

REPUBLIKA SRBIJA
PROJEKAT REHABILITACIJE TRANSPORTA

**PRIRUČNIK ZA PROJEKTOVANJE
PUTEVA U REPUBLICI SRBIJI**

8 KONSTRUKTIVNI ELEMENTI PUTA

8.1 ZEMLJANI RADOVI

BEOGRAD, 2012

Izdavač: Javno preduzeće Putevi Srbije, Bulevar kralja Aleksandra 282, Beograd

Izdanja:

Br.	Datum	Opis izmena i dopuna
1	30.04.2012	Prvo izdanje

SADRŽAJ

8.1.1	UVODNI DEO	1
8.1.1.1	Opšte	1
8.1.1.2	Tehnička regulativa	1
8.1.1.3	Terminologija	1
8.1.1.4	Skraćenice i simboli	2
8.1.2	STABILNOST KOSINA	4
8.1.2.1	Opis	4
8.1.2.2	Uticaji na stabilnost kosina	4
8.1.2.3	Podaci o tlu	4
8.1.2.4	Analize stabilnosti kosina	5
8.1.2.5	Obezbeđivanje stabilnosti kosina konstrukcionim merama	6
8.1.2.6	Stabilnost kosina nasipa	6
8.1.2.7	Stabilnost kosina iskopa	7
8.1.2.8	Tehničko praćenje	8
8.1.3	NASIPI NA SLABONOSIVOM TLU	9
8.1.3.1	Opšte	9
8.1.3.2	Postupci za građenje nasipa	9
8.1.3.3	Osnove za projektovanje nasipa	10
8.1.3.4	Osnove geotehničkog proračuna nasipa	13
8.1.3.5	Osnove geotehničkog proračuna konstrukcionih mera za građenje nasipa	17
8.1.4	GEOSINTETICI	22
8.1.4.1	Uvodni deo	22
8.1.4.2	Funkcionalne karakteristike geosintetika	24
8.1.4.3	Geosintetički materijali	29
8.1.4.4	Svojstva geosintetika	36
8.1.4.5	Testne metode i zahtevi	39
8.1.4.6	Reduktivni faktori za geosintetike	42
8.1.4.7	Osobine tla prilikom planiranja sa geosinteticima	45
8.1.4.8	Planiranje geosintetika za odvajanje	47
8.1.4.9	Planiranje geosintetika za filterske slojeve	52
8.1.4.10	Planiranje geosintetika za drenažne slojeve	54
8.1.4.11	Armaturni geosintetici kod planiranja nasipa na slabonosivom tlu	56
8.1.4.12	Armaturni geosintetici za ojačavanje – armiranje kosina	65
8.1.4.13	Potporne konstrukcije od armirane zemlje	77
8.1.4.14	Zaptivanje geosinteticima	79
8.1.4.15	Ostale primene geosintetika	86
8.1.4.16	Zaključak	89

8.1.1 UVODNI DEO

8.1.1.1 Opšte

Zemljani radovi u tlu i steni, kao i sa rastresitim materijalima, su neophodni za nastavak izvođenja ostalih građevinskih radova.

Heterogeno tlo izloženo je prirodom uslovljenom riziku. Ono se ponaša nelinearno, a čvrstoća mu je relativno mala i zavisi od stanja napona.

U priručniku za projektovanje puteva u poglavlju Zemljani radovi detaljno je obrađena aktuelna stručna tematika u vezi sa područjima

- stabilnosti kosina,
- nasipa na slabonosivom tlu i
- primene geosintetika.

8.1.1.2 Tehnička regulativa

Osnovu za izradu ovog priručnika predstavljaju sledeći evropski standardi:

- EN 1997-1, Eurocode 7: Geotechnical design Part 1: General rules
- EN 1997-2, Eurocode 7: Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing
- EN 1998-1 do 5, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance
- EN ISO 14688 Geotehničko istraživanje i ispitivanje – Identifikacija i klasifikacija zemljanih materijala
- EN ISO 14689 Geotehničko istraživanje i ispitivanje – Identifikacija ili klasifikacija stena

Navedene EN i ISO standarde dopunjavaju EN i ISO standardi za izvođenje i interpretaciju pojedinih ispitivanja i radova.

Moguća je upotreba i važeće tehničke regulative koja ne odstupa u velikoj meri od euro normi.

8.1.1.3 Terminologija

Donji stroj (subgrade, Unterbau) je izgrađeni deo trupa puta između temeljnog tla i kolovozne konstrukcije.

Geosintetik (geosynthetic, Geokunststoff) je opšti pojam koji opisuje proizvod čija je barem jedna komponenta od sintetičkog ili prirodnog polimera.

Gustina (density, Dichte) označava masu materijala, uključujući udeo vode (vlažnost) i šupljine, po jedinici zapremine (kg/m^3 ili t/m^3).

Nasip (embankment/fill, Damm) je deo trupa puta između posteljice i temeljnog tla, veštački izgrađen od zemljanog i/ili stenskog materijala, dovoljno visoko iznad površine terena tako da obe kosine uz ivicu kolovoza budu nagnute naniže.

Planum (formation, Planum) označava površinu sa određenim propisanim karakteristikama kvaliteta (visina, ravnost, zbijenost, ugib).

Plodno tlo/humus (fertile soil, Oberboden) je gornji sloj tla, nastao usled fizičkih, hemijskih i bioloških procesa koji pored neorganskih materija sadrži i organske materije, potrebne za rast vegetacije.

Posteljica (capping layer, verfestigter Unterbau) je gornji (završni) sloj nasipa ili temeljnog tla, debeo do 50 cm, sa posebnim svojstvima (povećana nosivost, smanjena osetljivost na uticaje mraza) koja su postignuta pomoću odgovarajućih građevinsko-tehničkih zahvata (poboljšanje, konsolidacija, stabilizacija).

Probna deonica (test area, Versuchsgelände) je deo gradilišta na kojem se – u skladu sa postavljenim ciljem – promenom pojedinih parametara stručnim postupcima ispituju građevinski materijali, postupci ili načini građenja.

Slabonosivo tlo (soft soil/soil of low bearing capacity, schlecht tragfähiger Boden) je tlo koje, zbog velikog udela vode, ima neodgovarajuća fizička i/ili mehanička svojstva i koje se sporo drenira.

Tlo (soil/earth, Boden/Erde) je površinski deo zemljine kore (sedimenti i proizvodi vremenskog razgrađivanja) koji se sastoji od nevezanih ili slabovezanih mineralnih i/ili delimično organskih delova, koje je moguće mehaničkim sredstvima razgraditi bez upotrebe sile (npr. nasipanjem u vodu).

Trajnost (durability, Dauerhaftigkeit) je vremensko razdoblje između ugradnje i zamora (rušenja) ugrađenog materijala (npr. u kolovoznu konstrukciju).

Trup puta (road body, Strassenkörper) čine svi materijali upotrebljeni za nasipe i kolovoznu konstrukciju između planuma

temeljnog tla i saobraćajne površine ili druge završne površine.

Vozni plato (working / hardened field, befahrbare Unterlage) je nasuti sloj nevezane mešavine kamenih zrna, ugrađene na temeljno tlo sa namerom da se omogući transport i svi ostali tehnološki postupci koji su potrebni za gradnju puta.

Zbijenost (compaction (degree of), Verdichtungsgrad) označava dostignutu gustinu ugrađenog materijala nakon završenog postupka zbijanja.

8.1.1.4 Skraćenice i simboli

8.1.1.4.1 Skraćenice

CPT	statičko penetraciono ispitivanje
CPTU	statičko penetraciono ispitivanje sa merenjima pritiska u porama
OCR	koeficijent prekonsolidacije
SPT	standardni penetracioni test

8.1.1.4.2 Simboli

A, B	Skemptonov parametar
A_c	presek šljunčanog šipa
A_R	udeo šljunka u kompozitu zemlje
A_∞	površina dijagrama dodatnih napona
a	udaljenost između središta kružne sile rušenja i smernice T_{cm}
b	širina (nasipa, temelja, drenažne trake)
b	širina nasipa na uticajnom području kosine
c	kohezija
c'	kohezija izražena efektivnim naponima
c_u	nedrenirana čvrstoća pri smicanju
c_v	koeficijent vertikalne konsolidacije
c_r	koeficijent radijalne konsolidacije
E	modul elastičnosti
E_{oed}	edometerski modul stezanja
E_a	aktivni pritisak zemlje
E_p	pasivni pritisak zemlje
F_c, F_ϕ	faktor bezbednosti u dreniranim uslovima
F_U	faktor bezbednosti u nedreniranim uslovima
f	faktor kao rezultat proračuna
H	horizontalno opterećenje ili komponenta celokupnog uticaja, koja deluje paralelno sa temeljnom
h	visina (nasipa, temelja)
h_w	nivo vode
K_0	koeficijent mirnog pritiska zemlje

k	koeficijent vodopropusnosti
l	dužina (nasipa, temelja)
m	broj
N_c, N_q, N_ϕ	faktori nosivosti (Prandtl, Terzagij, Vesić)
n	broj; (npr. broj šipova, istraživanja, nagib padine 1:n)
q	otpornost površine ispod temeljnog tla, opterećenje
q_c	opterećenje površina ispod šljunčanih šipova
R	poluprečnik uticaja šljunčanog šipa
r	poluprečnik
r_c	poluprečnik šljunčanog šipa
s	sleganje
s_0	trenutno sleganje
s_1	konsolidaciono sleganje
s_2	sleganja zbog viskoznog puzanja (sekundarno sleganje)
s_c	sleganje šljunčanog šipa
s_s	sleganje zemlje kod šljunčanog šipa
S_r	stepen zasićenja zemlje
T_{cm}	mobilizaciona reaktivna kohezivna sila
Tr	vremenski faktor radijalne konsolidacije
Tv	vremenski faktor vertikalne konsolidacije
u	pritisak kapilarne vode
U_R	stepen radijalne konsolidacije
U_V	stepen vertikalne konsolidacije
W	težina (zemlje)
z	vertikalna udaljenost
x	udaljenost

Grčka slova

α	unutarnji ugao kružnog isečka kružne sile rušenja
β	nagib površine iza zida (pozitivan, ako se teren podiže)
γ	zapreminska težina
γ_N	zapreminska težina nasipa
γ'	efektivna zapreminska težina
γ_s	specifična težina (zapreminska težina bez pora)
θ	smer (nagib) opterećenja H
σ	normalni ukupni napon
σ'	normalni efektivni napon
η	odnos (između vertikalnih napona u šipu i temeljnom tlu)
ν	Poasonov količnik
τ	napon smicanja
ϕ'	ugao smicanja, izražen efektivnim naponima

8.1.1.4.3 Kategorije objekata prema standardu Eurocode 7

1. kategorija: geotehnički jednostavni objekti
2. kategorija: većina objekata
3. kategorija: geotehnički vrlo zahtevni objekti

8.1.1.4.4 Jedinica mera

Za geotehničke proračune preporučuju se sledeće jedinice i njihovi umnošci:

- | | |
|--------------------------------------|-------------------|
| - sila | kN |
| - masa | kg |
| - moment | kNm |
| - gustina | kg/m ³ |
| - zapreminska težina | kN/m ³ |
| - napon, pritisak, čvrstoća, krutost | kPa |
| - koeficijent propustljivosti | m/s |
| - koeficijent konsolidacije | m ² /s |

8.1.2 STABILNOST KOSINA

8.1.2.1 Opis

Obezbeđivanje stabilnosti kosina iskopa i nasipa znači obezbeđivanje od klizanja zemlje ili kamenja po kosini.

Posledice nestabilnosti kosina mogu da budu:

- gubitak globalne stabilnosti tla i obližnjih konstrukcija
- prekomerni pomaci tla zbog deformacija pri smicanju, sleganja, vibracija ili podizanja tla
- oštećenja ili smanjenja upotrebljivosti obližnjih konstrukcija, kolovoza i infrastrukture zbog pomaka tla.

Nasipi su pretežno građeni od kvalitetnih i kontrolisano ugrađenih materijala, po pravilu nisu zasićeni sa vodom i zato obezbeđivanje stabilnosti kosine samog nasipa pre svega zavisi od izbora odgovarajućeg nagiba kosine.

Stabilnost kosina iskopa je zbog raznovrsnosti prirodnih uslova pri kojima su građeni iskopi mnogo zahtevnija.

Kosine iskopa mogu da budu izvršene u koherentnom ili nekoherentnom materijalu ili u steni. Zbog različite prirode oba materijala stabilnost kosina u tim materijalima razmatra se različitim metodama.

Na kosinama iskopa često se pojavljuje i podzemna voda, koja smanjuje globalnu stabilnost, a uzrokuje i površinsku i unutrašnju eroziju tla.

Ukratko pri razmatranju stabilnosti kosina treba uzeti u obzir uporediva iskustva.

Kategorije zahtevnosti objekata prema Eurocode 7 su sledeće:

- 1. kategorija: geotehnički jednostavni objekti
- 2. kategorija: većina objekata
- 3. kategorija: geotehnički vrlo zahtevni objekti

Ove smernice važe za kategorije objekata prema Eurocode 7 i to za objekte 1. i 2. geotehničke kategorije. Za 3. geotehničku kategoriju smernice predstavljaju samo minimalan obim i osnovno vodilo pri projektovanju. Često kod 3. kategorije treba koristiti i druge postupke i metode i pozvati na saradnju specijalizovane stručnjake.

8.1.2.2 Uticaji na stabilnost kosina

Svaki geotehnički projekt mora pri razmatranju stabilnosti da kao moguće uticaje uzme u obzir:

- težinu tla, stena i vode
- napone u tlu
- pritiske tla
- pritiske slobodne vode, uključujući i pritiske talasa
- pritiske podzemne vode
- sile struje
- vlastitu težinu konstrukcija i ostala opterećenja koja proizilaze iz konstrukcija
- opterećenje tla
- uklanjanje opterećenja ili iskop tla
- saobraćajna opterećenja
- pomake zbog iskopavanja ruda, građenja tunela ili gradnje ostalih podzemnih prostora
- bubrenje i skupljanje, koje prouzrokuje vegetacija, podneblje ili promena vlage
- pomake zbog puzanja, klizanja ili sleganja zemljanih materijala
- pomake zbog truljenja, disperzije glina, raspadanja, taloženja i rastapanja
- pomake i ubrzanja koja prouzrokuju potresi, eksplozije, vibracije i dinamička opterećenja
- uticaje temperature, uključujući i delovanja mraza
- opterećenje zbog leda
- sile prednapona ankera
- negativno trenje
- tok i izvođenje građevinskih radova
- nove kosine i konstrukcije na ili u blizini konkretne lokacije
- prethodne ili još uvek aktivne pomake tla zbog različitih uzroka
- klimatske promene, uključujući i promenu temperature (smrzavanje i otapanje), sušu i jake padavine
- vegetaciju ili uklanjanje vegetacije
- delovanje ljudi i životinja
- promene udeca vode (vlažnosti) ili pritiska kapilarne vode
- mogućnost otkazivanja drenaža, filtara ili elemenata za zaptivanje

8.1.2.3 Podaci o tlu

Na stabilnost prirodnih ili veštačkih kosina utiču pre svega sledeći podaci o tlu:

- morfologija terena
- sastav tla
- čvrstoća pri smicanju pojedinih slojeva tla
- zapreminska težina pojedinih slojeva tla
- raspored pritisaka u porama u vodonosnim slojevima tla

a u stenama i

- smer i nagib pada svih sistema diskontinuiteta kao i
- čvrstoća pri smicanju duž pojedinih sistema diskontinuiteta.

U heterogenom tlu globalna stabilnost kosina bitno zavisi od prisustva vode i posledičnog rasporeda pritiska u porama u vodonosnim slojevima tla. Pri istraživanju je zato potrebno pažljivo beležiti pojavu vlažnih (mokrih) zona, makar se radi samo o tankim slojevima. Posebnu pažnju treba posvetiti vodonosnim slojevima između dva nepropusna sloja, bez obzira na njihovu debljinu.

U slučajevima kada je zbog uticaja građenja iskopa ili nasipa potrebno ispitati i granično stanje upotrebljivosti, važni su i podaci o krutosti pojedinih slojeva tla. Pri izboru računskih vrednosti krutosti treba uzeti u obzir red veličine deformacija i način promene napona (opterećenje, rasterećenje), odnosno treba koristiti odgovarajući materijalni model višeg reda.

Podatke o tlu treba dobiti odgovarajućim ispitivanjima sastava i svojstava tla.

Računske materijalne karakteristike moraju da predstavljaju sigurnu vrednost, koja je određena na osnovu svih raspoloživih rezultata istraživanja.

8.1.2.4 Analize stabilnosti kosina

Globalnu stabilnost kosina zajedno sa postojećim ili projektovanim konstrukcijama u uticajnom području, treba potvrditi analizama stabilnosti ili analizama verovatnoće rušenja jednom od priznatih metoda i to

- u zemljama sa
 - analitičkim proračunima za pretpostavljene ravni klizanja jednostavnih oblika (ravna, kružna, logaritamski oblik ravni klizanja) u homogenom tlu
 - numeričkim proračunima prema metodama lamela za pretpostavljene ravni klizanja kružnog, odsečcima ravnog ili kompleksnijih oblika
 - numeričkim proračunima primenom MKE ili diferencijalne metode,
 - pri analizi stabilnosti kosina, potrebno je razmotriti i 3D efekte ukoliko oni imaju znatan uticaj na konačni rezultat,
- u stenama (uz doslednu upotrebu gornjih metoda) i

- grafičkim analizama (npr. Marklandov test),
- 2D i 3D analizama klizanja bloka ili klina stene,
- numeričkim analizama pomoću metode odvojenih elemenata (distinct element method),
- metodama klasifikovanja kosina (npr. SMR – Slope Mass Rating).

Kružna ravan rušenja može da se koristi za analizu kosina od relativno homogenih i izotropnih materijala. Ipak pre svega u slučajevima kada može da dođe do klizanja duž kontakta dva različita sloja tla ili duž izrazito lošeg sloja tla, isključiva primena kružnih kliznih ravni za analizu stabilnosti nije prihvatljiva.

Pri izboru računске metode treba da se uzme u obzir

- slojevitost tla,
- prisustvo i ugao upadanja diskontinuiteta,
- proceđivanje i raspored pritiska kapilarne vode,
- da li se razmatra kratkoročna ili dugoročna stabilnost,
- puzanje zbog visokog nivoa napona smicanja,
- vrstu rušenja (kružna ili proizvoljna ravan rušenja, prevrtanje, tečenje).

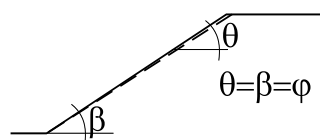
Pri analizi globalne stabilnosti tla ili stene, treba uzeti u obzir sve moguće oblike i načine rušenja.

Pri analizi stabilnosti moraju da se koriste delimični koeficijenti bezbednosti u skladu sa metodom graničnih stanja i to za

- efektivni ugao smicanja $\gamma_{\phi} = 1,25$
- efektivnu koheziju $\gamma_c = 1,25$
- nedreniranu čvrstoću pri smicanju $\gamma_{cu} = 1,40$
- jednoosovinsku čvrstoću na pritisak $\gamma_{qu} = 1,40$
- zapreminsku težinu tla $\gamma_{\gamma} = 1,00$ ¹⁾
- stalno opterećenje na površini tla $\gamma_G = 1,35$
- povremeno opterećenje na površini tla $\gamma_Q = 1,50$
- metodu analize $\gamma_M = 1,00$
(odnosno prema oceni korisnika)

¹⁾ Moguće nepouzdanosti pri određivanju zapreminske težine tla uzimaju se u obzir tako što se analiza ponovi sa najmanjom i najvećom zapreminskom težinom.

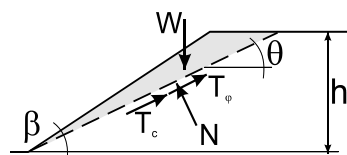
Pri analizi kosina koje su deo ranije nestabilnih kosina (fosilne lavine), gornji delimični koeficijenti bezbednosti nisu nužno odgovarajući. U takvim slučajevima treba pre svega pokazati da građenjem iskopa ili nasipa bezbednost u poređenju sa primarnim stanjem nije pogoršana. Deo te analize je i povratna analiza stabilnosti primarnog stanja zemljišta kojom se i proverava primerenost ulaznih parametara.



$$\tan \beta \leq \tan \varphi'_d$$

$$\tan \varphi'_d = \frac{\tan \varphi'}{\gamma_\varphi}$$

- kod koherentnog tla



$$h_{gr} = \frac{2c'_d \sin \beta \cos \varphi'_d}{\gamma \sin^2 \beta - \varphi'_d} \cdot \frac{1}{2}$$

$$c'_d = \frac{c'}{\gamma_c}$$

Prilikom izbora računskih (karakterističkih) vrednosti materijalnih svojstava pojedinih slojeva tla treba uzeti u obzir kompatibilnost deformacija. Pre svega u slučajevima kada bezbednost treba da se obezbedi kombinacijom različito krutih slojeva tla ili relativno krute konstrukcije i naglašeno deformabilne zemlje, jer pri prihvatljivim deformacijama u pojedinim slojevima tla često ne može da se aktivira puna otpornost na smicanje.

Pri analizi stabilnosti u stenama treba s obzirom na strukturu stena (prostorni položaj diskontinuiteta) koristiti i 3D analize stabilnosti.

8.1.2.5 Obezbeđivanje stabilnosti kosina konstrukcionim merama

Odgovarajuća bezbednost potencijalno nestabilnih kosina može da se obezbedi:

- promenom geometrije kosine,
- vegetacionom zaštitom (pretežno kao zaštita od erozije),
- drenažnim sistemom,
- konstrukcijama za podupiranje, kao što su kamene obloge, montažni elementi i gabioni načinjeni od žičane mreže ili geotekstila,
- zemljanim ili stenovitim šipkastim ankerima,
- armiranjem tla
- betonskom ili armiranobetonskom potporom ili potpornom konstrukcijom sa ankerima ili bez njih
- kombinacijom svih gore navedenih mera.

8.1.2.6 Stabilnost kosina nasipa

Stabilan nagib kosine (β) homogenog nasipa, po kojem se ne proceduje voda, može da se u slučaju homogenosti koherentnog i nekoherentnog tla proračuna (brza kontrola stabilnosti) prema sledećim jednačinama:

- kod nekoherentnog tla

gde je:

θ	nagib klizišta
β	nagib kosine
φ'	ugao smicanja izražen efektivnim naponima
γ_φ	koeficijent bezbednosti za ugao smicanja u dreniranim uslovima
φ'_d	projektovani ugao smicanja
h_{gr}	granična visina nasipa
c'_d	projektovana kohezija
γ	zapreminska težina tla
c'	kohezija izražena efektivnim naponima
γ_c	koeficijent bezbednosti za koheziju u dreniranim uslovima
T_c	rezultirajući otpor kohezije duž klizišta
T_φ	rezultirajući otpor trenja duž klizišta
N	normalna sila na ravni klizanja
W	težina (zemlje)
h	visina nasipa

U skladu sa iskustvom za većinu slučajeva odgovarajuće su kosine sa nagibom (visina : dužina):

- 1:3 za nasipe od lošeg zemljanog materijala i za bočne nasipe,
- 1:2 za nasipe od sitnozrnog koherentnog materijala ili od nekoherentnog materijala od mekih stena (lapor, fliš, permokarbonske stene, itd.),
- 1:1,5 (2:3) za nasipe od kamenog materijala
- 1:1 za nasipe od kamenog materijala sa učvršćenom kamenom oblogom.

Strmije kosine nasipa (do 90°) mogu da se grade armiranjem tla ili izgradnjom potpornih konstrukcija. Savremena programska oprema za analize stabilnosti omogućava da se pri analizi stabilnosti uzmu u obzir i armaturni geosintetici i konstrukcije.

Pri analizi stabilnosti kosina heterogenih nasipa izgrađenih od različitih materijala, i/ili kosina nasipa po kojima se proceduje voda treba koristiti numeričke metode.

Karakteristike smicanja materijala za nasipanje treba odrediti ispitivanjem uzoraka, zgusnutih Proktorovim postupkom pri optimalnoj vlazi.

Nasipe treba izvoditi sa nadprofilom, jer potpuno kvalitetno zbijanje do ivice nasipa nije moguće. Izvođenje sa nadprofilom i kasnije uklanjanje viška materijala sa kosina garantuje odgovarajući (projektovani) kvalitet materijala za nasipanje i na samoj kosini nasipa.

Nepovoljni učinci površinske erozije mogu najefikasnije da se spreče primenom vegetativne zaštite novo formirane kosine.

Nepovoljni učinci prodiranja vode kroz nasip mogu najefikasnije da se spreče odgovarajućim slojem drenažnog materijala na mestu kontakta nasipa i temeljnog tla. Minimalna debljina takvog sloja za dugoročnu stabilnost iznosi 1 m. Treba obezbediti i stabilnost filtriranja i odgovarajuće isticanje vode na najnižem mestu.

8.1.2.7 Stabilnost kosina iskopa

8.1.2.7.1 Stabilnost kosina iskopa u zemljanim materijalima

Za brzu ocenu stabilnosti iskopa u homogenom tlu bez prisustva podzemne vode mogu da se koriste jednačine iz tačke 8.1.2.6.

Za stabilnost kosina iskopa je kritično krajnje drenirano stanje kosine, koje pri analizi mora da bude razmatrano pomoću efektivnih parametara čvrstoće pri smicanju. Kritičnim stanjem smatra se i krajnje stanje uz maksimalnu moguću piezometričku visinu vode u vodonosnim slojevima tla.

Nedrenirano stanje daje veću bezbednost, ali tokom relevantno vrlo kratkog perioda, tj. kod privremenih iskopa. Ako treba iskoristiti privremeno veću bezbednost kod privremenih iskopavanja za vreme građenja

ukopanih delova objekata u materijalima, kao što su gline i prašine, onda treba osigurati zaštitu privremenih kosina i indirektnu pozadine od atmosferskih voda. Ovo je posebno neophodno kod nisko plastičnih i/ili peščanih prašina i glina.

Pri projektovanju i građenju posebnu pažnju treba posvetiti postojanju tanjih slojeva od propusnih nekoherentnih materijala (pesak, šljunak) između slojeva koherentnog tla, jer se kroz njih proceduje voda.

Na dužim kosinama iskopa treba predvideti berme na visinama iskopa od 8 do 12 m. Njihova uloga je:

- smanjivanje erozivnog delovanja vode,
- smanjivanje generalnog nagiba kosine iskopa,
- omogućavanje pristupa za održavanje,
- zadržavanje kamenja koje se kotrlja i klizanja snega.

Na bermama treba za odvod vode predvideti podužne kaldrmisane odvodne jarkove ili kanalete. Podužne drenažne cevi ispod berme nisu preporučljive.

Gradnju iskopa treba iskoristiti i za ispitivanje tla koje služi pre svega za poređenje prognozirane i stvarne strukture tla, a po potrebi, i za uzimanje uzoraka i dodatna terenska merenja. Po potrebi na osnovu novih podataka mogu da se ponove analize iz projekta.

8.1.2.7.2 Stabilnost kosina iskopa u stenama

Stabilnost kosina i iskopa u stenama treba ispitati sa stanovišta mogućnosti translacije i rotacije pojedinih kamenih blokova ili veće kamene mase, kao i sa aspekta opasnosti od padanja velikog kamenja. Posebnu pažnju treba posvetiti pritiscima koje prouzrokuje zaostala voda u pukotinama.

Treba uzeti u obzir i da rušenje kosina ili iskopa u čvrstim stenama sa dobro definisanim sistemima pukotina uključuje:

- klizanje kamenih blokova i klinova,
 - izvrtanje lokova ili ploča,
 - izvijanje ploča,
 - kombinaciju izvrtanja i klizanja,
- u zavisnosti od orijentacije kosine padine u odnosu na smer diskontinuiteta.

Klizanje pojedinih blokova ili klinova obično može da se spreči smanjivanjem nagiba kosine i ugradnjom ankera i duboke drenaže. Na kosinama iskopa klizanje može da se

spreči odgovarajućim izborom smera i orijentacije čela kosine tako da pomeranja pojedinih blokova budu kinematički nemoguća.

Izvrtnje blokova obično može da se spreči ankerima i dubokim drenažama.

Pri proučavanju dugoročne stabilnosti padina i useka treba računati sa štetnim dejstvom vegetacije, faktora okoline ili zagađenja na čvrstoću pri smicanju duž diskontinuiteta i na čvrstoću intaktne stene.

U slučajevima kada nije moguće na pouzdan način sprečiti padanja velikog kamenja treba ih pustiti da padnu i zaustaviti ih mrežama, pregradama ili ostalim sličnim merama. Projekat mera za zaustavljanje odronjenih kamenih blokova i drobine duž kamene padine mora da se zasniva na pažljivoj analizi mogućih trajektorija odronjenog materijala.

Za analizu stabilnosti iskopa u stenama postoji više mogućnosti:

- analize potencijalno nestabilnih blokova i klinova na osnovu smera i upada diskontinuiteta odgovarajuće su za stene sa manjim brojem sistema diskontinuiteta. Jedine moguće ravni klizanja su duž postojećih diskontinuiteta. Zato treba uzeti u obzir parametre smicanja koji važe za pukotine. Ove analize nazivaju se strukturnim analizama stabilnosti. Za jednostavne slučajeve mogu da se izvrše analitički, a za nešto kompleksnije slučajeve mogu da se razmatraju grafički, mada najčešće treba koristiti numeričke metode
- stabilnost jako ispucalih i/ili škrljavih stena može da se analizira metodama koje se koriste za zemljane materijale. Potencijalna klizišta mogu da se razviju delimično duž postojećih (različitih) diskontinuiteta, a delimično i u drugom pravcu. Zato za čvrstoću pri smicanju treba koristiti prosečne vrednosti čvrstoće za celokupnu stensku masu (Huk-Brounov kriterij za ispucale stene)
- alternativno, ocena stabilnosti kosina može da se izvrši pomoću klasifikacionih metoda za stene. Namenski za ocenu stabilnosti kosina stena izrađena je klasifikacija pod nazivom „Slope Mass Rating“ (SMR).

Karakteristike smicanja duž diskontinuiteta mogu da se odrede ili ispitivanjem ili Bartonovim postupkom na osnovu koeficijenta hrapavosti pukotina (JRC – Joint

Roughness Coefficient) i čvrstoće na pritisak stene uz pukotinu (JCS – Joint wall Compressive Strength).

Prosečne karakteristike smicanja jako ispucalih stena (stenovito tlo sa više nizova pukotina) najčešće mogu da se odrede na osnovu sistema za klasifikovanje stena, npr. GSI (Geological Strength Index) ili RMR (Rock Mass Rating).

8.1.2.8 Tehničko praćenje

Kosine iskopa i nasipa i njihovu okolinu treba pratiti odgovarajućom opremom, ako

- proračunima ne može da se dokaže da je verovatnoća nastanka graničnih stanja dovoljno mala, ili
- pretpostavke koje su upotrebljene u računskim analizama nisu zasnovane na pouzdanim podacima.

Tehničko praćenje mora da bude planirano tako da može da odredi

- nivo podzemne vode ili vrednost pritiska kapilarne vode u tlu tako da bude izvršena ili proverena analiza efektivnim naponima,
- horizontalne i vertikalne pomake u tlu koje se pomiče da bi mogle da se predvide dalje deformacije,
- dubinu i oblik klizišta u aktivnom usovu da bi bilo omogućeno određivanje parametara čvrstoće tla za projekat sanacionih radova,
- brzinu pomaka da bi mogla da se skrene pažnja na nadolazeću opasnost. U ovakvim slučajevima može da se upotrebi odgovarajući sistem daljinskog digitalnog očitavanja mernih uređaja ili upotreba daljinskog alarmnog sistema.

Najčešće se za navedena merenja koristi sledeća oprema:

- geodetske tačke za 3D merenja pomaka
- inklinometri (prenosni ili stalno ugrađeni) za merenja horizontalnih pomaka (po dubini) i određivanje položaja ravni plohe
- piezometri različitih tipova za merenja pritisaka u porama tla
- merači pukotina za merenje širenja ivica loma, odnosno pukotina u stenovitom tlu.

8.1.3 NASIPI NA SLABONOSIVOM TLU

8.1.3.1 Opšte

Nasipi na slabonosivom tlu su nasipi kod kojih postoji opasnost da za vreme građenja ili nakon izgradnje u tlu nastanu deformacije koje štetno utiču na bezbednost, trajnost i upotrebljivost nasipa i objekata na njemu.

Pod dodatnim opterećenjem u slabonosivom temeljnom tlu razvijaju se prekomerni pritisci u porama koji se za vreme građenja samo malo smanjuju. Bez primene tehnoloških mera za poboljšanje. Za vreme građenja postiže se niski stepen konsolidacije, pa se zato glavni deo deformacija razvija tek nakon završenog građenja i otpornost na smicanje u temeljnom tlu se vrlo polako povećava.

Slabonosivo i stišljivo tlo obično se sastoji od treseta i organskih materijala ili od sitnozrnih koherentnih materijala, kao što su glina, prašina i pesak u žitkoj, lakognječivoj ili srednje gnječivoj konzistenciji. U slabonosiva tla uvrštavaju se i neravnomerno ulegli mešoviti sedimenti i rahla, nekontrolisana veštačka nasipanja.

Slabonosiva temeljna tla ne mogu da se opišu jedinstvenim graničnim vrednostima nedrenirane čvrstoće pri smicanju i deformacionog modula, jer uvek treba razmatrati međusobnu zavisnost između

- svojstva tla,
- geometrije nasipa,
- planiranih rokova gradnje i
- osetljivosti, odnosno ranjivosti objekata u ili na nasipu na deformacije.

Kod nasipa izgrađenih na slabonosivom i stišljivom tlu posebnu pažnju treba posvetiti:

- dozvoljenoj nosivosti temeljnog tla i opasnosti od rušenja zbog prekoračenja čvrstoće pri smicanju zemljanih materijala u temeljnom tlu za vreme građenja i
- proračunima sleganja i vremenskog razvoja sleganja za vreme građenja i nakon njega.

Za stabilnost nasipa na slabonosivom tlu kritična faza nastupa odmah nakon završetka građenja.

Za građenje nasipa na slabonosivom tlu koriste se različiti, okolini prilagođeni tehnološki postupci. Prilikom odlučivanja treba uzeti u obzir već stečena iskustva u uporedivim uslovima.

8.1.3.2 Postupci za građenje nasipa

Za poboljšanje stabilnosti nasipa na slabonosivom tlu koriste se različiti tehnološki postupci građenja, koji uključuju

- postupke u vezi sa geometrijom i svojstvima nasipa,
- postupke za sanaciju ili poboljšanje slabonosivog temeljnog tla ispod nasipa,
- postupke u vezi sa vremenski prilagođenim i nadziranim postupcima građenja i
- različite kombinacije istih.

Primerenost odabranog postupka građenja treba dokazati

- analizom stabilnosti nasipa za vreme građenja i nakon toga,
- analizom sleganja i vremenskog razvoja sleganja i
- analizama izvodljivosti i cene.

8.1.3.2.1 Postupci građenja u vezi sa geometrijom i svojstvima nasipa

Da bi se povećala (poboljšala) stabilnost nasipa na slabonosivom tlu mogu da se upotrebe sledeći prilagođeni postupci građenja nasipa:

- građenje nasipa sa blagim nagibima kosina (1: n, n = 2,5, 3, 4)
- građenje nasipa sa bočnim nasipima uz glavni nasip
- građenje nasipa od lakih ili vrlo lakih materijala za nasipanje kao što su: elektrofilterski pepeo, mešavine zrna od ekspanzirane gline, ploče od ekstrudiranog polistirena, ploče od penastog cementnog betona i sl.

Pri građenju nasipa sa blažim nagibima kosina stabilnost je povoljnija, ali su sleganja nasipa veća. Građenje bočnih nasipa ima slične učinke kao i građenje nasipa sa vrlo blagim nagibima kosina.

Kod nasipa za saobraćajnice veličina opterećenja temeljnog tla zavisi pre svega od zapreminske težine materijala za nasip. Obični zemljani materijali za nasipanje imaju zapreminsku težinu između 18 i 24 kN/m³. Upotrebom lakih i vrlo lakih materijala smanjuju se opterećenja na temeljno tlo i tako se indirektno povećava bezbednost i smanjuje sleganje.

8.1.3.2.2 Postupci građenja za sanaciju ili poboljšanje slabonosivog tla

Postupci za sanaciju ili poboljšanje slabonosivog tla ispod nasipa uključuju različite tehnološke mere kojima se povećava propustljivost i/ili poboljšavaju čvrstoće i

deformaciona svojstva temeljnog tla. U upotrebi su najčešće sledeći postupci:

- ugrađivanje vertikalnih drenaža (šljunčani šipovi i vertikalnih drenažnih traka (wick – drains)) za ubrzanje konsolidacije u radialnom i vertikalnom smeru; postupak je odgovarajući kada je uticajna dubina slabog tla velika (5 do 30 m)
- ugrađivanje horizontalnih drenažnih rebara za ubrzanje vertikalne i horizontalne konsolidacije i za poboljšanje otpornosti slabonosivog sloja na smicanje; postupak je odgovarajući kada je uticajna dubina slabonosivog tla razmerno mala
- zamena slabonosivog tla boljim materijalima; postupak je odgovarajući kada je uticajna dubina slabonosivog tla srazmerno mala
- poboljšanje čvrstoće slabonosivog tla pri smicanju postupcima dubinskog injektiranja (jet – grouting šipovi) ili dubinske hemijske stabilizacije (krečni šipovi); postupci su odgovarajući kada je uticajna dubina slabonosivog tla velika (5 do 30 m)
- poboljšanje čvrstoće slabonosivog tla postupcima dodatnog zbijanja (dinamička komprimacija - heavy tamping, dubinsko vibriranje); postupci su odgovarajući u propusnijim, nehomogenim zemljanim materijalima, kao što su sitni pesak i nekontrolisana veštačka nasipanja
- poboljšanje čvrstoće površine temeljnog tla armiranjem pomoću geosintetika.

U posebnih slučajevima kada opisanim postupcima nije moguće osigurati homogeno poboljšanje svojstva temeljnog tla u planiranim rokovima, nasipi mogu da se grade i na zabijenim ili bušenim šipovima.

Navedeni postupci upotrebljavaju se samostalno ili u kombinaciji sa postupcima, opisanim u tačkama 8.1.3.2.1 i 8.1.3.2.3.

8.1.3.2.3 Posebni postupci u vezi sa vremenski prilagođenim postupcima građenja

Kod vremenski prilagođenih postupaka brzina građenja nasipa prilagođava se postignutom stepenu konsolidacije temeljnog tla ispod nasipa. Za vreme građenja nasipa treba izvoditi

- merenja pritisaka u porama temeljnog tla,
- merenja (povećavanja) čvrstoće pri smicanju ili
- merenja pomaka u temeljnom tlu i na nasipu.

Brzinu građenja nasipa na slabonosivom tlu treba prilagoditi rezultatima merenja i analizama postignutog stepena konsolidacije.

S obzirom na način izvođenja najčešće se upotrebljavaju sledeći oblici vremenski prilagođenih postupaka građenja:

- vremenski prilagođeni rast nasipa sa usputnim merenjima i praćenjem premašenih pritisaka u porama temeljnog tla
- građenje sa preopterećenjem; preopterećenje znači dogradnju i odležavanje izgrađenog nasipa do traženog stepena konsolidacije, pre nego se započne sa nadgradnjom kolovozne konstrukcije
- građenje sa preopterećenjem i preopterećenjem; u ovom slučaju se uz preopterećenje izvodi dodatno opterećenje kojim se u temeljnom tlu mobilizuju odgovarajuća veća sleganja koja bi u planiranom periodu odležavanja mogla da se razviju; preopterećenje se obično izvodi na temeljnom tlu sa viskozim zemljanim materijalima kod kojih značajan deo sleganja može da se razvije zbog puzanja ili u slučajevima kada je potrebna brza mobilizacija sleganja.

Obavezan sastavni deo vremenski prilagođenog građenja je geotehničko praćenje.

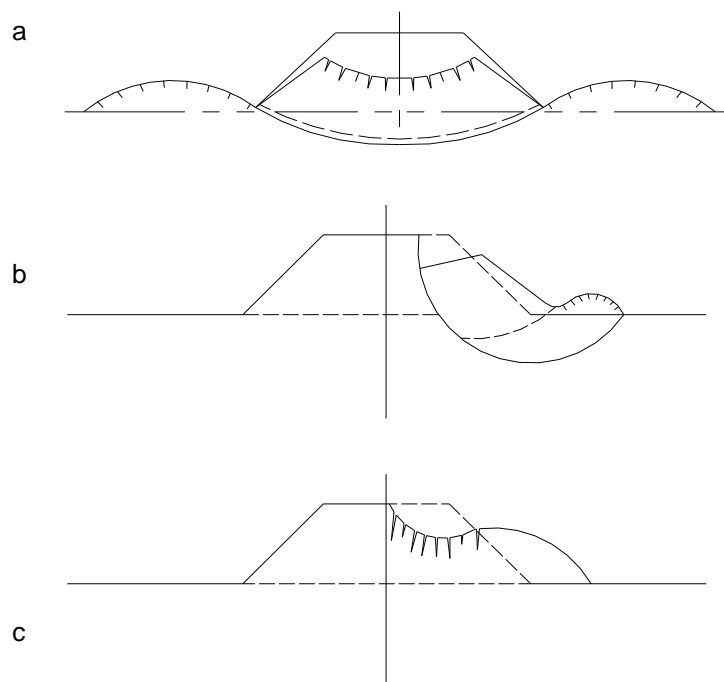
8.1.3.2.4 Građenje probnih nasipa

U slučajevima kada je efikasnost posebnih postupaka teško predvideti ili obuhvatiti proračunom deformacija i stabilnosti, pristupa se izgradnji probnih nasipa. Probni nasipi moraju da budu izgrađeni na karakterističnoj deonici trase od istih materijala i upotrebom istih postupaka koji će se koristiti na glavnom nasipu. Geometrija probnog nasipa mora da bude takva da dobijene informacije budu odgovarajuće za ocenu postupka građenja pri redovnom građenju nasipa.

8.1.3.3 Osnove za projektovanje nasipa

8.1.3.3.1 Opšte

Osnovni princip projektovanja nasipa na slabonosivom i stišljivom tlu je provera bezbednosti nasipa od rušenja za vreme različitih faza građenja. Tri glavna moguća oblika rušenja nasipa (slika 8.1.3.1) prikazuju vrste analiza stabilnosti koje treba obaviti. Za razliku od nasipa na neugibljivom tlu, kod nasipa na slabonosivom tlu treba uporedo sa proračunom stabilnosti ispitati i sleganja i vremenski razvoj sleganja i puzanja nasipa.



Slika 8.1.3.1: Karakteristični primeri deformacija nasipa na slabonosivom tlu kao posledica: a – prekoračenja nosivosti, b – prekoračenja čvrstoće pri smicanju, c – istiskivanja mekog tla neposredno iz nasipa

Osnovu za prelazne geotehničke proračune daju geološko geotehnička istraživanja, a kontrolne proračune treba izvoditi na temelju podataka istraživanja i praćenja, dobijenih za vreme građenja i nakon njega.

8.1.3.3.2 Geološko-geotehnička istraživanja – prethodna istraživanja

Geološko-geotehničkim istraživanjima treba dobiti podatke o karakterističnim geološko-geotehničkim profilima tla u poprečnom i podužnom pravcu nasipa. Dubina istraživanja mora da bude takva da obuhvati sve slojeve u kojima će se zbog dodatnih opterećenja nasipom razviti sleganja i sve slojeve koji su relevantni za ocenu stabilnosti nasipa.

Kada ne postoje posebni dodatni zahtevi, pri proračunu sleganja moraju da se uzmu u obzir slojevi tla do dubine na kojoj je veličina dodatnih vertikalnih pritisaka zbog opterećenja nasipom manja ili jednaka 20 % prirodnog geološkog pritiska.

