdot 3 \cdot 19 = 114,00 \text{ kN}$$

$$w_{3k} = 2,01 \cdot 4 \cdot 19 = 152,76 \text{ kN}$$

$$w_{4k} = 2,46 \cdot 5 \cdot 19 = 233,7 \text{ kN}$$

$$\varphi_d = 33,87^\circ$$

$$P_a = 0,5 \cdot \gamma_n \cdot H^2 \cdot K_a = 0,5 \cdot 19 \cdot 8,55^2 \cdot 0,284 = 197,23 \text{ kN/m}$$

Horizontalna komponenta sile aktivnog potiska tla:

$$P_{a1} = P_a \cdot \cos(\varphi_d) = P_a \cdot \cos(33,87^\circ) = 161,27 \text{ kN/m}$$

Vertikalna komponenta sile aktivnog potiska tla:

$$P_{a2} = P_a \cdot \sin(\varphi_d) = P_a \cdot \sin(33,87^\circ) = 108,25 \text{ kN/m}$$

$$P_q = q \cdot K_a \cdot H = 33,33 \cdot 0,284 \cdot 8,55 = 80,13 \text{ kN/m}$$

Horizontalna komponenta sile potiska od vanjskog opterećenja:

$$P_{q1} = P_q \cdot \cos(\varphi_d) = P_q \cdot \cos(33,87^\circ) = 66,53 \text{ kN/m}$$

Vertikalna komponenta sile potiska od vanjskog opterećenja:

$$P_{q2} = P_q \cdot \sin(\varphi_d) = P_q \cdot \sin(33,87^\circ) = 44,66 \text{ kN/m}$$

## 1. Kontrola stabilnosti na prevrtanje

Parcijalni koeficijenti za granična stanja: (Bond i Harris, 2008.)

$\gamma_G^*=1,00$  – stalno nepovoljno geotehničko djelovanje

$\gamma_{G,pov}^*=1,00$  – stalno povoljno geotehničko djelovanje

$\gamma_Q^*=1,3$  – promjenjivo nepovoljno geotehničko djelovanje

$\gamma_{Q,pov}^*=0$  – promjenjivo povoljno geotehničko djelovanje

Otpor:

Težina djeluje kao stalno povoljno djelovanje:

$$w_{1d} = w_1 * \gamma_{G,pov}^* = 76 * 1 = 76 \text{ kN}$$

$$w_{2d} = w_2 * \gamma_{G,pov}^* = 114 * 1 = 114 \text{ kN}$$

$$w_{3d} = w_3 * \gamma_{G,pov}^* = 152,76 * 1 \text{ kN} = 152,76 \text{ kN}$$

$$w_{4d} = w_4 * \gamma_{G,pov}^* = 233,7 * 1 = 233,7 \text{ kN}$$

Vanjsko prometno opterećenje djeluje kao povoljno promjenjivo djelovanje:

Množenjem vanjskog prometnog opterećenja sa povoljnim promjenjivim djelovanjem koje iznosi  $\gamma_Q = 0$ , opterećenje iznosi 0.

Prevrtanje:

Sila aktivnog potiska tla djeluje kao nepovoljno stalno djelovanje:

$$P_{a1d} = P_{a1} * \gamma_G^* = 161,27 * 1 = 161,27 \text{ kN/m}$$

$$P_{a2d} = P_{a2} * \gamma_G^* = 108,25 * 1 = 108,25 \text{ kN/m}$$

Pritisak od vanjskog prometnog opterećenja djeluje kao nepovoljno promjenjivo djelovanje:

$$P_{qd} = P_q * \gamma_Q^* = 80,13 * 1,3 = 104,17 \text{ kN/m}$$

$$P_{q1d} = P_{q1} * \gamma_Q^* = 66,53 * 1,3 = 86,49 \text{ kN/m}$$

$$P_{q2d} = P_{q2} * \gamma_Q^* = 44,66 * 1,3 = 58,06 \text{ kN/m}$$

$$M_{Rd,st} = (w_{1d} * x_1) + (w_{2d} * x_2) + (w_{3d} * x_3) + (w_{4d} * x_4) + (q_k * 3,5 * 3,25) * \gamma_{Q,pov}^*$$