Vrsta i obim obavljenih istraživanja, raspored istraživačkih sonda, dubine i broj uzetih uzoraka zavise od uslova u temeljnom tlu i od geotehničke kategorije objekta. Nasipi za puteve uobičajeno spadaju prema standardu Eurocod 7 u kategoriju 2.

Istraživanja treba planirati tako da se za sve karakteristične slojeve zemljanih materijala, koji se nalaze u temeljnom tlu, dobiju sledeći materijalni podaci:

- indeksni pokazatelji stanja zemljanih materijala: zapreminska težina, zrnatost, slojevitost, specifična težina
- parametri čvrstoća
- parametri deformabilnosti
- koeficijenti propustljivosti.

Pored klasičnih istraživanja bušenjem i uzimanjem uzoraka prilikom projektovanja nasipa na slabonosivom tlu prednost imaju sledeći postupci in situ istraživanja:

- CPT i CPTU test
- dilatometarski test
- određivanje nedrenirane čvrstoće krilnom sondom
- presiometarski test
- SPT i drugi penetracioni testovi u nekoherentnim materijalima.

Laboratorijskim istraživanjima treba odrediti indeksne pokazatelje svojstava zemljanih materijala, kao što su zrnatost sastava i slojevitost, zapreminska težina i specifična težina zrna i moguća prisutnost štetnih hemijskih i biohemijskih materija.

Posebnu pažnju treba posvetiti istraživanjima deformabilnosti i drenirane i nedrenirane čvrstoće pri smicanju. Pri izvođenju

istraživanja treba uzeti u obzir dubinu uzetog uzorka, prirodne pritiske u temeljnom tlu pre početka građenja i sve dodatne pritiske koji mogu da nastupe u temeljnom tlu zbog građenja nasipa, promene nivoa podzemne vode ili ostalih sekundarnih uticaja.

8.1.3.3.3 Izrada karakterističnih profila i određivanje inženjerskih svojstva zemljanih materijala u karakterističnim slojevima

Karakterističnim profilom tla moraju da budu obuhvaćeni sledeći podaci:

- postojeća površina terena, uključujući i sve karakteristične morfološke oblike, kao što su jarkovi, melioracijske drenaže, površinsko močvarna područja
- svi postojeći i mogući novi objekti na koje bi planirano građenje moglo da ima negativne uticaje
- lokacije svih sonde za istraživanje
- nivo podzemne vode i podaci o eventualnoj artesknoj i subartesknoj vodi
- granice između karakterističnih slojeva.

Karakteristični profili nasipa na slabonosivom tlu moraju da budu izrađeni u odgovarajućoj razmeri (preporučuju se razmere 1:100 do 1:200).

Inženjerska svojstva zemljanih materijala u karakterističnim slojevima moraju da budu opisana sledećim parametrima:

- zapreminska težina, specifična težina ($\gamma_s, \gamma, \gamma', \gamma_d$)
- nedrenirana čvrstoća pri smicanju (c_u)
- drenirana čvrstoća pri smicanju (c, ϕ)
- deformaciona svojstva (E_{oed} ili K, G odn. E i ν) ili konsolidacioni parametri (C_c, C_r, c_v, σ_p)
- koeficijent propustljivosti k (σ)
- hemijski i biološki faktori koji mogu da utiču na efikasnost mera za ojačanje (huminske kiseline, sulfati)
- varijacije svojstava po dubini i u podužnom i poprečnom smeru.

8.1.3.3.4 Određivanje geometrije nasipa i očekivanih opterećenja

Geometriju nasipa opišu sledeće svojstva:

- visina (h)
- širina kod dna (b)
- širina u uticajnom području kosine (b')
- dužina (l)
- nagibi kosine (h/b).

Svojstva nasipa opisuju:

- klasifikacija materijala u nasipu

- relacije vlaga – gustina i očekivana zapreminska težina materijala u nasipu
- parametri čvrstoće pri smicanju i deformabilnosti nasipanog materijala

Dodatna (spoljašnja) opterećenja opisuju:

- težina nasipa
- saobraćajna opterećenja
- dinamička opterećenja (zemljotres).

Opterećenja zbog uticaja okoline opisuju:

- uticaj mraza
- uticaji skupljanja i bubrenja
- mere dreniranja, melioracija i visoke vode

Uticaje građenja opisuju:

- zahtevni rokovi završetka građenja
- planirana, odnosno očekivana brzina građenja.

8.1.3.3.5 Određivanje graničnih stanja

Pri projektovanju nasipa na slabonosivom tlu treba ispitati sledeća granična stanja:

- gubitak globalne stabilnosti i stabilnosti u pojedinim fazama građenja
- rušenje kosine i krune nasipa
- deformacije u nasipu koje uzrokuju smanjivanje upotrebljivosti ili funkcionalnosti objekata (npr. prekid kanalizacije, pukotine i neravnine na kolovozu)
- sleganja i pomaci koji mogu da uzrokoju štetu na okolnim objektima
- prekomerne deformacije pri prelazu sa nasipa na objekt
- promene uslova u okolini zbog uticaja konsolidacije (na primer promena kvaliteta vode, sniženje nivoa podzemne vode).

8.1.3.3.6 Određivanje minimalnih faktora bezbednosti i dozvoljenih pomaka

Minimalni faktori bezbednosti su propisani odredbama standarda EN 1997 i za konačno stanje nakon izgradnje nasipa jednaki $F_c = 1,25$ i $F_{\phi} = 1,25$, a za vreme građenja u nedreniranim uslovima $F_u = 1,40$.

Kriterijum pomaka i sleganja zavisi od projektnih zahteva svakog pojedinačnog projekta.

Za međufaze građenja faktori bezbednosti moraju da budu takve vrednosti da ne dolazi do rušenja ili štetnih deformacija u vreme građenja. Obično se za kritičite međufaze građenja zahteva $F_u > 1,15$.

8.1.3.4 Osnove geotehničkog proračuna nasipa

Za proračun nosivosti slabonosivog tla, stabilnosti nasipa, deformacija i vremenskog razvoja deformacija mogu da se upotrebe različite semiempirijske, analitičke i numeričke metode, prilagođene za primenu u različitim slučajevima. Ulazni podaci za proračun su karakteristične vrednosti dobijene na osnovu podataka terenskih i laboratorijskih istraživanja.

8.1.3.4.1 Provera nosivosti

Kada je debljina slabonosivog tla veća od širine nasipa, za približan proračun graničnog opterećenja nasipa može da se koristi jednačina (Prandl), (slika 8.1.3.2, šema 2.1)

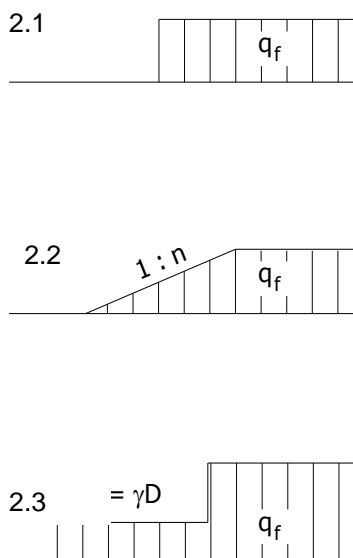
$$\gamma_N h = q_f < (2 + \pi) c_u$$

Za proračun uticaja nagiba kosine nasipa na nosivost tla može da se koristi relacije (Šuklje), (šema 2.2)

$$\frac{1}{n} < \frac{1,95 c_u}{\gamma_N h}$$

Povoljan uticaj bočnog nasipa na stabilnost glavnog nasipa prikazuje relacija (šema 2.3)

$$q_f = 0,5 \gamma B N_\gamma + c N_c + \gamma D N_q$$

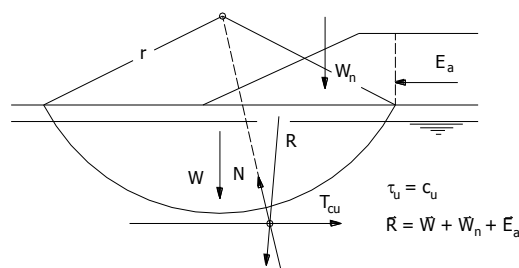


Slika 8.1.3.2: Šematski prikazi uticaja geometrije kosina na nosivost tla ispod nasipa

8.1.3.4.2 Provera stabilnosti

Građenje nasipa u temeljnom tlu prouzrokuje prekomerni porast pritiska u porama i time smanjenje bezbednosti od rušenja. Kritičnu fazu predstavlja stanje odmah nakon završetka građenja nasipa, zato što su prekomerni pritisci u porama tla najveći. Tom stanju odgovara proračun stabilnosti koji uzima u obzir nedrenirane čvrstoće pri smicanju ($\tau_u = c_u, \varphi_u = 0$) ili proračun koji uzima u obzir drenirane čvrstoće pri smicanju i prekomerne pritiske u porama temeljnog tla ($c_u^f, \varphi_u^f, \Delta u$).

U slučaju proračuna stabilnosti koji uzima u obzir nedrenirane čvrstoće pri smicanju pritiska u porama zbog vodostaja i dodatnog opterećenja ne treba razmatrati (slika 8.1.3.3).



Slika 8.1.3.3: Grafički prikaz određivanja stabilnosti nasipa u nedreniranim uslovima

Ako je nedrenirana čvrstoća pri smicanju ($\tau_u = c_u$) duž kružne ravni klizanja konstanta, koeficijent bezbednosti F_u može da se izračuna uzimanjem u obzir da sila T_{cm} deluje u smeru, paralelnom sa tetivom koja vezuje početak i kraj klizišta, normalna je na simetralu kružnog klizišta i udaljena od središta klizišta za udaljenost $a = r \alpha / \sin \alpha$.

Veličina mobilizovane reaktivne kohezione sile T_{cm} u ovom slučaju može da se izračuna iz uslova ravnoteže momenata u odnosu na središte klizišta:

$$\sum M^0 = 0 \Rightarrow W x_W + E_a y_E = T_{cm} a$$

$$T_{cm} = \frac{W x_W + E_a y_E}{a}, \quad c_m = \frac{W x_W + E_a y_E}{a l}, \quad F_u = \frac{c_u}{c_m}$$

gde je:

- r poluprečnik kružnog klizišta
- α poluvrednost središnjeg ugla klizišta
- x_W udaljenost rezultirajuće težine nasipa W_N od središta klizišta
- y_E udaljenost sile E_a od središta klizišta
- l dužina tetive, koja vezuje početak i kraj kružnog klizišta

Parametar nedrenirane čvrstoće (c_u) utvrđuje se na terenu ili u laboratoriji. Na terenu se koristi:

- statički penetraconi test sa konusom (CPT),
- dilatometrijski test (DMT) i
- terenska krilna sonda.

U laboratoriji se nedrenirana čvrstoća pri smicanju određuje:

- troosnim nedreniranim nekonsolidovanim testom (UU),
- testom jednoosne čvrstoće na pritisak na valjcima ($c_u = q_u/2$),
- testom pomoću laboratorijske krilne sonde ili laboratorijskog konusa.

U slučaju kada proračun stabilnosti u nedreniranim uslovima pokaže premalu bezbednost od rušenja, projektnim i konstrukcionim zahtevima treba propisati postupke koji garantuju odgovarajuću bezbednost.

Proračuni stabilnosti nasipa na slabonosivom tlu izvode se analizama verovatnoće rušenja pomoću jedne od priznatih metoda:

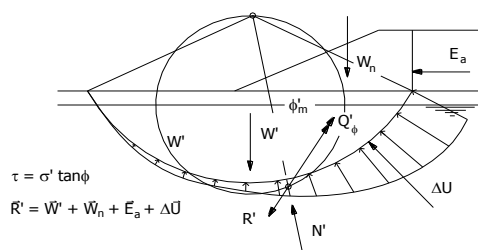
- analitički proračuni za pretpostavljene ravni klizanja jednostavnih oblika u homogenom tlu,
- numerički proračuni lamelnim metodama za predpostavljene površine klizanja kružnog oblika, odsečcima ravni ili kompleksnijeg oblika (metode Bišopa, Janbujaja, Morgenšterna i Prajsa, Spenserja i drugih),
- numerički proračuni MKE ili diferencijalnom metodom uz različite konstitutivne modele za opis ponašanja podloge i nasipa (npr.: elastoplastički modeli: Mor-Kulombov, Druker-Pragerjev, Cam clay, Cap model i drugi ...).
- većina pomenutih modela tla zasnivaju se na triaksijalnim ispitivanjima tla, pa je na osnovu njih potrebno i određivati parametre za definisanje modela.

U slučaju proračuna stabilnosti koji uzima u obzir drenirane čvrstoće pri smicanju (slika 8.1.3.4) treba pored pritisaka u porama zbog vodostaja uključiti i prekomerne (dodatne) kapilarne pritiske zbog opterećenja nasipom.

Za normalno konsolidovane i zasićene koherentne zemlje dodatni pritisci u porama su zbog opterećenja nasipom jednaki dodatnom vertikalnom pritisku. Za proračun premašenih pritisaka u porama (Δu) može da se koristi relacija

$$\Delta u = B (\Delta \sigma_3 + A (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3))$$

Skemptonov parametar B približno jednak je stepenu zasićenja S_r . Obično je stepen zasićenja slabo nosivog tla 100 %. Skemptonov parametar A ima vrednost 1 za normalno konsolidovano tlo i vrednost manju od 1, ako je tlo prekonsolidovano. Za slabonosivo tlo je vrednost Skemptonovog parametra obično $A = 1$.



Slika 8.1.3.4: Grafički prikaz određivanja stabilnosti nasipa u dreniranim uslovima

Konsolidacijom koja napreduje bezbednost nasipa od rušenja se povećava sve do konačne vrednosti, koja se postiže kada prekomerni pritisci u porama opadnu na nulte vrednosti. Nakon završene konsolidacije tla rezultanta premašenih pritisaka u porama Δu postaje nulta.

U slučaju proračuna stabilnosti odmah posle izgradnje nasipa korišćenjem drenirane čvrstoće pri smicanju, uzima se da su vrednosti prekomernih pritisaka u porama (Δu) jednake vrednostima dodatnih vertikalnih pritisaka zbog težine nasipa ($\Delta u = \Delta \sigma_{zz}$).

Parametri drenirane čvrstoće pri smicanju (c' , ϕ') mogu da se odrede ispitivanjima na terenu ili u laboratoriji. Na terenu se upotrebljavaju sledeći postupci:

- statički penetraconi test sa konusom za pesak (CPT),
- dinamički penetraconi test za pesak i šljunak (SPT) i
- specialne metode za direktno merenje čvrstoće pri smicanju u bušotinama ili u iskopima.

U laboratoriji drenirana čvrstoća pri smicanju može da se definiše troosnim konsolidovanim nedreniranim testom (CU) i translacionim i rotacionim direktnim opitom smicanja.

8.1.3.4.3 Proračun sleganja

U proračun treba uključiti početna i kasnija sleganja. Treba uzeti u obzir sledeće tri komponente sleganja:

- s_0 : početna sleganja zbog distorzije kod puno zasićene zemlje, odnosno zbog smanjivanja zapremine i deformacija smicanja kod nezasićene zemlje
- s_1 : sleganja zbog konsolidacije
- s_2 : sleganja zbog puzanja.

Posebnu pažnju treba posvetiti organskim zemljanim materijalima, tresetu i ostalim mekim zemljama, u kojima se sleganje zbog viskoznog puzanja može odvijati neograničeno dugo. Viskozni učinci se određuju iz podataka edometarskog istraživanja ili troasnog istraživanja deformabilnosti.

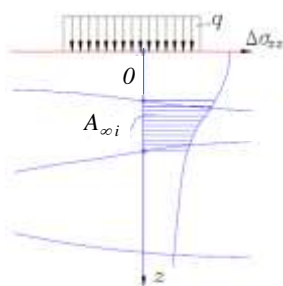
Za proračun sleganja mogu da se koriste različite u struci proverene i isprobane metode. Među njima su i

- naponska deformaciona metoda i
- prilagođena metoda elastičnosti.

8.1.3.4.3.1 Naponska deformaciona metoda

Kod naponske deformacione metode treba najpre proračunati raspored vertikalnih dodatnih napona u temeljnom tlu. Pri tom treba uzeti u obzir kako uticaje dodatnih opterećenja nasipom tako i ostala opterećenja, na primer uticaje snižavanja pritisaka vode u tlu zbog građenja jarkova ili pumpanja vode.

Deformacije u tlu – skupljanja pojedinih slojeva (ρ_i) - proračunaju se tako da se pripadajuća površina dijagrama dodatnih vertikalnih napona u pojedinom sloju temeljnog tla deli sa naponskim promenama odgovarajućim modulom stišljivosti.



Slika 8.1.3.5: Grafički prikaz proračuna sleganja odgovarajućim modulom stišljivosti.

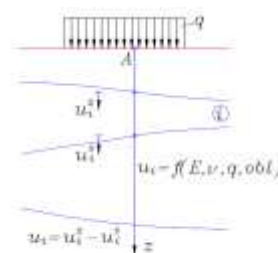
$$\rho_{\infty i} = \frac{A_{\infty i}}{E_{oed_i}}$$

$$\rho_{\infty} = \sum_{i=1}^n \rho_{\infty i}$$

8.1.3.4.3.2 Prilagođena metoda elastičnosti

Skupljanje pojedinog sloja izračunava se kao razlika pomaka vrha i dna sloja. Veličina pomaka zavisi od opterećenja nasipa, njegovog oblika, dubine sloja i njegove deformabilnosti (modul elastičnosti E i Poasonov broj ν). Proračun se izvodi pomoću relacije

$$\rho_i = u_z(z_{\min}) - u_z(z_{\max})$$



Slika 8.1.3.6: Grafički prikaz proračuna sleganja kao razlika pomaka vrha i dna sloja.

$$u_i^z = f(E, \nu, q, obl.)$$

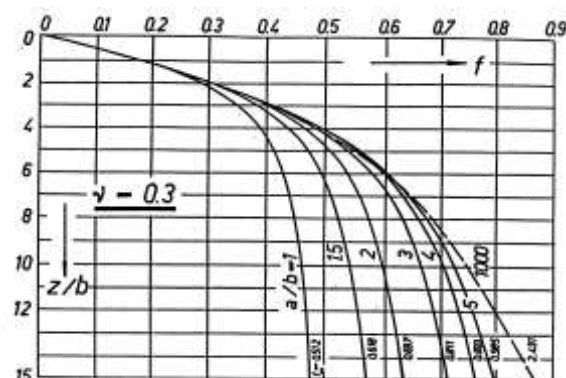
$$\rho_i = s(z_{\max}) - s(z_{\min})$$

$$s = \frac{q b}{E} f$$

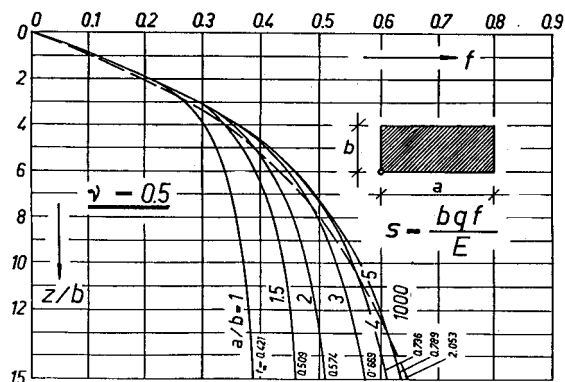
$$\rho_0 = \sum_{i=1}^n \rho_i$$

gde je:

f faktor, koji zavisi od Poasonovog broja, oblika temelja, dubine sloja



Slika 8.1.3.7: Diagrami $f = f(z/b, a/b)$ za ugao pravokotnog opterećenja; Poasonov broj 0,3



Slika 8.1.3.8: Diagrami $f = f(z/b, a/b)$ za ugao pravokotnog opterećenja; Poasonov broj 0,5 (Šuklje, Majes)

Prihvatljiva veličina sleganja određena je projektom pojedinog objekta. Ako proračun pokaže da zbog sleganja mogu da se pojave deformacije, pukotine ili ostali oblici oštećenja, treba projektno-konstrukcionim postupcima propisati odgovarajuće mere, kojima će se sleganja smanjiti na prihvatljiv nivo.

8.1.3.4.3.3 Proračun vremenskog razvoja konsolidacije

Vremenski razvoj konsolidacije izračunava se pomoću parametara konsolidacije, koji su dobijeni edometarskim istraživanjem (Terzaghi):

$$c_v = k E_{oed} / \gamma_w$$

$$T_v = c_v t / h^2$$

$$U_v = \rho / \rho_\infty$$

Za brzu ocenu vremenskog razvoja konsolidacije u vertikalnom pravcu mogu da se koriste vrednosti prikazane u tabelama 8.1.3.1 i 8.3.1.2.

$$U_v = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{(2m-1)^2} \exp\left[-\frac{(2m-1)^2 \pi^2}{4} T_v\right]$$

Pri određivanju vremenskog razvoja konsolidacije prednost imaju koeficijenti propustljivosti, određeni terenskim istraživanjima.

U slučaju kada proračun vremenskog razvoja sleganja pokaže da se u vreme projektovanog građenja i predaje puta na upotrebu ne može očekivati mobilizacija dovoljnog dela sleganja, onda treba projektno-konstrukcionim zahtevima propisati mere za ubrzanje konsolidacije.

Tabela 8.1.3.1: Postignuti stepen konsolidacije U_v pri različitim vremenskim faktorima T_v

T_v	U_v (%)
0,004	7,14
0,008	10,09
0,012	12,36
0,020	15,96
0,028	18,88
0,036	21,40
0,048	24,72
0,060	27,64
0,072	30,28
0,083	32,51
0,100	35,68
0,125	39,89
0,150	43,70
0,175	47,18
0,200	50,41
0,250	56,22
0,300	61,32
0,350	65,82
0,400	69,79
0,500	76,40
0,600	81,56
0,700	85,59
0,800	88,74
0,900	91,20
1,000	93,13
1,500	98,00
2,000	99,42

Tabela 8.1.3.2: Vremenski faktori konsolidacije T_v pri postignutom stepenu konsolidacije U_v

U_v (%)	T_v
0	0,000
5	0,002
10	0,008
15	0,018
20	0,031
25	0,049
30	0,071
35	0,096
40	0,126
45	0,159
50	0,197
55	0,239
60	0,286
65	0,342
70	0,403
75	0,477
80	0,567
85	0,684
90	0,848
95	1,129
100	≥ 2

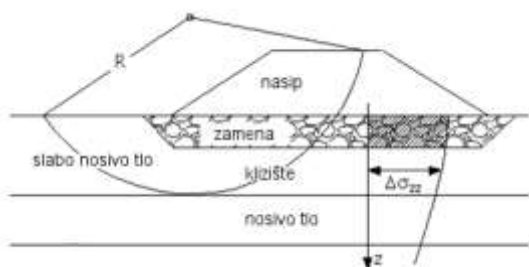
8.1.3.5 Osnove geotehničkog proračuna konstrukcionih mera za građenje nasipa

8.1.3.5.1 Proračun uticaja promene geometrije nasipa i svojstva nasipa za zamenu

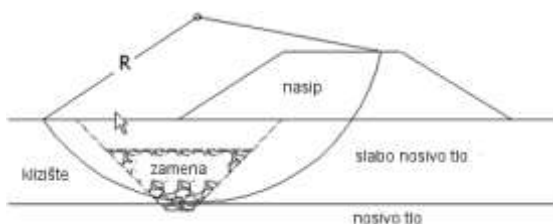
Proračun uticaja geometrije nasipa na poboljšanje bezbednosti građenja izvodi se postupcima opisanim, u tački 8.1.3.4.1. Treba ispitati uticaje smanjivanja nagiba kosina (n) u odnosu na početno projektovano stanje i uticaje građenja bočnih nasipa. Uporedo treba ispitati i uticaje promene geometrije kosina na veličinu sleganja.

Pri proračunu uticaja nasipa za zamenu treba razlikovati

- nasipanja koja se upotrebljavaju za zamenu slabonosivog temeljnog tla radi poboljšanja njihove čvrstoće i deformabilnosti (slike 8.1.3.9 i 8.1.3.10) i
- nasipanja koja se koriste za zamenu klasičnih zemljanih nasipa u telu nasipa (slike 8.1.3.10, 8.1.3.11 i 8.1.3.12).



Slika 8.1.3.9: PrIMER nasipa sa delimičnom zamenom slabo nosivog tla ispod nasipa kamenim materijalom

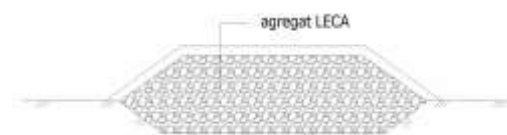


Slika 8.1.3.10: PrIMER nasipa sa delimičnom zamenom slabo nosivog tla u području pete nasipa kamenim materijalom

Pri proračunu uticaja promene svojstva materijala u telu nasipa najvažnija je ispravnost određivanja zapreminske težine materijala za nasipanje. Obični zemljani nasipi imaju zapreminsku težinu između 18 i 24 kN/m³. Agregati od ekspanzirane gline imaju približno 4 do 5 puta manju

zapreminsku težinu (3,5 do 7 kN/m³), a ploče od ekspanziranih polistirena do 100 puta manju zapreminsku težinu (0,25 do 0,35 kN/m³) od klasičnih zemljanih materijala.

Kod nasipa male zapreminske težine (3,5 do 7 kN/m³) treba imati uvidu utjecaj podzemne vode.



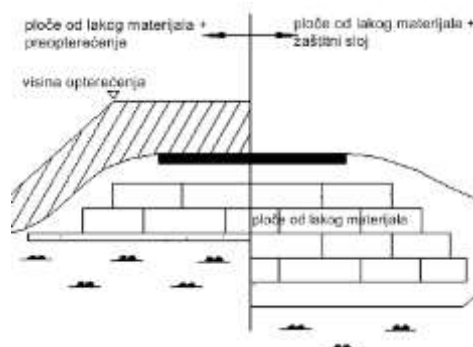
Slika 8.1.3.10: PrIMER nasipa sa upotrebom lakih agregata od ekspanzirane gline (LECA – light expanded clay aggregate)

Kada su okolnosti takve da nasipe u celosti treba graditi od lakih materijala, onda se odgovarajućim merama treba pobrinuti za odgovarajuću zaštitu materijala ispod kolovozne konstrukcije (slika 8.1.3.12).

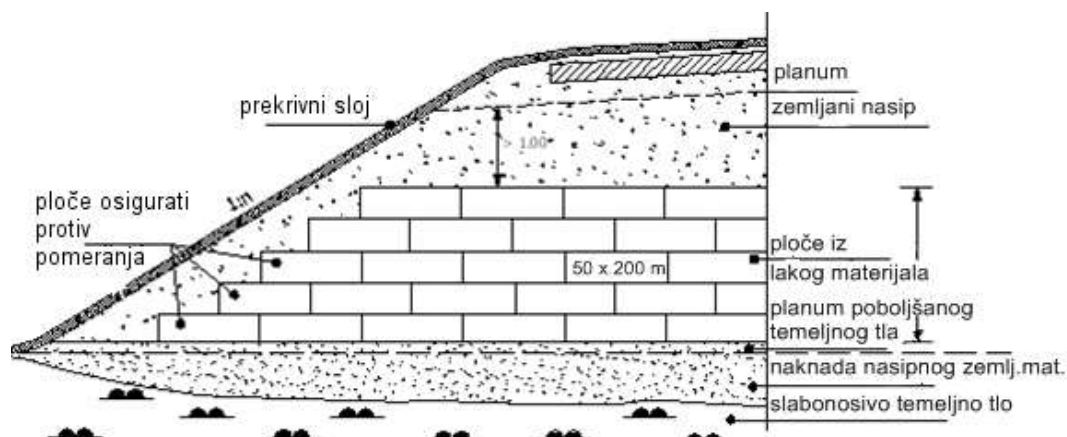
Upotrebom lakih i vrlo lakih materijala smanjuje se opterećenje na temeljno tlo i tako indirektno utiče na veću bezbednost i manje sleganje.

Prilikom projektovanja gradnje nasipa od lakih i vrlo lakih materijala treba uzeti u obzir vremenski priraštaj težine materijala zbog postupnog zasićenja podzemnom vodom i konstrukcione mere za zaštitu tih materijala od spoljašnjih uticaja i delovanja životinja. Posebno treba ispitati razlike u krutosti i deformacionom ponašanju različitih materijala, ugrađenih ispod, iznad i uz obe strane nasipa od lakih materijala.

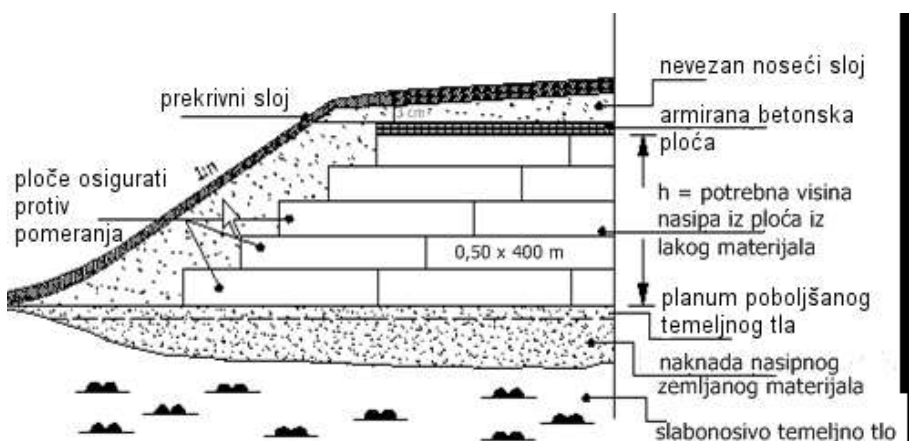
I pri gradnji nasipa od lakih materijala mogu da se koriste kombinacije metoda sa predopterećenjem i/ili preopterećenjem (slika 8.1.3.10).



Slika 8.1.3.10: PrIMER nasipa na slabonosivom tlu sa preopterećenjem i bez njega



Slika 8.1.3.11: Primer nasipa sa upotrebom ploča od ekstrudiranog polistirena



Slika 8.1.3.12: Primer nasipa sa pločama od ekstrudiranog polistirena i sa cementnobetonskom zaštitom iznad ploča

8.1.3.5.2 Proračun uticaja šljunčanih šipova

Ugradnjom šljunčanih šipova u temeljno tlo postiže se trostruki učinak:

- povećava se horizontalna propustljivost sloja zemlje i ubrzava konsolidacija
- poboljšava se nosivost temeljnog tla
- smanjuju se sleganje pod projektovanim opterećenjem.

Trajanje konsolidacije je jedan od kriterijuma za dimenzionisanje šljunčanih šipova. Ovim kriterijumom određuju se razmaci između šipova i dimenzije šipova, a zatim se proveravaju i uticaji šipova na nosivost i smanjenje sleganja.

Šljunčani šipovi obično su prečnika 40 do 100 cm i dužine do 30 m, a retko i više. Najmanja udaljenost između šipova obično je 1,5 m.

Uticaj šljunčanih šipova na brzinu konsolidacije zavisi od načina raspoređivanja i od gustine rasporeda šipova.

Za odabrani poluprečnik šipova, propustljivost, edometarski modul i očekivano vreme konsolidacije treba odrediti broj šipova

$$n = R / r_c$$

tako da stepen konsolidacije bude 95 %.

8.1.3.5.3 Ukupni stepen radijalne i vertikalne konsolidacije

Prema Carilli, ukupni stepen radijalne i vertikalne konsolidacije:

$$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_r)$$

Stupanj vertikalne konsolidacije (Terzaghi):

$$U_v = U_v(T_v) \quad , \quad T_v = \frac{k E_{oed} t}{\gamma_w h^2}$$

$$U_v = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{(2m-1)^2} \exp\left[-\frac{(2m-1)^2 \pi^2}{4} T_v\right]$$

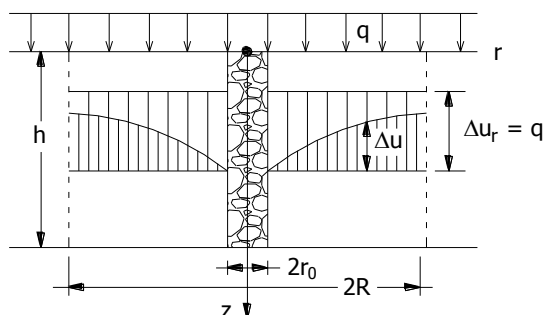
Stupanj radialne konsolidacije (Kjellman):

$$T_r = \frac{c_r t}{4 R^2} = \frac{k_r E_{oed} t}{4 \gamma_w R^2}$$

$$n = \frac{R}{r_0}$$

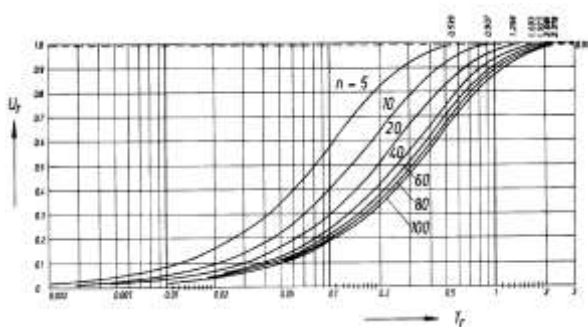
$$\mu = \frac{n^2}{n^2 - 1} \left(\ln n - \frac{3}{4} + \frac{1}{n^2} - \frac{1}{4n^4} \right)$$

$$U_r = U_r(T_r, n) = 1 - \exp\left[-\frac{8}{\mu} T_r\right]$$



Slika 8.1.3.13: Šematski prikaz utjecaja šipa na radialnu konsolidaciju

Za proračun stupnja radialne konsolidacije može se koristiti i diagrami Richarda:



Slika 8.1.3.14: Stepen radialne konsolidacije

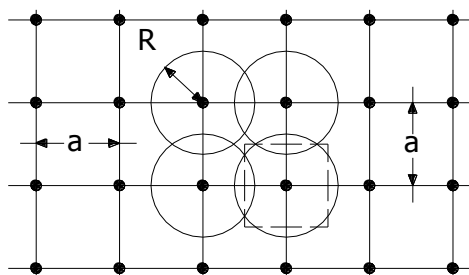
8.1.3.5.4 Raspored šljunčanih šipova

Mogući su različiti rasporedi šljunčanih šipova: kvadratni, trougaoni, heksagonalni i sl.

Kvadratni tlocrtni raspored (slika 8.1.3.15)

$$R = \frac{1}{\sqrt{\pi}} a = 0,564a$$

$$a = \frac{R}{0,564}$$

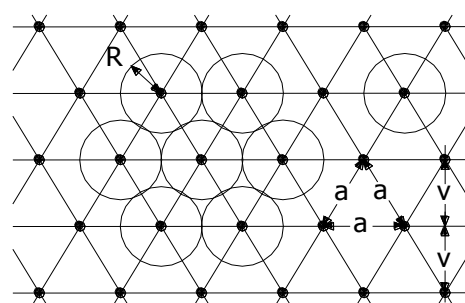


Slika 8.1.3.15: Šematski prikaz kvadratnog rasporeda šljunčanih šipova

Trougaoni tlocrtni raspored (slika 8.1.3.16):

$$R = \sqrt{\frac{\sqrt{3}}{2\pi}} a = 0,525a$$

$$a = \frac{R}{0,525}$$



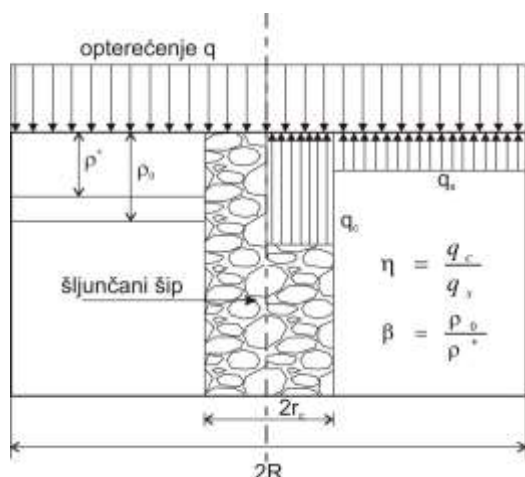
Slika 8.1.3.16: Šematski prikaz trougaonog tlocrtnog rasporeda šipova

8.1.3.5.5 Uticaj šljunčanih šipova na sleganja i na nosivost temeljnog tla

Šljunčani šipovi utiču na nosivost na dva načina:

- zbog postojanja slojeva materijala u šipu koji ima visoku otpornost na smicanje

- može se računati sa bitno većom otpornošću temeljnog tla na smicanje
- zbog ugrađenih šljunčanih šipova u temeljnom tlu brže se stvaraju uslovi dreniranog stanja
 - međusobna udaljenost šljunčanih šipova i poluprečnik šipova, čiji je uticaj obuhvaćen bezdimenzionim koeficijentom A_R , jako utiču na koeficijent redukcije sleganja β .



Slika 8.1.3.17: Šematski prikaz šljunčanog šipa

Proračuni:

Geometrijske veličine:

- $2r_c$ prečnik šljunčanog šipa
 $2R$ uticajni prečnik šljunčanog šipa
 a međusobna udaljenost između šljunčanih šipova
 A_c presek šljunčanog šipa
 h dužina šljunčanog šipa
 A presek cilindra u uticajnom području
 A_s presek osnovne zemlje
 A_r udeo preseka šljunčanog šipa u kompozitu

$$A_r = \frac{A_c}{A} = \left(\frac{r_c}{R} \right)^2$$

$$A_c = \pi r_c^2$$

$$A = \pi R^2$$

$$R = \chi a$$

- $\chi = 0,525$ trougaona tlocrtna mreža šipova
 $\chi = 0,565$ kvadratna tlocrtna mreža šipova
 $\chi = 0,645$ šestougana tlocrtna mreža šipova

Za proračun utecaja šljunčanih šipova na sleganje i na nosivost ojačanog temeljnog tla postoji više rešenja. Najjednostavnija je ravnotežna metoda (Aboshi, 1979).

$$s = s_c = s_s$$

$$s = \frac{q h}{E_{oed_n}}, \quad s_c = \frac{q_c h}{E_{oed_c}}, \quad s_s = \frac{q_s h}{E_{oed_s}}$$

η = koeficijent raspodele opterećenja

q = vrednost opterećenja nasipom

$$\eta = \frac{q_c}{q_s} = \frac{E_{oed_c}}{E_{oed_s}}$$

$$q_c = \frac{q \eta}{1 + A_r (\eta - 1)}$$

$$q_s = \frac{q}{1 + A_r (\eta - 1)}$$

$$E_{oed_n} = E_{oed_s} [1 + A_r (\eta - 1)]$$

Sleganja temeljnog tla ispod nasipa bez šipova:

$$s_0 = \frac{q h}{E_{oed_s}}$$

Završno sleganja temeljnog tla sa ugrađenim šipovima:

$$s = \frac{q h}{E_{oed_n}}$$

Redukcija sleganja temeljnog tla sa ugrađenim šipovima:

$$\beta = \frac{s}{s_0} = \frac{1}{1 + A_r (\eta - 1)} < 1$$

U nastavku prikazana je Elasto-plastična metode Priebe-a (1976).

Zbog povećanja radialnih napna na kontaktu između šljunčanog šipa i okolnog temeljnog tla nastaju radialni pomaci odnosno povećanje prečnika šljunčanog šipa:

$$\sigma_{r_c} = q_c k_{a_c} = q_c \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_c}{2} \right)$$

$$\Delta \sigma_r = \sigma_{r_c} - \sigma_{r_s} = q_c k_{a_c} - q_s$$

$$\Delta r_c = \Delta \sigma_r r_c \left(\frac{1 + v_s}{E_s} \right) \frac{(1 - 2v_s) \left[1 - \left(\frac{r_c}{R} \right)^2 \right]}{1 - 2v_s + \left(\frac{r_c}{R} \right)^2}$$

$$\Delta r_c = \Delta \sigma_r r_c \frac{f(v_s, A_R)}{E_{oed_s}}$$

$$f(v_s, A_R) = \frac{(1 - v_s)(1 - A_R)}{(1 - 2v_s + A_R)}$$

η = koeficijent raspodele opterećenja

$$\frac{q_c}{q_s} = \frac{1 + 2 f(v_s, A_R)}{2 k_{a_c} f(v_s, A_R)} = \eta$$

Sleganja šipa:

$$s_c = 2 H (q_c k_{a_c} - q_s) \frac{f(v_s, A_R)}{E_{oed_s}}$$

Sleganja zemlje između šipova:

$$s_s = \frac{q_s H}{E_{oed_s}}$$

$$s = s_s = s_c$$

Redukcija sleganja temeljnog tla sa ugrađenim šipovima:

$$\beta = \frac{s}{s_0} = \frac{1}{1 + A_R (\eta - 1)} < 1$$

U proračunu stabilnosti nasipa na ojačanim tlu sa šljunčanim šipovima može se uzet u obzir:

Zapreminska težina zamene:

$$\gamma_n = A_r \gamma_c + (1 - A_r) \gamma_s$$

Parametri čvrstoće zamene:

$$A \tau_n = A_c \tau_c + A_s \tau_s \Rightarrow \tau_n = A_R \tau_c + (1 - A_R) \tau_s$$

- u početnim nedreniranim uslovima:

$$\tau_{u_n} = c_{u_n} + \sigma_{z_n} \tan \varphi_{u_n}$$

$$c_{u_n} = A_R \left(q_c - q \frac{\gamma_c}{\gamma_s} \right) \tan \varphi_c + (1 - A_R) c_{u_s}$$

$$\sigma_{z_n} = \gamma_n z + q$$

$$\tan \varphi_{u_n} = A_R \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \tan \varphi_c$$

- u dreniranim uslovima:

$$\tau_n = c'_n + \sigma'_{z_n} \tan \varphi'_n$$

$$c'_n = A_R \left(q_c - q \frac{\gamma'_c}{\gamma'_n} \right) \tan \varphi'_c + (1 - A_R) \left[c'_s + \left(q_s - q \frac{\gamma'_s}{\gamma'_n} \right) \tan \varphi'_s \right]$$

$$\sigma'_{z_n} = \gamma'_n z + q$$

$$\tan \varphi'_n = A_R \frac{\gamma'_c}{\gamma'_n} \tan \varphi'_c + (1 - A_R) \frac{\gamma'_s}{\gamma'_n} \tan \varphi'_s$$

8.1.3.5.6 Proračun uticaja vertikalnih drenaža (wick drains)

Osnovni cilj ugrađivanja vertikalnih drenaža je ubrzanje konsolidacije zbog povećanja propustljivosti tla u radijalnom, a delimično i u vertikalnom smeru. Za proračun uticaja vertikalnih drenaža na ubrzanje konsolidacije koriste se slične relacije, kao i za proračun šljunčanih šipova. Uticaj vertikalnih drenaža na smanjivanje sleganja i poboljšanje nosivosti temeljnog tla u konzervativnom proračunu obično se zanemaruje.

Poluprečnik zamene za trakastu drenažu širine b i debljinu t treba izračunati prema jednačini

$$2 \pi r_0 = 2 (b + t) \Rightarrow r_0 = \frac{b + t}{\pi}$$

gde je:

b širina trakaste drenaže

t debljina trakaste drenaže

8.1.3.5.7 Proračun uticaja dubinske konsolidacije na poboljšanje nosivosti

Postupci dubinske konsolidacije (krečni šipovi, jet grouting šipovi, zbijanje vibracijama) su postupci koji unošenjem veziva ili dodatne energije u tlo povećavaju otpornost tla na smicanje. Postupcima dubinske konsolidacije se

- poboljša nosivost temeljnog tla,

- smanjuje sleganje pod planiranim opterećenjem i
- povećava bezbednost od rušenja.

Vrednost povećanja čvrstoće pri smicanju određuje se na osnovu laboratorijskih istraživanja, terenskih istraživanja na probnim deonicama ili iz prethodnih iskustava.

Za proračun se koriste zamenske vrednosti korigovane čvrstoće za poboljšano tlo i postupci opisani u tački 8.1.3.5.3.

8.1.3.5.8 *Posebni zahtevi pri projektovanju nasipa na slabonovisom tlu*

Pri projektovanju nasipa na slabonosivom tlu treba uzeti u obzir i sledeće:

- odluka o uklanjanju travnate i humusne zemlje, koja često predstavlja »čvrstu, nosivu« koru iznad mekih zemljanih materijala, zavisi od geotehničke ocene za konkretni objekt
- na slabonosivo temeljno tlo preporučljivo je ugraditi geosintetik za razdvajanje pre ugrađivanja provozne podloge; za ojačanje temeljnog tla može da se koristi i odgovarajući geosintetik za ojačanje; dimenzionisanje geosintetika za ojačanje izvodi se postupcima koji važe za primenu geosintetika (tč. 8.1.4.11)
- prvi sloj nasipa iznad slabonosivog temeljnog tla ili iznad geosintetika mora da bude od barem dobro propusnog kamenog materijala, koji treba da deluje kao drenažni sloj i kao provozna podloga (radni plato)
- pri projektovanju debljine i slojeva kamenog materijala za provoznu podlogu i nasip treba uključiti visinu očekivanih sleganja i visine visokih (poplavnih) voda.

8.1.3.5.9 *Projekt geotehničkog praćenja građenja nasipa*

Pri projektovanju nasipa na slabonosivom tlu treba u okviru izrade projekta građenja izraditi i projekt geotehničkog praćenja. Projekat geotehničkog praćenja moraju da obuhvata mere

- za praćenje nasipa za vreme građenja i
- za praćenje nasipa u fazi upotrebe puta.

Za praćenje nasipa odgovarajuće su metode koje koriste

- odgovarajuće ploče za geodetsko praćenje sleganja,
- horizontalne inklinometre za kontinuirano merenje sleganja u poprečnom pravcu kroz nasip,

- vertikalne inklinometre za kontinuirano merenje pomaka u vertikalnom smeru u nasipu i temeljnom tlu,
- merače pritisaka vode u porama,
- piezometre za praćenje nivoa voda,
- merače isticanja vode iz drenaža, kao i
- ostale metode (npr. ekstenziometri, merni listići za merenje deformacija u geosinteticima itd.).

8.1.4 GEOSINTETICI

8.1.4.1 Uvodni deo

8.1.4.1.1 Predmet priručnika

Priručnik 8.1.4 obrađuje vrste geosintetika, područje primene, osnovne principe dimenzionisanja i osnovna načela gradnje sa geosinteticima. Namenjen je projektantima, izvođačima radova i nadzornim inženjerima kao pomoć pri planiranju radova, projektovanju, odabiru materijala i gradnji sa geosinteticima.

8.1.4.1.2 Tehnička regulativa

8.1.4.1.2.1 Standardi

- | | | |
|-------------------|---|---|
| EN ISO 10318:2008 | Geosynthetics | – |
| | Terms and definitions | |
| EN ISO 10320:2001 | Geotextiles and geotextile related products: | |
| | Identification on site | |
| EN 13249:2000 | Geotextiles and geotextile-related products – Characteristics required for use in the construction of roads and other trafficked areas (excluding railways and asphalt inclusion) | |
| EN 13251:2000 | Geotextiles and geotextile-related products – Characteristics required for use in earthworks, foundations and retaining structures | |
| EN 13252:2000 | Geotextiles and geotextile-related products – Characteristics required for use in drainage systems | |
| EN 13256:2000 | Geotextiles and geotextile-related products – Characteristics required for use in the construction of tunnels and underground structures | |
| EN 13491:2004 | Geosynthetic barriers | - |
| | Characteristics required for use in as a fluid barrier in the construction of tunnels and underground structures | |

- EN 14475:2006 Execution of special geotechnical works- Reinforced fill
- EN 15381:2008 Geotextiles and geotextile-related products – Characteristics required for use in pavements and asphalt overlays
- EN 15382:2008 Geosynthetic barriers – Characteristics required for use in transportation infrastructure
- SN 670 240:1996 Geotextilien und geotextil-verwandte Produkte products – Characteristics required for use in pavements and asphalt overlays
- SN 670 241a:2007 Geokunststoffe: Anforderungen für die Funktionen Trennen, Filtern, Drainieren

8.1.4.1.2.2 Referentna dokumentacija

AASHTO M 288 – 96. Geotextile Specification for Highway Applications.

Cedergren, H.R. (1977). Seepage, Drainage and Flow Nets. John Wiley & Sons. New York, Sydney, London, Tokyo.

Design manual – Geosynthetics - 530. (1998). Washington State Department of Transportation. DVWK

Merkblätter 221/1992. Anwendung von Geotextilien im Wasserbau. Verlag Paul Parey. Hamburg–Berlin.

EBGEO – Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen. (1997). Ernst&Son, Berlin.

EBGEO – Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen. EBGEO, Entwurf 02/2009, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.

FGSV Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Strassenbau. 1994.

Geosynthetics Design and Construction Guidelines. NHI Course no. 13213. (1998). FHWA HI 95-038. Washington.

Koerner, R.M. (1999). Designing with Geosynthetics. Prentice Hall. New York.

Recommended Descriptions of Geosynthetics, Functions, Terminology, Mathematical and Graphical Symbols. IGS, 2000.

Ruegger, R., Hufenus, R. 2003. Bauen mit Geokunststoffen. SVG. ISBN 3 – 9522774-01.

Saathoff, F. 2003. Geosynthetics in geotechnical and hydraulic engineering. Special Print. Geotechnical Engineering Handbook. Vol.2: Procedures. Ernst&sohn. Willey co. Berlin.

Santvoort, G.P.T.M. 1995. Geosynthetics in Civil Engineering. Balkema Rotterdam.

8.1.4.1.3 Terminologija

U ovom poglavlju su navedene samo osnovne definicije geosintetika koje se odnose na funkcije, proizvode i karakteristike.

8.1.4.1.3.1 Vrste geosintetika

Geosintetik (geosynthetic) je opšti pojam koji opisuje proizvod čija je barem jedna komponenta načinjena od sintetičkog ili prirodnog polimera u planarnom obliku, obliku trake ili trodimenzionalne strukture, koji se koristi u dodiru s tlom i/ili drugim materijalima u geotehničkim i ostalim građevinskim zahvatima.

Geotekstil (geotextile) je planarni, propusni, polimerni (sintetički ili prirodni) tekstilni materijal, koji može biti netkani, pleteni ili tkani, koji se koristi u dodiru s tlom i/ili drugim materijalima u geotehničkim i ostalim građevinskim zahvatima.

Geocelija (geocell) je trodimenzionalna, propusna, polimerna (sintetička ili prirodna) sačasta ili slična ćelijska struktura, izrađena od međusobno povezanih traka geosintetika.

Geokompoziti (geocomposite) je materijal koji je proizveden kao kompozit upotrebom barem jednog geosintetičkog proizvoda među svojim komponentama.

Geomreža (geogrid) je planarna, polimerna struktura, koja se sastoji od zateznih elemenata integralno spojenih u mrežu pravilnih otvora, koji mogu biti povezani istiskivanjem, vezivom ili isprepletanjem, čiji su otvori veći od samih komponenti.

Geopena (geofoam) je proizvod koji se koristi kao očvrsla pena u obliku blokova i ploča (u graditeljstvu se najčešće koristi za izolacije - spominje se kao stiropor tj. ekspanzirani polistiren).

Geopletivo (geomat) je trodimenzionalna, propusna struktura, napravljena od polimernih jednovrsnih niti i/ili drugih elemenata (sintetičkih ili prirodnih), koji su mehanički i/ili termički i/ili hemijski i/ili na drugi način spojeni.

Georešetka (geonet) je geosintetik koji se sastoji od paralelnih setova rebara postavljenih preko drugih sličnih setova pod različitim uglovima, sa kojim su integralno povezani.

Geosintetička barijera (geosynthetic barrier) je geosintetički materijal male propusnosti, upotrebljen u geotehničkim i građevinarskim zahvatima s ciljem smanjenja ili sprečavanja tečenja fluida kroz konstrukcije.

Glinena geosintetička barijera (clay geosynthetic barrier) je fabrički sastavljena struktura od geosintetičkih materijala u planarnom obliku koji deluju kao barijera.

Polimerna geosintetička barijera (polymeric geosynthetic barrier) je fabrički sastavljena konstrukcija/struktura od geosintetičkih materijala u planarnom obliku koji deluju kao barijera.

Prefabrikovani vertikalni dren (prefabricated vertical drain – wick-drain) je trakasti geokompozit koji se koristi za izvođenje vertikalnih drenova u tlu, za ubrzanje konsolidacije.

8.1.4.1.3.2 Funkcije geosintetika

Barijera (barrier) je deo konstrukcije koji osigurava sprečavanje ili ograničavanje migracije tečnosti primenom geosintetika ili geosintetik koji osigurava sprečavanje ili ograničavanje migracije tečnosti. Barijera može da bude izvedena od jedne ili više vrsta geosintetika.

Drenaža (drainage) znači skupljanje i odvođenje padavina, podzemnih voda i/ili tečnosti u ravni geotekstila i geotekstilu srodnih proizvoda.

Faktor sigurnosti (factor of safety) je rezerva u svojstvu proizvoda u odnosu na traženu vrednost svojstva za potrebe stabilnosti/ravnoteže sistema. Može da se odnosi na sile (npr. čvrstoća na zatezanje) ili na fizička svojstva (npr. karakteristični otvor u geotekstilu).

Filtracija (filtration) znači zadržavanje tla ili drugih čestica na koje deluju hidrodinamičke sile, uz istovremeno dopuštanje prolaza

tečnostima u ili kroz geotekstil i geotekstilu srodne proizvode.

Odvajanje (separation) znači sprečavanje međusobnog mešanja različitih vrsta tla u dodiru i/ili nasipanog tla upotrebom geotekstila ili geotekstilu srodnih proizvoda.

Ojačavanje, armiranje (reinforcement) znači upotreba naponsko-deformacionih svojstava geotekstila i geotekstilu srodnih proizvoda za poboljšavanje mehaničkih svojstava tla ili drugih građevinskih materijala.

Trajnost (durability) je sposobnost proizvoda da odoli slabljenju svojstava prouzrokovanih trošenjem, mehaničkim, hemijskim, biološkim ili drugim vremenski zavisnim efektima, delovanjima tokom vremena, i zadržavanje svojstava potrebnih za ostvarivanje odgovarajuće funkcije tokom radnog veka.

Zaštita od mehaničkog oštećenja (protection against mechanical damage) znači sprečavanje ili ograničavanje lokalnog oštećenja nekog elementa ili materijala upotrebom geotekstila ili geotekstilu srodnih proizvoda.

Zaštita od površinske erozije (surface erosion control) znači upotreba geotekstila i geotekstilu srodnih proizvoda radi sprečavanja ili ograničavanja kretanja čestica ili nekih drugih čestica na površini, npr. na kosini.

Definicije pojmova su usklađene sa standardom EN ISO 10318: 2008.

8.1.4.2 Funkcionalne karakteristike geosintetika

8.1.4.2.1 Opšte

Geosintetici imaju sledeća glavna područja primene:

- odvajanje
- filtriranje
- drenaža
- ojačanje – armiranje
- zaptivanje
- zaštita
- zaštita od površinske erozije
- pakovanje.

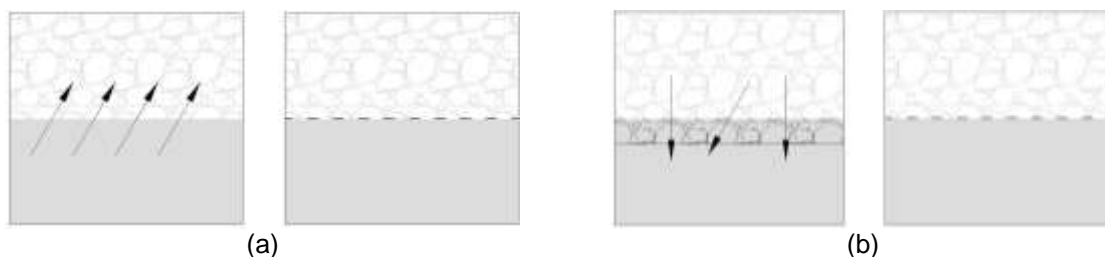
8.1.4.2.2 Odvajanje

Odvajanje podrazumeva sprečavanje mešanja dve različite vrste materijala i time dugoročno očuvanje svojstava i funkcija dva sloja koja su izgrađena od različitih vrsta

materijala. Najčešći primer odvajanja pri izgradnji puteva je prikazan na slici 8.1.4.1. Razdvojni geosintetik sprečava crpenje i prelazak finih zrna iz podloge u prazne pore kamenog agregata (slika 8.1.4.1a). Na taj način se održava sposobnost drenaže, otpornost na mraz i čvrstoća na smicanje sloja od kamenog agregata. Istovremeno se sprečava tonjenje zrna kamenog agregata u glinastu podlogu, čime se omogućava

očuvanje planirane debljine kamenog sloja (slika 8.1.4.1b). Razdvojni geosintetici koji se ugrađuju ispod saobraćajno opterećenih površina moraju da budu robusni proizvodi koji mogu dugoročno da podnesu dinamička opterećenja teretnih vozila.

Za odvajanje se najčešće koriste geotekstili, a uslovno i geotekstilima srodni proizvodi i geokompoziti.



Slika 8.1.4.1: Dva mehanizma delovanja razdvojnog geosintetika: (a) – sprečavanje crpenja i prelaska finih čestica iz sitnozrne podloge prema gore, u kameni agregat i time očuvanje funkcionalnosti kamenog sloja i (b) – sprečavanje tonjenja krupnih zrna u mekšu podlogu i time očuvanje debljine kamenog sloja

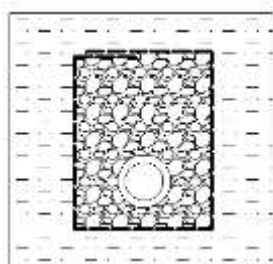
8.1.4.2.3 Filtriranje

Filtriranje jeste omogućavanje protoka vode uz istovremeno sprečavanje finih čestica da migriraju zajedno s tokom. Kada se koriste klasični zemljani materijali, neophodno je da se između zemlje i drenažnog sloja ugradi zaštitni filter (slika 8.1.4.2). Najčešći primer upotrebe filtracionog geosintetika jeste kod sprečavanja ispiranja zrna zemlje u drenažni

sistem (slika 8.1.4.3) i sprečavanja unutrašnje erozije usled soliflukcije, pre svega kod zaštite obalnog područja nasipima od kamena. Pri tome su važne dve funkcije filtracionog geosintetika: vodopropusnost i sposobnost zadržavanja zrna zemlje. Za filtriranje se najčešće koriste geotekstili i uslovno geokompoziti.



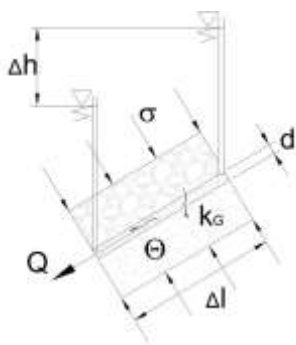
Slika 8.1.4.2: Uloga filtracionog sloja u zemlji (a) – klasični filter, (b) – filtracioni geosintetik



Slika 8.1.4.3: Karakteristična upotreba filtracionog geosintetika u svrhe obezbeđivanja delovanja drenažnog sloja

8.1.4.2.4 Drenaža

Drenaža je prikupljanje i odvođenje atmosferskih, podzemnih i drugih oblika vode izvan područja objekta za koji se vrši drenaža. Glavna funkcionalna karakteristika drenažnog geosintetika jeste sposobnost prevođenja vode pod statičkim ili hidrauličnim opterećenjima. Sposobnost drenaže geosintetika se često opisuje kao transmisivnost (Θ) i izražena je kao proizvod koeficijenta propusnosti (k_G) i debljine (d) pod opterećenjem (slika 8.1.4.4).

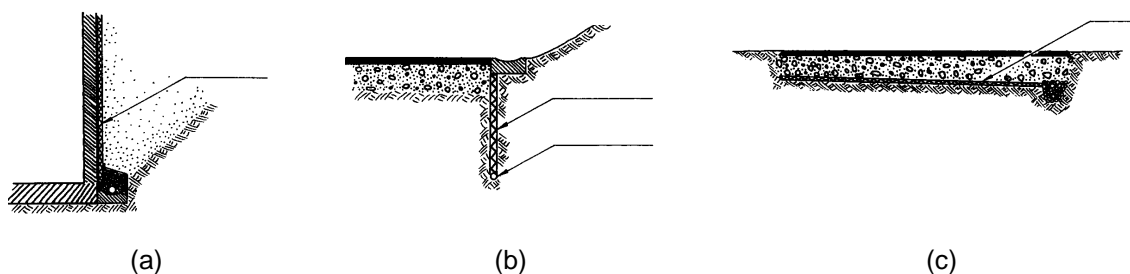


Slika 8.1.4.4: Za delovanje drenažnog geosintetika u zemlji značajna je provodna sposobnost pod opterećenjem. Skraćenice na skici imaju sledeće značenje: σ – normalno opterećenje, k_G – koeficijent propusnosti, d – debljina, Θ – transmisivnost, Δl – dužina toka, Δh – promena hidraulične visine

Upotreba drenažnih geosintetika je u izgradnji saobraćajnica raznovrsna. Na slici



Slika 8.1.4.5: Drenaža za ubrzanje konsolidacije: (a) – drenažni tepih za tlo, (b) – vertikalne drenažne trake



Slika 8.1.4.6: Drenaža za održavanje funkcionalnosti i trajnosti objekta: (a) – drenaža iza zidova, (b) – drenaža za sprečavanje prodiranja podzemne vode u podlogu kolovoza, (c) drenaža za kontrolu nivoa podzemne vode u kolovoznoj konstrukciji

8.1.4.5 su prikazani primeri drenaže za ubrzanje konsolidacije koja mora da deluje od početka izgradnje do stavljanja objekta u funkciju, dok su na slici 8.1.4.6 prikazani primeri trajne drenaže za održavanje funkcionalnosti objekta koji može biti betonska konstrukcija ili kolovoz. Za drenažu se najčešće koriste drenažni geokompoziti, a ređe geotekstili.

8.1.4.2.5 Armiranje

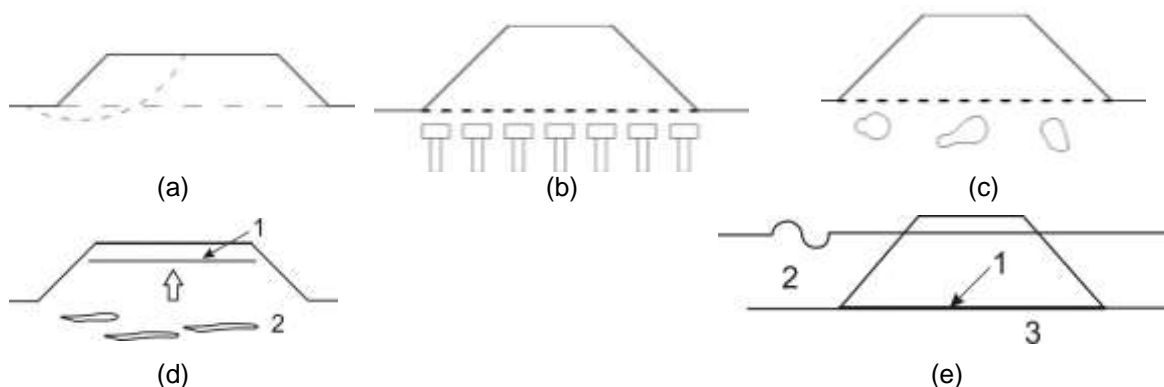
Armiranje podrazumeva iskorišćavanje visoke zatezne čvrstoće geosintetika radi poboljšanja mehaničkih karakteristika tla ili drugih konstrukcionih materijala koji imaju visoku pritisnu i nisku zateznu čvrstoću. Armaturni geosintetik se u obliku traka ili cerada polaže na temeljno tlo ispod nasipa ili među nasipne slojeve zemlje, gde prihvata zatezne sile i tako poboljšava mehaničke karakteristike sistema tlo–geosintetik. Geosintetik mora da ima sposobnost prihvatanja zatezne sile uz prihvatljive deformacije. Armiranje se najčešće koristi u izgradnji nasipa na tlu s malom nosivošću, kod premošćavanja kraških jama, za armirane nasipe, za potporne konstrukcije od armiranog tla i za ojačanje tla ispod potpornih zidova (slike 8.1.4.7 i 8.1.4.8). Armaturni geosintetik može da se koristi radi smanjenja negativnih uticaja mraza na kolovoz (slika 8.1.4.7 d) ili pri izgradnji nasipa ispod površine vode (slika 8.1.4.7 e).

Armaturni geosintetik može da se koristi i za smanjenje debljine nosećeg sloja od šljunka pri izgradnji privremenih (gradilišnih) puteva, ali on ne može da utiče na smanjenje debljine nevezanih nosećih slojeva u trajnim kolovoznim konstrukcijama.

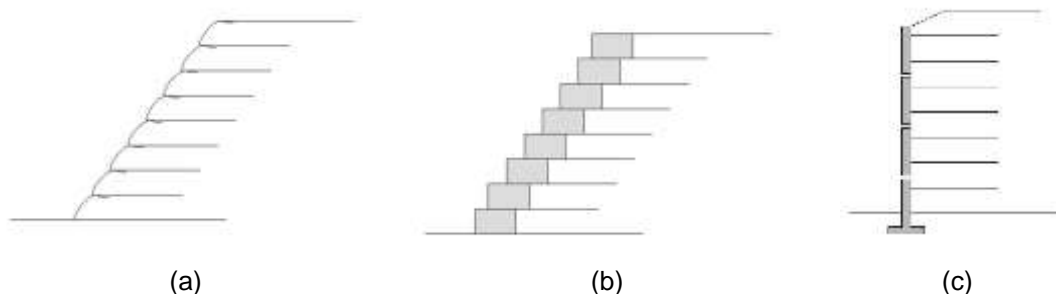
Poseban oblik upotrebe armaturnih geosintetika predstavlja ugrađivanje među

asfaltne slojeve kod rekonstrukcije starih puteva radi sprečavanja pukotina koje su indukovane refleksijom, temperaturom i drugim uticajima podloge.

Za armiranje se najčešće koriste armaturne geomreže i armaturni geotekstili.



Slika 8.1.4.7: Karakteristični primeri upotrebe armaturnog geosintetika pri premoščavanju mekog i nehomogenog tla ispod nasipa. (a) – armiranje meke podloge, (b) – armiranje meke podloge, poboljšanje upotrebom šljunčanih šipova, (c) – premoščavanje šupljina i jama, (d) – zaštita od štetnih uticaja mraza, (e) – izgradnja nasipa ispod površine vode



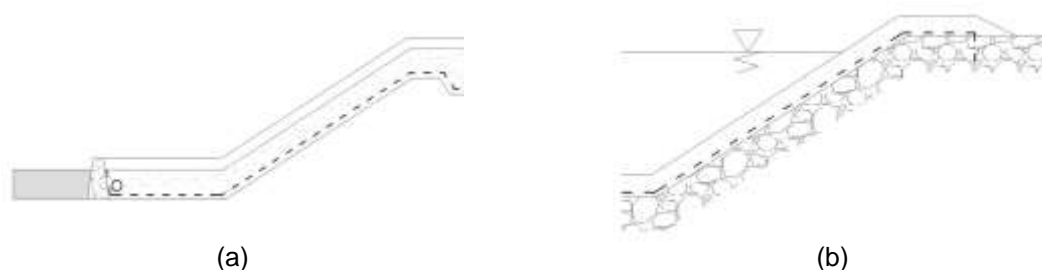
Slika 8.1.4.8: Karakteristični primeri upotrebe armaturnog geosintetika kod armiranja kosina. (a) – armirana kosina sa mekim čelom, uz pomoć uvijanja, (b) – armirana kosina sa zaštitom čela uz pomoć fleksibilnih elemenata (gabiona), (c) – potporna konstrukcija od armiranog tla sa zaštitom čela uz pomoć krutih elemenata

8.1.4.2.6 Zaptivanje

Zaptivanje je sprečavanje prolaska fluida, tečnosti i gasova i neophodno je za zaštitu životne sredine. Geosintetici se u izgradnji saobraćajnica koriste u svrhe zaštite tla i podzemne vode od trajnog zagađenja (prašina, so, različiti mikro ostaci od habanja guma na kolovozu) i od povremenog, slučajnog zagađenja, do kojeg može doći

prilikom saobraćajnih nezgoda ili kvarova. Zaptivanje se vrši ispod kolovoznih površina, na kosinama nasipa i useka, na području sabirnih bazena i/ili na području svih delova kanalizacionog sistema (slika 8.1.4.9).

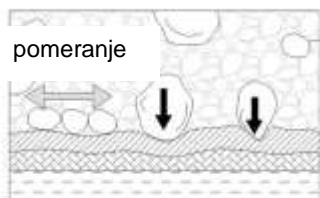
Za zaptivanje se koriste geomembrane, geosintetičke glinene trake i bitumske membrane.



Slika 8.1.4.9: Primer zaptivanja kosine useka saobraćajnice (a) za pasivnu zaštitu podzemne vode od trajnog zagađenja sa kolovoza i od zagađenja usled izlivanja prilikom nezgoda (b) zaptivanje u sabirnom bazenu

8.1.4.2.7 Zaštita i površinska zaštita

Zaštita znači sprečavanje ili ograničavanje lokalnih oštećenja na određenom elementu ili površini uz upotrebu zaštitnog geosintetika. Zaštitni geosintetici se koriste za zaštitu geomembrana, hidroizolaciju iza objekata i sličnih konstrukcionih elemenata koji su osetljivi na oštećenja usled eventualnog utisnuća kamenih zrna iz podloge ili nasipa (slika 8.1.4.10). Zaštitni geosintetici se koriste za privremenu zaštitu kosina od uticaja brzog raspadanja i erozije koji su posledica vode, vetra i leda.



Slika 8.1.4.10: Kritičan uticaj na postojanost geosintetika ima period polaganja. Primer pravilne upotrebe zaštitnog geosintetika iznad glavnog geosintetika (geomembrana, armaturna mreža).

Efikasnost zaštite se pre svega zasniva na debljini zaštitnog geosintetika. U pojedinim slučajevima (npr. u tunelima) treba dodatno da se provere svojstva zaštitnih geosintetika, na primer otpornost u slučaju požara.

Za zaštitu se najčešće koriste geotekstili.

Zaštita od površinske erozije podrazumeva upotrebu geosintetika radi sprečavanja ili ograničavanja pomeranja zrna zemlje ili drugih čestica na površini, na primer na kosinama. Zbog površinske erozije, koja je posledica delovanja vode, vetra i leda, na kosinama nasipa i useka može nastati velika

šteta koja čak može prouzrokovati odrone. Upotreba geosintetika omogućava da se tlo zadrži na mestu i da se stvori efikasan sistem učvršćivanja (korenski sistem). Za zaštitu od površinske erozije na kosinama saobraćajnica se najčešće koriste geocelije, a njima se bavi i posebna grana interdisciplinarnog inženjerstva, tzv. bioinženjering.

8.1.4.2.8 Pakovanje

Pakovanje predstavlja poseban oblik novije upotrebe geosintetika. Geotekstil se kod pakovanja koristi kao vreća ili beskonačno dugačko crevo koji se pune veoma mokrim peskom, prirodnim i/ili industrijskim muljem kako bi se omogućila stabilna izgradnja u odabranoj geometriji i ujedno ubrzalo filtriranje u slučajevima kada izgradnja inače ne bi bila moguća. Velike pakovane vreće, punjene peskom, takođe mogu da se koriste umesto kamenih blokova i gabiona za zaštitu obalnog područja, ispod privremenih železničkih koloseka, za zaštitu nasipa i slično.

8.1.4.2.9 Glavne i pomoćne karakteristike u funkciji delovanja geosintetika

Geosintetik obično vrši više funkcija odjednom. Razdvojni geosintetik u određenoj meri deluje i kao filtracioni i armaturni sloj. Filtracioni geosintetik objedinjuje uloge filtriranja i odvajanja. Armaturni geotekstil može da deluje i kao drenažni sloj. Zaštitni geosintetik na kosini može da preuzme i ulogu sloja za ojačanje koji je otporan na trenje itd.

Pri planiranju prvo treba da se odrede glavne i pomoćne uloge koje geosintetik treba da vrši u konstrukciji. Pri tom je potrebno poznavanje karakteristika proizvoda i karakteristika tla koje značajno utiču na

ponašanje i delovanje geosintetika u konkretnoj geološkoj sredini.

8.1.4.3 Geosintetički materijali

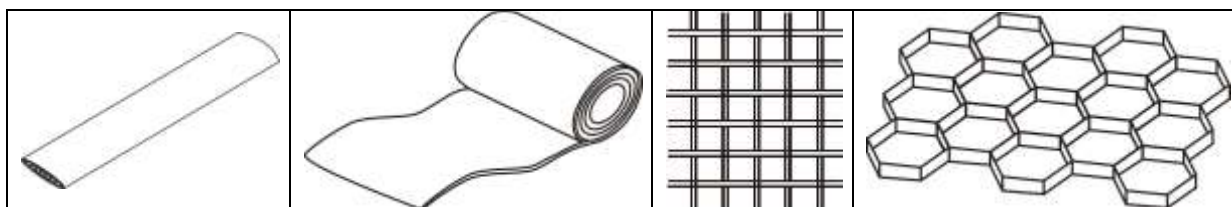
8.1.4.3.1 Uopšteno

Geosintetik je opšti naziv za grupu planarnih proizvoda kod kojih je najmanje jedan sastavni deo izrađen od sintetičkog ili prirodnog polimera. Geosintetici mogu da imaju oblik trake, cerade ili trodimenzionalne pljosnate strukture i koriste se u kombinaciji ili spoju sa tlom ili drugim geotehničkim materijalima u različite svrhe u geotehničkim i drugim inženjerskim gradnjama. U osnovi se dele na:

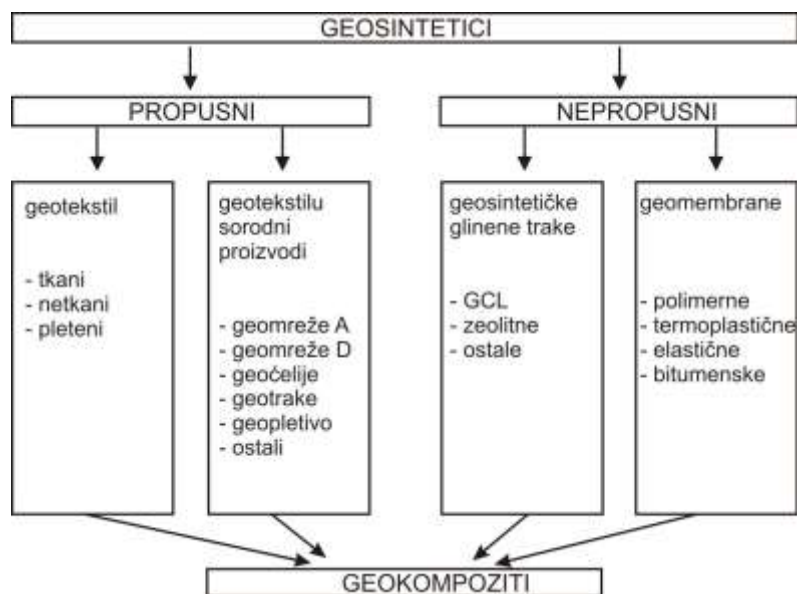
- vodopropusne i
- nepropusne ili skoro nepropusne za vodu.

U vodopropusne geosintetike se ubrajaju geotekstili i geotekstilu srodni proizvodi, dok se u nepropusne ili skoro nepropusne ubrajaju geosintetičke barijere, među koje spadaju geomembrane i geosintetičke glinene odnosno bentonitne barijere. Različitim kombinacijama propusnih i/ili nepropusnih geosintetika se dobijaju novi proizvodi za koje se koristi naziv geokompoziti (slika 8.1.4.12).

Među geosintetike se ubrajaju i mreže od kokosovih vlakana, mreže od jute i različiti geokompoziti izrađeni od prirodnih polimera. Među njih ne spadaju cevi, fazonski komadi, šahtovi i drugi slični elementi, bez obzira na to što su izrađeni od istih ulaznih sirovina.



Slika 8.1.4.11: Oblici geosintetičkih proizvoda: traka, cerada, mreža, trodimenzionalne ćelije – saće



Slika 8.1.4.12: Podela geosintetika (priređeno prema standardu EN ISO 10318)

8.1.4.3.2 Geotekstil

8.1.4.3.2.1 Svrha upotrebe

Geotekstili su propusni, planarni polimerni (sintetički ili prirodni) tekstilni materijali koji mogu biti tkani, netkani ili pleteni i koji se koriste u kombinaciji ili spoju sa zemljom, stenom ili drugim geotehničkim materijalima u različite svrhe u geotehničkim i drugim inženjerskim gradnjama. Oznaka je GTX.

Geotekstili se koriste za:

- odvajanje
- filtriranje
- zaštitu, uključujući zaštitu od erozije
- ojačanje – armiranje
- drenažu
- pakovanje

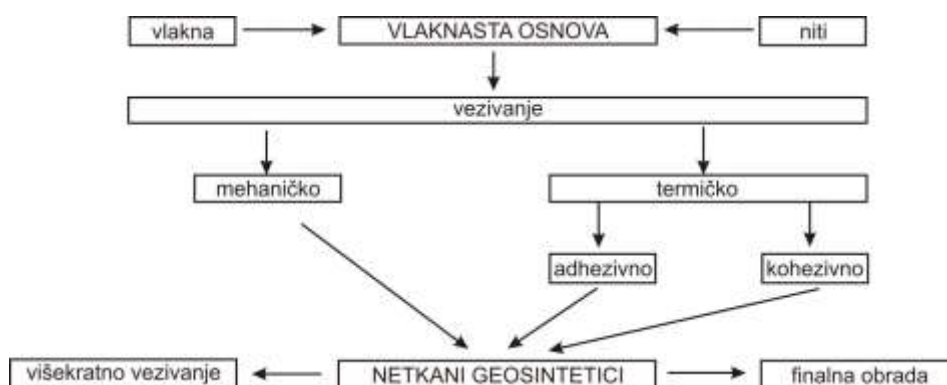
- različite kombinacije gore nabrojanih uloga.

8.1.4.3.2.2 Vrste geotekstila

Geotekstili se prema načinu proizvodnje dele na:

- tkane
- netkane
- pletene i kukičane
- kompozitne.

Način proizvodnje značajno utiče na čvrstoću i deformaciona svojstva geotekstila. Kod netkanih geotekstila značajnu ulogu ima način povezivanja vlakana i niti, koji može da bude mehanički, adhezivni (lepljenjem) ili kohezivni (topljenjem) (slika 8.1.4.13).



Slika 8.1.4.13: Šematski prikaz načina vezivanja geotekstila (priređeno prema Saathoff, 2003)

Za armiranje su naročito pogodni tkani i pleteni geotekstili koji imaju usmereni sistem pletenja ili su dodatno ojačani u jednom pravcu jer mogu da podnesu velike zatezne sile uz mala rastezanja.

Geokompoziti, koji se razmatraju u okviru porodice geotekstila, dobijeni su kombinacijom dve vrste proizvoda, na primer kombinacijom tkanog i netkanog geotekstila, izrađeni od netkanog geotekstila koji je ojačan staklenim vlaknima i slično. Kada se geotekstil kombinuje sa, na primer, trodimenzionalnom strukturom od debelih vlakana, reč je o drenažnim geokompozitima.

Hidraulična svojstva geotekstila su različita za različite vrste proizvoda, premda različiti tipovi proizvoda imaju sličan raspon vrednosti za propusnost.

Način proizvodnje geotekstila je detaljno opisan u Kerner (1999).

8.1.4.3.2.3 Izbor geotekstila

Izbor geotekstila zavisi od svrhe upotrebe.

Netkani geotekstili se mogu koristiti u slučajevima kada se očekuju velike deformacije i zahtevaju velika rastezanja pre nego što dođe do rušenja. Čvrstoća na zatezanje netkanih geotekstila ne zavisi od pravca opterećenja, bez obzira na to što se kod pojedinih proizvoda mogu javiti određena anizotropna svojstva, naročito kod rastezanja. Netkani geotekstili imaju neuređenu strukturu koja je slična lavirintu, pa se zato lokalno oštećenje ne odražava na traku u celini, što je inače slučaj kod upotrebe tkanog proizvoda. Netkani geotekstili su pre svega pogodni za razdvojne i ojačavajuće-razdvojne slojeve na mekom, neravnom temeljnom tlu.

Upotreba tkanih i pletenih geotekstila je prikladna kada se zahteva velika čvrstoća na zatezanje. Koriste se za armiranje, naročito u sitnozrnatom tlu, gde se istovremeno vrše i funkcije drenaže. Prikladni su i za filtere koji su pod hidrostatičkim opterećenjem, kao i za neravnomerno zrnato tlo, kada omogućavaju izgradnju stabilnog sekundarnog filtracionog sistema unutar samog tla. U filterima koji su pod dinamičkim opterećenjem ti zahtevi po pravilu ne mogu da se ispune.

Upotreba geokompozitnih tekstila je prikladna u slučajevima kada geotekstili pojedinačno ne bi mogli da ispune postavljene zahteve. Takvi primeri su, recimo:

- smanjenje rastezanja i povećanje zatezne čvrstoće netkanog geotekstila uz pomoć kombinovanja sa tkanim geotekstilima ili dodavanjem upletenih niti
- povećanje otpornosti površine na trenje obradom sa debljim i hrapavijim vlaknima
- poboljšanje specifičnih filtracionih i drenažnih svojstava itd.

Proizvođači geotekstila imaju mogućnost da korišćenjem prilagođenog sistema proizvodnje ispune zahteve korisnika i preko proizvoda koji ne ulaze u sastav standardnog i klasičnog proizvodnog programa prikazanog u katalogu proizvoda.

8.1.4.3.3 Proizvodi srodni geotekstilima

8.1.4.3.3.1 Vrste proizvoda

Proizvodi srodni geotekstilima su propusni, planarni polimerni (sintetički ili prirodni) materijali koji ne odgovaraju opisu geotekstila koji je naveden u tč. 8.1.4.3.2.1. Dele se na:

- geomreže
- geomrežama srodne proizvode
- geokompozite.

8.1.4.3.3.2 Geomreže

Geomreže (geogrid) su planarni materijali sa pravilno raspoređenim otvorima. Izrađene su od mreže zateznih elemenata koji su međusobno povezani varenjem, spajanjem ili ekstrudiranjem. Veličina otvora je znatno veća od elemenata koji čine strukturu. Oznaka je GGR.

Geomreže se prvenstveno koriste za armiranje. Dele se na:

- tkane
- ekstrudirane
- rebraste.

Tkane geomreže su tkanine sa otvorima većim od 10 mm. Ekstrudirane geomreže su

izrađene od polimernih ponjava i bušene su u jednom ili oba smera. Spojevi su fiksirani, čime je obezbeđen prenos sila između uzdužnih i poprečnih traka. Rebraste geomreže su izrađene od traka, užadi ili elemenata koji su slični užadima. Postavljaju se upravno jedna na drugu. Spojevi mogu biti fleksibilni ili fiksirani (npr. varenji).

8.1.4.3.3.3 Proizvodi srodni geomrežama

Među proizvode srodne geomrežama spadaju:

- užad, trake i šipkama slični elementi
- georešetke (geonet)
- geočelije.

Georešetke (geonet) su poseban oblik geomreža koje su sastavljene od guste, pravilne mreže elemenata, čiji su sastavni delovi međusobno povezani kukičanjem ili ekstruzijom. Oznaka je GNE. Pre svega se koriste za odvajanje i drenažu. Geomreže tipa GNE imaju drugačija svojstva nego mreže tipa GGR koje su namenjene armiranju.

Geočelije su propusne, trodimenzionalne polimerne strukture koje su raspoređene u obliku saća ili rešetke. Izrađene su od geotekstilnih traka ili geomembrana koje su međusobno povezane na različite načine. Oznaka je GCE. Prvenstveno se koriste u svrhe zadržavanja tla na mestu radi stvaranja sistema učvršćivanja (korenskog sistema) na kosinama, a moguća je i njihova primena za učvršćivanje saobraćajno opterećenih površina od jednozrnatih nevezanih materijala.

8.1.4.3.3.4 Geokompoziti

Geokompoziti iz te porodice mogu da budu proizvedeni kao:

- geokompozit kod kojeg je najmanje jedna komponenta izrađena od geotekstilu srodnog proizvoda
- geokompozit u čiji sastav ulaze jedan geotekstil i jedan geotekstilu srodan proizvod.

Primer takvog proizvoda je, recimo, geokompozit koji je proizveden od termički spojene ekstrudirane armature geomreže i netkanog geotekstila. Koristi se za ojačanje asfaltnih slojeva.

8.1.4.3.4 Barijere

Barijere su sastavni delovi konstrukcija kojima se sprečava ili u znatnoj meri ograničava migracija fluida upotrebom

geosintetika ili geosintetici koji sprečavaju ili u znatnoj meri ograničavaju migraciju fluida. Barijere se izrađuju od jedne ili više vrsta geosintetika. Među geosintetičke barijere spadaju: geomembrane, glinene barijere i bitumenske barijere.

8.1.4.3.4.1 Geomembrane

Geomembrane su nepropusni ili veoma nisko propusni planarni proizvodi izrađeni od fabrički proizvedenih sintetičkih, polimernih ili bitumenskih ponjava. Primenuju se pre svega u svrhe sprečavanja protoka fluida (tečnosti i gasova) odn. zaptivanja. Oznaka je GMB.

Geomembrane se dele na:

- homogene i
- heterogene.

Homogene geomembrane su izrađene od jedne vrste ulazne sirovine, na primer od termoplasta ili elastomera ili od mešovito polimerizata, na primer od mešavine polietilena i bitumena. Homogene geomembrane se dalje dele na folije i membrane. I to prema debljini – folije su tanje od 1 mm, a membrane deblje od 1 mm.

Heterogene geomembrane se dele na:

- geomembrane sa dodatnim slojem koji je nepropustan za aromatične ugljovodonike ili druga organska jedinjenja na koja obične membrane nisu otporne,
- geomembrane sa dodatnim slojem za zaštitu od mehaničkih ili UV oštećenja i
- bitumenske cerade sa razdvojnim nosećim slojem od geosintetika, sa debljinom minimalno 5 mm.

Geomembrane mogu imati glatku, hrapavu ili profilisanu (bradavičavu) površinu. Način obrade površine suštinski utiče na trenje na spoju sa zemljom.

Dodavanjem pigmenta može da se utiče na specifične karakteristike geomembrana. Na primer, dodavanjem čađi se znatno povećava otpornost na UV zračenje odn. starenje.

Geomembrane se međusobno spajaju varenjem. Za spojeve među ceradama važe isti zahtevi kao i za membranu.

Geomembrane su izrađene od termpolasta: polietilena, polipropilena, polistirena, polivinil-hlorida ili od elastomera, npr. od veštačke gume (EPDM).

8.1.4.3.4.2 Materijali srodni geomembranama

To su fabrički ili in situ proizvedeni jednoslojni ili višeslojni materijali, čija vodopropusnost je niža od $k < 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ i koji se u geotehnici i drugim inženjerskim gradnjama koriste kao glavni ili pomoćni zaptivni sloj.

Zasad još nije potpuno jasno koji materijali zasigurno pripadaju toj grupi. Vodeće materijale te grupe čine geosintetičke glinene trake (GCL) ili geosintetičke glinene barijere. Izrađene su od dva sloja geosintetika, između kojih je ugrađena glina u obliku praha ili granula. Mineralni i sintetički sloj su međusobno povezani iglanjem, šivenjem ili lepljenjem. Postoje i trake kod kojih je mineralni zaptivni sloj nanesen i zalepljen samo na jedan noseći sloj od geosintetika. Sve navedene trake se dostavljaju u rolnama. GCL može da se izrađuje i u obliku panela, sa nosećim slojevima od kartona.

Najčešće se kao mineralno punilo koristi bentonitna glina koja može biti prirodni natrijumov (Na), kalcijumov (Ca) ili prerađeni bentonit. Prerađeni bentonit se dobija tako što se katjon kalcijuma (Ca^{2+}) u mineralu montmorilonitu veštački zamenjuje katjonom natrijuma (Na^+). Najbolju sposobnost zaptivanja imaju trake sa ugrađenim prirodnim natrijumovim bentonitom.