$$M_{Rd,st} = (76 * 1) + (114 * 1,5) + (152,76 * 2) + (233,7 * 2,5) + 0 = 1136,77 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,pr} = (P_{a1d} * 2,85 - P_{a2d} * 5) + (P_{q1d} * H/2 - P_{q2d} * 5)$$

$$M_{Ed,pr} = (161,27 * 2,85 - 108,25 * 5) + (86,49 * 8,55/2 - 58,06 * 5) = 430,81 \text{ kNm}$$

Karlo Kocmanić, Završni rad

$$\Lambda_{GEO} = M_{Ed,pr} / M_{Rd,st} = 430,81 / 1136,77 = 0,38$$

Potporni zid zadovoljava na prevrtanje.

## 2. Kontrola stabilnosti na klizanje

$$\delta = 0,95 * \varphi_d = 32,18^\circ$$

$$W_{d,fav} = ((w_{1k} + w_{2k} + w_{3k} + w_{4k}) + P_{a2}) * \gamma_{G,pov} + (P_{q2} * \gamma_{Q,pov})$$

$$W_{d,fav} = ((76 + 114 + 152,76 + 233,7) + 108,25) * 1 + (0) = 684,71 \text{ kN}$$

$$H_{ed} = P_{a1} * \gamma_G + P_{q1} * \gamma_Q$$

$$H_{ed} = (161,27 * 1) + (66,53 * 1,3) = 247,76 \text{ kN}$$

$$H_{Rd} = W_{d,fav} * \tan \delta = 684,71 * \tan(32,18) = 430,86 \text{ kN}$$

$$\Lambda_{GEO} = H_{ed} / H_{Rd} = 247,76 / 430,86 = 0,57$$

Potporni zid zadovoljava na klizanje.

### 3. Kontrola nosivosti temeljnog tla

$$\Sigma M = M_{st} - M_{pr}$$

$$\Sigma M = 1136,77 - 430,81$$

$$\Sigma M = 705,96 \text{ kNm}$$

$$\Sigma V = ((w_{1k} + w_{2k} + w_{3k} + w_{4k}) + Pa_2) * \gamma_{G, pov} * (Pq_2 * \gamma_{Q, pov})$$

$$\Sigma V = ((76 + 114 + 152,76 + 233,7) + 108,25) * 1,35 + (44,66 * 1,5)$$

$$\Sigma V = 991,26 \text{ kN}$$

$$e_a = \frac{\Sigma M}{\Sigma V}$$

$$e_a = \frac{705,96}{991,26}$$

$$e_a = 0,71 \text{ m}$$

$$e_T = \frac{L}{2} - e_a$$

$$e_T = 1 - 0,71$$

$$e_T = 0,29 \text{ m}$$

$$k < \frac{L}{6} = \frac{2}{6} = 0,33$$

$$0,29 < 0,33$$

Mayerhof-ova distribucija dužine:

$$L' = L - 2 * e_T = 2 - 2 * 0,29 = 1,4 \text{ m}$$

Naprezanje ispod temelja:

$$q_{ed} = \frac{\Sigma V}{A'} = \frac{991,26}{1,4 * 1} = 708,04 \text{ kN/m}^2$$

$$\Lambda_{GEO} = 800 / 708,04 = 1,13 > 1 \quad \text{Temelj ne zadovoljava}$$

## 9.2. Numerička analiza potporne konstrukcije od armiranog tla



Faktor sigurnosti je proračunat upotrebom metode granične ravnoteže, koristeći Bishop-ovu metodu (Bishop,1955) i metodu prema Janbu (Janbu,1954), programskim paketom Rocscience, programom Slide 6.0.

([https://www.rocscience.com/downloads/slide/Slide\\_TutorialManual.pdf](https://www.rocscience.com/downloads/slide/Slide_TutorialManual.pdf))


Parametri materijala uneseni u program prikazani su u tablici 2. dok su uneseni parametri geomreža prikazani u tablici 3.

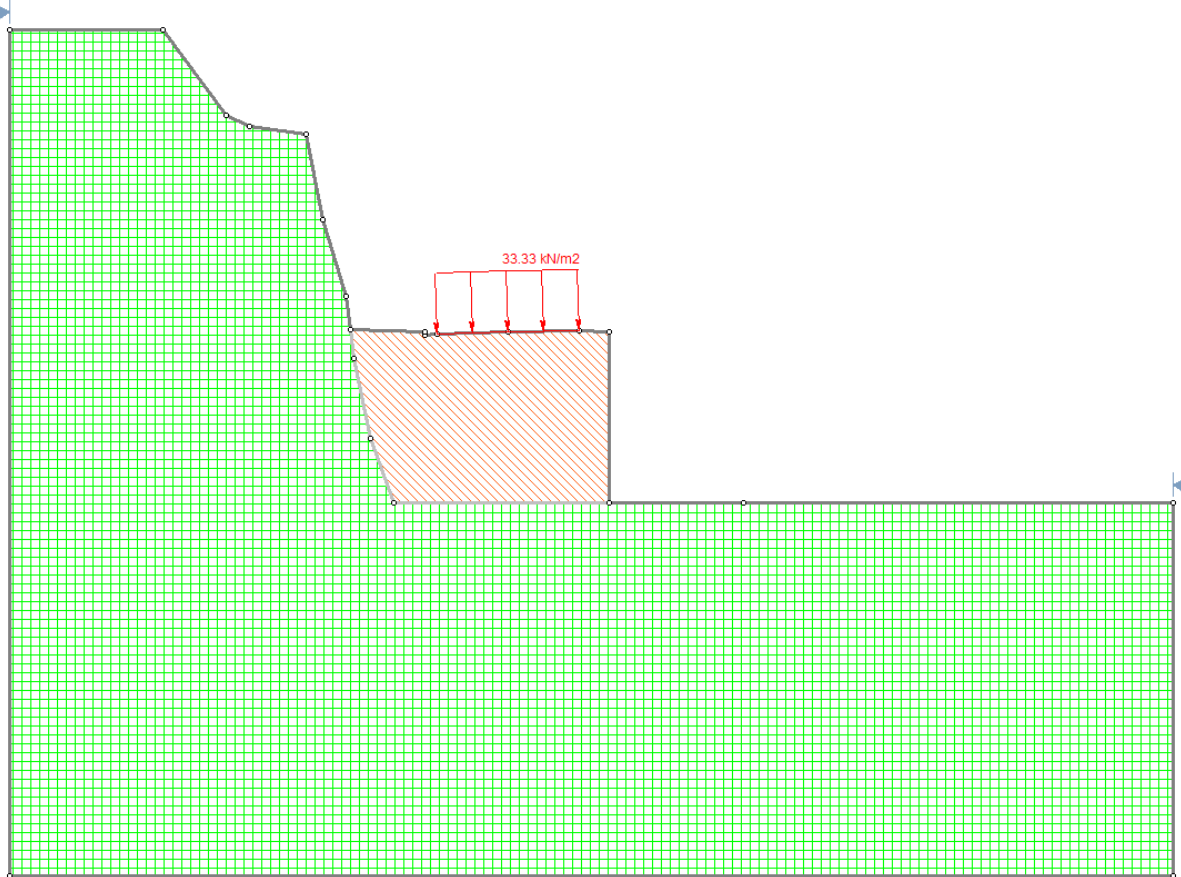
Na slici 87. prikazan je početni model nasipa za koji se izvodila numerička analiza, a na slici 88. prikaz faktora sigurnosti armiranog tla, te je na slici 89. prikazan faktor sigurnosti bez armiranog tla.