Drugi punioci u geosintetičkim glinenim trakama mogu biti od kaolinne gline i prirodnih i/ili veštačkih zeolita.

8.1.4.3.5 Struktura, tekstura i hrapavost površina geosintetika

Struktura, tekstura i hrapavost površina je različita kod različitih proizvoda. Način proizvodnje utiče na čvrstoću i rastezanje koji mogu biti jednaki u svim pravcima ili izrazito usmereni. Pojedini geosintetici se kidaju prilikom malog, a drugi prilikom velikog rastezanja.

Način povezivanja (iglanje, termičko spajanje) utiče na karakter pora i mogućnost akumuliranja sekundarnih materija u porama. To ima značajnu ulogu kod izbora filtracionih i zaštitnih geosintetika. U otvorima armaturnih mreža koji su dovoljno veliki mogu da se zaglave krupna zrna šljunka, čime se povećava otpornost geosintetika na trenje, otpornost na izvlačenje i sl. Međutim, zrna iste te zemlje mogu da oštete armaturni geotekstil i tako doprinesu smanjenju njegove čvrstoće.

Na slikama 8.1.4.14 je prikazano nekoliko karakterističnih tipova proizvoda iz velike porodice od preko 600 vrsta geosintetika koji se danas mogu kupiti na tržištu.

8.1.4.3.6 Identifikacija geosintetika

Geosintetici mogu da se identifikuju na osnovu sledećih opisa:

- Vrsta polimera (npr. polietilen, polipropilen, po potrebi se uključuju i posebni opisi, na primer, polietilen visoke gustine, niske gustine)
- Karakteristike proizvodnog procesa (na primer: tkan, netkan, iglan, termički spojen, varen, ekstrudiran)

- Vrsta elementa kada je to primereno (na primer, vlaknast, upleten, rebrast)
- Primarni tip geosintetika (geotekstil, geomreža, geomembrana)
- Površinska masa (na primer, kod geotekstila za odvajanje ili za zaštitu, kod glinenih barijera) i/ili debljina kada je to primereno (npr. kod geomembrana)
- Dodatne informacije o fizičkim karakteristikama koje su potrebne za opis materijala.



(a)



(b)

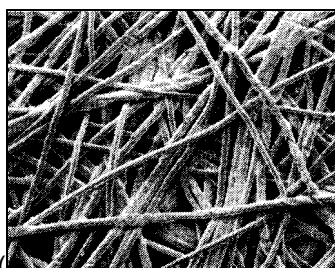


(c)

Slika 8.1.4.14/1: Geotekstili, netkani, mehanički spojeni: (a) i (b) za filtriranje i odvajanje, (c) za zaštitu



(a)



(b)



(c)

Slika 8.1.4.14/2: Geotekstili: netkani, termički spojeni (a) i (b) struktura vlakana pod mikroskopom. (c) netkani, mehanički spojeni i dodatno ojačani vlaknima s visokom otpornošću na zatezanje. (a) za filtriranje i odvajanje, (c) za armiranje



(a)

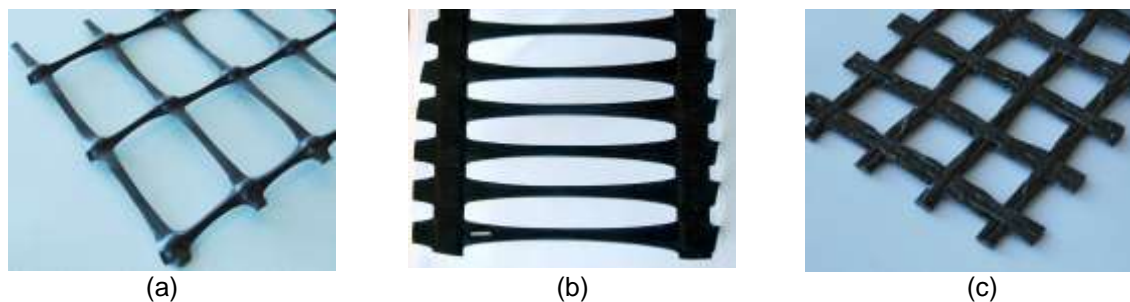


(b)

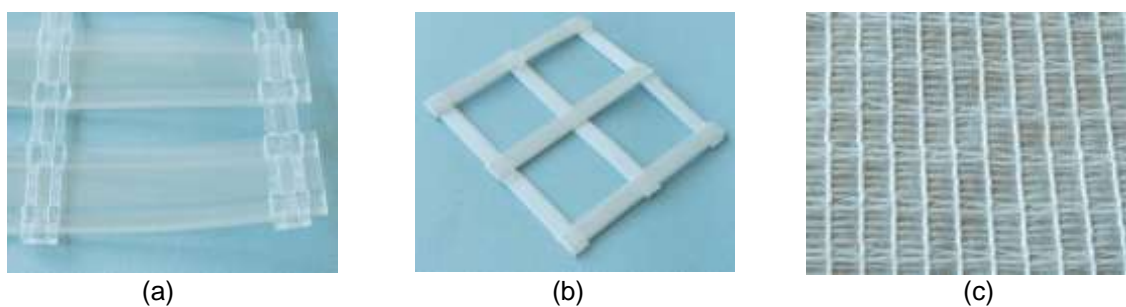


(c)

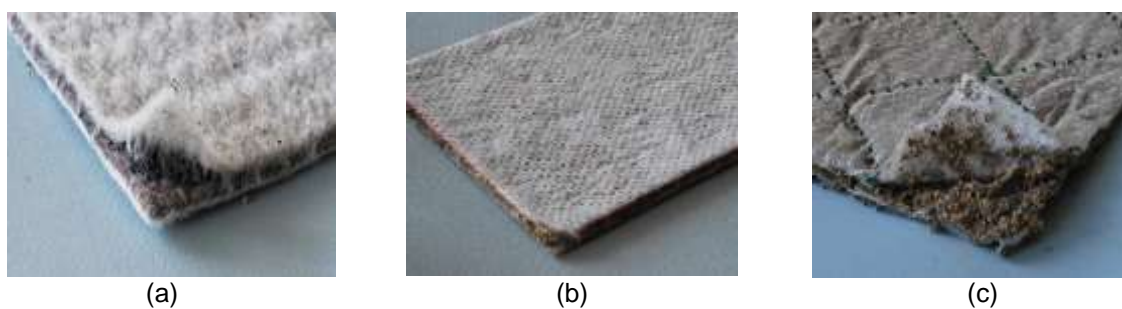
Slika 8.1.4.14/3: Geotekstili: (a) i (b) – tkani, rascepljena vlakna, (c) tkani, od jedne niti. (a) za armiranje, (b) za odvajanje i armiranje, (c) za filtriranje, zaštitu od erozije i zaštitu obalnog područja



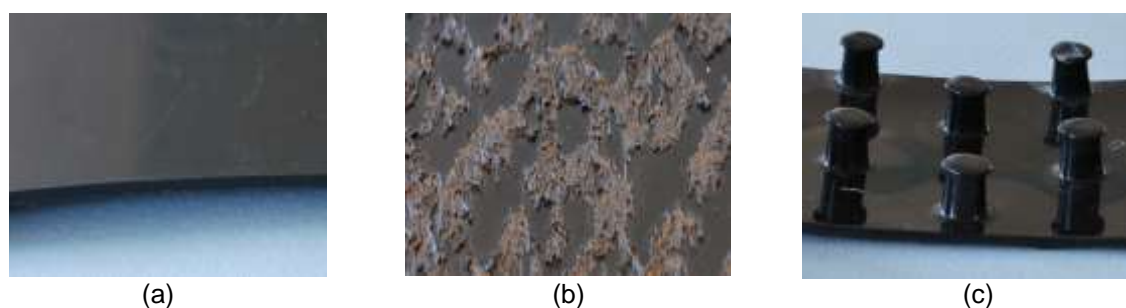
Slika 8.1.4.14/4: Armaturne geomreže: (a) i (b) – ekstrudirana, (c) pletena, sa zaštitnim premazom



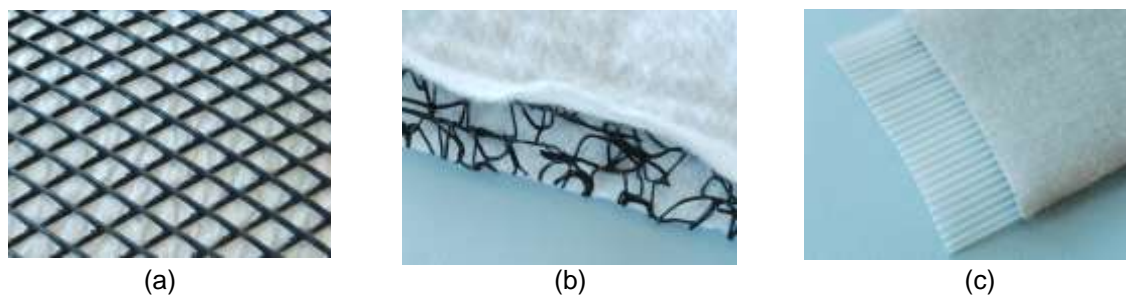
Slika 8.1.4.14/5: Armaturni geosintetici: (a) i (b) – geomreže, „postavljene“, vareni spojevi, (c) kompozit od netkanog i tkanog geotekstila



Slika 8.1.4.14/6: GCL zaptivni geosintetici sa različitim načinima ugradnje bentonita između donjeg i gornjeg nosećeg sloja: (a) – iglan, (b) – lepljen, (c) prošiven



Slika 8.1.4.14/7: Geomembrane sa različito obrađenom površinom: (a) – glatka, (b) – hrapava, (c) sa strukturom



Slika 8.1.4.14/8: Geokompoziti namenjeni drenaži: (a) – kombinacija netkanog geotekstila i ekstrudirane mreže, (b) – kombinacija netkanog geotekstila i vlakana u 3D strukturi, (c) – puno jezgro sa žlebovima, uvijeno u termički spojen netkani geotekstil, (a) – pogodno za drenažu i zaštitu iza zidova, (b) – za drenažu pod umerenim opterećenjima, (c) – za ubrzanje konsolidacije sa vertikalnim drenažama

Standardne oznake za obeležavanje geosintetika su prikazane u tabeli 8.1.4.1.

Prema funkciji koju geosintetik treba da vrši, u različite svrhe upotrebe se prioritarno koriste različite vrste geosintetika, kao što je prikazano u tabeli 8.1.4.2.

8.1.4.3.7 Upotreba geosintetika prema njihovoj ulozi u konstrukciji

Tabela 8.1.4.1: Standardne oznake za opis geosintetika prema standardu EN ISO 10318

GSY	Geosynthetic	Geosintetik
GTX	Geotextile	Geotekstil
GMB	Geomembrane	Geomembrana
GGR	Geogrid	Geomreža
GCO	Geocomposite	Geokompozit
GNT	Geonet	Georešetka
GBR	Geosynthetic barrier	Geosintetička barijera
GCL	Geosynthetic clay liner	Glinena geosintetička barijera
GCE	Geocell	Geočelija
GMA	Geomat	Geopletivo

Tabela 8.1.4.2: Vrste geosintetika i glavne svrhe upotrebe

Tip geosintetika	Odvajanje	Filtriranje	Drenaža	Armiranje	Zaptivanje	Zaštita od površinske erozije
Geotekstili GTX	√	√	√	√		√
Geomreže GGR				√		√
Georešetke GNT			√			√
Geomembrane GMB					√	
Geosintetičke barijere GBR					√	
Geokompoziti GCO	√	√	√	√	√	

8.1.4.4 Svojstva geosintetika

8.1.4.4.1 Opšte

Većina geosintetika je napravljena od sirovina na bazi sintetičkih polimera. Polimeri su jedinjenja sastavljena od velikog broja međusobno vezanih monomera. Svojstva pojedinačnog monomera i monomera koji se ponavljaju su različita zbog procesa polimerizacije i zavise od broja veza kojima se svaki monomer lančano vezuje. Za čvrstinu i otpornost polimera najbitnija je masa molekula. Sa povećanjem molekulске mase povećava se čvrstina, istezanje, otpornost na udarce, toplotna postojanost, otpornost na kidanje, a smanjuju se reološka svojstva i sposobnost obrade.

Treba razlikovati dve glavne grupe polimernih materijala: termoplasti i elasti. Termoplasti zagrevanjem mekšaju, postaju plastični i mogu da se oblikuju, a zatim prilikom hlađenja zadržavaju oblik. Proces može da se ponovi.

A kod elasta proces ne može da se ponovi. Svako ponavljanje vodi do degradacije materijala.

Za proizvodnju geotekstila uglavnom se koriste termoplasti: polietilen (PE), polipropilen (PP), poliester (PET) i poliamid (PA). Za proizvodnju geomembrana koriste se termoplasti: polietilen (PE i HDPE), polipropilen (PP), polivinilhlorid (PVC) i elastomeri. Od elastomernih geosintetika zastupljene su geomembrane od veštačke gume (EPDM).

Nijedan geosintetički proizvod nije napravljen od čistog polimera, koji je inače u osnovi njegovog naziva. Osnovnom polimeru se dodaju različiti dodaci – stabilizatori kojima je moguće poboljšati neka svojstva i ponašanje osnovnog polimera u specifičnim uslovima, na primer:

- poboljšanje UV stabilnosti,
- produžena trajnost,
- smanjena zapaljivost,
- manja osetljivost na temperaturne promene,
- poboljšanje obradivosti i druge.

Kada se govori o trajnosti odnosno stabilnosti geosintetika na duži rok, treba uzeti u obzir da se povećanjem debljine niti, vlakana ili proizvoda automatski povećava i otpornost.

Geosintetici od prirodnih sirovina su napravljeni od kokosovih vlakana, jute, pamuka, lana i konoplje. Trajnost ovih proizvoda ograničava se na vreme kada se na kosini uspostavi dovoljno snažan korenski sistem. Prilikom obrade kokosovih vlakana i jute se koriste i hemikalije koje mogu da štete životnoj sredini, i zato treba biti obazriv prilikom izbora materijala.

8.1.4.4.2 Promena svojstava geosintetika

8.1.4.4.2.1 Trajnost

U poređenju sa klasičnim građevinskim materijalima kao što su kameni agregat, kreč, cement, opeka, svojstva geosintetika se vremenom menjaju i mnogo brže slabe usled starenja, plastičnog razvlačenja (creep), hidrolize, mehaničkih, hemijskih i bioloških uticaja.

Trajnost (durability) definiše se kao sposobnost geosintetika da zadrži svojstva koja su potrebna za korektno funkcionisanje u planiranom životnom veku. U tabeli 8.1.4.3 je prikazana otpornost nekih vrsta polimera.

8.1.4.4.2.2 Staranje

Temperaturne promene i UV zraci negativno utiču na geosintetike, jer podstiču oksidaciju zbog koje dolazi do kidanja međumolekularnih veza. Kada ovaj proces započne, nastavlja se bez prekida i dolazi do promene u osnovnoj strukturi molekula. Geosintetik postane krto i lomljiv. Ovaj proces se naziva starenje.

Da bi se sprečili efekti starenja osnovnim polimerima se dodaju UV stabilizatori i antioksidanti. Jedan od najkarakterističnijih dodataka je čađ. A antioksidanti, uključujući i čađ, mogu da utiču na slabljenje svojstava čvrstoće.

Da bi se procenili negativni uticaji starenja, prilikom planiranja treba proveriti sledeće uticaje:

- temperature na kojima će se izvoditi radovi, odn. kojima će geosintetik biti izložen,
- izloženost sunčevoj svetlosti, trajanje izloženosti i intenzitet UV zračenja,
- mogućnost ekstrakcije antioksidanata i zagađenja tla,
- mogućnost prisustva metala u blizini koji mogu da deluju kao katalizator starenja.

Tabela 8.1.4.3: Postojanost geosintetika (Santvoort, 1995).

Osnovni materijal Period izloženosti	PET		PP		PE		HDPE		PA	
	kratak	dug	kratak	dug	kratak	dug	kratak	dug	kratak	dug
Razblažena kiselina	++	+	++	++	++	++	++	++	+	O
Koncentrovana kiselina	O	-	++	+	++	O	++	++	O	-
Razblažena alkalija	++	O	++	++	++	++	++	++	++	+
Koncentrovana alkalija	O	-	++	++	++	++	++	++	O	-
So	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Mineralna ulja	++	++	+	O	+	O	+	+	++	++
Glikol	++	O	++	++	++	++	++	++	+	O
Mikroorganizmi	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+
UV	+	O	O	-	O	-	O	-	+	O
UV – stabilizovani	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+
Toplota, suva do 100°C	++	++	++	+	O	-	+	O	++	+
Para, do 100°C	O	-	O	-	-	-	+	O	++	+
Hidroliza	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Deterdženti	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++

Kratak – tokom postavljanja, dug – tokom upotrebe, ++ dobar, + srednji, O – nizak, - potpuno odsustvo

Efekte starenja se ne mogu jednostavno proceniti, na primer u obliku smanjenja zatezne čvrstoće. Ove uticaje treba empirijski uzeti u obzir prilikom izbora tipa geosintetika i osnovnog polimera iz kojeg je proizveden.

8.1.4.4.3 Plastično razvlačenje, puzanje (creep)

Plastično razvlačenje ili puzanje (creep) je povećano istezanje (deformacija) pod konstantnim opterećenjem. Kod geotehničke gradnje treba imati u vidu dva moguća scenarija:

- pod trajnim opterećenjem materijal se ravnomerno rasteže, sve dok se ne pokida,
- pod jednakim uslovima u određenom vremenskom periodu jedan tip materijala se rasteže više nego drugi.

Plastično razvlačenje je veoma bitno kod armiranja.

8.1.4.4.4 Hidroliza

Neki geosintetici, kao što su poliamidi (najlon) i u manjoj meri poliestri, osetljivi su na hidrolizu. Hidroliza je hemijska reakcija kod koje se određeno hemijsko jedinjenje razlaže pod uticajem vode. U neutralnim sredinama gubitak čvrstoće usled hidrolize iznosi oko 5 %, a do veoma brzog opadanja čvrstoće dolazi na temperaturama iznad 80°C. Hidrolizu treba imati u vidu kod geosintetika koji su u stalnom kontaktu sa vodom, odnosno pod vodom.

8.1.4.4.5 Hemijski i biološki uticaji

Geosintetici se postavljaju u prirodnu podlogu u kojoj su prisutni specifični mikrobiološki i hemijski uslovi. Na primer, poliestar je osetljiv na delovanje u alkalnoj sredini (krečnjak, kras), poletilen mogu da napadnu neke vrste gljiva i slično. Hemijske i biološke uticaje treba uzeti u obzir zajedno sa redukcionim faktorima, naročito kada se geosintetici ugrađuju u specifične sredine, na primer u industrijske otpatke, u EF pepeo i slično. Ne preporučuje se ugradnja geosintetika u geološke sredine sa pH < 3 i pH > 12. U ovakvim slučajevima potrebne su dodatne analize.

8.1.4.4.6 Mehanička oštećenja

Geosintetici su naročito izloženi opasnosti od mehaničkih oštećenja tokom postavljanja, a delimično i tokom transporta. Osetljivost na mehanička oštećenja zavisi od vrste zemljišta odnosno stena sa kojima geosintetik dolazi u kontakt i od mehanizacije koja se koristi u gradnji. Opasnost od mehaničkih oštećenja mora da bude procenjena u fazi planiranja radova i uzeta u obzir prilikom izbora geosintetika. Kada se radi o agresivnijoj sredini treba izabrati robusnije materijale. Najčešći oblici mehaničkih oštećenja su:

- probodi i poderotine usled oštih ivica zrna u osnovi ili nasipnom materijalu,
- prekidi usled neravnina u podlozi,

- probodi usled saobraćaja po sloju nedovoljne debljine koji prekriva geosintetik.

Robusnost

U nemačkom sistemu (E – StB 95) geosintetici su razvrstani u razrede robusnosti. Projektant prvo mora da proceni očekivanu vrstu izloženosti odnosno opterećenja u odnosu na položaj u zemljištu. Može se očekivati pet situacija (AS 1 do AS 5). U situaciji AS 1 opterećenja su zanemarljiva, a u situaciji AS 5 geosintetik je opterećen zemljanom materijalom koji sadrži više od 40% lomljenog kamena.

Na drugom koraku treba definisati uslove ugradnje. Moguće su četiri situacije (AB 1 – AB 4). U situaciji AB 1 geosintetik se postavlja i prekriva ručno, a opterećenja su minimalna. U situaciji AB 4 prekrivanje se odvija mašinski, a usled opterećenja mašinama treba očekivati stvaranje kolotruga dubine do 15 cm.

Nakon što se definišu situacije, određuje se razred robusnosti (tabela 8.1.4.4). Geosintetici su podeljeni u pet razreda robusnosti (GRK 1 – GRK 5), mada su zahtevi koji se odnose na čvrstoću (T) i površinske mase (gramature) za svaki od njih različiti za različite tipove proizvoda i drugačiji su za npr. netkanu i tkanu geotekstilnu vunu, drugačiji za proizvod od polipropilena i proizvod od poliestra itd. Razredi robusnosti su detaljno opisani u E – StB 95. Da bi se odredio razred robusnosti potrebno je veoma dobro poznavanje geološke sredine. Ocenili smo da je nemački sistem za korisnika previše složen, i zato ga više nećemo pominjati u nastavku smernica.

Razrede robusnosti (3) uvodi i američki AASHTO.

Tabela 8.1.4.4: Određivanje razreda robusnosti prema E – StB 95

	AB 1	AB 2	AB 3	AB 4
AS 1	GRK 1			
AS 2	GRK 2	GRK 2	GRK 3	GRK 4
AS 3	GRK 3	GRK 3	GRK 4	GRK 5
AS 4	GRK 4	GRK 4	GRK 5	(*)
AS 5	GRK 5	GRK 5	(*)	(*)

- (*) Treba izvršiti ispitivanja na probnoj površini ili povećati debljinu prekrivnog sloja.

8.1.4.4.2.7 Glinene – bentonitne trake (geosintetičke barijere) i sredina ugradnje

U bentonitnim trakama zaptivenost je obezbeđena bentonitom koji je u obliku praha ili granula. Kada je u traci udeo bentonita nedovoljan (npr. manji od 3500 g/m²) a način vezivanja neodgovarajući, prilikom postavljanja na kosinama može da dođe do gravitacionog rasipanja bentonitnog punjenja. Bentonitne trake koje se postavljaju na kosinama moraju da budu međusobno pričvršćene iglanjem ili ušivanjem. Razmak između šavova ne sme da bude veći od 3 x 3 cm.

Bentonitna glina se sastoji od izuzetno finih zrna. U slučaju da je donji ili gornji noseći sloj od previše retke geotekstilne vune, hidratizovani bentonit se istiskuje kroz pore i na površini stvara mazivo i potencijalnu kritičnu površinu za proklizavanje zaštitnog sloja. U slučaju proklizavanja dolazi do oštećenja trake. Potrebna je odgovarajuća gustina i debljina noseće geotekstilne vune. Proces bubrenja – skupljanja u bentonitu nije potpuno reverzibilan. Posle određenog broja ciklusa natapanja i isušivanja bentonit stari i gubi prvobitno svojstvo bubrenja i razmene katjona. Potrebno je da se napravi dovoljno debeo zaštitni pokrivač odnosno da se natapanjem obezbedi sistem trajnog održavanja bentonita u hidratizovanom stanju.

Bentonitne barijere mogu da preuzmu svoju funkciju samo u hidratizovanom stanju. Vlaženje bentonitne trake može da se izvede tek nakon što se na bentonitnu traku doda sloj inertnog zemljanog materijala odgovarajuće debljine. Debljina prekrivača od zemljanog materijala mora da bude tolika da neutrališe opasnost od isušivanja bentonita u traci.

8.1.4.4.2.8 Geosintetici i životna sredina

Uopšte važi da su geosintetici hemijski inertni i da nisu štetni po životnu sredinu. Neki geosintetici su obrađeni sredstvima koja mogu da dopru u životnu sredinu. Na područjima sa visokim stepenom zaštite podzemnih voda, geosintetici moraju da ispoljavaju dodatnu inertnost u pogledu bezbednosti po zdravlje ljudi i životnu sredinu.

Odlaganje otpadnih geosintetika nije najprikladnije zbog voluminoznosti i troškova transporta.

Spaljivanje polivinil-hlorida (PVC) je opasno zbog stvaranja hlorovodoničnih gasova i dioksina koji su veoma opasni po ljude i životnu sredinu. Nastajanje štetnih gasova može se sprečiti na temperaturama paljenja većim od 1400°C.

Reciklaža je najpogodniji način tretiranja istrošenih ili neupotrebljivih geosintetika. Reciklirani materijali od PE, PP, PA i PET mogu da se iskoriste u izradi novih proizvoda, npr. kesa za otpatke, za mešanje sa svežim sirovinama u proizvodnji geosintetika itd. Reciklaža je zanimljiva ako je količina otpadaka određene vrste dovoljno velika.

Najveći negativni uticaji na životnu sredinu nastaju prilikom nepravilnog izvođenja zemljanih radova i prilikom rušenja starih objekata, kada se ostaci geosintetika na velikim rastojanjima prenose vetrom i vodom.

8.1.4.5 Testne metode i zahtevi

8.1.4.5.1 Opšte

Danas je za ispitivanje geosintetika na snazi više 100 ispitivačkih metoda. Postupci ispitivanja koje uvode evropski (EN i ISO standardi) nisu istovetni sa postupcima ispitivanja koje uvode američki (ASTM) standardi, i zato je potrebna posebna obazrivost prilikom odabira proizvoda.

Evropski standardi za geosintetike su koncipirani tako da razlikuju dve vrste standarda i to:

- standarde koji opisuju svojstva koja moraju da budu proverena za određeni cilj eksploatacije i
- standarde na osnovu kojih se izvode istraživanja.

Karakteristike koje se zahtevaju za izgradnju puteva i drugih saobraćajnih površina (ne odnose se na železnice, ali se odnose na asfaltne površine) određene su u standardu EN 13249 (tabela 8.1.4.5). Za druge specifične primene, na primer kod gradnje železnica, kanala i rezervoara itd. važe drugi standardi koji su navedeni u sadržaju standarda u referentnoj dokumentaciji.

Svojstva geosintetika koja se ispituju u laboratoriji podeljene su na više grupa svojstava:

- fizička svojstva (kao npr. debljina, debljina na određenom pritisku, masa po jedinici površine, oštećenje abrazijom i druga),
- hidraulička svojstva (kao npr. kapacitet oticanja vode po površini, karakteristična veličina otvora, otpornost na prodiranje vode, protok, vodopropustivost pod pravim uglom u odnosu na površinu, i dr.),
- mehanička svojstva (kao npr. čvrstoća na zatezanje, čvrstoća na zatezanje spoja, otpornost na statičko probijanje (CBR), otpornost na pucanje, oštećenje prilikom postavljanja, puzanje, i dr.),
- mehanička svojstva u kombinaciji sa podlogom (otpornost na izvlačenje, ugao trenja u dodiru sa tlom itd,
- otpornost na trošenje,
- drugi specifični testovi, ako je to potrebno.

Zahtevana svojstva geosintetika (na primer površinska masa, čvrstoća na zatezanje, otpornost na statički ili dinamički proboj) za izabranu primenu nisu propisana. Ova svojstva treba da budu određena u okviru planiranja, bilo korišćenjem tabela ili projektnim obračunom. Postupke određivanja preporučuju nacionalne smernice i tehničke specifikacije odnosno principi ustaljeni u struci kojih se projektant pridržava. Minimalni zahtevi koje za geotekstilnu vunu i srodne proizvode proizvođač mora da navede prikazani su u tabeli 8.1.4.6.

8.1.4.5.2 Postojanost i trajnost

8.1.4.5.2.1 Brzina prekrivanja geosintetika

Otpornost na atmosferske uticaje određena je poboljšanim testom starenja po EN 12224. U odnosu na rezultate istraživanja, određeno je dozvoljeno vreme u kome postavljeni geosintetik može da bude izložen spoljašnjim uticanjima odnosno otkriven (tabela 8.1.4.7). Sve proizvode koji nisu bili ispitani po navedenom standardu treba pokriti u roku od 24 sata.

Tabela 8.1.4.5: Važna svojstva i svojstva geosintetika koje treba proveriti prilikom gradnje puteva prema zahtevima standarda SIST EN 13249

Svojstvo	Postupak ispitivanja	Funkcija			
		filtracija	odvajanje	ojačavanje	drenaža
Čvrstoća na zatezanje ^b Tensile strength	EN ISO 10319	H	H	H	H
Istezanje pod najvećim opterećenjem Elongation at maximum load	EN ISO 10319	A	A	H	A
Čvrstoća na zatezanje spojeva Tensile strength of seams and joints	EN ISO 10321	S	S	S	S
Statička probodna čvrstoća (CBR) ^{a,b} Static puncture	EN ISO 12236	S	H	H	--
Dinamička otpornost na probod (cone drop test) ^a Dynamic perforation resistance (cone drop test)	EN ISO 13 433	H	A	H	--
Karakteristike trenja Friction characteristics	prEN ISO 12957	S	S	A	S
Razvlačenje prilikom zatezanja Tensile creep	EN ISO 13431	--	--	S	A
Oštećenje tokom instalacije Damage during instalation	ENV ISO 10722-1	A	A	A	A
Karakteristični otvor pora Characteristic opening size	EN ISO 12956	H	A	--	--
Vodopropusnost, normalno u odnosu na površinu Water permeability, normal to the plane	EN ISO 11058	H	A	A	--
Sposobnost prenošenja vode Waterflow capacity in the plane	EN ISO 12958	--	--	--	H
Trajnost Durability		H	H	H	H
Otpornost na atmosferske uticaje Resistance to weathering	EN 12224	A	A	A	A
Otpornost na hemijsko starenje Resistance to chemical ageing	ENV ISO 12960 EN ISO 13438 ENV 12447	S	S	S	S
Otpornost na mikrobiološko raspadanje Resistance to microbiological degradation	EN 12225	S	S	S	S

Legenda:

H - zahtevano za harmonizaciju

A/A - relevantno za sva područja primene

A/A - relevantno za sva specifična područja primene

-- - nije relevantno za ovo područje primene

a - treba uzeti u obzir da možda nije moguće odrediti parametre za neke vrste proizvoda

b - ako su mehanička svojstva (zatezna i probodna čvrstoća) označena slovom „H“ proizvođač će koristiti oba dokaza.

Tabela 8.1.4.6 Minimalna svojstva deklarirana na proizvodnom listu

		Jedinica	Standard
Podaci o proizvodu	Opisna svojstva Proizvođač ili dobavljač Naziv proizvoda Vrsta proizvoda Garancija za proizvod Sirovina Nominalna površinska masa Debljina pod pritiskom 2 i 200 kN/m ² Širina/širina i dužina rolne	g/m ² mm m	EN 965
Mehaničke osobine	Čvrstoća na zatezanje Istezanje Čvrstoća prilikom istezanja (2, 5, 10 %...) Otpornost na proboj CBR Otpornost na proboj konusom	kN/m % kN/m kN mm	EN ISO 10319 EN ISO 12 958 EN 12 236 EN 13433
Hidraulična svojstva	Karakteristični otvor pora Propusnost, normalno u odnosu na površinu bez opterećenja	μ m/s	EN ISO 12956 EN ISO 11 058
		Jedinica	Standard
Trajnost	UV svetlost Prirodne kiseline i alkalije Otpornost na oksidaciju Hemijska otpornost Mikrobiološka otpornost		EN ISO 13438 EN 14 030 EN 12225
Pogoji nabavke i skladištenja	Prema uputstvu proizvođača		

Tabela 8.1.4.7: Najveći dozvoljeni period izloženosti spoljašnjim uticajima po EN 13249

Primena	Preostala čvrstoća	Maksimalno vreme izloženosti nakon ugradnje
Armiranje i druge primene kod kojih je čvrstoća bitan parametar	> 80 % 60% – 80 % < 60 %	jedan mesec ^a dve sedmice jedan dan
Druge primene	> 60 % 60% – 80 % < 20%	jedan mesec ^a dve sedmice jedan dan

Metoda EN 12224. ^a može da se produži do četiri meseca, u zavisnosti od sezone i lokacije

8.1.4.5.2.2 Funkcionalnost u periodu od pet godina

Geosintetici napravljeni od PET, PE, PA 6 ili PA 6.6 i njihovih kombinacija koji ne sadrže dodatke iz reciklaže mogu se smatrati postojanim tokom veka funkcionalnosti u trajanju od pet godina u sledećim slučajevima:

- kada čvrstina nema bitan parametar (nemaju ulogu armature),
- kada je pH zemljišta između 4 i 9,
- kada su temperature tla manje od 25°C.

8.1.4.5.2.3 Funkcionalnost u periodu od 25 godina

Geosintetici napravljeni od poliestra (PET), polietilena (PE), poliamida (PA) 6 ili (PA 6.6) i njihovih kombinacija i ne sadrže dodatke iz

reciklaže mogu se smatrati postojanim tokom veka funkcionalnosti u trajanju od 25 godina u sledećim slučajevima:

- kada čvrstina nije bitan parametar (nemaju ulogu armature),
- kada je pH zemljišta između 4 i 9,
- kada su temperature tla manje od 25°C,
- kada se na proizvodu ili pojedinačnim elementima proizvoda izvrše specijalna ispitivanja navedena u nastavku ili ako postoje uporediva iskustva.

Uslovi i zahtevi su detaljno opisani u EN 13249.

Geosintetici napravljeni od poliestra moraju da budu testirani na hidrolizu po EN 12447. Minimalna preostala čvrstoća mora da bude 50 %. Prema proceni, preostala čvrstoća bi morala da iznosi 95 % na temperaturi 25°C, 90 % na 30°C i 80 % na 35°C.

Geosintetici napravljeni od polipropilena i polietilena moraju da budu testirani na otpornost na oksidaciju po EN ISO 13438. Minimalna preostala čvrstoća mora da bude 50 %.

Geosintetici od poliamida (PA 6) ili (PA 6.6) moraju da budu testirani na otpornost na oksidaciju po EN ISO 13438 i na hidrolizu po EN 12 447. Minimalna preostala čvrstoća mora da bude 50 % u oba slučaja.

8.1.4.5.2.4 Funkcionalnost u periodu dužem od 25 godina

U ovom slučaju je osim zahteva prikazanih u t. 8.1.4.3.2.3 potrebno da se proceni otpornost na uticaje mikroorganizama po EN 12 225. Naročito treba biti obazriv u slučajevima kada su temperature tla veće od 25°C, u veoma kiselim ili veoma alkalnim zemljištima i u zemljištima od otpadnih materijala, naročito ako sadrže amonijumske soli. Ostali zahtevi ostaju isti. Nije preporučljivo korišćenje geosintetika od recikliranih materijala za sve primene za koje se predviđa vek funkcionalnosti duži od pet godina.

U odnosu na zahtevnost objekta ili specifične uslove sredine, kod geosintetika za armiranje se zahtevaju dodatna istraživanja koja nisu predmet prethodno navedenih standarda.

8.1.4.5.3 Ispitivanje geosintetika

Ispitivanje geosintetika se odvija na tri nivoa ispitivanja i to:

- ispitivanje indeksnih svojstava uključuje standardne postupke ispitivanja proizvoda

za definisanje njihovih fizičkih, mehaničkih i hidrauličnih svojstava,

- ispitivanje u okviru kontrole kvaliteta uključuje brze testove za proveru usklađenosti i sledljivosti proizvoda: na primer proveru debljine, površinske mase itd,
- ispitivanje za potrebe određivanja svojstva orijentisanih na uslove primene uključuje laboratorijsko ispitivanje geosintetika u kontaktu sa zemljištem po standardnim postupcima u laboratoriji sa ciljem da se odrede svojstva koja nije moguće definisati indeksnim svojstvima, na primer određivanje čvrstoća smicanja kontakta zemlja/geosintetik. U posebnim slučajevima izvode se i pilot ispitivanja na terenu.

8.1.4.5.4 Potvrđivanje usklađenosti

Potvrđivanje usklađenosti proizvoda sa deklarisanim svojstvima obuhvata:

- kontrolu oznaka i oznaka na etiketi koje moraju da budu u skladu sa EN ISO 10320,
- kontrolu usklađenosti svojstava koja se određuju na dva uzorka uzeta iz dve različite rolne. Uzorkovanje mora da se odvija prema EN 963.

Za kontrolu usklađenosti obavljaju se samo oni testovi koji su u tabeli 8.1.4.5 obeleženi slovom „H“ u odnosu na planiranu primenu. Za testove postojanosti se uzimaju u obzir odredbe opisane u t. 8.1.4.5.2.

8.1.4.6 Reduktivni faktori za geosintetike

Faktor sigurnosti geosintetika $F(G)$ je odnos između proizvodne i testom određene vrednosti geosintetika i numeričke vrednosti, određene izračunom za zadata svrhu korišćenja:

$$F_{(G)} = \frac{\text{testirano svojstvo}}{\text{zahtevano svojstvo}} \quad (8.1.4.1)$$

Testirano svojstvo: svojstvo, određeno u laboratoriji ili u testu na terenu koje imitira određenu situaciju

Zahtevano svojstvo: numerička vrednost, određena projektnom kalkulacijom.

Kod izbora računskih vrednosti materijalnih svojstava geosintetika, a što naročito važi za armaturne geosintetike, treba uzeti u obzir kompatibilnost zemljišta i geosintetika,

naročito kompatibilnost deformacija. Geosintetik, na primer, može da razvije određenu vrednost zatezne čvrstine kod vrlo velike deformacije, na području gde se zemljište već urušava. Planiranje geosintetika koje ne uzima u obzir kompatibilnost materijala i njihovih zahteva, tako može da bude, bez obzira na velike troškove, bez efekta, a može da bude i štetno za objekat, ako kalkulacije nisu bile zasnovane na ispravnim pretpostavkama.

Kod planiranja geosintetika treba uzeti u obzir i to da su uslovi kojima je geosintetik izložen u vreme ugradnje često agresivniji od uslova kojima će biti izložen u vreme vršenja funkcije u objektu. Zato kod planiranja radova sa geosinteticima treba uzeti u obzir sve relevantne uticaje okruženja i uslove ugradnje i odrediti ih pomoću zahtevanih svojstva geosintetika koje su zaokružene u sledeće glavne grupe svojstva:

- fizička svojstva
- mehanička svojstva
- hidraulička svojstva
- svojstva, povezane sa trajnošću i otpornošću (oštećenja prilikom polaganja, klizanje, abrazija itd.)
- svojstva, povezane sa raspadom zbog uticaja okruženja (temperatura, hemijski i biološki uticaji, starenje itd).

Pošto se svojstva geosintetika određuju u idealizovanim uslovima laboratorijskog okruženja, prilikom planiranja korišćenja se obično uzimaju u obzir redukovane vrednosti. Veličina reduktivnog faktora zavisi od svrhe korišćenja, kritičnosti aplikacije i stečenog iskustva. U tabeli 8.1.4.8 date su preporučene vrednosti reduktivnih faktora za različite svrhe korišćenja po Kerneru (1999).

Švajcarski priručnik (Riger i Hufenus, 2003) prilagođava reduktivne faktore vrsti proizvoda i tipu zemljišta sa kojim geosintetici dolaze u kontakt. Reduktivni faktori za puzanje (creep), oštećenja prilikom ugradnje i trajnost prikazani su u tabeli 8.1.4.9. Iz poređenja podataka vidimo da su zahtevi po Kerneru konzervativniji. Treba je napomenuti, da različiti evropski pravilnici uzimaju različite reduktivne faktore i da to područje na nivou evrokoda EC 7 još nije obrađeno.

Kako bi premostili razliku između parametara dobijenih u idealizovanim laboratorijskim uslovima testiranja i projektnih parametara za potrebe geotehničke kalkulacije, moguća su dva pristupa, i to:

- posle izvedene kalkulacije i određivanja potrebne zatezne čvrstine (propusnosti, čvrstine spoja), izračunata vrednost se množi sa visokim faktorom sigurnosti, ili
- primenjuju se reduktivni faktori na laboratorijski određene parametre.

Prilikom rešavanja problema, povezanih sa čvrstinom i armaturnim geosinteticima, određivanje dozvoljene zatezne čvrstine armaturnog sintetika dobija sledeći oblik:

$$T_{dop} = T_{min} / \prod RF \quad (8.1.4.2)$$

gde su:

$\prod RF$ = proizvod parcijalnih reduktivnih faktora za (a)-oštećenja, (b)-puzanje, (c)-hemijsku i (d)-biološku degradaciju, kao što su dati u tabeli 8.1.4.8, odnosno za klizanje, oštećenja tokom ugradnje i trajnost, kao što su dati u tabeli 8.1.4.9.

Tabela 8.1.4.8: Preporučene vrednosti reduktivnih faktora za korišćenje armaturnih geosintetika (Kerner, 1999)

Primena	Reduktivni faktori			
	Oštećenja prilikom ugradnje	Puzanje	Hemijska degradacija	Biološka degradacija
- odvajanje	- 2.5	1.5 – 2.5	- 1.5	- 1.2
- makadamski putevi	- 2.0	1.5 – 2.5	- 1.5	- 1.2
- potporne konstrukcije	- 2.0	2.0 – 4.0	- 1.5	- 1.3
- nasipi	- 2.0	2.0 – 3.5	- 1.5	- 1.3
- nosivost	- 2.0	2.0 – 4.0	- 1.5	1.0 – 1.3
- stabilizacija kosina	1.1 – 1.5	2.0 – 3.0	1.0 – 1.5	1.0 – 1.3

Tabela 8.1.4.9: Preporučene vrednosti reduktivnih faktora za korišćenje armaturnih geosintetika (Riger i Hufenus, 2003.)*

Vrsta proizvoda	Polimer	Puzanje	Oštećenja prilikom ugradnje			Trajnost
			glina, pesak	šljunak	lomljeni kamen	
Razvučena ekstrudirana mreža - dvosmerna - jednosmerna	PP	2,5 – 3,5	1,0 – 1,2	1,1 – 1,3	1,2 – 1,5	1,0 – 1,1
	HDPE	2,0 – 3,0	1,0 – 1,1	1,1 – 1,2	1,2 – 1,4	1,0 – 1,1
Položena mreža	PET	1,5 – 2,0	1,0 – 1,1	1,0 – 1,1	1,0 – 1,2	1,0 – 1,1
	PP	2,5 – 3,5	1,0 – 1,1	1,0 – 1,1	1,0 – 1,2	1,0 – 1,1
Pletena mreža	PET	1,7 – 2,5	1,0 – 1,1	1,1 – 1,2	1,2 – 1,3	1,0 – 1,1
	AR	1,7 – 2,5	1,0 – 1,1	1,0 – 1,3	1,2 – 1,4	1,0 – 1,1
Višenitna tkanina	PET	1,7 – 2,5	1,0 – 1,1	1,1 – 1,2	1,2 – 1,4	1,0 – 1,2
	PP	2,5 – 3,5	1,0 – 1,2	1,2 – 1,4	1,3 – 1,5	1,0 – 1,2
Jednonitna tkanina	PE	2,5 – 3,5	1,0 – 1,2	1,2 – 1,4	1,3 – 1,5	1,0 – 1,2
Trakasta tkanina	PP	2,5 – 3,5	1,0 – 1,2	1,2 – 1,4	1,3 – 1,5	1,0 – 1,2
Filc	PP	3,0 – 3,5	1,0 – 1,1	1,1 – 1,3	1,2 – 1,4	1,1 – 1,2
	PET	2,0 – 2,5	1,0 – 1,1	1,1 – 1,3	1,2 – 1,4	1,1 – 1,2

* U nepovoljnim uslovima reduktivni faktori se povećavaju na puzanje za vrednost 0,5 do 1, dakle umesto 3,5 na 4,5; na oštećenja kod ugradnje za 0,1, dakle umesto 1,2 na 1,3 i na trajnost za 0,1, dakle umesto 1,1 na 1,2.