Tablica 2. Parametri materijala

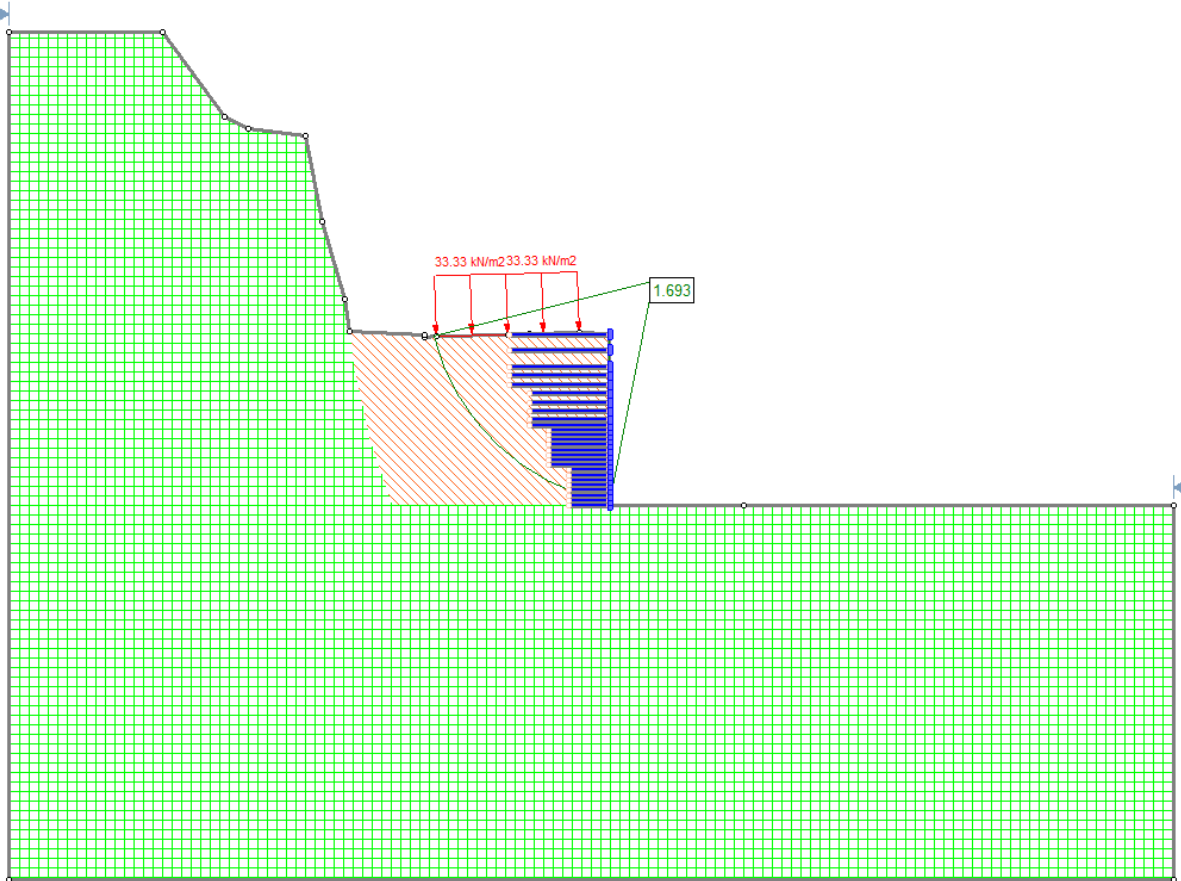
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	UCS (kN/m2)	m	s	a	Water Surface	Ru
Stijena		21	Generalised Hoek-Brown			53570	0.11011	4.53999e-005	0.511368	None	0
Nasip		19	Mohr-Coulomb	0	33.87					None	0