Kod rešavanja drugih inženjerskih problema, izraz (8.1.4.2) dobija drugačiji oblik. Kod planiranja geosintetika za, na primer, potrebe planiranja kontrolisanja toka vode, zapišaćemo:

$$q_{dop} = q_{max} / \prod IRF \quad (8.1.4.3)$$

gde su:

$\prod IRF$ - proizvod parcijalnih reduktivnih faktora za (a)-kulmataciju, (b)-postepeno smanjivanje porne zapremine, (c)-intruziju susednih materijala, (d)-hemijsku i (e)-biološku degradaciju ili kulmataciju, kao što su dati u tabeli 8.1.4.10, q_{dop} = dozvoljena provodljivost vode.

Inženjer koji se odlučuje za korišćenje geosintetika, mora da poznaje specifične zahteve projekta i specifične zahteve okruženja i da njima prilagođava metode projektne kalkulacije i dimenzionisanja izabranog geosintetika.

Za planiranje sa geosinteticima nije dovoljna projektna kalkulacija kojom se određuju, na primer, razmak između traka, dužina traka i potrebna čvrstoća na zatezanje traka. Potrebno je precizno odrediti materijal, sa posebnim osvrtom na puzanje, na uslove okruženja, polaganja i očekivani životni vek.

Tabela 8.1.4.10: Preporučene vrednosti reduktivnih faktora za korišćenje geosintetika u vezi sa sposobnošću provođenja vode (Kerner, 1999.)

Primena*	Kulmatacija	Postepeno smanjivanje pora	Intruzije	Hemijska kulmatacija	Biološka kulmatacija
Filteri iza zidova	2.0 – 4.0	1.5 – 2.0	1.0 – 1.2	1.0 – 1.2	1.0 – 1.3
Filteri iza drenaža	5.0 – 10	1.0 – 1.5	1.0 – 1.2	1.2 – 1.5	2.0 – 4.0
Filteri za kontrolu erozije	2.0 – 10	1.0 – 1.5	1.0 – 1.2	1.0 – 1.2	2.0 – 4.0
Gravitacione drenaže	2.0 – 4.0	2.0 – 3.0	1.0 – 1.2	1.2 – 1.5	1.2 – 1.5
Kompresione drenaže	2.0 – 3.0	2.0 – 3.0	1.0 – 1.2	1.1 – 1.3	1.1 – 1.3

* Posebni faktori sigurnosti važe za deponije otpadaka, veoma alkalne ili drugačije hemijski ili mikroorganizmima bogate vode, agresivno zemljište itd.

EBGEO (2009) određuje reduktivne faktore za armaturne geosintetike, koji su različiti za proizvode, čijih je kvalitet potvrđen odgovarajućim opitima i za proizvode, koji nemaju odgovarajućih sertifikata. U drugom primeru određeni reduktivni faktori za puzanje (A_1) su dati u tabeli 8.1.4.11, a ostali reduktivni faktori iznose:

A_2 na transport, ugradnju i zgušnjavanje (min. 1,5 za finoznasta i min. 2 za krupnoznasta zemljišta)

A_3 na spojeve i obradu spojeva

A_4 na mikrobiološke i biološke uticaje (u zavisnosti od vrste geosintetika, od 2 do 3,3)

A_5 na dinamičke uticaje, kao što su uticaji mašina, eksplozija, saobraćaja, vetra, snežnih lavina, vode.

Vrednosti reduktivnog faktora A_1 po EBGEO (2009) za različite vrste polimera prikazane su u tabeli 8.1.4.11. U tabeli 8.1.4.11a dat je primjer kalkulacije potrebne zatezne čvrstoće na kratko vreme po EBGEO.

Tabela 8.1.4.11: Reduktivni faktori A_1 za armaturne geosintetike po EBGEO (2009.)

Vrsta materijala	A_1 od	A_1 do	A_1 za proizvode koji nisu odgovarajuće testirani
Aramid	1,5	2,0	3,5
Poliamid	1,5	2,0	3,5
Polietilen	2,0	3,5	6,0
Poliester	1,5	2,5	3,5
Polipropilen	2,5	4,0	6
Polivinilalkohol	1,5	2,5	3,5

Tabela 8.1.4.11a: Primjer kalkulacije potrebne zatezne čvrstoće armaturnog geosintetika po EBGEO (2009.)

Materijal	Pletena mreža PET	Ekstrudirana mreža HDPE
Projektna zatezna čvrstoća na dugo vreme, LTDS	40 kN/m	40 kN/m
Potrebna čvrstoća na dugo vreme, LTTS; $\gamma_M = 1,4$	56 kN/m	56 kN/m
Čvrstoća na zatezanje, STTS	97 kN/m	128 kN/m
$RF_{puzanje}$	1,5	2,15
$RF_{instalacija}$	1,12	1,06
$RF_{spojevi}$	1	1
$RF_{okolina}$	1,03	1
ΠRF	1,73	2,28

*LTDS-long term design strength; LTTS-long term tensile strength, STTS–short term tensile strength – data je u specifikaciji proizvoda

8.1.4.7 Osobine tla prilikom planiranja sa geosinteticima

8.1.4.7.1 Opšte

Osobine temeljnog tla i nasipnog materijala su od odlučujućeg značaja prilikom planiranja radova sa geosinteticima za sve svrhe primene. Kod filterskih i drenažnih

geosintetika veoma su bitne hidrauličke osobine (k , $d_{max.}$, d_{60} , d_{10} , i) dok su kod armaturnih geosintetika i geosintetika za odvajanje važne osobine čvrstoće u nedreniranom i dreniranom stanju (c_u , ϕ' , c' , CBR, E_{v2}), a kod svih svrha primene važne su osobine koje utiču na uslove preživljavanja geosintetika tokom ugradnje i u vreme korišćenja (granulometrijski sastav, plastičnost, oblik i hrapavost zrna, pH,

čvrstoća, u posebnim uslovima i hemijski sastav porne vode).

Podaci o sastavu i karakterističnim osobinama temeljnog tla i nasipnih materiala moraju da se nalaze u geološko-geotehničkom izveštaju pre početka planiranja radova za korišćenje geosintetika. U slučajevima kad materijali nisu istraženi, karakteristični podaci o slojevima mogu se proceniti na osnovu makroskopskog opisa tla, prethodnog iskustva i uz korišćenje podataka, predstavljenih u t. 8.1.4.7.2.

8.1.4.7.2 Granulometrijski sastav

Granulometrijski sastav određuje se opisno, na osnovu pregleda zrnastog materijala i

prosejavanjem na sitima. Prilikom pregleda treba proveriti:

- veličinu najvećeg zrna odnosno velikih zrna
- oblik zrna (kockast, pločast, loptast, klinast, sa oštrim, poluzaobljenim i zaobljenim ivicama, ljuskast)
- gradaciju ili sortiranost (u materijalu su prisutna zrna svih veličina, prisutne su samo određene frakcije zrna, preovlađuje samo jedna veličina zrna).

U tabeli 8.1.4.12 su prikazani standardni nazivi tla s obzirom na veličinu zrna.

Tabela 8.1.4.12: Standardni naziv tla u odnosu na zrnastost

Ime		Veličina (mm)	
Krupno- zrnasto tlo	Blokovi	> 200	
	Krš, kugle	60 - 200	
	Šljunak (G)	krupan	20 - 60
		srednji	6 - 20
		sitan	2 - 6
	Pesak (S)	krupan	0,6 - 2
srednji		0,2 - 0,6	
sitan		0,06 - 0,2	
Sitno - zrnasto tlo	Prašina (M)	krupan	0,02 - 0,06
		srednji	0,006 - 0,02
		sitan	0,002 - 0,006
	Glina (C)	< 0,002	

Prilikom opisivanja zrna za potrebe planiranja sa geosinteticima, uz opis zrna veličine preko 2 mm obavezno treba navesti oblik zrna (kockast, klinast, zaobljen...) i stepen gradacije. Precizan stepen gradacije određuje se –na osnovu granulometrijskog sastava i proračunom vrednosti koeficijenta neravnomernosti (C_u) i koeficijenta zrnastosti (C_c).

Prilikom opisivanja veličine zrna prašine i sitnog peska treba obavezno navesti stepen gradacije pošto je prašina veoma opasna za ispiranje.

Tlo se obeležava simbolima u skladu sa USCS klasifikacijom: šljunak (G), pesak (S), prašina (M) i glina (C). Gradacija debelozrnastih zemljišta obeležava se drugim

simbolom: dobro granulisan (W), slabo granulisan (P), prašinst (M) i glinast (C).

8.1.4.7.3 Plastičnost

Plastičnost tla procenjuje se makroskopski i na osnovu ispitivanja plastičnosti. Makroskopski se plastičnost procenjuje posmatranjem ponašanja komada koji izrađujemo od navlaženog tla i koji dlanovima oblikujemo u valjak. Ukoliko navlaženo tlo dozvoljava da se formira u valjak, a valjci ostanu dugi do 2 cm, material je plastičan, u suprotnom nije.

Plastičnost materijala tla se detaljno određuje laboratorijskim ispitivanjem. Merilo za procenu plastičnosti je indeks plastičnosti (I_p). Visoko plastična su tla koja imaju $I_p > 20$

%, plastična imaju I_p između 7 i 20 %, a neplastična i vrlo nisko plastična imaju $I_p < 7$ %.

Plastičnost tla se obeležava i u simbolu, korišćenjem (L) za nisko plastična i (H) za visoko plastična tla.

Uopšteno važi da plastična i visokoplastična tla nisu odgovarajuća za korišćenje u kontaktu sa geosinteticima za armirane nasipe i za potporne konstrukcije od armiranog tla.

8.1.4.7.4 Hidrauličke osobine

Hidrauličke osobine tla određuju se ispitivanjem ili se procenjuju iz krive zrnivosti. Daju se u formi koeficijenta propusnosti (k) u cm/s ili m/s.

Iz krive zrnivosti koeficijent propusnosti može da se proceni upotrebom empirijske jednačine 8.1.4.4.

$$k = 1,16 \times d_{10}^2 \quad (8.1.4.4)$$

gde se
d daje u mm, a
k je vrednost u cm/s.

Prilikom planiranja sa geosinteticima, hidrauličke osobine se daju i kao permitivnost i transmisivnost:

$$\text{Permitivnost: } \psi = k/t \text{ (s}^{-1}\text{)} \quad (8.1.4.5)$$

$$\text{Transmisivnost: } \Theta = k \cdot t \text{ (m}^2\text{/s)} \quad (8.1.4.6)$$

gde je
t- debljina u (m) i
k- koeficijent propusnosti u m/s.

8.1.4.7.5 Karakteristike sloja s obzirom na čvrstoću

Za potrebe planiranja radova sa geosinteticima, naročito kod dimenzionisanja geosintetika za odvajajuće i ojačavajuće slojeve na mekom tlu, tlo je razvrstano u 5 klasa čvrstoće, kao što je dato u tabeli 8.1.4.13.

Tabela 8.1.4.13 Klase čvrstoće tla

Nosivost	Klasa	CBR (%)	E_{v2} (MN/m ²)	c_U (kN/m ²)
-		1		< 12
Vrlo mala	S ₀	≤ 3	≤ 10	12 - 40
Mala	S ₁	3 - 5	10 - 20	40 - 80
Srednja	S ₂	5 - 10	20 - 60	80 - 120
Visoka	S ₃	10 - 15	60 - 80	> 150

8.1.4.7.6 Hidrauličke osobine i osobine čvrstoće glavnih grupa tla i njihovi uticaji na geosintetik

Orijentacione vrednosti osobina čvrstoće i hidrauličkih osobina glavnih grupa tla prikazane su u tabeli 8.1.4.14. Za detaljnije kalkulacije i odluke potrebna su odgovarajuća geotehnička ispitivanja.

Osobine tla odlučujuće utiču na izbor i dimenzionisanje geosintetika. U tabeli 8.1.4.15 je prikazano koji parametri tla utiču na izbor geosintetika za specifične svrhe primene.

8.1.4.8 Planiranje geosintetika za odvajanje

8.1.4.8.1 Oblast i svrha primene

Geosintetici koji se koriste za odvajanje, sprečavaju mešanje dve različite vrste materijala. Odvajanje, a time i sprečavanje mešanja različitih materijala može da se vrši na različitim nivoima putne konstrukcije:

- između glinastog temeljnog tla i nadogradnje sa nasipom, između temeljnog tla i povozne podloge ili između temeljnog tla i kolovozne konstrukcije
- između nasipa i kolovozne konstrukcije
- između slojeva stare i nove konstrukcije.

Geosintetici za odvajanje sprečavaju utiskivanje kamenih zrna u mekšu podlogu i

prodiranje sitnih zrna iz podloge nagore u kamene slojeve konstrukcije. Osnovna svrha korišćenja geosintetika za odvajanje je očuvanje planirane debljine, kvaliteta i homogenosti ugrađenih slojeva iz kamenog agregata.

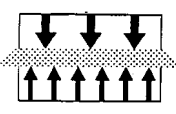
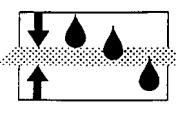

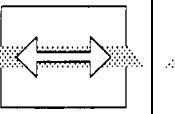
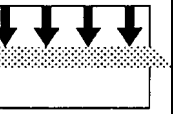
Uloga geosintetika za odvajanje može da bude i filtriranje i dreniranje. Za odvajanje se najviše koriste geotekstili.

Tabela 8.1.4.14: Orijentacione vrednosti gustine, drenirane čvrstoće smicanja i propusnosti za glavne grupe tla

Oznaka USCS*	Opis tla	Okvirne osobine			
		ρ kg/m ³	φ' °	c' kPa	k m/s
GW	dobro granulisan šljunak	20 - 24	38 - 42	0	5E-04...5E-02
GP	slabo granulisan šljunak	20 - 23	35 - 38	0	5E-04...5E-02
GM	prašinsto i prašinsto peskoviti šljunak	21 - 24	34 - 38	0	5E-08...5E-06
GC	glinoviti šljunak	20 - 23	30 - 34	0 - 5	5E-09...5E-06
SW	dobro granulisan pesak	19 - 21	36 - 40	0	5E-05...5E-04
SP	slabo granulisan pesak	18 - 21	34 - 38	0	5E-05...5E-03
SM	prašinsto pesak	19 - 21	27 - 32	0 - 5	5E-08...5E-06
SC	glinovit pesak	18 - 22	27 - 30	0 - 5	5E-09...5E-06
ML	neorganska prašina i vrlo sitan pesak	18 - 21	27 - 32	0 - 5	5E-09...5E-06
MH	neorganska plastična prašina	16 - 18	22 - 27	0 - 10	1E-10...1E-08
CL	peskovita i prašinsto glina	19 - 21	23 - 28	0 - 10	5E-10...5E-08
CH	masna glina	17 - 20	18 - 22	0 - 20	1E-10...1E-07
OL	organska prašina	16 - 18	20 - 28	0 - 5	5E-09...5E-07
OH	organska glina i prašina	14 - 17	12 - 24	0 - 10	5E-10...5E-07
Pt	treset	8 - 13	10 - 30		

* Vrednosti su isključivo orijentacione, date samo za glavne grupe tla. Za mešovite materijale kao što su npr. GC – GM, GC – CL itd., treba koristiti smislaono prilagođene vrednosti.

Tabela 8.1.4.15: Pregled glavnih parametara geološkog okruženja koji utiču na izbor geosintetika

Uloga →	Odvajanje	Filtriranje	Dreniranje	Ojačanje	Zaštita
Uticaji ↓					
Tlo - glavni - pomoćni	Z, k, E_v , $S_{0..4}$ CBR, c_u	Z, k, $S_{0..4}$ E_v , CBR, c_u	Z, k, $S_{0..4}$ E_v , CBR, c_u	Z, φ' , c' , E_v CBR, c_u , D	Z, φ' Oblik zrna
Voda - glavni - pomoćni	pritisak, protok hemizam	pritisak, gradijent hemizam	pritisak, gradijent, protok hemizam	protok hemizam	
Opterećenja	Normalna	Normalna	Normalna	Zatezna normalna	Normalna, interakcija zemljište geosintetik
Osobine geosintetika	Čvrstoća na zatezanje Rastezanje Probodna čvrstoća Otvor pora Propusnost Trajnost ROBUSNOST	Otvor pora Propusnost pravougaono na površinu Čvrstoća na zatezanje Rastezanje Probodna čvrstoća Trajnost	Otvor pora Propusnost paralelno i pravougaono na površinu Čvrstoća na zatezanje Stišljivost pod opterećenjem Trajnost	Čvrstoća na zatezanje Rastezanje Puzanje Propusnost Interakcija sa zemljištem Trajnost	Probodna čvrstoća i otpornost Čvrstoća na zatezanje Rastezanje Trajnost

Značenje oznaka u tabeli je sledeće:

Z – granulometrijski sastav, oblik zrna

k – koeficijent propusnosti (m/s)

E_v – deformacioni modul sloja, izmeren postupkom sa kružnom pločom ili procenjen (MN/m^2)

$S_{0..4}$ – klasa podloge, procenjena na osnovu nosivosti sloja, vidi tabelu 7.2

CBR – kalifornijski indeks nosivosti (%),

D – zapreminska masa

c_u – nedrenirana čvrstoća pri smicanju (kN/m^2)

φ' – ugao smicanja u dreniranim uslovima ($^\circ$),

c' – kohezija u dreniranim uslovima (kN/m^2)

8.1.4.8.2 Osobine podloge na kojoj je korišćenje geosintetika za odvajanje efikasno

Korišćenje geosintetika za odvajanje najefikasnije je u sledećim slučajevima:

- kad su u podlozi sitnozrnata tla ili tla iz grupe glinastih peskova i glinastog šljunka, prašine, gline, organskih glina i treseta: GC, SC, ML, MH, CL, CH, OL, OH i Pt
- kad je nedrenirana čvrstoća temeljnog tla mala: $\tau_u = c_u < 90 \text{ kPa}$; CBR < 3 %

- pri visokim nivoima podzemne vode
- kod veoma osetljivih materijala.

U navedenim slučajevima geosintetik za odvajanje deluje kao sloj za odvajanje i filtriranje, poboljšava uslove gradnje, delimično ojačava podlogu i održava stabilan spoj između dva sloja.

S obzirom na granične nedrenirane čvrstoće pri smicanju $c_u < 90 \text{ kPa}$, pri kojima je korišćenje geosintetika za odvajanje još uvek efikasno, može da se zaključi da je korišćenje geosintetika kod polučvrstih i

čvrstih sitnozrnatih materijala nepotrebno. Ipak, neki prekonsolidovani materijali koji su u prirodnom stanju u čvrstoj konzistenciji, veoma su osetljivi na izmenjene uslove vlage i napona i mogu brzo da izgube čvrstoću. Zato pri planiranju geosintetika za odvajanje treba uzeti u obzir različite aspekte uticaja, a ne samo aspekt nedrenirane čvrstoće ili sastava tla.

8.1.4.8.3 Dimenzionisanje geosintetika za odvajanje

8.1.4.8.3.1 Osnove

Na izbor geosintetika za odvajanje utiču:

- nosivost podloge
- vrsta nasipnog materijala
- saobraćajno opterećenje.

Podloga može da bude prirodno temeljno tlo ili nasuti slojevi. S obzirom na nosivost, podloge se razvrstavaju u klase, navedene u tabeli 8.1.4.16.

Nasipni materijali su, s obzirom na veličinu i zaobljenost zrna, razvrstani u tri klase, i to

- klasa A: materijali sa zaobljenim ili okruglim zrnima prečnika < 150 mm: obluci i kugle,
- klasa B: materijali sa zrnima sa oštrim ivicama prečnika < 150 mm: drobljeni i lomljeni kamen,
- klasa C: ostali materijali: različiti mešoviti zemljani materijali, sekundarne sirovine itd.

Tabela 8.1.4.16: Razvrstavanje podloge s obzirom na nosivost i deformabilnost

Nosivost	Klasa*	CBR (%)	E_{v2} (MN/m ²)
vrlo mala	S ₀	≤ 3	≤ 10
mala	S ₁	3 - 5	10 - 20
srednja	S ₂	5 - 10	20 - 60
visoka	S ₃	10 - 15	60 - 80

* Kada je nosivost podloge S₃ ili veća, slojevi za odvajanje od geosintetika po pravilu nisu potrebni, kada se radi u neosetljivim,

inertnim materijalima. Ako se geosintetici koriste, za njih se primenjuju odredbe koje važe za klasu nosivosti S₂.

Opterećenja transportnim vozilima kojima je za vreme gradnje izložen geotekstil, razvrstana su u dve klase ukupnog opterećenja transportnog vozila:

- < 500 MN i
- > 500 MN.

8.1.4.8.3.2 Određivanje osobina geosintetika za odvajanje

Za određivanje osobina geosintetika za odvajanje treba:

- obezbediti podatke o vrsti i osobinama tla u podlozi,
- odrediti vrste nasipnog materijala i
- odrediti:
 - opterećenje kojem će geosintetik biti izložen
 - mehaničke osobine geosintetika
 - hidrauličke osobine geosintetika
 - minimalne zahtevane uslove za ugradnju.

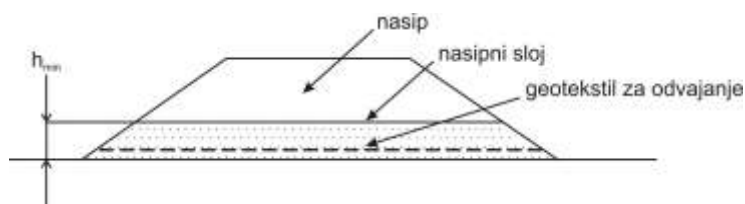
8.1.4.8.3.3 Opterećenje geosintetika za odvajanje

Minimalna debljina nasipnog sloja na geosintetik za odvajanje zavisi od nosivosti podloge i ona je

- na osnovu klase S₀ : $h_{min} = 50$ cm
- na osnovu klase S₁ : $h_{min} = 40$ cm
- na osnovu klase S₂ : $h_{min} = 30$ cm

8.1.4.8.4 Mehaničke osobine geosintetika za odvajanje

Minimalni zahtevi za mehaničke osobine geotekstila za slojeve za odvajanje navedene su u tabeli 8.1.4.17 kao minimalne zahtevane vrednosti zatezne čvrstoće (T_{min}) pri minimalnom rastezanju $\epsilon_{min} \geq 30$ %. U slučaju korišćenja geosintetika kod kojih je $\epsilon_{min} \leq 30$ %, u tabeli 8.1.4.17 naveden je zahtev za minimalni zahtevani proizvod $(T \times \epsilon)_{min}$ koji je izražen kao $(T \times \epsilon)_{min} \geq T_{min} \times 30$ (kN/m.%).



Slika 8.1.4.15: Prikaz gradnje nasipa korišćenjem geosintetika za odvajanje (h_{min} je minimalna zahtevana debljina nasipnog sloja)

Tabela 8.1.4.17: Minimalni zahtevi za zateznu čvrstoću i istezanje u poprečnom i uzdužnom smeru za geotekstile za odvajanje, određeni postupkom EN ISO 10319

Podloga	Minimalna debljina nasipnog sloja	Mehanička svojstva materijala	Saobraćajno opterećenje					
			< 500 MN			> 500 MN		
			Vrsta nasipnog materijala					
A	B	C	A	B	C			
S ₀	0,5 m	T _{min} (kN/m)	12	14	16	14	16	18
		(Tx ε) _{min} (kN/m.%)	360	420	480	420	480	540
S ₁	0,4 m	T _{min} (kN/m)	10	12	14	12	14	16
		(Tx ε) _{min} (kN/m.%)	300	360	420	360	420	480
S ₂	0,3 m	T _{min} (kN/m)	6	8	10	8	10	12
		(Tx ε) _{min} (kN/m.%)	180	240	300	240	300	360

* Saobraćajno opterećenje MN znači celokupno saobraćajno opterećenje u vreme saobraćaja po podlozi bez vezanog nosećeg sloja. Opterećenje < 500 MN odgovara opterećenju približno 1800 teških teretnih vozila (ev. sa prikolicom) sa ukupnom masom 28 t (ukupno opterećenje približno 35.000 t) a opterećenje > 500 MN odgovara opterećenju približno 1250 polupriklopnih vozila sa ukupnom masom 40 t (ukupno opterećenje približno 37.500 t)

Za prihvaćene klase nasipnih materijala geosintetik – geotekstil mora, osim vrednosti zatezne čvrstoće, pripadajućeg rastezanja i energijske apsorpcije koji su dati u tabeli 8.1.4.1.7, da ispunjava i kriterijume u pogledu otpornosti na statičko i/ili dinamičko probijanje. Otpornost na probijanje treba odrediti postupkom dinamičkog probojnog testa (cone drop test) prema EN 13433. Prečnik otvora O_d koji u geotekstilu napravi konus, sme da iznosi

- za nasipni materijal A: O_d < 35 mm,
- za nasipni materijal B: O_d < 30 mm,
- za nasipni materijal C: O_d < 25 mm.

Za određivanje otpornosti na probijanje alternativno se može da se upotrebi i statički test probijanja sa klipom (CBR) prema EN ISO 12 236. Minimalna sila, potrebna za proboj, sme da iznosi

- za nasipni materijal A: F_p > 1500 N
- za nasipni materijal B: F_p > 2000 N
- za nasipni materijal C: F_p > 2500 N.

8.1.4.8.5 Hidrauličke osobine geosintetika za odvajanje

Geosintetici za odvajanje, osim glavne uloge odvajanja, vrše i sekundarnu ulogu filtriranja. Minimalni zahtevi za hidrauličke osobine geosintetika za odvajanje navedeni su u tabeli 8.1.4.18.

Tabela 8.1.4.18: Minimalni zahtevi za hidrauličke osobine geosintetika za odvajanje

Materijal u podlozi	Klasifikacija USCS	Karakteristična veličina pora O ₉₀ (mm) (po EN 12956)	Minimalna propusnost k _G (m/s)* (prema E – DIN 60500 – 4)
- pesak	SW, SP	0,05 < O ₉₀ < 0,5	10 ⁻⁴
- fini pesak i peskovito zemljište	ML, GM, SM, GM-ML, SM-ML, GM-GC, SM-SC	0,05 < O ₉₀ < 0,2	10 ⁻⁵
- glina i glinasto zemljište	GC, SC, CL-ML, CL, GC-CH, SC-CH, CH	0,05 < O ₉₀ < 0,5	10 ⁻⁶
- organsko zemljište	OL, OH, Pt	0,05 < O ₉₀ < 0,5	10 ⁻⁴

* k_G je minimalni koeficijent propusnosti pri efektivnom opterećenju koje prouzrokuje nasipni materijal. Obično su vrednosti za proizvode navedene za normalna opterećenja 20 kN/m² i 200 kN/m². Pri opterećenju

nasipima visine do 2 m, po pravilu treba uzeti u obzir vrednost k_G , određenu pri normal-nom opterećenju 20 kN/m², a za veća opterećenja nasipima vrednosti, određene pri 200 kN/m².

U slučajevima kada geosintetici imaju ravnopravno ulogu odvajanja i filtriranja, oni moraju da ispunjavaju i zahteve za mehaničke osobine, koji važe za geosintetike za odvajanje, i zahteve za hidraulične osobine, koji važe za filterske geosintetike i opisani su u tački 8.1.4.9.

8.1.4.8.6 Uslovi za polaganje i ugradnju

Geosintetike za odvajanje treba polagati od ivice do ivice, ručno ili mašinski. Zahtevane minimalne mehaničke osobine, navedene u tabeli 8.1.4.17, važe za oba načina ugradnje.

Geosintetike za odvajanje - geotekstile treba polagati na ravnu podlogu. Nije dozvoljena vožnja po položenom geotekstilu, dok isti ne bude prekriven nasipom čije su minimalne debljine navedene u tabeli 8.1.4.17. Širina traka je ograničena, zato susedne trake moraju da se međusobno preklapaju. Preklopi i spojevi mogu da se izvedu čvrstim (šivenje, varenje) ili mekim spojevima (preklopi). Geotekstili za odvajanje se po pravilu preklapaju (meki spoj).

Širina preklopa susednih slojeva zavisi od čvrstine i ravnosti podloge. Kod ravnih, srednje dobro utvrđenih podloga (S_2 , S_3), najmanja širina preklapanja je 30 cm, a kod neravnih i slabonosećih podloga najmanja širina preklapanja je 50 cm. Kad se geotekstili za odvajanje polažu pod vodom, širina preklapanja mora da bude najmanje 1 m.

8.1.4.9 Planiranje geosintetika za filterske slojeve

8.1.4.9.1 Oblast i svrha primene

Geosintetici koji se koriste za filterske slojeve, sprečavaju ispiranje sitnih čestica tla u drenažni sloj i tako sprečavaju unutrašnju eroziju tla. Geosintetik deluje kao filter, kada je glavna toka podzemne vode usmerena pod pravim uglom na površinu geosintetika. Proces sprečavanja unutrašnje erozije i ispiranja sitnih čestica iz tla u krupnozrnati drenažni sloj naziva se filterska stabilnost kontakta između zemljišta i drenažnog sloja. Da bi geosintetik mogao da obezbedi trajnu filtersku stabilnost kontakta, prostor pora i veličina i raspored pora moraju da budu takvi da mogu da preuzmu deo čestica iz tla, kojeg

geosintetik štiti, a da se pri tom ne smanji propusnost geosintetika za vodu.

Dimenzionisanje filterskog geosintetika zasniva se na istom principu kao i dimenzionisanje klasičnih filtera iz zemljanih materijala. Osnova za proračun su granulometrijski sastav i propusnost zemljišta koje filterski geosintetik štiti. Propusnost geosintetika za vodu mora da bude veća od propusnosti tla i dovoljno velika da se ispred površine filtera ne stvore povećani pritisci vode.

Kako tokom ugradnje ne bi došlo do oštećenja i lokalnih promena filterskih osobina, upotrebljeni filterski geotekstili moraju da ispunjavaju minimalne zahteve sa stanovišta mehaničke čvrstoće i rastezanja.

8.1.4.9.2 Dimenzionisanje filterskog geosintetika

8.1.4.9.2.1 Osnove

Prilikom projektovanja filterskog geosintetika, u obzir treba uzeti kriterijume za:

- zadržavanje ili retenciju za laminarni i turbulentni tok i za vrste zemljišta
- propusnost i permisivnost
- začepljenje geosintetika i
- trajnost i otpornost.

Dimenzionisanje u skladu sa gore navedenim kriterijumima može da se izvrši u svim slučajevima, a obično samo u posebnim primenama za veoma zahtevne objekte. Za uobičajenu upotrebu pri gradnji puteva, za dimenzionisanje filterskog geosintetika mogu da se prihvate uslovi, određeni u tačkama 8.1.4.9.2.3 i 8.1.4.9.2.4.

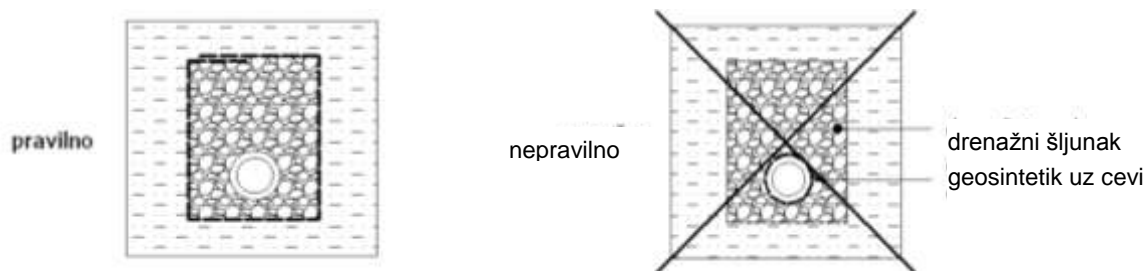
Na izbor filterskog geosintetika utiču:

- vrsta i osobine zemljišta koje filter štiti
- brzina, odnosno pritisci vode
- vrsta drenažnog sloja
- uslovi ugradnje.

8.1.4.9.2.2 Određivanje osobina filterskog geosintetika

Dimenzionisanje filterskog geosintetika uslovljava određivanje:

- zahtevnosti objekta, naročito u smislu da li je dozvoljeno početno ispiranje ili ne
- osobina šticećenog zemljišta
- osobina drenažnog kamenog agregata i
- uslova za održavanje.



Slika 8.1.4.16: Primeri pravilne i nepravilne upotrebe filterskog geosintetika

8.1.4.9.2.3 Hidrauličke osobine filterskog geosintetika

Minimalni zahtevi za obezbeđivanje filterske stabilnosti i trajne funkcije filtriranja za slučaj kada je dozvoljeno početno ispiranje navedeni su u tabeli 8.1.4.19, a za posebne slučajeve kada početno ispiranje nije dozvoljeno u tabeli 8.1.4.20.

Za nekoherentna tla koja imaju vrednost $d_{85} < 0,05$ mm, treba predvideti posebne mere za obezbeđivanje filterske stabilnosti. Kod heterogenih i slojevitih tla, za dimenzionisanje karakteristične veličine pora merodavno je sitnozrnato tlo, a za dimenzionisanje minimalne propusnosti krupnozrnato tlo.

Tabela 8.1.4.19: Minimalni zahtevi za hidraulične osobine filterskog geotekstila (dozvoljeno je početno ispiranje)

Koeficijent propusnosti k_G (m/s)	Karakteristična veličina pora O_{90} (mm)
k_G veći od $10 k_{zemljišta}$, još bolje veći od $100 k_{zemljišta}$	$O_{90} \leq d_{85}$ $O_{90} \geq 0.05$ mm $O_{90} \geq 4x d_{15}^*$

* Za sitnopeskovita-šljunkovita zemljišta u kojima može da dođe do unutrašnjeg transporta materijala i do kolmatacije.

Tabela 8.1.4.20: Minimalni zahtevi za hidraulične osobine filterskog geotekstila (nije dozvoljeno početno ispiranje)

Granulometrijski sastav tla	Koeficijent propusnosti k_G (m/s)*	Karakteristična veličina pora O_{90} (mm)
$d_{50} \leq 0.06$ mm	k_G veći od $10 k_{zemljišta}$, još bolje veći od $100 k_{zemljišta}$	$O_{90} \leq d_{85}$ $O_{90} \geq 0.05$ mm
$d_{50} > 0.06$ mm	k_G veći od $10 k_{zemljišta}$, još bolje veći od $100 k_{zemljišta}$	$O_{90} \leq d_{85}$ ili $O_{90} \leq 5 d_{10} \times (Cu)^{1/2}$ $O_{90} \geq 0.05$ mm

* k_G je minimalni koeficijent propusnosti pri efektivnom opterećenju koje prouzrokuje nasipni materijal. Obično su vrednosti za proizvode navedene za normalna opterećenja 20 kN/m^2 i 200 kN/m^2 . Za opterećenja nasipima visine do 2 m, po pravilu treba uzeti u obzir vrednost k_G , određenu pri normal-nom opterećenju 20 kN/m^2 , a za veća opterećenja nasipima vrednosti, određene pri 200 kN/m^2 .

8.1.4.9.2.4 Mehaničke osobine filterskog geosintetika

Da tokom polaganja i ugradnje ne bi došlo do oštećenja i da bi se obezbedio odgovarajući životni vek, filterski geotekstil mora da ispunjava minimalne zahteve za mehaničku čvrstoću i rastezanje. Za određivanje

potrebne mehaničke čvrstoće merodavni su veličina i oblik zrna drenažnog materijala.

Minimalni zahtevi prikazani su u tabeli 8.1.4.21 kao minimalne zahtevane zatezne čvrstoće (T_{min}) pri rastezanju od minimalno 30 % i kao zahtevani proizvod zatezne čvrstoće i rastezanja ($(Tx \epsilon)_{min}$).

Tabela 8.1.4.21: Minimalni zahtevi za mehaničku čvrstoću filterskih geotekstila u poprečnom i podužnom smeru

Drenažni materijal (klasa)	Minimalna* čvrstoća na zatezanje T_{min} . (kN/m)	Minimalni proizvod $(Tx \epsilon)_{min}$ (kN/m x %)	Otpornost na proboj O_d (mm)
- zaobljen – (A)	6	180	40
- drobljen – (B)	8	240	35

Za potrebe dimenzionisanja mehaničke otpornosti filterskih geotekstila, materijali za drenažne nasipe razvrstani su u dve klase:

- klasa A: zaobljeni materijali
 - obluci: $d < 63 \text{ mm}$
 - obluci i kugle: $d < 150 \text{ mm}$
- klasa B: drobljeni (ili sa prirodno oštrim ivicama) materijali
 - drobljeni kamen $d < 16 \text{ mm}$
 - drobljeni kamen i krš $d < 125 \text{ mm}$
 - krš $d < 150 \text{ mm}$

8.1.4.9.3 Uslovi za polaganje i ugradnju

Prilikom polaganja filterski geotekstil mora što bolje da naleže na tlo koje se odvodnjava, odnosno koje se štiti. Zato filterski geotekstil mora da bude dovoljno elastičan kako bi mogao da se prilagodi ivicama jaraka ili nepravilnostima u podlozi.

Na spojevima u poprečnom i podužnom smeru potrebno je preklapanje susednih slojeva filterskog geotekstila od najmanje 30 cm. Kada se filterski geotekstili polažu u drenažne kanale za drenažna kamena rebra na kosinama ili u drugim agresivnim uslovima okruženja, osobine geotekstila sa stanovišta čvrstoće moraju da budu posebno određene u projektu.

8.1.4.10 Planiranje geosintetika za drenažne slojeve

8.1.4.10.1 Oblast i svrha primene

Drenažni geosintetici sakupljaju vodu iz zaleđnog zemljišta i odvoje je izvan područja u kojem su položeni. Svojim delovanjem moraju da spreče nastanak prevelikih pornih pritisaka u zaleđnom zemljištu.

Geosintetik deluje kao drenaža, kada je glavina toka vode usmerena duž tela geosintetika. Za drenažne slojeve po pravilu se koriste geokompozitni materijali ili drenažni geotekstili.

Drenažni geosintetici se u gradnji puteva koriste za

- bočne drenaže u kolovozima,
- međudrenaže na kosinama,
- drenaže iza temelja objekata i iza ukopanih zidova,
- drenaže za rasterećivanje pritisaka podzemne vode kod ukopanih objekata i
- privremene drenaže u tlu, npr. vertikalne ili horizontalne drenažne trake za ubrzavanje konsolidacije.

Drenažni geosintetik može da bude ugrađen u homogeno propusno zemljište, na spoju između više ili manje propusnih materijala ili na spoju između propusnog i potpuno nepropusnog materijala.

Vodu koja prodire kroz zaleđno zemljište prema drenažnom geosintetiku, treba odvesti iz oblasti dreniranja sa što manjim gubitkom

pritiska. Zato geosintetik mora da u svojoj ravni ima dovoljnu sposobnost odvođenja vode. Sposobnost odvođenja vode u ravni određena je kao transmisivnost ili provodljivost θ (m^2/s). Pri dimenzionisanju drenažnih geosintetika treba uzeti u obzir da je provodna sposobnost drenažnih geosintetika relativno mala (oko $2 \times 10^{-5} m^3/s/m'$ pod pritiskom od cca 12 kPa), ako je poredimo sa provodnom sposobnošću 0,15 – 0,30 m debelog sloja drenažnog šljunka. To znači da drenažnim geosintetikom možemo da zamenimo kamene drenažne slojeve samo ako proračunom dokažemo da je propusnost ekvivalentna, odnosno da je odvođenje izračunate količine vode adekvatno.

Svaki drenažni geosintetik mora da deluje i kao filter, zato oni moraju da ispunjavaju i uslove filterske stabilnosti.

Kako tokom ugradnje ili u planiranom periodu trajanja drenažnog geosintetika ne bi došlo do oštećenja zbog konsolidacije ili pritiska zemljišta, drenažni geosintetici moraju da imaju minimalne zahtevane mehaničke čvrstoće.

Zbog promene pritiska i temperature podzemne vode, u nekim geološkim sredinama može da dođe do izdvajanja materije iz vode i do smanjivanja provodljivosti drenažnog geosintetika. U sredinama u kojima postoji povećana opasnost od inkrustacija, potrebna je posebna procena drenažnog geosintetika i sa aspekta trajnosti delovanja i sa aspekta mogućnosti održavanja i čišćenja.

8.1.4.10.2 Dimenzionisanje drenažnog geosintetika

8.1.4.10.2.1 Osnove

Prilikom projektovanja drenažnog geosintetika treba proveriti

- ulazne i izlazne kapacitete pri planiranim opterećenjima s obzirom na očekivane dotoke vode tokom životnog veka (provodljivost),
- filtersku sposobnost (kriterijum začepljenja i unutrašnje erozije) i
- delovanje u planiranom sistemu (mogućnost ugradnje i opšta bezbednost).

Na izbor drenažnog geosintetika utiču:

- vrsta i osobine zemljišta u koje će geosintetik biti ugrađen
- brzina, odnosno pritisci vode
- vrsta drenažnog sloja i period delovanja

- mehaničke osobine s obzirom na svrhu upotrebe i uslove ugradnje.

Dinamička opterećenja saobraćajem znače za drenažni geosintetik veoma zahtevne uslove ugradnje. Urušavanje drenažnog geosintetika u kolovozu može da ima za posledicu urušavanje kolovoza. Zato pri dimenzionisanju drenažnih geosintetika treba razmotriti ugradnju sa svih aspekata i sa odgovarajućim geostatičkim proračunima dokazati bezbednost upotrebe.

8.1.4.10.2.2 Određivanje osobina drenažnog geosintetika

Dimenzionisanje drenažnog geosintetika zahteva određivanje

- zahtevnosti objekta i uloge drenažnog geosintetika u konstrukciji i
- osobina zemljišta i očekivane količine vode u sredini u kojoj deluje drenažni geosintetik, kao i
- uslova za ugrađivanje.

8.1.4.10.3 Hidrauličke osobine drenažnog geosintetika

Minimalni zahtevi za hidrauličke osobine drenažnih geosintetika navedeni su u tabeli 8.1.4.22. Kada je delovanje drenažnog sloja direktno povezano sa obezbeđivanjem bezbednosti objekta (npr. drenažnog sloja iza zidova potpornih konstrukcija), osobine drenažnog geosintetika moraju da budu određene hidrauličkim proračunom još u projektovanoj dokumentaciji. U takvim slučajevima odredbe ovih tehničkih uslova nisu merodavne.

Drenažni geosintetik treba odabrati u skladu sa procenjenom maksimalnom količinom vode koju drenažni sistem mora da provode. Provodnu sposobnost geosintetika Q treba odrediti korišćenjem Darsijevog zakona:

$$Q = k_p \times i \times A = k_p \times i \times B \times d \quad (m^3/s) \quad (8.1.4.7)$$

gde je:

k_p koeficijent propusnosti geosintetika u nivou (m/s)

i hidraulični gradijent ($\Delta h/\Delta L$)

A površina poprečnog preseka geosintetika (m^2)

B širina (m)

d debljina (m)

Tabela 8.1.4.22: Minimalni zahtevi za hidraulične osobine drenažnih geosintetika

Granulometrijski sastav tla	Koeficijent propusnosti k_G (m/s)	Karakteristična veličina pora O_{90} (mm)	Transmisivnost θ (m^2/s)
$d_{50} \leq 0.06$ mm	$k_G > 10 k_{zemljišta}$	$O_{90} \leq d_{85}$ $O_{90} \geq 0.05$ mm	$\theta > (F \cdot Q_{max}) / (B \cdot i)$ - F – zaštitni faktor
$d_{50} > 0.06$ mm	$k_G > 10 k_{zemljišta}$	$O_{90} \leq d_{85}$ ili $O_{90} \leq 5 d_{10} \times (C_u)^{1/2}$ $O_{90} \geq 0.05$ mm	F = 5 (jednoslojni geotekstili) F = 2 (višeslojni geotekstili ili geokompoziti) - Q_{max} - maks. količina vode (m^3/s)

Kad se koriste stišljivi proizvodi, treba izračunati uticaj spoljašnjeg opterećenja i puzanja na smanjivanje njihove debljine i vremensko smanjivanje provodljivosti. Računski treba dokazati minimalnu zahtevanu vrednost za planirani period korišćenja.

8.1.4.10.4 Mehaničke osobine drenažnog geosintetika

Da tokom polaganja i ugradnje ne bi došlo do oštećenja i da bi se obezbedio odgovarajući životni vek, drenažni geosintetik mora da ispunjava minimalne zahteve za mehaničku čvrstoću i rastezanje koji su navedeni u tabeli 8.1.4.23.

Tabela 8.1.4.23: Minimalni zahtevi za mehaničku čvrstoću drenažnih geosintetika u poprečnom i podužnom smeru

Vrsta upotrebe	Zahtevana osobina	Preporučene vrednosti
- drenaža uz zid (betonski zid/tlo)	čvrstoća na zatezanje rastezanje	min. 8 kN/m min. 10 %
- ukopana vertikalna drenaža	čvrstoća na zatezanje rastezanje	min. 8 kN/m min. 20 %
- horizontalna drenaža (drenažni tepisi)	čvrstoća na zatezanje rastezanje	zbog sekundarne uloge koriste se vrednosti iz tabele 8.1.4.1.7

8.1.4.10.5 Uslovi za polaganje i ugradnju

Prilikom polaganja posebnu pažnju treba posvetiti neometanom toku vode kroz geosintetik. Posebno treba voditi računa na spojevima i preklapanjima susednih slojeva u smeru toka i pri priključivanju geosintetika na drenažni šaht ili jarak. Ovi detalji moraju da budu određeni u projektovanoj dokumentaciji.

8.1.4.11 Armaturni geosintetici kod planiranja nasipa na slabonosivom tlu

8.1.4.11.1 Oblast i svrha primene

Kod gradnje nasipa na slabonosivom tlu postoji mogućnost da dođe do istiskivanja temeljnog tla zbog horizontalnih zemljanih pritisaka koji deluju u nasipu i dovode do horizontalnog napona smicanja u zemljanom

tlu. Ako zemljano tlo nema odgovarajuću otpornost na smicanje, onda dolazi do urušavanja nasipa.

Geosintetici za armiranje slabonosivog tla se u obliku traka ili ponjava postavljaju između temeljnog tla i nasipa, preuzimaju sile zatezanja i na taj način poboljšavaju mehaničke osobine sistema tlo – geosintetik. Geosintetik mora da preuzme sile zatezanja pri prihvatljivim deformacijama.

Pravilno planirana upotreba geosintetika u temeljnom tlu ispod nasipa predstavlja ojačanje koje povećava stabilnost i smanjuje opasnost od rušenja. Pravilnom upotrebom geosintetika može delimično i da se smanje horizontalna i vertikalna sleganja temeljnog tla.

Korišćenje geosintetika ne smanjuje magnitudu sleganja zbog konsolidacije i puzanja.

Korišćenje geosintetika za ojačavanje slabo nosećeg tla pri gradnji nasipa doprinosi:

- većoj sigurnosti nasipa,
- povećanju dozvoljene visine nasipa,
- smanjenju deformacija tokom gradnje i
- poboljšanju ponašanja nasipa zbog povećanja homogenosti pri sleganju posle izgradnje.

Za ojačavanje slabonosivog tla ispod nasipa koriste se armaturni geosintetici među kojima preovlađuju armaturni geotekstili, armaturne mreže i armaturni geokompoziti, napravljeni od armaturne mreže i razdvojnog geotekstila.

Ove smernice su pripremljene uz pretpostavku da su u preliminarnim fazama već ispitane i analizirane različite mogućnosti gradnje nasipa na slabonosivom tlu.

8.1.4.11.2 Vrste upotrebe

Geosintetici za ojačavanje slabonosivog temeljnog tla ispod nasipa mogu da se upotrebe

- za gradnju nasipa preko više ili manje homogenog, mekog tla, izgrađenog od debelog vezivnog sloja slabonosećih sedimenata (slika 8.1.4.17 gore) ili
- za gradnju nasipa preko tla u kome se pojavljuju lokalne anomalije kao što je gradnja preko kraških vrtača, lokalnih

rupa, zona sa pukotinama, uložaka mekih i vodom zasićenih sedimenata, na primer peska između čvrste gline i slično (slika 8.1.4.17 dole).

U prvom slučaju geosintetik treba po pravilu da se položi tako da smer geosintetika sa većom zateznom čvrstoćom bude normalan na osu puta, odn. nasipa. Dodatna ojačanja u smeru ose puta moraju da budu izvedena na početku i na kraju nasipa.

U drugom slučaju geosintetik premošćava neravnomerna slaba mesta u inače dobronosećem temeljnom tlu. Zato ojačanje može da bude potrebno u različitim smerovima. To znači da orijentacija jačeg smera geosintetika zavisi od lokacije anomalija uz istovremeno uzimanje u obzir ose nasipa.

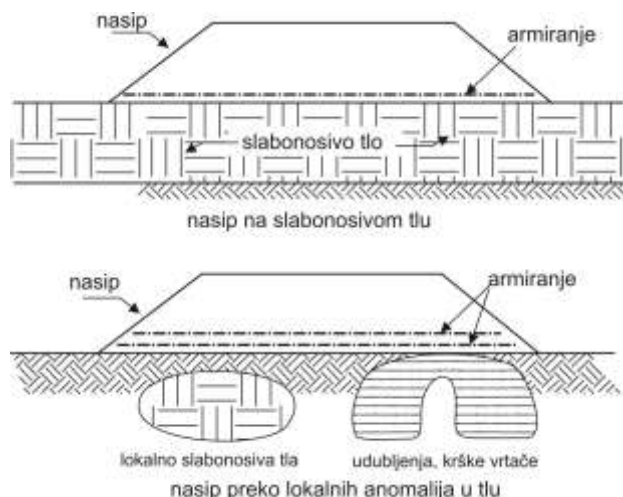
Armaturni geosintetik se u velikoj meri koristi pri proširivanju postojećih i pri gradnji novih kolovoza preko starih i na novo izgrađenim nasipima (slika 8.1.4.18 i 8.1.4.19).

8.1.4.11.3 Dimenzionisanje armaturnog geosintetika pod nasipima na slabonosivom tlu

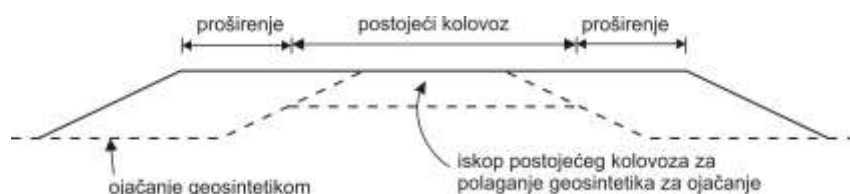
8.1.4.11.3.1 Osnove

Osnovno je dimenzionisanje radi zaštite od rušenja. Tri karakteristična oblika rušenja, prikazana na slici 8.1.4.20, ukazuju i na vrste analiza stabilnosti koje je treba obaviti prilikom planiranja gradnje nasipa sa armaturnim geosinteticima na slabonosivom tlu. Pošto kritična faza gradnje nasipa na slabonosivom tlu nastupa neposredno pre završetka gradnje nasipa, većina funkcija armaturnog geosintetika zavisi od vremena koje je potrebno da temeljno tlo stekne dovoljnu čvrstoću za preuzimanje opterećenja nasipom.

Pri proračunu treba uzeti u obzir i očekivana sleganja nasipa i efekte puzanja armaturnog geosintetika, ovo poslednje samo u slučaju kada su očekivane deformacije toliko velike da je prekoračena čvrstoća na zatezanje geosintetika. Postupci izračunavanja obuhvataju klasične postupke za izračunavanje stabilnosti s tom razlikom što se u obzir uzimaju i ojačanja geosintetikom.



Slika 8.1.4.17: Karakteristični primeri korišćenja geosintetika za ojačavanje ispod nasipa na slabonosivom tlu (iznad) i pri premošćavanju lokalnih anomalija (ispod).

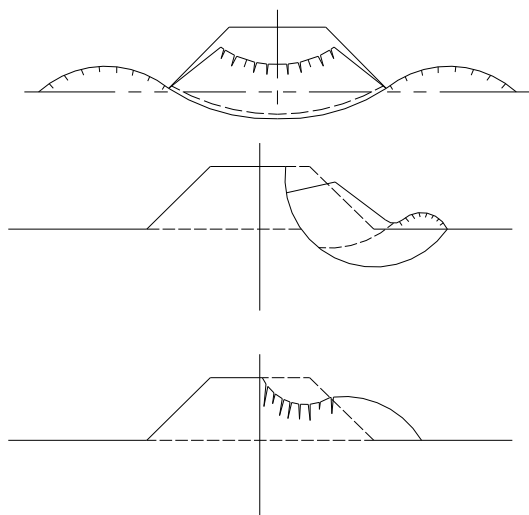


Slika 8.1.4.18: Korišćenje armaturnog geosintetika ispod nasipa za proširenje i ispod novog kolovoza.



Slika 8.1.4.19: Korišćenje armaturnog geosintetika ispod nasipa pored priključka novog nasipa i novog kolovoza na stari kolovoz.

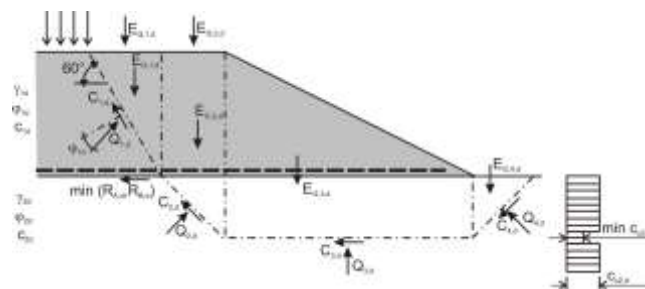
U analizama stabilnosti pri korišćenju armaturnog geosintetika obično se koristi postupak ukupnih pritisaka što znači konzervativni pristup. Doduše, može da se upotrebi i postupak efektivnih pritisaka koji zahteva veoma precizne podatke o osobinama temeljnog tla, porastu i disipaciji pritisaka porne vode i kontrolna merenja tokom gradnje, što sve zajedno može da poskupi i/ili produži gradnju.



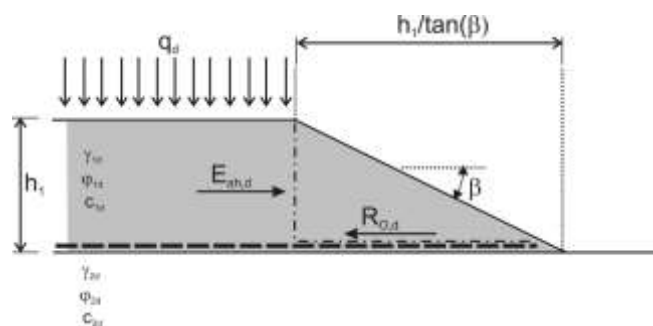
Slika 8.1.4.20: Karakteristične deformacije nasipa na slabonosivom tlu.

Pri gradnji nasipa na slabonosivom tlu može da dođe do sledećih situacija (EBGEO 2009):

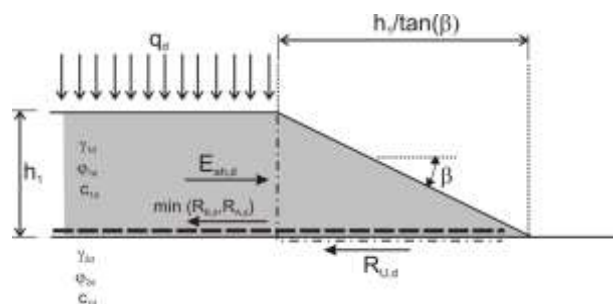
- Rušenje temeljnog tla po kružnoj liniji rušenja (slika 8.1.4.21/2)
- Rušenje temeljnog tla po površini slabosti (slika 8.1.4.21/2)
- Rušenje zbog bočnog istiskivanja duž geosintetika (slika 8.1.4.21/3) ili ispod geosintetika (slika 8.1.4.21/4)
- Rušenje u slučaju uvrtnja geosintetika pri čemu su moguća tri scenarija rušenja, i to: klizanje nasipa po gornjem sloju (slika 8.1.4.21/5a), bočno izguravanje uz uzimanje u obzir povoljnog uticaja doprinosa geosintetika (slika 8.1.4.21/5b) ili primer sa slike 8.1.4.21/4 i
- Istiskivanje tla ispod nasipa (slika 8.1.4.21/6).



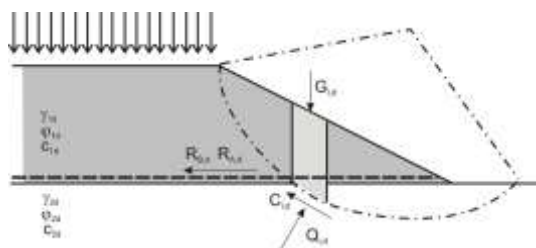
Slika 8.1.4.21/2: Rušenje temeljnog tla po površini slabosti



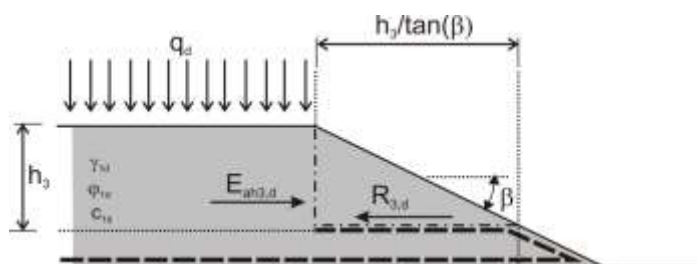
Slika 8.1.4.21/3: Rušenje zbog bočnog istiskivanja duž geosintetika



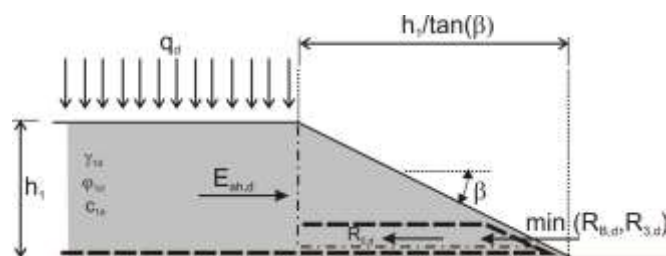
Slika 8.1.4.21/4: Rušenje zbog bočnog istiskivanja ispod geosintetika



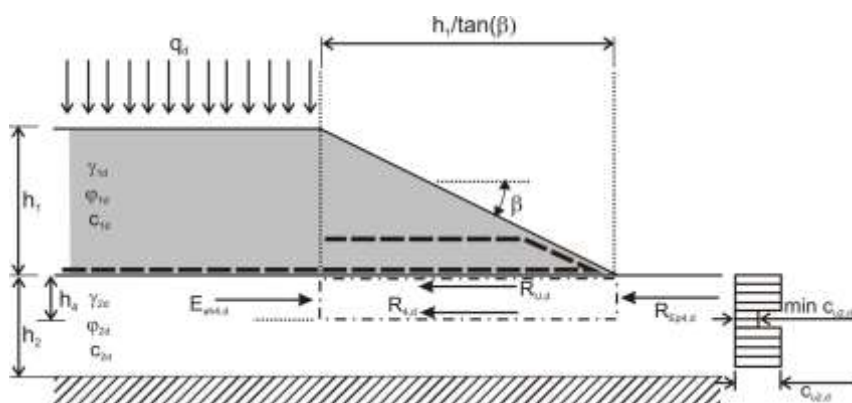
Slika 8.1.4.21/1: Rušenje temeljnog tla po kružnoj liniji rušenja



Slika 8.1.4.21/5a: Rušenje u slučaju uvrtnja geosintetika - klizanje nasipa po gornjem sloju



Slika 8.1.4.21/5b: Rušenje u slučaju uvrtnja geosintetika, bočno izguravanje uz uzimanje u obzir povoljnog uticaja doprinosa geosintetika



Slika 8.1.4.21/6 : Istiskanje zemljišta ispod nasipa

Oznake na slikama 8.1.4.21: q_d projektovano korisno opterećenje, h_1 visina nasipa, h_2 debljina slabonosivog tla, h_3 visina nasipa od omotača nagore, h_4 dubina bloka zemljišta, β nagib kosine nasipa, γ_{1d} projektovana zapreminska težina nasipa, φ_{1d} projektovani ugao smicanja nasipa, c_{1d} projektovana kohezija nasipa, γ_{2d} projektovana zapreminska težina podloge, φ_{2d} projektovani ugao smicanja podloge, c_{2d} projektovana kohezija podloge, $c_{2u,d}$ projektovana nedrenirana čvrstoća podloge pri smicanju, G_{id} projektovana težina i-te lamele, Q_{id} projektovani zbir normalne sile N i doprinosa trenja T_φ i-te lamele (lika), C_{id} projektovani doprinos trenja i-te lamele (lika), E_{Gid} projektovano stalno opterećenje i-tog lika, E_{Qid} projektovano korisno opterećenje i-tog lika, $E_{ah,d}$ projektovani doprinos aktivnih pritisaka tla (horizontalna komponenta), $E_{ah3,d}$ projektovani doprinos aktivnih pritisaka tla na visini h_3 , $E_{ah4,d}$ projektovani doprinos aktivnih pritisaka bloka tla do dubine h_4 , $R_{Ep4,d}$ projektovani otpor pasivnih pritisaka bloka tla do dubine h_4 , $R_{O,d}$ projektovani frikcionni otpor geosintetika-nasip (gore), $R_{U,d}$ projektovani frikcionni otpor geosintetika-podloga (dole), $R_{B,d}$ projektovana čvrstoća na zatezanje geosintetika, $R_{A,d}$ projektovana otpornost geosintetika na izvlačenje (levo i desno od linije rušenja, uzimajući u obzir gornju i donju površinu i omotače) $R_{3,d}$ projektovani frikcionni otpor geosintetika-nasip omotača (deluje samo na visini h_3), $R_{4,d}$ projektovani frikcionni otpor podloge na donjoj strani bloka tla.

Prilikom provere graničnih stanja primenjuju se načela Eurokod 7, uz uzimanje u obzir redukcijske faktore za geosintetike.

8.1.4.11.3.2 *Pristupi planiranju armaturnih geosintetika na slabonosivom tlu*

Prilikom planiranja korišćenja armaturnih geosintetika pri gradnji nasipa na slabonosivom tlu treba:

- odrediti geometriju nasipa i opterećenja
- odrediti geološko-geotehničke uslove i osobine nasipa
- odrediti minimalne faktore bezbednosti
- proveriti nosivost
- proveriti stabilnost
- odrediti osobine geosintetika za ojačanje.

Bitno je razlikovati uloge geosintetika za odvajanje i geosintetika za ojačavanje. Kada je čvrstoća nedreniranog tla u podlozi veća od $c_U = 30$ kPa i kada je tlo razvrstano u klasu S1, S2 ili S3, potrebna minimalna čvrstoća geosintetika može da se odredi na osnovu tabela koje važe za odgovarajuće geosintetike (tabela 8.1.4.17).

U slučaju meke podloge (S_0) i mekše, geosintetik treba dimenzionisati prema načelima koja važe za armiranje.

8.1.4.11.3.3 *Određivanje geometrije nasipa i opterećenja*

U sklopu geometrije nasipa i opterećenja treba odrediti:

- A. geometriju nasipa:
- visina nasipa
 - dužina nasipa
 - širina krune
 - nagibe kosina
- B. spoljašnja opterećenja:
- stalno opterećenje
 - povremeno – saobraćajno opterećenje
 - dinamička opterećenja (zemljotres)
- C. opterećenja zbog uslova okoline
- smrzavanje
 - skupljanje i širenje
 - dreniranje, erozija...
- D. uslove gradnje nasipa:
- projektovana ograničenja
 - prognozirana, odn. očekivana brzina gradnje

8.1.4.11.3.4 *Određivanje geološko-geotehničkih uslova i osobina nasipa*

Treba odrediti karakteristike preseka tla i inženjerskih osobina zemljišta u temeljnom tlu i nasipu što obuhvata:

- stratigrafiju i presek tla
- nivo podzemne vode
- nedreniranu čvrstoću pri smicanju
- dreniranu čvrstoću pri smicanju
- konsolidacione parametre
- hemijske i biološke uticaje
- varijacije osobina u vertikalnom i horizontalnom smeru
- vrstu nasipanja i klasifikaciju
- stepen zgušnjosti i relacije vlaga - gustina
- osobine sa stanovišta čvrstoće zbijenog nasipa
- hemijske i biološke osobine koje bi mogle da utiču na geosintetik.

Pri tom treba uzeti u obzir klasične postupke za izbor i načine ugradnje nasipnog materijala. Prvi sloj iznad geosintetika za ojačanje mora uvek da bude od dobro propusnog granulisanog materijala. Takvim izborom materijala za prvi sloj nasipa obezbeđena je velika frikciona otpornost kontakta geosintetik – nasip, kao i mogućnost dobrog dreniranja i upada presežnih pritisaka porne vode.

Pri izboru materijala za nasip treba voditi računa kada se za nasipe planira upotreba glina. U tim slučajevima pri određivanju modula treba uzeti u obzir deformaciju od 2 % da bi se sprečila opasnost od nastanka pukotina u nasipu. Ukoliko dođe do nastanka pukotina u nasipu, onda nije obezbeđeno da ne dođe do klizanja, a otvorene pukotine su i direktni putevi za ulazak vode što u velikoj meri pogoršava situaciju.

Uopšteno važi preporuka da se za gradnju niskih nasipa na mekom tlu koriste nekoherentni, šljunkoviti ili peščani materijali.

8.1.4.11.3.5 *Određivanje minimalnih količnika bezbednosti*

Pri analizama stabilnosti treba koristiti delimične količnike bezbednosti po principu metode graničnih stanja, i to:

- za efektivni ugao smicanja $\gamma_\varphi=1,25$
- za efektivnu koheziju $\gamma_c=1,25$
- za nedreniranu čvrstoću pri smicanju $\gamma_{cu}=1,40$
- za jednoosnu čvrstoću na pritisak $\gamma_{qu}=1,40$
- za sopstvenu težinu tla $\gamma_\gamma=1,00$ ¹⁾
- za stalno opterećenje na površini tla $\gamma_G=1,35$
- za povremeno opterećenje na površini tla $\gamma_Q=1,50$
- za metodu analize $\gamma_M=1,00$ (odnosno prema proceni korisnika)

- 1) Eventualna nepouzdanost prilikom određivanja zapreminske težine tla uzima se u obzir tako što se analiza ponovi na najmanju i najveću zapreminsku težinu

Prilikom planiranja geosintetika za ojačavanje mogu da se u skladu sa iskustvima, konkretnom situacijom i drugi uslovima upotrebe viši faktori. Redukcijski faktori za materijal određuju se posle izvođenja projektnog proračuna i to na način koji je opisan u tački 8.1.4.6.

8.1.4.11.3.6 Provera nosivosti

Kad je debljina slabonosivog tla veća od širine nasipa, za približno izračunavanje graničnog opterećenja može da se upotrebi jednačina 8.1.4.8 (Prantl)

$$\gamma_N h = q_f < (2 + \pi) c_u < c_u N_c \quad (8.1.4.8)$$

gde je:

γ_N zapreminska težina nasipa

h visina nasipa

q_f granična nosivost

c_u nedrenirana čvrstoća pri smicanju

N_c faktor nosivosti

Ovakva aproksimacija doduše potcenjuje nosivost temeljnog tla ojačanog geosintetikom, što je još bezbednije. Može da se pretpostavi da geosintetik ne utiče na opšte povećanje nosivosti temeljnog tla. Ukoliko proračun pokaže da je nosivost temeljnog tla premala, nasip ne može da se gradi korišćenjem geosintetika za ojačavanje bez prethodnih mera za poboljšanje nedrenirane čvrstoće tla.

Nosivost temeljnog tla može da se odredi i korišćenjem drugih klasičnih metoda izračunavanja (Terzagi – Pek, Vesić i drugi) koje se zasnivaju na izračunavanju graničnih stanja uz uzimanje u obzir linije rušenja u obliku logaritamske spirale. Ove analize nisu odgovarajuće za temeljno tlo u kome je debljina mekog tla veoma mala i gde može da dođe do bočnog istiskivanja tla ispod nasipa. U tim slučajevima analiza treba da se izvrši nekom od novijih metoda (Holc- Žiro, Rove i Siderman). Treba uzeti u obzir da su metode izračunavanja bočnog istiskivanja samo približne i da se nijedna nije konačno ustalila u gradnji.

8.1.4.11.3.7 Provera stabilnosti za kružnu liniju rušenja

Kružna linija rušenja može da se upotrebi samo u slučaju homogenog tla. Najpre treba sprovesti analizu stabilnosti nasipa kojom se određuje kritična kružna linija rušenja i faktor sigurnosti za lokalne linije rušenja bez uzimanja u obzir geosintetika za ojačavanje. Ukoliko je faktor sigurnosti veći od zahtevanog po Eurokod-u, geosintetik za ojačavanje nije potreban.

Ukoliko je faktor sigurnosti manji od zahtevanog, treba izračunati minimalnu zateznu čvrstoću geosintetika (T), koja je potrebna za postizanje odgovarajućeg faktora sigurnosti, prema jednačini 8.1.4.9 (slika 8.1.4.22).

$$T = \frac{F(M_D) - M_R}{R \cos(\theta - \beta)} \quad (8.1.4.9)$$

gde je:

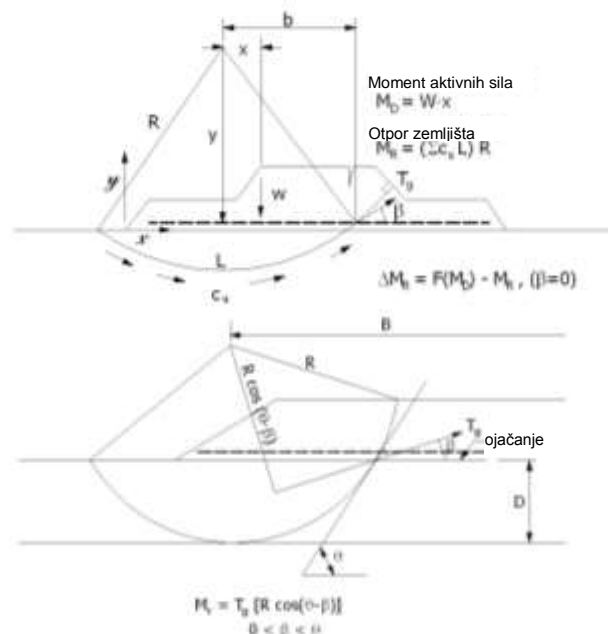
T čvrstoća na zatezanje geosintetika

M_D momenat aktivnih sila

M_R moment otpora zemljišta

R prečnik kružne linije rušenja

θ i β uglovi, kao što je prikazano na slici 8.1.4.22

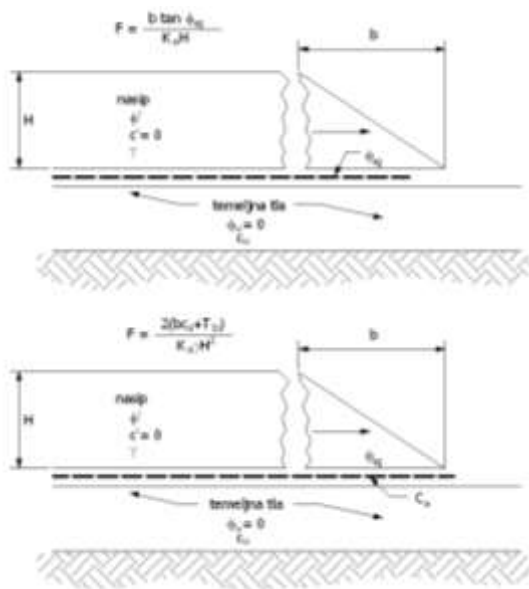


Slika 8.1.4.22: Ojačavanje temeljnog tla geosintetikom radi obezbeđivanja od rušenja - kružna linija rušenja. Gore za slučaj $\beta = 0$ (Kristofer i Holc, 1985.); dole za slučaj kada geosintetik ne poboljšava čvrstoću zemljišta (Bonaparte i Kristofer, 1987.).

8.1.4.11.3.8 Provera stabilnosti za slučaj bočnog istiskivanja

Na slici 8.1.4.23 su prikazana dva primera mogućeg rušenja usled bočnog istiskivanja. Na slici iznad tlo kliza po geosintetiku. Za izračunavanje je merodavan frikcioni kontakt između materijala nasipa i gornje površine geosintetika. Na slici dole može da dođe do kidanja geosintetika. Za proračun je merodavna adhezija (c_a) između temeljnog tla i geosintetika.

EBGEO (2009) razmatra i slučaj istiskivanja mekog zemljišta ispod armaturnog geosintetika u nehomogenom temeljnom tlu. U takvom slučaju kontrolni proračun treba izvesti u sklopu geotehničkog proračuna. U slučaju da je izračunati faktor sigurnosti veći od minimalno zahtevanog, za takav oblik rušenja ojačavanje geosintetikom nije potrebno. U slučaju da je on manji, treba odrediti minimalnu potrebnu zateznu čvrstoću T.



Slika 8.1.4.23: Određivanje ojačanja temeljnog tla geosintetikom radi obezbeđivanja bočne stabilnosti, gore za klizanje po geosintetiku, a dole za kidanje

8.1.4.11.3.9 Određivanje deformacionih osobine (rastezanja) geosintetika za ojačavanje

Preporuke se zasnivaju na iskustvima. Rastezanja geosintetika za ojačavanje (ε) iznose:

- za nekoherentna, granulirana tla: $\varepsilon = 5 - 10 \%$

- za koherentna tla: $\varepsilon = 2 \%$
- za tresete: $\varepsilon = 2 - 10 \%$.

Modul elastičnosti geosintetika se određuje kao odnos zatezne čvrstoće (T) i preporučenog rastezanja (za granulirano tlo najviše do 0,1, za gline najviše do 0,002 - videti iznad).

$$J = T/\varepsilon \quad (8.1.4.10)$$

gde je:

- J modul elastičnosti,
- T čvrstoća na zatezanje,
- ε deformacija za vrednost T.

8.1.4.11.3.10 Određivanje osobina armaturnog geosintetika

Osobine geosintetika treba odrediti na osnovu podataka koji su dobijeni analizom. Frikcionu otpornost kontakta između tla i geosintetika preporučljivo je odrediti za vrstu tla u kojem će geosintetik biti ugrađen. Za brzu procenu može da se uzme da je frikciona otpornost kontakta tlo-geosintetik jednaka dve trećine frikcione otpornosti samog tla (en. 8.1.4.11). Ipak, to ne važi u svim slučajevima. Trenje na kontaktu tlo – geosintetik može da se kreće od (0,5 do 1) tan φ .

$$\tan \varphi_{sg} = \tan 2/3\varphi \quad (8.1.4.11)$$

Kada armaturni geosintetik naleže na odvajajući geosintetik i frikcioni otpor kontakta nije proveren odgovarajućim ispitivanjem, preporučuje se upotreba vrednosti frikcionog koeficijenta tan $\varphi_{GG} = 0,2$.

Krutost geosintetika utiče na uslove ugradnje i oštećenja koja mogu da se pojave tokom ugradnje. Zato je krutost geosintetika bitan parametar koji treba odrediti u skladu sa prilikama na terenu i sa već stečenim iskustvom. Kod radova na veoma mekom tlu potrebna je visoka krutost geosintetika. Pri izboru geosintetika treba uzeti u obzir sve druge uslove trajnosti i postojanosti, a sve u zavisnosti od uslova i načina ugradnje, vrste materijala za nasip i tehnološke opreme.

Ponekad se dešava da je potrebno koristiti dva ili više slojeva armaturnog geosintetika da bi se postigla potrebna čvrstoća na zatezanje. U takvim slučajevima se armiranje izvodi tako što se između dva uzastopna sloja geosintetika ugradi sloj šljunka visine 20 - 30 cm ili tako što se slojevi geosintetika

mehanički pričvrste jedan za drugi (šivenje ili varenje).

Klasični geosintetici za armiranje imaju relativno niske zatezne čvrstoće. Specijalni armaturni geotekstili postižu čvrstoće do cca. 1000 kN/m, a uobičajene armaturne mreže na tržištu između 15 i 600 kN/m. Rastom čvrstoće raste i cena geosintetika. Za čvrstoće preko 1000 kN/m potrebne su posebne porudžbine što dodatno u velikoj meri poskupljuje gradnju. Zato je za planiranje radova uz upotrebu armaturnih geosintetika potrebno i poznavanje proizvoda, dostupnih na tržištu, kao i njihove cene.

U tabeli 8.1.4.24 prikazane su karakteristične osobine sa stanovišta čvrstoće nekih porodica geosintetika.

Ključna nedoumica u vezi sa korišćenjem armaturnih geosintetika je puzanje (creep).

Zbog kratkog korišćenja geosintetika, dugoročni efekti puzanja u praksi još nisu provereni, a laboratorijski uslovi ubrzanog starenja ne mogu ravnopravno da odrede uslove koji vladaju u prirodi. Za sada važi opšte načelo da je sa stanovišta puzanja bezbedno, ako se pri dimenzionisanju računa sa vrednošću konačne čvrstoće od 50 – 60 %. Poliesterski geosintetici su manje osetljivi na puzanje od polipropilenskih ili polietilenskih.

Prilikom gradnje nasipa na mekom tlu puzanje nije od velike važnosti pošto se primenom te vrste uloga armature vremenom postepeno smanjuje, jer temeljno tlo zbog konsolidacije preuzima opterećenje nasipa.

Geosintetici su otporni u uobičajenim geološkim okolinama. Pažnja je potrebna za vrednosti pH < 3 i pH > 9 ili kod drugih, neobičnih okolina koja su obično u deponijama otpadaka.

Tabela 8.1.4.24: Čvrstoća i rastezanja nekih karakterističnih porodica geosintetika (iz Riger i Hufenus,2003.)

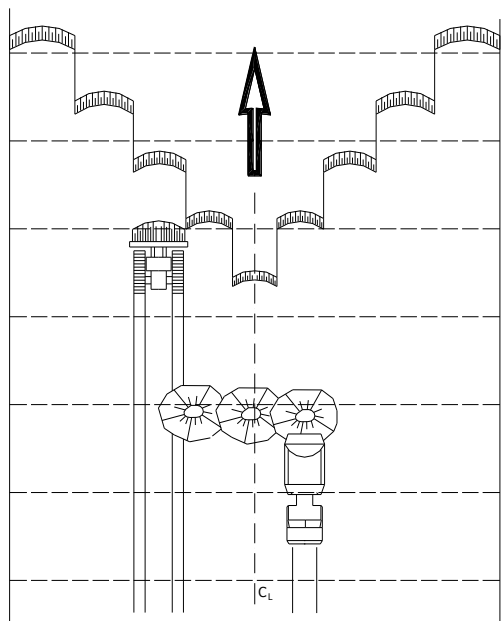
Vrsta proizvoda	Polimer	Čvrstoća (kN/m)	Rastezanje (%)
Razvučena mreža - dvosmerna - jednosmerna	PP HDPE	20 - 50 40 - 200	10 - 20 10 - 15
Položena mreža	PET PP	20 – 600 20 – 400	5 – 10 8 – 15
Pletena mreža	PET AR	30– 600 20 – 600	10 – 20 3 - 5
Višenitna tkanina	PET PP	30 – 400 50 – 200	10 - 20 15 - 30
Jednonitna tkanina	PE	20 - 50	15 - 40
Trakasta tkanina	PP	30 - 100	15 – 30
Filc	PP PET	20 - 120 20 - 120	30 – 60 30 – 60

8.1.4.11.3.11 Drugi uslovi

Potrebno je odrediti

- veličinu i vremenski razvoj sleganja temeljnog tla ispod nasipa korišćenjem klasičnih postupaka za proračun
- postupke gradnje i
- uslove geotehničkog posmatranja i eventualnih dodatnih mera koje se usvajaju tokom gradnje.

Prilikom gradnje na vrlo mekom tlu veoma je bitan način napredovanja radova da ne bi došlo do istiskivanja mekog tla u obliku blatnog talasa (slika 8.1.4.24). Pri korišćenju geosintetika, tehnologiji gradnje treba posvetiti najmanje jednaku pažnju kao i geotehničkom proračunu.



Smer napredovanja nasipa i mera za sprečavanje bočnog istiskivanja

Dovoženje i privremeno deponovanje pre razastiranja buldožerom u napredujuće čelo

Slika 8.1.4.24: Primer nasipanja na veoma mekom tlu

8.1.4.12 Armaturni geosintetici za ojačavanje – armiranje kosina

8.1.4.12.1 Oblast i svrha primene

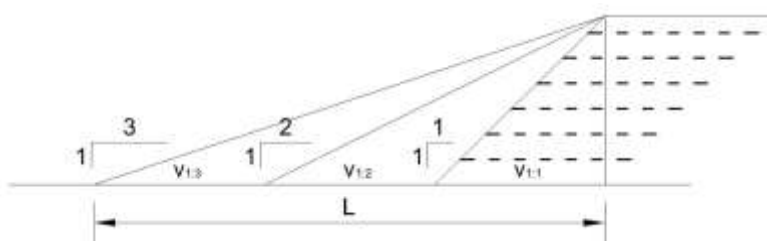
Ojačano (armirano) tlo je kompozitni materijal koji objedinjuje osobine dve potpuno različite vrste materijala tako što smanjuje njihove slabe strane. Tlo koje je jeftino i dostupno u velikim količinama ima relativno dobru kompresionu čvrstoću i čvrstoću pri smicanju, a zanemarljivo malu zateznu čvrstoću. Ugradnjom geosintetika za ojačavanje koji je u poređenju sa zemljištem skup materijal, ali ima veliku zateznu čvrstoću, može da se iskoristi međusobna kombinacija čvrstoće na pritisak, pri smicanju i zatezanju i na taj način

moгу da se poboljšaju opšte osobine kompozitnog materijala.

Geosintetik je odgovarajući za ojačavanje kosina u slučajevima, ako su planirani nagibi kosina veći od nagiba koje dozvoljava gradnja od neojačanog zemljišta (slika 8.1.4.25).

Ojačavanje kosina može da se upotrebi pri

- gradnji novih nasipa,
- proširivanju postojećih nasipa,
- kao alternativno rešenje potpornim konstrukcijama i
- pri sanacijama oštećenih i urušenih kosina.



Slika 8.1.4.25: Karakteristični primer smanjenja zapremine nasipa armiranjem kosine

Ojačavanjem kosina pomoću armaturnog geosintetika mogu da se (slika 8.1.4.26)

- smanje količine potrebnog nasipanja,

- omogućiti korišćenje manje kvalitetnog nasipanja,
- smanje troškovi koji su povezani sa izgradnjom potpornih konstrukcija i

- uspostave uslovi boljeg iskorišćenja prostora.

Ojačavanje kosina geosintetikom može da se upotrebi i u slučajevima kada treba:

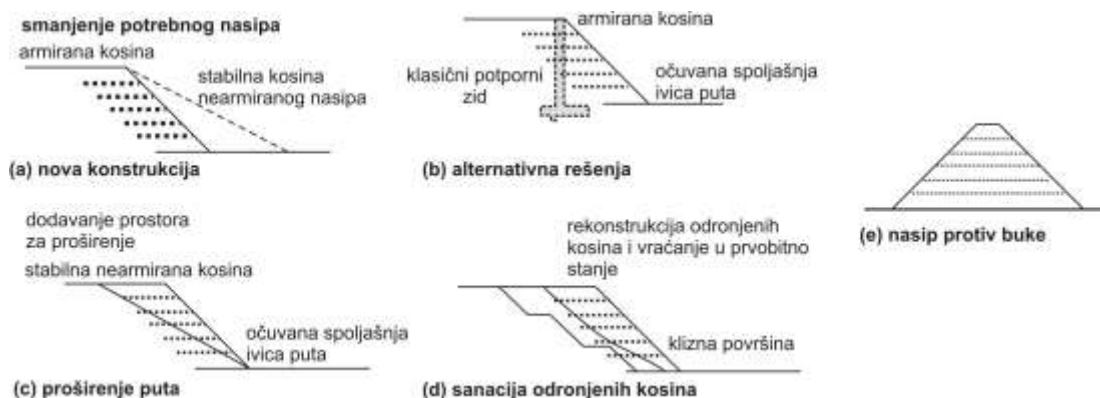
- poboljšati bočnu stabilnost spoljašnjih delova kosine i omogućiti bolje zgušnjavanje,
- poboljšati površinsku stabilnost i erozivnu otpornost kosine ili
- ubrzati konsolidaciju nasipa.

U tim slučajevima nisu potrebne posebne analize stabilnosti. Obično je dovoljno da se paralelno sa gradnjom slojeva nasipa na spoljašnjem delu kosine ugradi traka geosintetika za ojačavanje širine 1 do 2 m.

Ojačavanje kosina geosintetikom može da se upotrebi i za

- povećanje dozvoljene visine za određenu vrstu tla u slučajevima kada nosivost temeljnog tla nije problematična,
- gradnju nasipa od veoma vlažnih sitnozrnih materijala,
- gradnju obalskih nasipa za trajnu ili povremenu zaštitu od visokih voda,
- za zaštitu potpornih stubova i gradnju prelaznih nasipa iza stubova objekta,
- za privremena proširenja puteva,
- za gradnju nasipa za zaštitu od buke,
- za gradnju nasipa za zaštitu od snežnih lavina i padajućeg kamenja.

Planirano ojačavanje kosine zahteva detaljnu geotehničku analizu. Urušavanje geosintetika može da dovede do urušavanja kosine.



Slika 8.1.4.26: Karakteristični primeri korisne upotrebe armiranja kosina

8.1.4.12.2 Analiza stabilnosti armirane kosine

Globalnu stabilnost ojačane kosine treba proveriti pomoću postupaka sličnih onima koji važe za neojačane kosine za privremenu i trajnu zaštitu od rušenja, tj. analizama stabilnosti ili analizama verovatnoće rušenja za različite pretpostavljene klizne plohe jednom od priznatih metoda:

- analitički proračuni za pretpostavljene klizne plohe jednostavnih oblika (ravan, kružni, logaritamski oblik klizne plohe) u homogenom tlu,
- numerički proračuni lamelnim metodama za pretpostavljene klizne plohe kružnog, na deonicama ravnih ili kompleksnijih oblika (metode Bišopa, Janbua, Morgenšterna i Prajsa, Spensera, Sarme, ...),

- numerički proračuni MKE ili diferencijalnom metodom.

Trajno geosintetikom ojačana kosina (planirani period korišćenja veći je od jedne do tri godine) može se smatrati kao nekritična kada je iskazani faktor bezbednosti za istu geometriju neojačane kosine veći od $F = 1.1$; ojačavanje geosintetikom koristi se za povećavanje tog faktora.

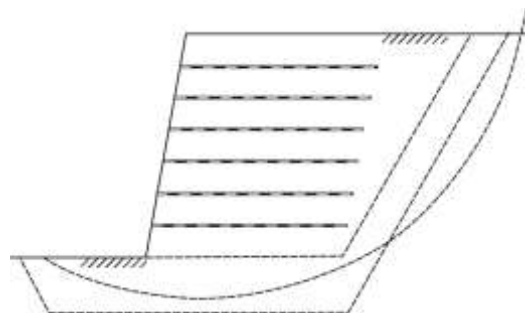
Armirano tlo treba smatrati kao kritično u sledećim slučajevima:

- ako se u planiranom životnom veku pod opterećenjem mobilne celokupna čvrstoća na zatezanje geosintetika,
- ako otkazivanje geosintetika ima za posledicu urušavanje kosine,
- ako urušavanje kosine ugrožava bezbednost ljudi i imovine.

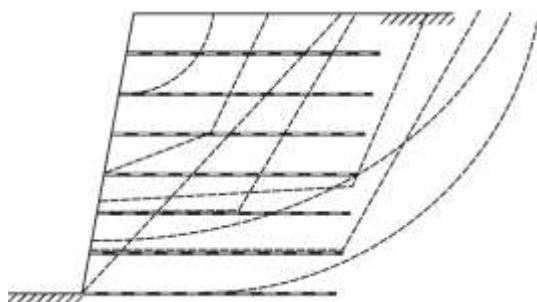
Pri analizi stabilnosti ojačane kosine treba razmotriti različite moguće oblike urušavanja stabilnosti (slika 8.1.4.27):

- interno: linija urušavanja ide kroz ojačano zemljište (slika 8.1.4.28)
- spoljašnje: linija urušavanja ide ispod ojačanog zemljišta (slika 8.1.4.29)
- kombinovano: linija urušavanja ide kroz neojačani i ojačani deo kosine (slika 8.1.4.30).