Tablica 3. Parametri geomreže

Support Name	Color	Type	Force Application	Material Dependent	Adhesion	Friction Angle	Shear Strength Model	Force Orientation	Anchorage	Strip Coverage	Tensile Strength
Support 1		GeoTextile	Passive (Method B)	No	5	40	Linear	Bisector of Parallel and Tangent	Slope Face	100	90

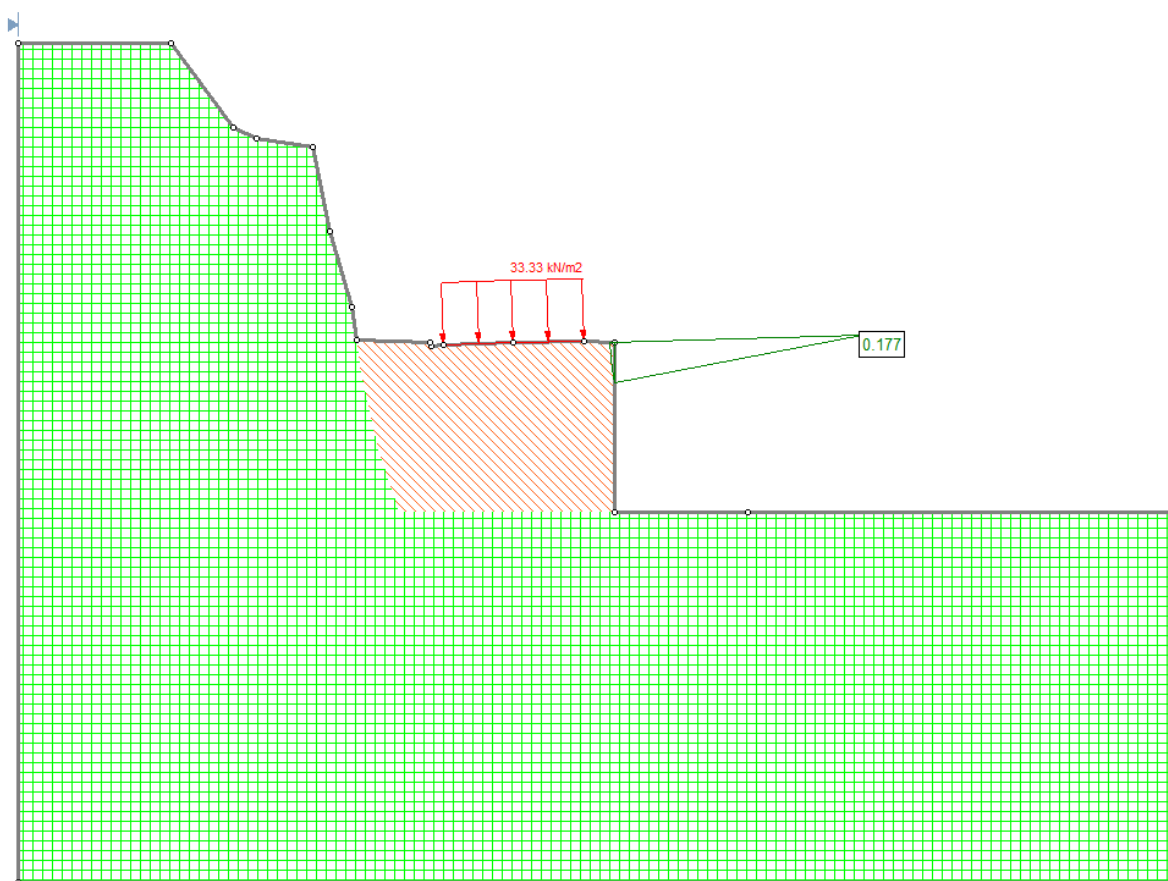


Slika 87. Početni model nasipa



Slika 88. Prikaz faktora sigurnosti armiranog tla u Slide-u





Slika 89. Prikaz faktora sigurnosti bez armiranja tla u Slide-u

## 10. ZAKLJUČAK

Kao što je prikazano u ovom završnom radu, armirano tlo ima važnu ulogu u geotehnici i graditeljstvu općenito. Široki spektar primjene armiranog tla, odabir same armature, njegovog načina sidrenja kao i nasipnog gradiva ovisi o mjestu gradnje, tlu na kojem se gradi, ulozi armiranog tla i njegovoj primjeni.