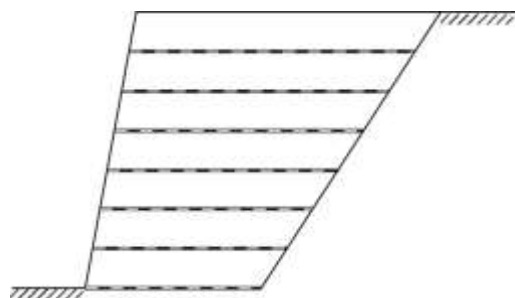
U slučaju interne linije rušenja treba proveriti opasnost od kidanja geosintetika (slika 8.1.4.31), odn. izvlačenja traka (slika 8.1.4.32). Oba slučaja su merodavna kod veoma strmih nagiba kosina.



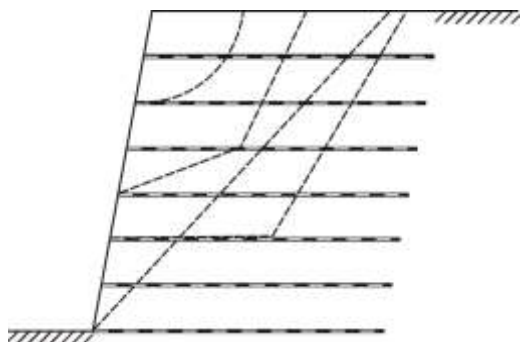
Slika 8.1.4.29: Spoljašnje rušenje: linije rušenja idu iza i ispod armiranog tla



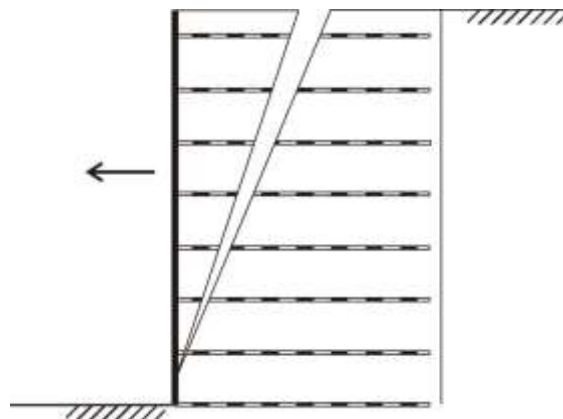
Slika 8.1.4.27: Moguće linije rušenja u predmetnom području armiranog tla



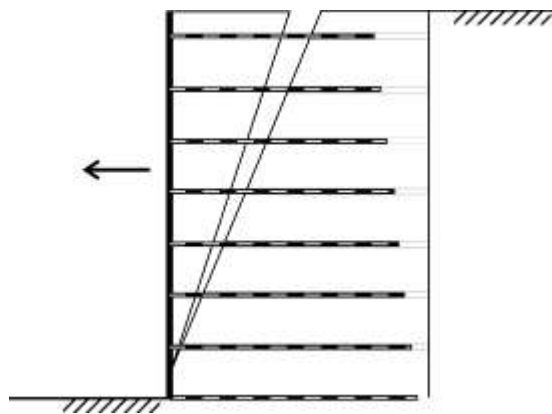
Slika 8.1.4.30: Kombinovano rušenje: linije rušenja idu kroz neojačani i ojačani deo



Slika 8.1.4.28: Interno rušenje - linije rušenja idu kroz armirano tlo



Slika 8.1.4.31: Kidanje geosintetika pri internom rušenju



Slika 8.1.4.32: Izvlačenje geosintetika pri internom rušenju

Najveći nagib kosine β , napravljene od homogenog materijala bez kohezije i bez ojačanja, je $\beta = \varphi$, pri čemu je φ ugao smicanja zemljišta u kosini. Ako treba izgraditi kosinu od istog materijala pod većim nagibom, onda je potrebno u zemljište uneti dodatnu otpornost za održavanje ravnoteže. Najjednostavniji način je unos dodatne horizontalne otpornosti polaganjem geosintetika u horizontalnim slojevima pomoću kojih se poboljšava otpor pri smicanju zemljišta. Dodatna sila koja je potrebna za održavanje ravnoteže, je (Džul, 1991.):

$$T = 0.5 K \gamma H^2 \quad (8.1.4.11)$$

gde je:

T dodatna sila

H visina kosine

K koeficijent pritiska tla koji zavisi od nagiba kosine β , parametara čvrstoće i koeficijenta pritiska u porama

γ zapreminska težina tla

8.1.4.12.3 Projektovanje armirane kosine

Kod projektovanja armirane kosine najpre treba odrediti:

- geometriju kosina,
- spoljašnja opterećenja,
- geotehničke osobine temeljnog tla i materijala u tlu,
- visinu i pritiske podzemne vode,
- globalnu stabilnost neojačane kosine,
- inženjerske osobine materijala za nasip u području i iza područja armiranja i
- projektne parametre ojačanja: izbor geosintetika, njegovu čvrstoću, krutost i osobine pri interakciji sa zemljištem.

Kada su dobijeni navedeni podaci, treba proveriti

- broj,
- vertikalni raspored i
- potrebnu dužinu traka za armiranje.

Ovo može da se izvede korišćenjem

- komercijalnih programa za proveru stabilnosti,
- analitičkih postupaka koje su razvili različiti autori,
- metodom konačnih elemenata ili
- dijagrama za dimenzionisanje koji se zasnivaju na određivanju koeficijenta pritiska tla K i dužine ojačanja L na osnovu nagiba kosine, ugla smicanja zemljišta i veličine pritiska u porama .

Uobičajeni geotehnički pristup prilikom provere stabilnosti ojačanih kosina je metoda graničnih stanja za pretpostavljene potencijalne linije rušenja. Prilikom planiranja treba poštovati načela Eurokoda.

Faktor sigurnosti može da se izrazi prema slici 8.1.4.33 kao:

$$F = (M_R + \sum T_i y_i) / M_d = (\tau_f \cdot L_{sp} \cdot R + \sum T_i y_i) / (W \cdot x + q \cdot d) \quad (8.1.4.12)$$

gde je:

M_R moment koji obezbeđuje otpor tla

M_d moment aktivnih sila

T_i raspoloživa čvrstoća ojačanja geosintetikom

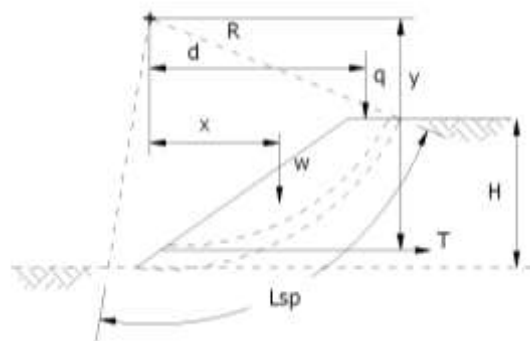
y_i razdaljina

n broj slojeva ojačanja

W težina tla

q opterećenje na nasipu

Ostale oznake po slici 8.1.4.31.



Slika 8.1.4.33: Pristup rešavanju za pretpostavljene kružne linije rušenja

Faktor sigurnosti za različite kružne linije rušenja treba izračunati pomoću odgovarajućih računarskih programa kojima mogu da se odrede kritične linije rušenja i potrebna geometrija ojačanja.

- osobine materijala za nasip sa stanovišta čvrstoće date su parametrima nedreniranog stanja
- diskretna ojačanja trakama ili štapovima.

Alternativno, interna stabilnost kosine koja je ojačana geosinteticima može da se odredi pomoću dijagrama za dimenzionisanje koje su razvili različiti autori (Džuel, Mari, Riger..) i dostupni su u različitim priručnicima i publikacijama.

Dijagrame za dimenzionisanje kosina ojačanih geomrežama odredio je Džul (slike 8.1.4.34, 8.1.4.35 i 8.1.4.36). Korišćenjem tih dijagrama može da se odredi:

- vrednost minimalne potrebne sile traka za armiranje K_{req} ,
- potrebna zahtevana minimalna vrednost L/H za obezbeđivanje opšte stabilnosti (L = dužina trake, H je visina kosine),
- potrebna minimalna vrednost L/H za obezbeđe od proklizavanja,
- projektovana vrednost čvrstoće geosintetika koja je:

$$T_{proj.} = T_{dop.}/F \quad (8.1.4.13)$$

$$T_{dop.} = T_{max}/F_{mreže} \quad (8.1.4.14)$$

$$F_{mreže} = (F_{klizanje} \times F_{ugradnje} \times F_{spojeva} \times F_{biol.} \times F_{hem}) \quad (8.1.4.15)$$

- visina sloja zemljišta za nasip s obzirom na broj slojeva za ojačavanje n ,
- visina između traka $S_v = T_{proj.}/(K_{req} \cdot \gamma \cdot H)$, gde je H visina ojačane kosine i
- područja ekvivalentnih visina.

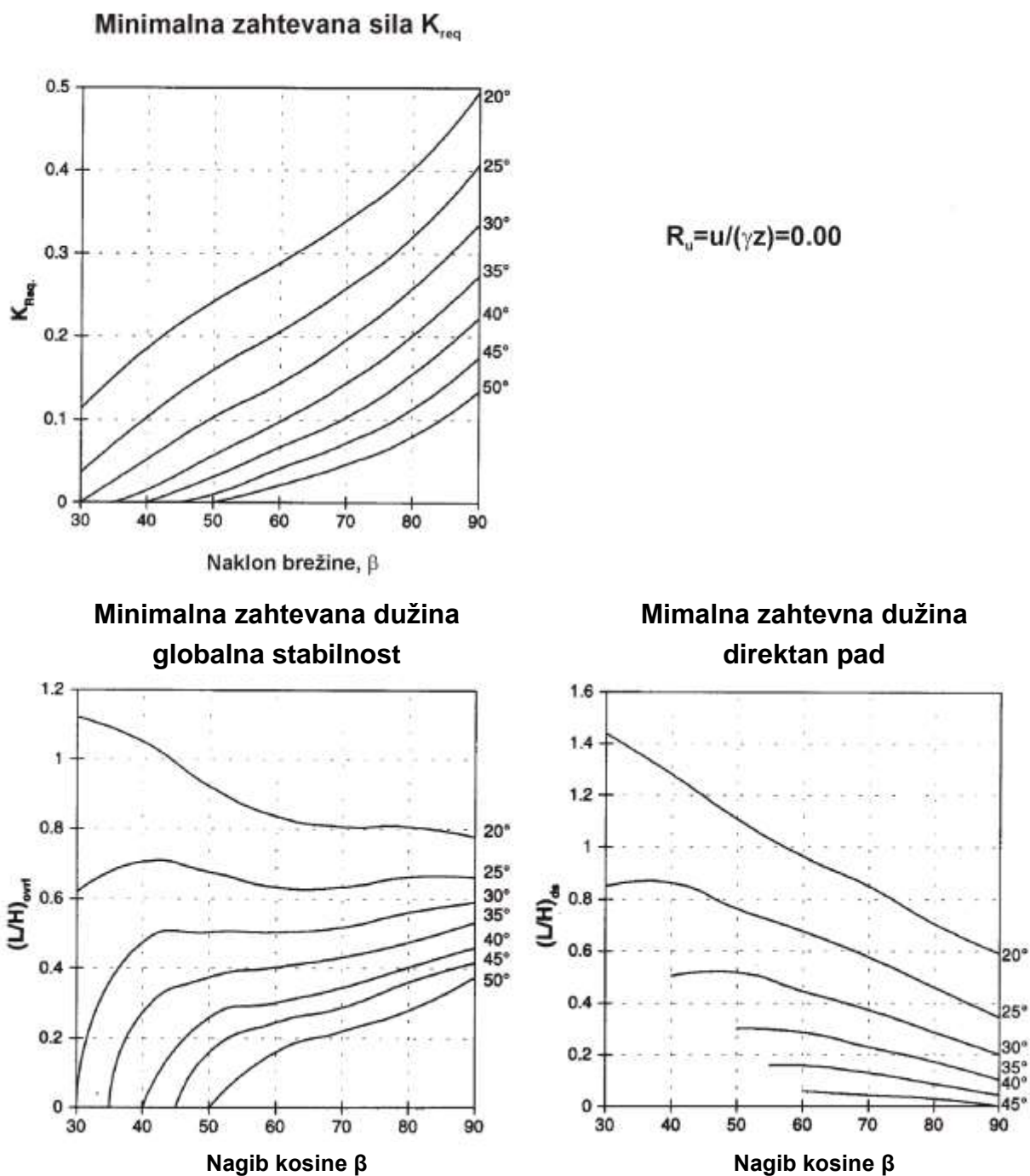
Korišćenje dijagrama na slikama 8.1.4.34 do 8.1.4.36 važi za sledeće pretpostavke:

- kosina je ravnomerna, pod nagibom 30 do 90°, prostor iza kosine je horizontalan
- kosina je na ravnom temeljnom tlu koje ima odgovarajuću nosivost
- materijal za nasip je homogen
- osobine materijala za nasip sa stanovišta čvrstoće date su parametrima dreniranog stanja
- pritisci u porama izraženi su u obliku koeficijenta $R_u = u/(z \cdot \gamma)$
- opterećenje na kruni je ravnomerno
- geosintetik je položen neprekidno i u horizontalnim slojevima.

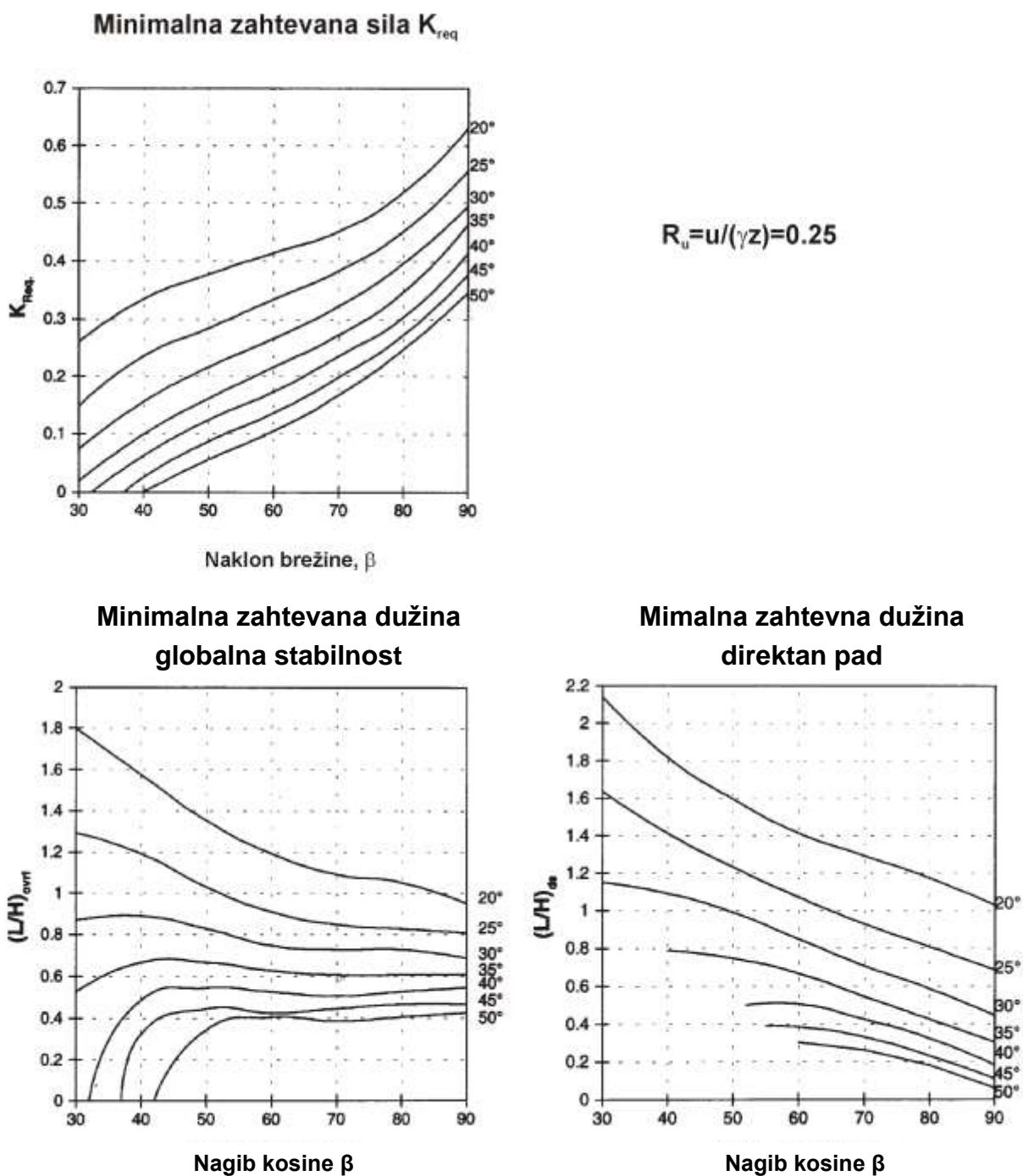
Korišćenje dijagrama za dimenzionisanje nije dozvoljeno u sledećim slučajevima:

- kosina je potopljena
- na kruni kosine deluje tačkasto ili linijsko opterećenje
- dinamičko opterećenje

Dijagrami za dimenzionisanje ojačane kosine (Jewell, 1991)

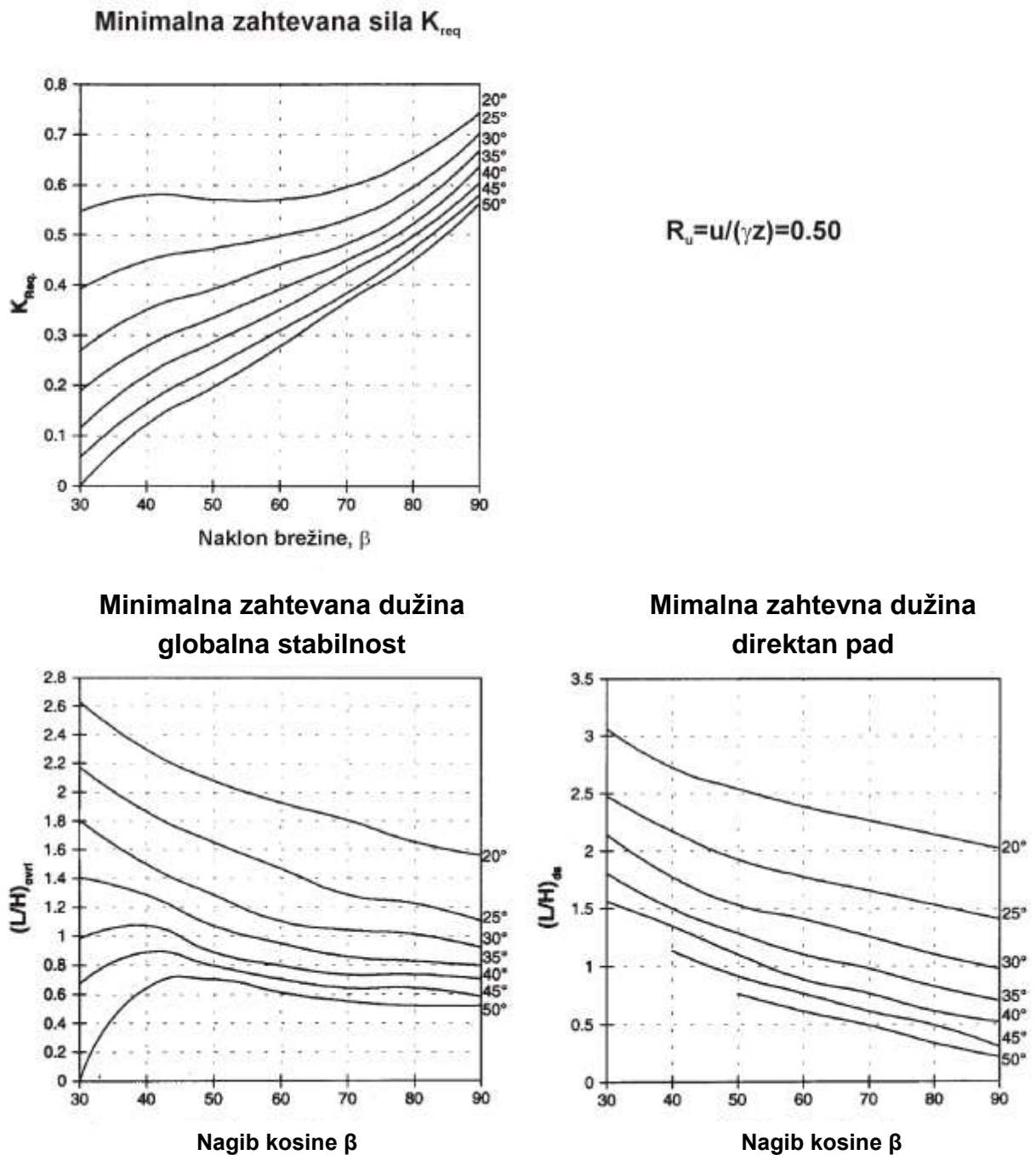
Slika 8.1.4.34: Dijagrami za dimenzionisanje ojačane kosine, $R_u = 0$

Dijagrami za dimenzionisanje ojačane kosine (Jewell, 1991)



Slika 8.1.4.35: Dijagrami za dimenzionisanje ojačane kosine, $R_u = 0,25$

Dijagrami za dimenzionisanje ojačane kosine (Jewell, 1991)

Slika 8.1.4.36: Dijagrami za dimenzionisanje ojačane kosine, $R_u = 0,50$

Proizvođači geosintetika imaju razvijene sopstvene programe i postupke za dimenzionisanje geosintetika u armiranim kosinama koji su obično prilagođeni tipu proizvoda, tako da se posle završene računске operacije korisniku prikazuje i predloženi proizvod. Računske metode su proverene i testirane i mogu da se koriste bez dvoumljenja.

8.1.4.12.4 Materijali za gradnju armiranih nasipa

Armirani nasipi u načelu mogu da se grade svim tipovima neorganskih zemljanih

materiala. Ipak, prilikom izbora materijala za nasipe važe određena ograničenja, i to:

- materijali sa previše krupnih zrna nisu odgovarajuća za armiranje pošto krupna zrna mogu da oštete geosintetik i da se loše užljebe,
- suviše vlažni materijali ne odgovaraju jer ne može da se komprimiraju,
- visoko plastični materijali su samo uslovno odgovarajući zbog zaostalih efekata konsolidacije i puzanja izgrađenog nasipa.

U tabeli 8.1.4.25 je dat orijentacioni pregled zemljanih materijala koja su odgovarajuća za gradnju armiranih nasipa.

Tabela 8.1.4.25: Orijehtacioni pregled zemljanih materijala koja su odgovarajuća za gradnju armiranih nasipa s obzirom na nagibe kosina i način izvođenja čeonog zida (Riger i Hufenus, 2003.)

Tip armirane kosine	Nagib kosine	Krutost sloja, $E_{v1min.}$	Vrsta tla za nasip			
	(°)		(MPa)	GW, GM, GP, SW	GC, GM, SP, GM - ML	GC - CL, SC, SM - ML
			$\varphi' > 35^\circ$	$\varphi' > 32^\circ$	$\varphi' > 30^\circ$	$\varphi' > 27^\circ$
Potporna konstrukcija:						
- kruta	80 - 90	> 45	+++	+	o	o
- opterećenje temeljima		> 40	+++	++	o	o
- saobraćajno opterećenje	75 - 85	> 40	+++	++	o	o
- fleksibilna		> 30	+++	+++	+	o
- opterećenje temeljima		> 30	+++	+++	+	o
- saobraćajno opterećenje						
Kosina	65 - 75					
- kruto čelo		> 30	+++	+++	+	o
H > 3m, saobraćaj		> 25	+++	+++	++	o
H < 3m, saobraćaj		> 20	+++	+++	++	o
- fleksibilno čelo		> 15	+++	+++	++	+
H > 3m, bez saobraćaja		> 15	+++	+++	++	+
H < 3m, bez saobraćaja						
Kosina	55 - 65					
- fleksibilno čelo		> 15	+++	+++	++	+
H > 3m, saobraćaj		> 15	+++	+++	++	+
H < 3m, saobraćaj		> 12	+++	+++	+++	++
H > 3m, bez saobraćaja.		> 8	+++	+++	+++	++
H < 3m, bez saobraćaja						
Kosina	45 - 65					
- meko čelo		> 15	+++	+++	++	+
H > 3m, saobraćaj		> 12	+++	+++	++	+
H < 3m, saobraćaj		> 12	+++	+++	+++	++
H > 3m, bez saobraćaja		> 8	+++	+++	+++	++
H < 3m, saobraćajem						

+++ dobro do vrlo dobro, ++ prihvatljivo, + uslovno, o neodgovarajuće.

8.1.4.12.5 Izvođenje čeonog zida

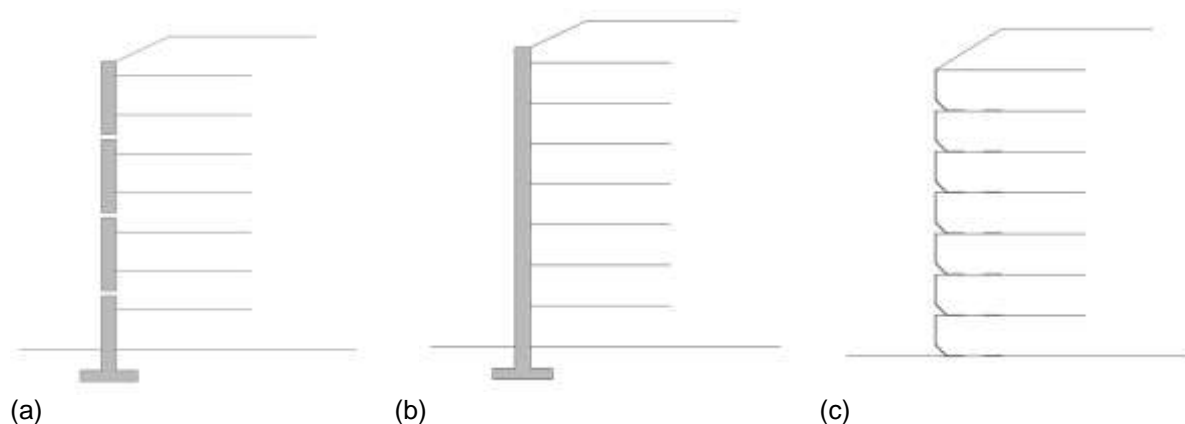
Način izvođenja čeonog zida zavisi od nagiba kosine i vrste opterećenja kojima je izložena kosina od armiranog tla. Postoje tri glavna oblika izvođenja:

- kruti čeonid (hard facing) koji se koristi pre svega za potporne konstrukcije od armiranog tla, odnosno u slučajevima kada je nagib trajne kosine veći od 80° , a može i za nagib preko 65° (slika 8.1.4.37)
- fleksibilni čeonid (flexible facing) koji se koristi na armiranim nasipima sa veoma strmim trajnim kosinama, odn. kosinama

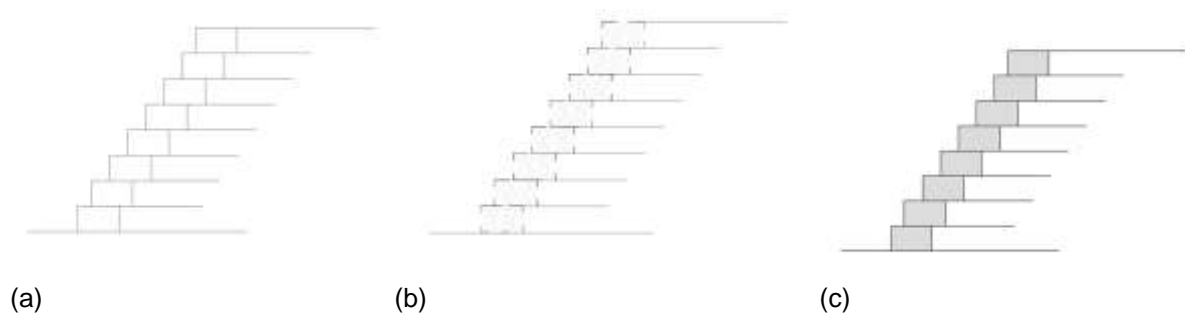
čiji je nagib između 55° i 80° (slika 8.1.4.38),

- meki čeonid (soft facing) kod kojeg je stabilnost čela obezbeđena uvijanjem. Koristi se kada je nagib trajne kosine između 45° i 65° , u posebnim slučajevima, na primer na šumskim putevima, i u slučaju trajnijih kosina u veoma strmim nagibima, do 80° (slika 8.1.4.39).

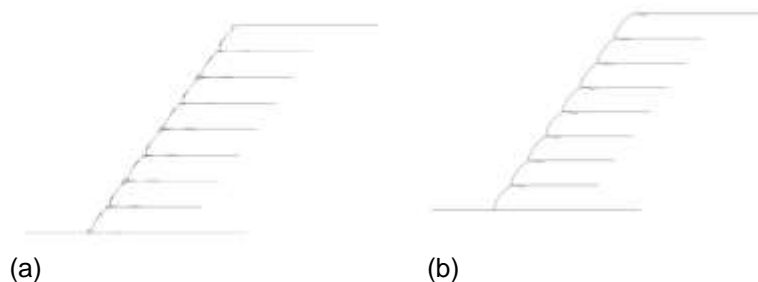
Način izvođenja čeonog zida je sastavni deo projekta za gradnju primenom armiranog tla.



Slika 8.1.4.37: Kruti čeonid: (a) prefabrikovane betonske ploče, (b) betonski zid na mestu, (c) oblikovani komadi sa nastavcima (muški – ženski komadi horizontalnog i vertikalnog spajanja)



Slika 8.1.4.38: Fleksibilni čeonid: (a) betonske kocke, (b) gabioni, (c) punjene vreće, kamene obloge, i sl.



Slika 8.1.4.39: Meko čelo: (a) gradnja u trajnim panelima (gvozdena mreža), (b) uvijanjem.

8.1.4.12.6 Uslovi za polaganje i gradnju

8.1.4.12.6.1 Opšte

U projektu nasipa od armiranog tla treba odrediti:

- način pripreme i utvrđivanja temeljnog tla
- način polaganja geosintetika i širine prekrivanja susednih slojeva
- vrstu materijala za nasip
- debljinu i stepen zbijenosti sloja nasipa; slojevi nasipa moraju da budu zbijeni najmanje $\geq 95\%$ po Proktoru pri vlazi koja odstupa do 2 m.-% u odnosu na optimalnu,
- način izvedbe čeonog zida
- način izvođenja kontrole zbijanja
- način izvođenja geotehničkog monitoringa tokom gradnje.

8.1.4.12.6.2 Polaganje i uvijanje geosintetika

U nagibima kosine do 1:1 armiranje kosine je jednostavno. Geosintetik za ojačavanje polaže se između slojeva nasipa paralelno sa klasičnom ugradnjom nasipa. Do nagiba 1:1 uvijanje čeonog dela nije neophodno. Kada se geosintetik polaže bez uvijanja, što je slučaj kod nagiba kosina 1:1, ni preklapanje susednih traka nije potrebno. Za protiverozionu zaštitu na taj način armirane kosine treba upotrebiti jedan od geosintetika koji je namenjen za zaštitu od površinske erozije: kokosovu mrežu, geočelije, odn. geosaće i sl.

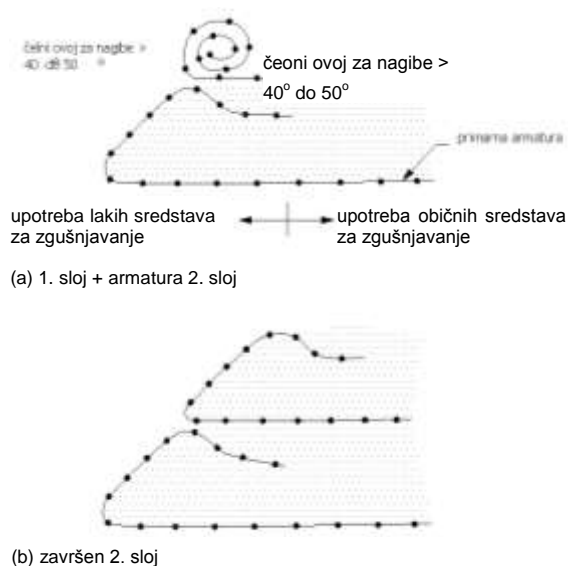
Prilikom gradnje ojačanih kosina sa nagibima većim od 1:1 potrebno je obezbediti otpornost kosine na eroziju uvijanjem čeone strane sloja nasipa (meka čeona strana) ili korišćenjem fleksibilnih ili krutih čeonih elemenata.

Uvijanje čeone strane je odgovarajuće za nagibe kosina između 40 i 65°. Način uvijanja geosintetika preko čela sloja nasipa pri blagim nagibima (između 40 i 50°) prikazan je na slici 8.1.4.40. Debljina sloja koji se uvija bez čeonog zida iznosi najviše 0,4 m. Kada se koristi postupak uvijanja za zaštitu čeonog dela kosine, susedne trake moraju da se preklapaju za najmanje 15 cm, a minimalna dužina ulaska u sloj je od 1,2 do 1,7 m, u zavisnosti od zemljišta i vrste geosintetika.

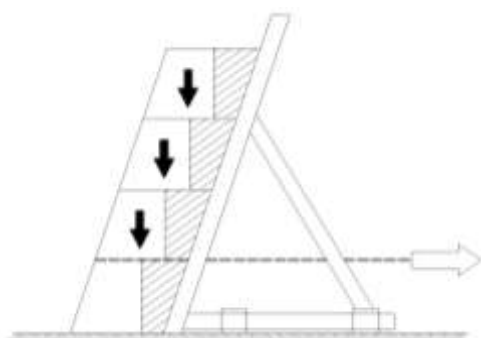
Kod strmih kosina i kod debljih slojeva nasipa (0,5 – 0,6 m), tokom gradnje treba upotrebiti privremene ili trajne potporne elemente za održavanje odgovarajuće geometrije čeone strane (slika 8.1.4.41). Kada se za ojačavanje kosina koriste geomreže, za trošne materijale treba na čeonoj strani upotrebiti dodatnu zaštitnu - zadržavajuću geotekstiliju.

Uopšteno važe sledeće preporuke za gradnju trajnih kosina armiranjem:

- nagib kosine do 45°: uvijanje geosintetika na čeonij strani nije potrebno. Za zaštitu od erozije se na kosinu polaže zaštitni geosintetik (kokosova mreža, saće, vegetacioni geokompozit). Najveća debljina sloja je 40 cm.
- Nagibi kosina od 45° do najviše 65°: potrebno je uvijanje geosintetika na čeonoj strani sa primenom privremenih ili trajnih panela. Debljina slojeva koji se uvijaju je do 60 cm.
- Nagibi kosina preko 65°: potrebna je gradnja stalnim panelima. Izvođenje sa mekim čeom preporučuje se do nagiba 70°. Kod kosina sa nagibom preko 80° preporučuje se čeonu zid od krutih elemenata (betonski elementi, betonske kocke itd.). Razmak između traka po visini može da bude i preko 60 cm, a uslovljen je načinom ankerisanja, odn. pričvršćivanja na čeonu zid.



Slika 8.1.4.40: Prikaz izvođenja uvijanja čeonu stranu nasipa iza ojačane kosine za nagibe 40° do 50°. Pri nagibu preko 50° treba upotrebiti privremene ili trajne panele.



Slika 8.1.4.41: Skica elementa za održavanje planirane geometrije strmih ojačanih kosina tokom gradnje.

8.1.4.12.6.3 Prekrivanje susednih traka geosintetika

Mišljenja o tome da li susedne armaturne trake treba preklapati, povezivati ili na druge načine spojati nisu jedinstvena.

Ukoliko izvođač u svojim specifikacijama za korišćenje proizvoda ili projektant ne odrede drugačije, važe sledeće preporuke:

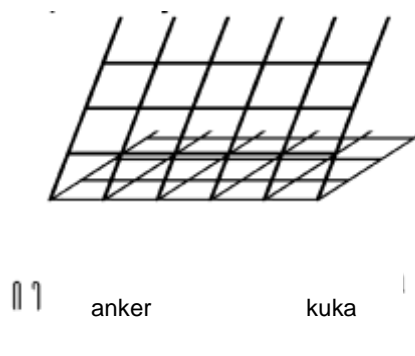
- nagibi kosina do 1:1 bez uvijanja: susedne trake ne treba da se preklapaju
- kosine sa uvijanjem čela sloja: minimalno preklapanje 15 cm

- posebni slučajevi, veoma zahtevni nasipi: preklapanje 30 cm.

8.1.4.12.6.4 Gradnja nasipa od armiranog tla korišćenjem stalnih panela od zakrivljenih gvozdene mreže

Postupak je odgovarajući za nagibe kosina preko 60 - 65°. Kod manjih nagiba je unutrašnji ugao zakrivljene mreže premali, zato je nasipanje i utvrđivanje materijala za nasip otežano. Za polaganje treba prethodno pripremiti (slika 8.1.4.42):

- gvozdene mreže, zakrivljene pod uglom planirane kosine
- kuke, isečene po meri zakrivljene mreže, za učvršćivanje mreža
- gvozdene ankere za fiksiranje mreža u tlo
- čeličnu žicu, za povezivanje susednih mreža.



Slika 8.1.4.42: Osnovni elementi za gradnju armirane kosine korišćenjem zakrivljene gvozdene mreže

Zakrivljene mreže izrađuju se od gvozdene armaturne mreže sa veličinom otvora 150 x 150 mm ili 200 x 200 mm i šipkama $\varnothing = 8$ mm (ili druge odgovarajuće mreže) i unapred se zakrivljuju pod uglom planirane kosine. Deo mreže koji će leći na sloj nasipa mora da bude dugačak najmanje 60 cm, a deo mreže koji održava oblik čela nasipa mora da bude za najmanje 10 cm viši od planirane visine sloja nasipa. Povišeni deo gvozdene mreže potreban je da bi nova gvozdene mreže, pre nasipanja novog sloja, lepo legla u okvir donje gvozdene mreže. Prilikom polaganja zadnje gvozdene mreže gornje šipke se zakrivljuju unazad u nasip.

Susedne gvozdene mreže polažu se preklapanjem za najmanje 5 cm i povezuju se žicama. Pre početka nasipanja mreže se ojačavaju po dijagonali kukama

(odstojnicima) da ne bi došlo do istiskivanja za vreme nasipanja i pričvršćuju se u podlogu ankerima od armaturnih šipki da ne bi došlo do podizanja gvozdene mreže. Ojačanja po dijagonali izvode se u podužnom smeru na razdaljinama od po 60 cm, a ankerisanje u tlo na razdaljinama od po 1 m.

Različite postupke gradnje čeonog zida razmatra standard EN 14475:2006: Execution of special geotechnical works-Reinforced fill

8.1.4.12.7 Geotehničko praćenje

Projektnom dokumentacijom treba odrediti obim i vrstu geotehničkog praćenja armirane kosine posle izgradnje. Praćenja obično obuhvataju

- geodetsko praćenje pomeranja na kruni nasipa i na dograđenim kosinama (ukopa),
- merenja relativnih pomeranja ekstenzometrima,
- inklinometarska merenja i
- praćenje pritisaka i nivoa podzemne vode.

8.1.4.13 Potporne konstrukcije od armirane zemlje

8.1.4.13.1 Područje upotrebe i primena

Potporne konstrukcije od armirane zemlje treba posmatrati kao ekvivalent klasičnim gravitacionim potpornim konstrukcijama i/ili nasipima. U poređenju sa betonskim potpornim konstrukcijama više su fleksibilne i manje osetljive na dinamička opterećenja.

Naročito su pogodne kada je potrebno da se potpornom konstrukcijom obezbedi nasip, na primer na nasipima koji se priključuju na objekte ili kod gradnje nasipa u veoma ograničenom prostoru (slika 8.1.4.43).

Treba ih tretirati kao poseban primer armirane kosine koji je detaljno obrađen u tački 8.1.4.12, sa tom razlikom što su nagibi kosine veoma strmi, pa čak i vertikalni, a zaštita čeonog dela je izvedena primenom različitih prefabrikovanih, drvenih, ili elemenata izrađenih na licu mesta.

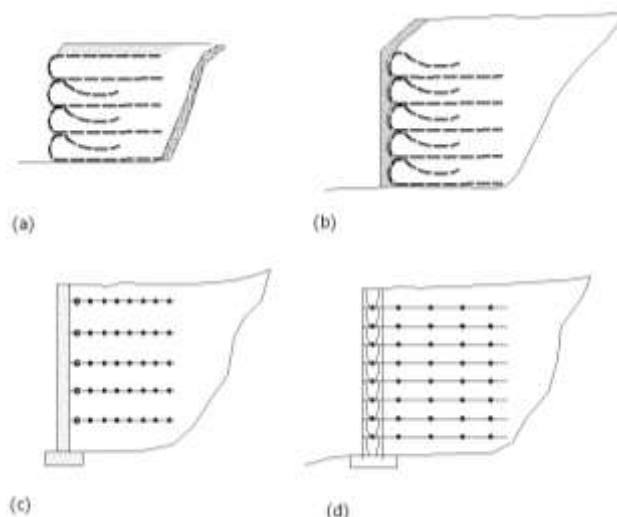
Moguća su sledeća izvođenja:

- prekrivanjem bez čeonog zida (slika 8.1.4.44a),
- prekrivanjem sa čeonim zidom (slika 8.1.4.44b),
- korišćenjem geomreže i cementno-betonskih panela (slika 8.1.4.44c),
- korišćenjem traka koje su uklještene u obložne ploče (slika 8.1.4.44d),
- drugi oblici ojačanja kod kojih se koriste geosintetičke ili čelične trake sa različitim čeonim profilisanim elementima, kao što su detaljno prikazani u standardu EN 14475:2006.

Kod potpornih konstrukcija od armirane zemlje potrebno je da se statičkim analizama proveri globalna stabilnost, potrebna dužina traka (geomreža), nosivost traka (geomreža), njihovo međusobno rastojanje i način spajanja i prekrivanja, kao što to važi za armirane kosine. U većini primera odgovara da se za dimenzionisanje traka (geomreža) uzme u obzir Rankinovo stanje zemljanih pritisaka.



Slika 8.1.4.43: Primer izvođenja potporne konstrukcije od armirane zemlje (desno) umesto klasičnog betonskog zida (levo)



Slika 8.1.4.44: Shematski prikaz mogućih načina izvođenja potporne konstrukcije uz ojačanje geosinteticima.

8.1.4.13.2 Opšti principi dimenzionisanja

Osim provere globalne stabilnosti, neophodno je da se prilikom planiranja potporne konstrukcije od armirane zemlje izračuna potrebna dužina i potreban broj odnosno razmak između armaturnih traka. Armaturne trake mogu da imaju oblik prave uske trake (čelične, poliesterske) ili se za ojačanje koristi geosintetik raširen poput prekrivke po celoj površini sloja (geomreža ili geotekstil). Trake (geomreže, geotekstil) moraju da budu dovoljno duge da trenjem i adhezijom prenesu pritisak tla u pozadinu, iza potencijalne površine rušenja, koja odgovara celokupnom izračunatom aktivnom pritisku zemlje (slika 8.1.4.45). Danas se za armiranje najviše koriste armaturne mreže i tkani geotekstili, a armiranju mrežama su prilagođeni različiti prefabrikovani betonski elementi.