Armirano tlo ima ulogu zadržavanje tla, od uporabe armiranog tla u mehanički stabiliziranim zemljanim zidovima, potpornim zidovima, odlagalištima otpada, armiranim zidovima prometnica, hidrotehničkih vodenih nasipa, brana, nasipa umjetnih jezera i mnogih drugih primjena. U bilo kojem aspektu graditeljstva armirani nasipi bili oni privremeni ili trajni, su neophodni te je potrebno njihovo dobro poznavanje kao i način izgradnje. Jedna od prednosti armiranih nasipa je da se mogu prilagoditi prirodnoj okolini i podneblju u kojoj se nalaze, i kao takva dekorirati različitim licima a i time doprinijeti vizualnom i funkcionalnom uređenju nasipa.

Sama armatura ima široki spektar materijala od kojih je napravljena što uvelike pomaže u odabiru armature, prilagodbi terenu i svrsi postavljanja određene armature, također ona olakšava dobivanje čvrstoće u tlu kroz vrijeme, od starenja tla. Prema istraživanjima koja pokazuju da su geomreže, čija je primjena dominantna u odnosu na druge geosintetičke materijale, višestruko djelotvornija od geotekstila. Armiranim tlom uz upotrebu geomreža moguće je vrlo uspješno riješiti zahtjevne slučajeve kao što su nasipi visine i do 60m, poboljšanje nosivih slojeva prometnica itd.

## LITERATURA:

- Babić B., B., Jašarević, I., Kvasnička, P., Prager, A., Schwabe, Ž., Šimetin, V. *Geosintetici u graditeljstvu*; HDGI; Zagreb.1995
- Babić Marino, DIPLOMSKI RAD, *POTPORNA KONSTRUKCIJA SA TERRAMESH SISTEMOM*, SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE, 2015
- Bathurst Richard, *Reinforced Soil Walls – Design and Construction*, Royal Military College of Canada, Kingston, Canada, 2015
- Bishop, A.W.,. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes 1955
- Bolanča Krešimir, OPĆI TEHNIČKI UVJETI ZA RADOVE U VODNOM GOSPODARSTVU, KNJIGA 2, *Gradnja i održavanje komunalnih vodnih građevina*, Zagreb, 2012
- Horvat Tamara, Završni rad, Osijek, 12.rujna 2017
- Ivšić Tomislav i Krešimir Bolanča, OPĆI TEHNIČKI UVJETI ZA RADOVE U VODNOM GOSPODARSTVU, KNJIGA 1, *Gradnja i održavanje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i vodnih građevina za melioracije*, Zagreb, 2010
- Ivšić Tomislav, NASUTE I POTPORNE GRAĐEVINE, Građevinski fakultet Zagreb, 2009 u armiranom tlu pokusom izvlačenja, 2013
- Janbu N., Application of Composite Slip Surface for Stability Analysis. European Conference on Stability Analysis, Stockholm, Švedska. 1954
- JP CESTE FEDERACIJE BIH, SMJERNICE ZA PROJEKTOVANJE, GRAĐENJE, ODRŽAVANJE I NADZOR NA PUTEVIMA, Knjiga 1: *PROJEKTOVANJE*
- Koerner R. M., *Designing with Geosynthetics*, Fifth edition, 2005
- Koerner R. M., *Geotextiles from design to applications*-Woodhead Publishing, 2016
- Kovačević Zelić Biljana, *GEOSINTETICI U PROMETNICAMA*, Sveučilište u Zagrebu RUDARSKO GEOLOŠKO NAFTNI FAKULTET, Zagreb
- Minažek Krunoslav i Mensur Mulabdić, Pregled ispitivanja interakcije tla i armature, Osijek, 2013

Karlo Kocmanić, Završni rad

Mintas Ivica, OPĆI TEHNIČKI UVJETI ZA RADOVE U VODNOM GOSPODARSTVU, KNJIGA 1, *Gradnja i održavanje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i vodnih građevina za melioracije*, Zagreb, 2010

NEW YORK Department Of Transportation, Geotechnical Manual, MECHANICALLY STABILIZED EARTH SYSTEM, INSPECTION MANUAL, 2007.

Rankilor, P.R., *Membranes in Ground Engineering*. John Wiley & Sons, Chichester, New York, Toronto, 1981

Roje-Bonacci Tanja, *Potporne građevine i građevne jame*, GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET U SPLITU, SPLIT 2005

Rukavina Tatjana, OPĆI TEHNIČKI UVJETI ZA RADOVE U VODNOM GOSPODARSTVU, KNJIGA 1, *Gradnja i održavanje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i vodnih građevina za melioracije*, Zagreb, 2010

Schlosser, F., Bastick, M., *Reinforced earth*. U H.-Y. Fang (ur.) *Foundation Engineering Handbuk*, Chapman & Hall, London, 1991

Suljić Nedim, *PODJELA I GRADNJA POTPORNIH KONSTRUKCIJA*, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet u Tuzli

Suljić Nedim, *POTPORNE KONSTRUKCIJE*, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet u Tuzli, 2010

U.S. Department of Transportation, Publication No. FHWA-NHI-00-043, Federal Highway Administration, 2001.

WEB:

<http://www.buildmagazin.com/index2.aspx?fld=tekstovi&ime=bm1820.htm>

<https://rudar.rgn.hr/~bkzelic/pdf/9.geosintetici-09.pdf>

<https://rudar.rgn.hr/~bkzelic/pdf/10.geosintetici%20u%20prometnicama-09.pdf>

www.geotekstili.com

[https://www.grad.unizg.hr/download/repository/Predavanja\\_1/NASPOT14-boja.pdf](https://www.grad.unizg.hr/download/repository/Predavanja_1/NASPOT14-boja.pdf)

<http://www.casopis-gradjevinar.hr/arhiva/article/653>

<https://reinforcedearth.com>

Karlo Kocmanić, Završni rad

<http://www.abg-geosynthetics.com>

<https://www.tensar.com.hr>

<http://si.fggeogrid.com>

<https://www.epttech.com>

<https://www.sinteza-lining.si>

<http://www.oceanreinforced.com>

<https://www.geofoam.com>

<https://geotextilemembranes.co.uk>

<https://www.gradjevinarstvo.rs>

<https://www.geomat.eu>

<http://mattinglyengineers.com>

<https://www.maccaferri.com>

<http://consmethod.blogspot.com>

<http://www.retainingsolutions.com.au>

<https://www.green-tech.co.uk>

<https://bluestonesupply.com>

<http://www.acegeosyntheticsecopark.com>

<https://www.geotech.hr>

<https://www.geofabrics.co>

<https://www.archiexpo.com>

<http://www.trulinecivil.com>

<https://m-kvadrat.ba>

<http://struna.ihjj.hr>

<http://www.maxtulsa.com>

[https://www.roscience.com/downloads/slide/Slide\\_TutorialManual.pdf](https://www.roscience.com/downloads/slide/Slide_TutorialManual.pdf)

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI  
Preddiplomski stručni studij  
Geotehničko inženjerstvo**

**Karlo Kocmanić  
JMBAG:0114024251**

**Konstrukcije nasipa od armiranog tla  
Završni rad**

**Rijeka, rujan 2019.**