Dijagram aktivnih zemljanih pritisaka (na jedan tekući metar potporne konstrukcije) se podeli na delove koji opterećuju pojedinačnu vrstu trake (geomrežu, geotekstil). Tako je odgovarajuća rezultanta za datu vrstu trake (geomreža, geotekstili) jednaka proizvodu pritiska tla na dubini (geomreže, geotekstila) i vertikalnog rastojanja između nizova traka (geomreža, geotekstili).

$$k_a = \tan^2(\pi/4 - \varphi'/2) \quad (8.1.4.16)$$

$$\vartheta = \pi/4 + \varphi'/2 \quad (8.1.4.17)$$

$$\vartheta' = \pi/4 - \varphi'/2 \quad (8.1.4.18)$$

$$e_i = p_a(z_i) = \sigma_v k_a - 2 c' \sqrt{k_a} \quad (8.1.4.19)$$

$$E_i = dh e_i \quad (8.1.4.20)$$

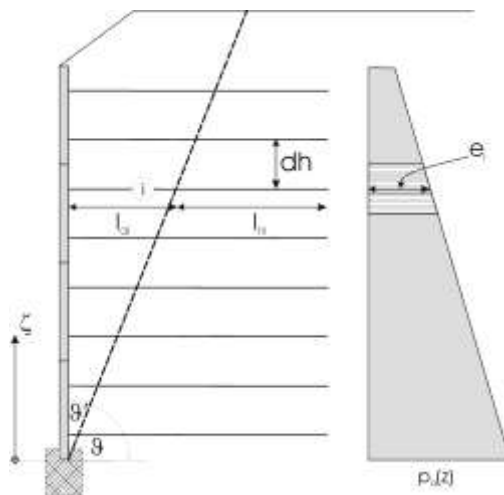
gde je:

K_a koeficijent aktivnog pritiska,

φ' efektivni ugao smicanja, e_i aktivni pritisak na nivou trake i ,

E_i sila u traci i ,

σ_v vertikalni napon



Slika 8.1.4.45: Shematski prikaz proračuna zemljanih pritisaka

8.1.4.13.3 Broj traka na nivou „i“

Sila u pojedinačnoj traci (geomreži, geotekstilu) ne sme da premaši njenu projektну nosivost. Zbog toga je potrebno da se za silu E_i na svakom nivou postavi geomreža ili geotekstil odgovarajuće „jačine“ odn. odgovarajući broj dovoljno „jakih“ traka.

Projektna sila u geomreži ili grupi traka se izračunava na osnovu granične sile geomreže ili geotekstila ili granične sile trake pri čemu se uzima u obzir odgovarajući količnik sigurnosti. Činjenične vrednosti treba izabrati u odnosu na kritičnost primene.

Za geomrežu:

$$P_d = P_{\text{gran}} / \gamma_{\text{mreža}} \quad (8.1.4.21)$$

Za traku:

$$P_d = P_{\text{gran}} / \gamma_{\text{traka}} \quad (8.1.4.22)$$

U slučaju korišćenja traka, moramo da odredimo i broj traka na nivou „i“.

$$n_i = E_i / P_d \quad (8.1.4.23)$$

Broj traka na pojedinačnom nivou na jednoj ploči mora da bude ≥ 2 da ne bi došlo do preplitanja ploča oko jedne trake.

Dužina traka i/ili geomreža na nivou „i“

Dužina traka (geomreže, geotekstil) je zbir dva segmenta dužine svake od traka (geomreže, geotekstila):

- nenoseće dužine (l_{ai}) koja premošćuje rastojanje od obložnih ploča do aktivne površine klizanja i
- noseće dužine (l_{ni}) koja putem trenja prenosi silu trake (geomreže, geotekstila) u zemljište u zaleđu iza Rankinove površine klizanja.

Nenoseća dužina se izračunava na osnovu geometrije aktivne površine obrušavanja:

$$l_{ai} = \zeta_i \tan \varphi' \quad (8.1.4.24)$$

Noseću dužinu određujemo na osnovu uslova ravnoteže za određeni nivo traka (geomreže, geotekstila) u horizontalnom pravcu: sila u traci (geomreži, geotekstilu) E_i mora da bude jednaka trenju duž nosećeg dela traka širine δ ili trenju duž nosećeg dela geomreže širine 1 m na datom nivou:

Geomreže ili geotekstili:

$$E_i = \tau_i A_i = \tau_i 1 l_{ni} \quad (8.1.4.25)$$

$$\tau_i = \sigma_{vi} \tan \varphi' + c' \quad (8.1.4.26)$$

$$l_{ni} = \frac{E_i}{(\sigma_{vi} \tan \varphi' + c')} \quad (8.1.4.27)$$

Trake:

$$E_i = \tau_i A_i = \tau_i l_{ni} 2 n_i \delta \quad (8.1.4.28)$$

$$\tau_i = \sigma_{vi} \tan \varphi' + c' \quad (8.1.4.29)$$

$$l_{ni} = \frac{E_i}{n_i 2 \delta (\sigma_{vi} \tan \varphi' + c')} \quad (8.1.4.30)$$

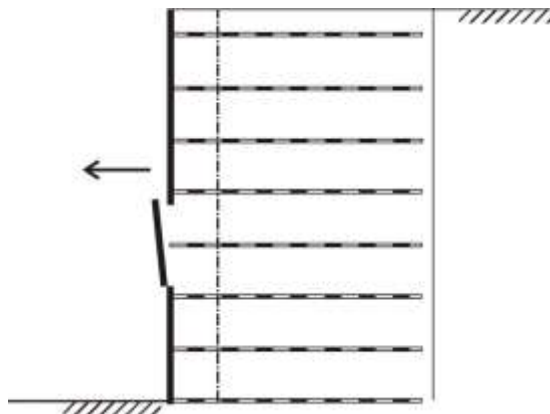
U poslednjoj jednačini n_i je činjenični broj traka na pojedinačnom nivou.

Celokupna dužina traka (geomreža, geotekstil) je zbir oba dela dužine:

$$l_i = l_{ai} + l_{ni} \quad (8.1.4.31)$$

Postoje različiti analitički i numerički postupci za izračunavanje potpornih konstrukcija od armirane zemlje. Proizvođači geosintetika obično imaju napravljene postupke izračunavanja i dijagrame za dimenzionisanje traka koji su prilagođeni nagibu čeonog strane potporne konstrukcije od armirane zemlje (različite vrednosti aktivnog pritiska) i pojedinačnom specifičnom proizvodu (traka, geomreža) koje se mogu dobiti besplatno.

Kod zidova treba dodatno proveriti i opasnost od rušenja čeonog zida i prevrtanja (sl. 8.1.4.46).



Slika 8.1.4.46: Vertikalna stena – opasnost od rušenja čeonog elementa.

8.1.4.13.4 Geotehnička osmatranja

Za izvođenje geotehničkih osmatranja potpornih konstrukcija od armirane zemlje važe isti principi kao i za ostale geotehničke potporne konstrukcije.

8.1.4.14 Zaptivanje geosinteticima

8.1.4.14.1 Područje upotrebe i primena

U gradnji puteva se zaptivanje primenjuje za kontrolu kretanja površinske i podzemne vode, kao i štetnih materija. Geosintetici se koriste umesto prirodne gline za tri glavne svrhe zaptivanja:

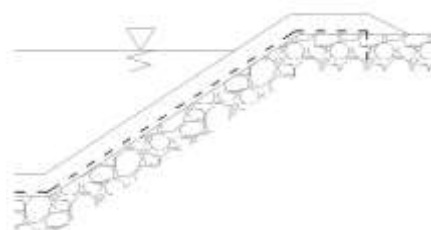
- za sprečavanje širenja zagađene vode (i izlivanja u slučaju nesreće) sa kolovoza u temeljno tlo a time i za sprovođenje pasivne zaštite podzemne vode. Koriste

- se kao nepropustive prekrivke položene na površinama duž ukopanih i nasutih kosina, pod kolovozom, ispod kanala i šahtova.
- za zaptivanje akumulacionih zemljanih bazena za sakupljanje kanalisane atmosferske vode i
 - za sprečavanje prodiranja površinske i atmosferske vode u kolovoznu konstrukciju u slučajevima kada je podloga kolovoza izgrađena od zapreminski nepostojane zemlje sklone bubrenju.

Zaptivanje u ulozi hidroizolacije ukopanih objekata i tunela u ovim smernicama nećemo obrađivati.



(a)



(b)

Slika 8.1.4.47: Karakteristični primeri primene zaptivnog geosintetika.

Primer na slici 8.1.4.47 (a) je karakterističan primer zaptivanja kosine saobraćajnice u useku gde u slučaju nesreće može da dođe do rasipanja zagađujuće materije sa kolovoza na kosinu a zatim dalje u tlo. Geosintetik služi za zaštitu tla od zagađenja u slučaju izlivanja, a istovremeno deluje kao permanentna zaštita od zagađivanja solima, prašinom i drugim zagađujućim materijama sa kolovoza. Inače, glavna funkcija geosintetika je zaptivanje, ali je za delovanje zaptivnog geosintetika važna stabilnost zaštitnog sloja koja na dugim i strmim kosinama može da bude dovedena u pitanje.

Primer na slici 8.1.4.47 (b) je tipičan primer primene geosintetika za zaptivanje bazena. Zaptivanje bazena je moguće u najrazličitijim kombinacijama varijanti, sa i bez zaštitnog prekrivnog sloja i u velikoj meri je uslovljeno načinom funkcionisanja bazena.

8.1.4.14.2 Izbor zaptivnog geosintetika

8.1.4.14.2.1 Opšte

Svi proizvedeni geosintetički zaptivni proizvodi su relativno nepropusni ako ih upoređujemo sa propusnošću prirodnih mineralnih zaptivnih slojeva. Koeficijent propusnosti geosintetičke glinene membrane (GCL) je reda veličine $k = 1 \times 10^{-11}$ m/s i najmanje je za red 100 x manji od propusnosti mineralnog zaptivnog sloja. Geomembrane (PEHD; PVC; EPDM) su praktično vodonepropustive.

Geosintetička zaptivna traka mora da ostane nepropusna i za vreme postavljanja i

Za zaptivanje se primenjuju:

- geosintetičke glinene trake (GCL) odnosno geosintetičke glinene barijere,
- geomembrane od PEHD, PVC, EPDM ili drugih polimera,
- bitumenske membrane.

Bitumenske membrane nisu industrijski proizvedeni materijali. Zaptivanje se izvodi na licu mesta nanošenjem mlaza bitumena na geosintetičku traku – geotekstil. Po pravilu debljina bitumenske trake mora da bude min. 5 mm. Karakteristični primeri primene zaptivnog geosintetika prikazani su na slici 8.1.4.47

delovanja u specifičnim uslovima geološke sredine. Kod geomembrana su opasna mehanička oštećenja usled proboja i kidanja, te hemijsko raspadanje usled delovanja nekih hemijskih jedinjenja, zbog čega dolazi do smanjenja i gubitka funkcije zaptivanja. Kod GCL traka su veoma opasne pukotine koje se pojavljuju usled isušivanja, te posledice delovanja soli, što dovodi do smanjenja i gubitka funkcije zaptivanja, dok UV svetlost i uticaji starenja uzrokuju i gubitak funkcije nosećih traka u GCL traki. Sve zaptivne membrane moraju da budu zaštićene od uticaja iz okoline zaštitnim slojem, iako su neke membrane manje osetljive na UV svetlost (npr. EPDM membrane). Zato je potrebno da se za dimenzionisanje i izbor

zaptivnog geosintetika u fazi planiranja provere:

- osnovni zahtevi koje zaptivni sloj mora da ispuni,
- zahtevi koji se odnose na ponašanje zaptivne trake za vreme delovanja,
- tehnološke mogućnosti polaganja,
- cena.

U okviru zahteva koji se odnose na ponašanje zaptivne trake treba proveriti sledeće uticaje:

- da li zaptivni geosintetik deluje kao glavni ili pomoćni zaptivni sloj,
- kakve će biti posledice rušenja i eventualnog proceđivanja,
- da li možemo da odredimo red veličine dozvoljenog proceđivanja,
- koji je planirani životni vek,
- kakve su tehnološke mogućnosti ugradnje i obezbeđivanja povremene i dugotrajne stabilnosti,
- koje je vreme intervencije.

8.1.4.14.2.2 Trajnost

Geomembrane i geosintetičke glinene trake ispoljavaju veoma niske koeficijente vodopropustivosti kada je reč o zaštiti od prodiranja vode. A to ne važi za neke ugljovodonike i određene druge štetne materije.

Treba biti posebno obazriv prilikom korišćenja GCL traka. Bentonitno punjenje u GCL trakama hidratizuje u kontaktu sa vodom, ali ne i u slučajevima kada dođe u kontakt sa ugljovodonicima ili vodama koje sadrže visoku koncentraciju soli. Ukoliko je bentonit u zaptivnoj GCL traci nedovoljno navlažen, ne obezbeđuje zaptivanje za neka goriva (npr. petrolej, benzin, naftu) koji mogu neometano otići kroz makropore u nenabreklom (hidratizovanom) bentonitnom prahu.

U GCL zaptivnim trakama može da dođe do katjonske razmene u slučajevima kada se nalaze u dužem kontaktu sa vodom koja sadrži visoku koncentraciju soli. Procenjuje se da je u ovakvim slučajevima očekivano povećanje propusnosti za red veličine otprilike desetostruko.

Na trajnost zaptivnih traka mogu da utiču i neke kiseline i alifatski hlorisani ugljovodonici. PEHD membrane u ovom trenutku ispoljavaju najveću otpornost na hemijski agresivne materije.

8.1.4.14.2.3 Čvrstoća na zatezanje

Zaptivni geosintetici nisu dimenzionisani za preuzimanje zateznih opterećenja. Dodatnu neophodnu zateznu čvrstoću treba obezbediti dodatnim armaturnim geosintetikom.

8.1.4.14.2.4 Statičko i dinamičko opterećenje

Statičko opterećenje se kroz zaptivni geosintetik prenosi na podlogu. Kontakt podloga – zaptivni geosintetik – zaštitni prekrivni sloj mora da bude proveren. Materijali krupnih zrna, oštih i zašiljenih ivica mogu da oštete zaptivni geosintetik. Materijali sa koeficijentom neravnomernosti $c_U < 15$ mogu da prouzrokuju više poteškoća nego materijali sa većim stepenom gradacije $c_U > 15$.

Velika statička opterećenja na GCL zaptivnim trakama mogu da prouzrokuju efekat istiskivanja. To znači da se bentonitno zaptivno sredstvo istiskuje kroz fine pore nosećeg geosintetika, poput zubne paste. Efekat je moguće eliminisati korišćenjem debljeg i gušćeg nosećeg geosintetika.

Slično važi i kod dinamičkih opterećenja. Hidratizovani bentonit pod uticajem dinamičkog opterećenja saobraćaja počinje da vibrira i da se istiskuje kroz pore nosećeg geosintetika. Za zaštitu treba primeniti snažniji geosintetički noseći sloj ili zaštitni sloj odgovarajuće debljine od prirodne zemlje (30 – 60 cm).

8.1.4.14.2.5 Ispiranje

Ispiranje je veoma opasno u slučaju korišćenja GCL traka sa loše upregnutim mineralnim zaptivnim sredstvom. Rešenje je u korišćenju debljih traka u kojima je mineralno zaptivno sredstvo gusto zbijeno (visoka masa mineralnog punjenja/m²) i iglanjem čvrsto povezano sa donjim i gornjim nosećim slojem.

8.1.4.14.2.6 Isušivanje

GCL trake su veoma osetljive na isušivanje. Iako neke evropske smernice dokazuju da je zaštitni sloj zemlje debljine 30 cm dovoljan za zaštitu od isušivanja, kontrolna iskopavanja i kontrolna merenja vlage u Sloveniji su pokazali da se za vreme sušnijih letnjih perioda pojavljuju pukotine i ispod zaštitnih pokrivača debljine 60 cm. Prilikom planiranja zaštitnog pokrivača potrebno je da se temeljno provere lokalni uslovi.

8.1.4.14.2.7 Smrzavanje i otapanje

Smrzavanje i otapanje po pravilu ne utiču na zaptivnu sposobnost geosintetičkih traka za zaptivanje.

8.1.4.14.2.8 UV stabilnost

Obrađena je u poglavlju 8.1.4.5. Kod zaptivanja na području puteva po pravilu sve zaptivne trake treba zaštititi od dejstva UV svetlosti dovoljno brzim izvođenjem i zadovoljavajućom debljinom pokrivnog sloja.

8.1.4.14.2.9 Biološka aktivnost

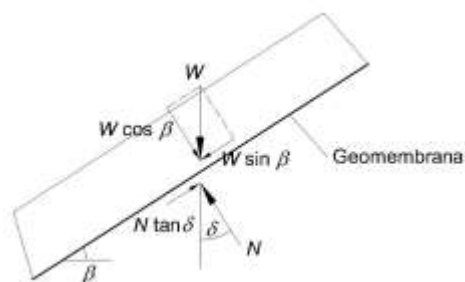
Funkcionalnost zaptivnih geosintetika potencijalno ugrožavaju glodari (miševi i pacovi), gljivice i bakterije. Kolika je stvarna

ranjivost ne može se utvrditi istraživanjima. Uopšte važi da na područjima sa povećanim rizikom prednost imaju deblje i gušće zaptivne trake.

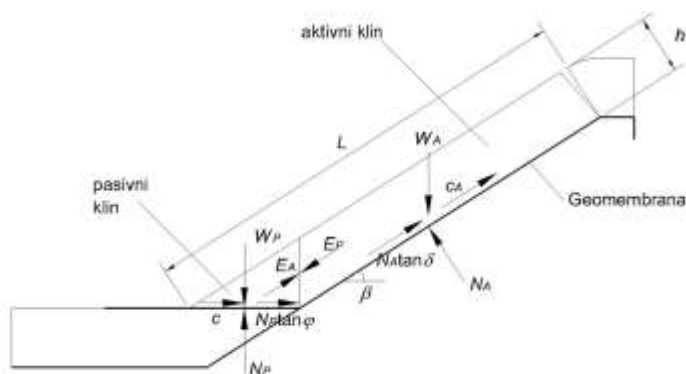
8.1.4.14.3 Stabilnost prekrivača na kosinama

Zaptivni geosintetici moraju da budu i prekriveni da bi se sprečilo prebrzo starenje i mehanička oštećenja. Zaštita se izvodi slojem zemlje i vegetativne zemlje nanete na zaptivni geosintetik do 1,2 m. Za stabilnost zemlje prekrivača je uvek kritičan kontakt između nepropusnog geosintetika u podlozi i zaštitnog sloja zemlje na kosini. Pri tom su moguće tri situacije (slika 8.1.4.48): padina je beskonačna (a), padina je konačna (b) i pokrivač je izveden u obliku klina (c).

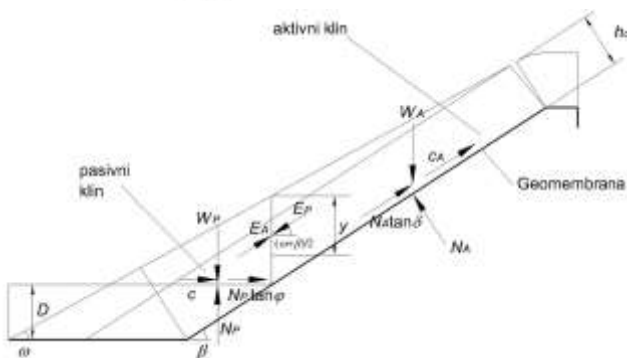
(a) – beskrajna padina



(b) – padina ograničene visine



(c) – padina ograničene visine sa klinom na kraju



Slika 8.1.4.48: Tri karakteristična primera za proveru stabilnosti pokrivača na kosini zaptivenoj geosintetikom (prema Koerner, 1999)

Zaštitu zemljanog sloja od prokliznuća na zaptivenoj kosini treba proveriti po metodu graničnih stanja, uzimajući u obzir i mogućnost da dođe do povremenog podizanja podzemne vode u zaštitnom sloju. U slučaju beskrajne padine faktor sigurnosti je određen odnosom aktivnih i reaktivnih sila i iznosi:

$$F = \frac{N \tan \delta}{W \sin \beta} = \frac{W \cos \beta \tan \delta}{W \sin \beta} = \frac{\tan \delta}{\tan \beta}$$

(8.1.4.32)

gde je

 β – nagib kosine δ – trenje na kontaktu geosintetik-tlo.

U slučaju konačne padine (slika 8.1.4.48 b) važi sledeće:

$$W_A = \gamma h^2 \left(\frac{L}{h} - \frac{1}{\sin \beta} - \frac{\tan \beta}{2} \right) \quad (8.1.4.33)$$

$$N_A = W_A \cos \beta \quad (8.1.4.34)$$

$$W_P = \frac{\gamma h^2}{\sin 2\beta} \quad (8.1.4.35)$$

Rezultujući faktor sigurnosti je:

$$F = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (8.1.4.36)$$

gde je:

a $(W_A - N_A \cos \beta) \cos \beta$

b $-[(W_A - N_A \cos \beta) \sin \beta \tan \varphi + (N_A \tan \delta + C_a) \sin \beta \cos \beta + \sin \beta (C + W_P \tan \varphi)]$

c $(N_A \tan \delta + C_a) \sin^2 \beta \tan \delta$

 γ zapreminska težina zemljanog materijala u pokrivaču, φ ugao smicanja zemljine u pokrivaču, C_a adheziona sila između zemljine i geosintetika i c_a adhezija između zemljine i geosintetika.

Za izračunavanje je merodavan otpor trenja na kontaktu zaptivni geosintetik-zaštitni pokrivač. U tabeli 8.1.4.26 su prikazane orijentacione vrednosti za različite kombinacije: tlo-geomembrana, geomembrana-geotekstil i tlo-geotekstil. U slučaju opsežne primene treba izvesti istraživanje za materijale izabrane u projektu.

Tabela 8.1.4.26: Vrhunske vrednosti otpora trenja na kontaktu tlo-geomembrana-geotekstil (Koerner (1999))

Trenje na kontaktu tlo-geomembrana, izraženo u stepenima (°)			
Geomembrana	pesak $\varphi = 30^\circ$	pesak $\varphi = 28^\circ$	pesak $\varphi = 26^\circ$
HDPE- glatka	18	18	17
PVC - hrapava	27		25
PVC - glatka	25		21
PE - armirana	25	21	23
Trenje na kontaktu geomembrana-geotekstil izražen u stepenima (°)			
	HDPE	PVC - hrapav	PE armiran
Netkana, iglana	8	23	15
Toplo vezana	11	20	21
Tkana jednonitna	6	11	9
Tkana trakasta	10	28	13
Trenjski kontakt geotekstil-pesak izražen u stepenima (°)			
	pesak $\varphi = 30^\circ$	pesak $\varphi = 28^\circ$	pesak $\varphi = 26^\circ$
Netkana, iglana	30	26	25
Toplo vezana	26		
Tkana jednonitna	26		
Tkana trakasta	24	24	23

8.1.4.14.4 Zaštitni materijali na kosinama zaptivenim geosinteticima

Materijali za zaštitni sloj mogu da budu:

- prirodna zemlja i humusna crnica,
- prirodna zemlja i kamene obloge,
- prirodna zemlja i profilisani elementi cementa i betona, opeke ili drugi elementi.

Za zaštitu su pogodni dobro propustivi tipovi zemlje od zaobljenih zrna, kao što je pesak i sitan zrnasti peščani šljunak (SW, SM, GM, GW).

Minimalnu debljinu zaštitnog sloja treba odrediti na osnovu analize klimatskih razmera. Geosintetički glineni pokrivači moraju da budu ugrađeni na dubini na kojoj nisu izloženi uticajima isušivanja. Ako takav

uslov nije moguće ispuniti, na zaštićenoj kosini treba uspostaviti sistem veštačkog namakanja.

Za ostale zaptivne membrane koje nisu osetljive na isušivanje minimalna debljina zaštitnog pokrivača iznosi 30 cm.

8.1.4.14.5 Mehanička i hidraulična svojstva zaptivnih geosintetika za zaštitu podzemne vode od zagađenja

Mehanička i hidraulična svojstva geosintetika koja se koriste za zaštitu podzemne vode na području puteva su prikazane u tabeli 8.1.4.27, a svojstva geosintetičkih glinenih traka u tabeli 8.1.4.28.

Tabela 8.1.4.27: Svojstva geomembrana za zaštitu podzemne vode

Parametar	Zahtevano svojstvo
Izgled:	Površina mora da bude glatka, bez pora, otvora i stranih sadržaja. Kalem mora da se odmota glatko i ravnomerno.
Debljina:	min. 2mm. Pojedinačne vrednosti ne smeju da odstupaju za više od 10 %*.
Otpornost na povećane temperature:	- promene dimenzije < 2 %, - nema promene izgleda, - maks. promena karakteristika zatezanja < 20 %
Upijanje vode:	maks. 1% za 28 dana u vodi.
Mehaničke osobine:	
- Karakteristike zatezanja	400 N/5 cm
- Jednoosovinska sila prilikom istezanja	> 10 %
- Površinsko istezanje prilikom rušenja	> 200 N
- Otpornost na dalje kidanje	> 750 mm, nepropusno
- Otpornost na probijanje	- 20°C, bez pukotina
- Otpornost na niske temperature	> 100N/5cm
- Otpornost na visoke temperature	
- Čvrstoća vara	
- Kod delimično kristalnih	> 0,9
- Kod amorfni	> 0,6
- Otpornost na koncentrisana sredstva	
- Promena mase	< 5 %
- Promena svojstava zatezanja	< 25 %
- Otpornost na razblažena sredstva	
- Promena mase	< 10 %
- Promena svojstava zatezanja	< 20 %
- Otpornost na biljke	Ne zarasta u korenje
- Otpornost na životinje	Otpornost na ugrize, oštećenje na ivici < 50 mm

*Može se odabrati i druge debljine, ako se to dokaže primernim

Tabela 8.1.4.28: Svojstva GCL traka za zaštitu podzemne vode

Parametar	Zahtevano svojstvo
Vrsta GCL trake:	Šivena ili iglana, razmak šavova maks. 3 x 3 cm Kombinovana GCL – PEHD, lepljena.
Noseći i zaštitni sloj:	Geotekstil, površinska masa min. 200g/m ²
Čvrstoća na zatezanje u uzdužnom i poprečnom pravcu	min. 10 kN/m ²
Bentonitno punjenje	min. 4,5 kg/m ²
Vrsta bentonitnog punjenja	Prirodni ili aktivirani natrijumov montmorillonit
Vlažnost prilikom nabavke	min. 75 %
Upijanje vode prema <i>Enslin - Neff</i>	min. 650 %
Propusnost za vodu pod opterećenjem 10 kN/m ²	< 10 ⁻¹⁰ m/s

Kada je geomembrana ugrađena kao osnovni zaptivni sloj na područjima sa strogom zaštitom, debljina ne sme da bude manja od 2 mm. Kada je ugrađena kao pomoćni zaptivni sloj, može da bude i tanja (1 mm).

Kada je geosintetička glinena traka (GCL) ugrađena kao osnovni zaptivni materijal, bentonitno punjenje između donjeg i gornjeg sloja mora da bude pričvršćeno iglanjem ili ušivanjem, a gustina šavova ne sme da bude ređa od mreže 3 x 3 cm.

Bitumenska zaptivna traka može da se koristi samo za pomoćno zaptivanje. Količina mlaza mora da bude u rasponu od 1,5 kg/m² do 2 kg/m².

8.1.4.14.6 Uslovi za postavljanje i ugradnju

Projektant zaptivanja mora precizno da odredi uslove koji moraju da budu ispunjeni prilikom postavljanja zaptivnih geosintetika. Lokacija postavljanja, klimatske karakteristike i sezona postavljanja presudno utiču na izbor materijala i način postavljanja. Stanje podloge, postupci postavljanja, vrsta materijala kojim se vrši pokrivanje i način pokrivanja utiču na izdržljivost zaptivnog geosintetika.

Četiri kritična područja utiču na uspešnost postavljanja:

- priprema podloge,
- vezivanje i varenje,
- zaptivanje na području svih proboja za objekte (npr. saobraćajne znake, šahtove),
- pokrivanje.

Podloga mora da obezbeđuje odgovarajuću posteljicu za zaptivnu traku. Mora da bude stabilna, dobro komprimirana (zbijenost min 95 %), bez velikih i oštrih zrna koje bi tačkasto opterećivala zaptivnu traku. U završnom planumu ne bi smelo da bude zrna većih od 12 mm. Za poboljšanje uslova u podlozi može da se iskoristi zaštitni geotekstil.

Načini pokrivanja moraju da budu propisani u projektu zaptivanja. Kod kosina koje su veće od 1 m i pod nagibom čiji je naklon veći od 1:3, analiza stabilnosti mora da pokaže zadovoljavajuću bezbednost što se tiče rizika od proklizavanja.

Na kosinama gde je predviđeno ozelenjavanje (travnati pokrivač), postavljanje je dozvoljeno samo u periodu formiranja korenskog sistema (mart-septembar).

Način vezivanja i varenja zavisi od izabranog geosintetika. GCL trake i tanje pomoćne zaptivne membrane se obično samo pokrivaju u propisanoj širini (20 cm). Geomembrane se vezuju na različite načine, obično varenjem ili korišćenjem hemikalija.

Konstrukcioni detalji izvođenja penetracija i zaptivanja prilikom penetracija su detaljno opisana u uputstvima proizvođača zaptivnih membrana.

8.1.4.15 Ostale primene geosintetika

8.1.4.15.1 Opšte

U t. 8.1.4.8 do t. 8.1.4.14 obrađene su glavne, ali ne i sve primene geosintetika. Takođe, nisu obrađena ni sledeća područja primene:

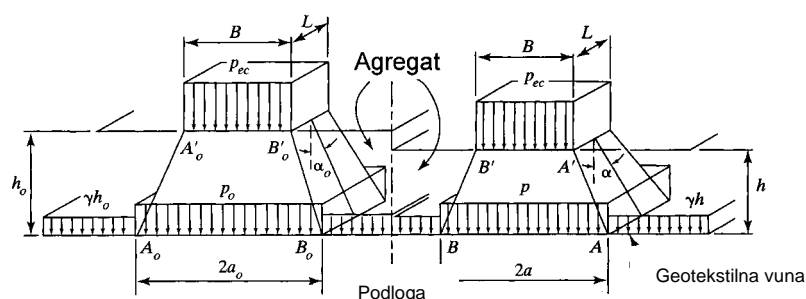
- geosintetici za armiranje ispod privremenih kolovoza,
- geosintetici za zaštitu i zaštitu od površinske erozije,
- geosintetici za pakovanje.

Za ovu primenu ne postoje jedinstvene smernice. Projektant objekta mora da odredi uslove primene i da tome prilagodi izbor. U tački 8.1.4.15.2 je predstavljen princip dimenzionisanja privremenih kolovoza korišćenjem armaturnog geosintetika.

8.1.4.15.2 Geosintetici za armiranje ispod privremenih kolovoza

Praktična primena geosintetika za armiranje ispod privremenih i nevezanih kolovoza je obrađena u *Kerner (1999)*, i *Riger i Hufenus (2003)*.

Žiro i Noarej (1967) su za analizu kolovoza bez vezanih slojeva koristili model prikazan na slici 8.1.4.49. Model se zasniva na pretpostavci da se saobraćajno opterećenje raspoređuje kroz sloj kamenog materijala debljine h_0 ako ne koristimo geotekstil, odn. kroz sloj kamenog materijala debljine h , ako koristimo geotekstil.



Slika 8.1.4.49 Raspored opterećenja ispod saobraćajno opterećenih površina (*Žiro i Noarej, 1967*)

Prikazana geometrija vodi do relacije:

$$p_0 = \frac{P}{2(B + 2h_0 \operatorname{tg} \alpha_0)(L + 2h_0 \operatorname{tg} \alpha_0)} + \gamma h_0 \quad (8.1.4.37)$$

$$p = \frac{P}{2(B + 2htg\alpha)(L + 2htg\alpha)} + \gamma h \quad (8.1.4.38)$$

gde je:

P = osovinsko opterećenje

γ = zapreminska težina kamenog agregata

Model se zasniva na pretpostavci da tlo deluje u nedreniranom stanju, što znači da se sva njena otpornost na smicanje odražava kao kohezija ($\tau=c_u$). Tako je bez korišćenja geosintetika maksimalni dozvoljeni pritisak na podlogu jednak:

$$p_0 = \pi c + \gamma h_0 \quad (8.1.4.39)$$

a ako se geosintetik koristi:

$$p^* = (\pi + 2) c + \gamma h_0 \quad (8.1.4.40)$$

Ovakva pretpostavka je opravdana i potvrđuju je i modeli ispitivanja koji su pokazali da se kolotrazi stvaraju na 3.3 c bez geosintetika i na 6 c ako se koristi geosintetik (*Kerner, 1999*).

U slučaju da se ne dimenzioniše geotekstilom, izraze (8.1.4.37) i (8.1.4.38) možemo da rešimo tako da dobijemo zapis:

$$c = \frac{P}{2\pi(\sqrt{P/p_c + 2h_0 \operatorname{tg} \alpha_0}(\sqrt{P/2p_c + 2h_0 \operatorname{tg} \alpha_0}))} \quad (8.1.4.41)$$

gde je:

c = kohezija

P = osovinsko opterećenje

p_c = pritisak u gumama

h_0 = debljina kamenog sloja

α_0 = ugao rasporeda opterećenja (26°).

A u slučaju korišćenja geotekstila izraz p^* se zamenjuje izrazom $(p-p_g)$ u kome je p_g

funkcija zatezne čvrstine geotekstila, što znači da se radi o priličnom istežanju. Na osnovu predviđanja defleksije koja nastupa u sistemu tlo/geotekstil je:

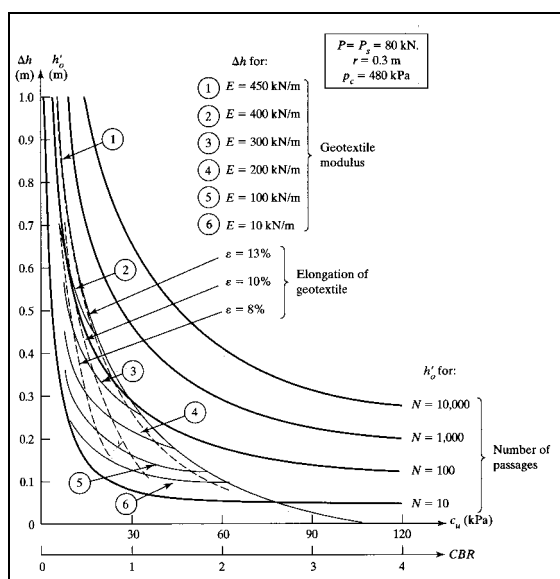
$$p_g = \frac{E \cdot \varepsilon}{a \sqrt{1 + (a/2S)^2}} \quad (8.1.4.42)$$

E = modul geotekstila

ε = istežanje

$$(\pi + 2) c = \frac{P}{2(B + 2htg\alpha)(L + 2htg\alpha)} - \frac{E\varepsilon}{a \sqrt{1 + (a/2S)^2}} \quad (8.1.4.43)$$

Na osnovu ovako postavljenog modela su koncipirani dijagrami za dimenzionisanje koji uključuju kombinaciju uticaja svojstva geotekstila, saobraćajnih opterećenja, dozvoljenu dubinu kolotruga i svojstva podloge (slika 8.1.4.50).



Slika 8.1.4.50: Dijagram za dimenzionisanje privremenih puteva transporta i kolovoza bez vezanih nosećih i ivičnih slojeva (*Giroud i Noiray, 1967*). h_0 – bez geotekstila, (Δh) – redukcija debljine korišćenjem geotekstila).

a = geometrija (Slika 8.1.4.50)

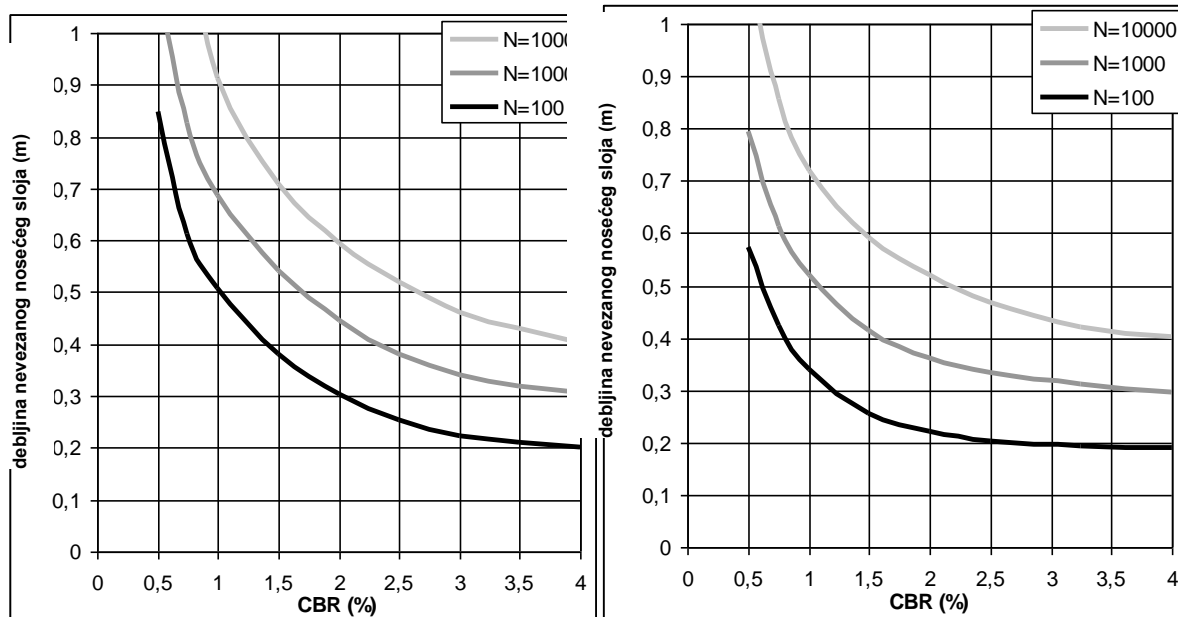
S = sleganje (kolotrag)

Ako uzmemo u obzir da je $p^* = (p - p_g)$, kombinovanjem izraza (8.1.4.37), (8.1.4.40) i (8.1.4.42) dobijamo rešenje (8.1.4.43) u kome je h = debljina nosećeg kamenog sloja koja je nepoznata.

U osnovnom obliku dijagrami *Žiro i Noarej* se danas više ne koriste. Brojni proizvođači armaturnih geosintetika zajedno sa proizvodima nude i dijagrame za dimenzionisanje privremenih kolovoza (građevinskih i šumskih puteva) korišćenjem armaturnog geosintetika. Dijagrami su manje ili više empirijske prirode i zasnivaju se na sledećim ulaznim podacima:

- krutost podloge (nosivost CBR ili modul M_E ili E_v),
- čvrstoća i istežanje armaturnog geosintetika
- planirani broj prelaza nominalnog osovinskog opterećenja ($N = 100, 1000, 10000$).

Na osnovu dijagrama se zatim određuje ušteda debljine nosećeg nevezanog sloja. Na slikama 8.1.4.51 i 8.1.4.52 su prikazani primeri za izračunavanje neophodne debljine nevezanog nosećeg sloja od šljunka (zaobljen) odn. drobine (uglast) prema švajcarskom priručniku *Rüegger i Hufenus* (2003) za planirani broj prelaza vozilima nominalnog osovinskog opterećenja 80 kN. Ovi postupci nisu pogodni za trajne kolovoze sa vezanim nosećim slojevima.

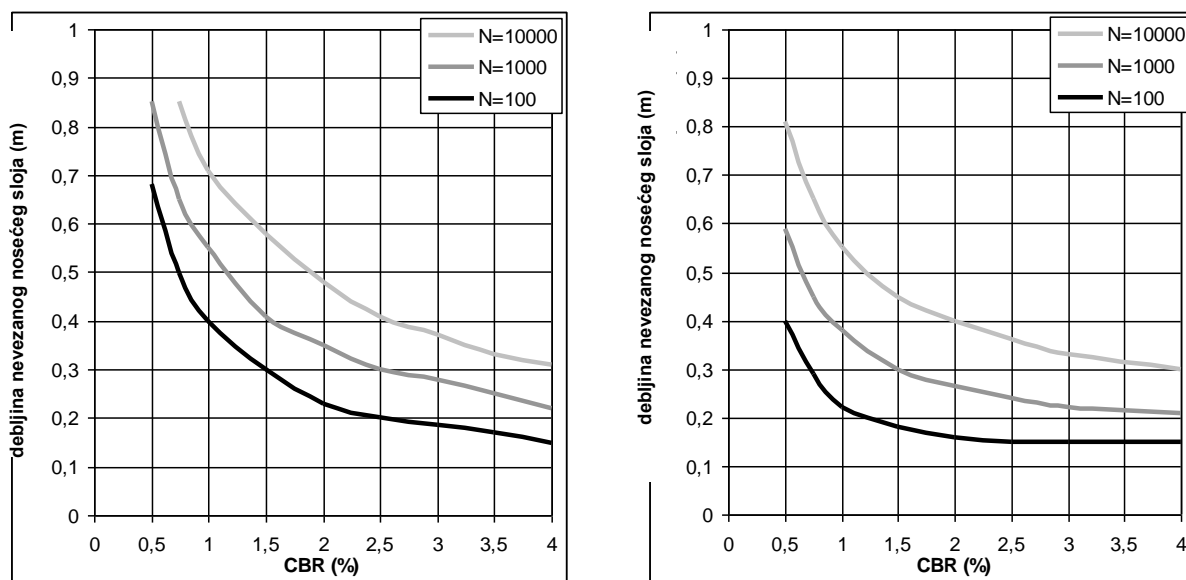


(a)

(b)

Slika 8.1.4.51: Poluempirijski dijagram za dimenzionisanje privremenih kolovoza. (a) – bez geosintetika, (b) sa geosintetikom (prema Rügger i Hufenus 2003).

Dijagrami na slici važe za nevezani sloj od oblog šljunka fr. 0/63 mm, geosintetik razreda krutosti 400 kN/m odn. 8 kN/m pri istezanju od 2 %.



(a)

(b)

Slika 8.1.4.52: Poluempirijski dijagram za dimenzionisanje privremenih kolovoza. (a) – bez geosintetika, (b) – sa geosintetikom (prema Rügger i Hufenus 2003). Dijagrami na slici važe za nevezani sloj od drobine fr.0/63 mm, geosintetik razreda krutosti 400 kN/m odn. 8 kN/m pri istezanju od 2 %.

8.1.4.16 Zaključak

Smernice za planiranje radova sa geosinteticima ne zamenjuju standarde za projektovanje Evrokod 7 i EBGEO (2009) i ne ponavljaju sadržaje obuhvaćene referentnim standardima.

Smernice obrađuju osnovna načela planiranja radova u gradnji puteva uz korišćenje geosintetika na svim glavnim područjima primene. Područje geosintetika je veoma široko i zbog stalnog razvoja novih proizvoda se neprestano dopunjuje. Zato je u smernicama glavni naglasak stavljen na osnovne principe planiranja koje projektant mora da poznaje u vezi sa svojstvima polimera i geosintetičkim proizvodima kada planira radove sa geosinteticima.

Treba naglasiti da samo u Centralnoj Evropi područje geosintetika pokriva više od 100 različitih standarda među kojima su neki iz porodice EN i EN ISO standarda, a drugi su karakteristični nacionalni standardi, na primer švajcarski (SN), nemački (DIN) i predstavljaju osnovu za nacionalne smernice za projektovanje geosinteticima (npr. EBGEO, 2009).

Standardi za istraživanje i dimenzionisanje geosintetika se brzo menjaju i još nisu usklađeni. Zbog toga je potrebno da se i ove smernice redovno dopunjuju u skladu sa novim saznanjima i razvojem standardizacije na području geosintetika.

Literatura

AASHTO M 288 – 96. Geotextile Specification for Highway Applications.

Battelino, D., Vilhar, M., Žmavc, J. 1981. Armiranje zemljin. Republiška skupnost za ceste. Ljubljana.

Cedergren, H.R. (1977). Seepage, Drainage and Flow Nets. John Wiley & Sons. New York, Sydney, London, Tokyo.

Design manual – Geosynthetics - 530. (1998). Washington State Department of Transportation. DVWK

Merkblätter 221/1992. Anwendung von Geotextilien im Wasserbau. Verlag Paul Parey. Hamburg – Berlin.

EBGEO – Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen. (1997). Ernst&Son, Berlin.

FGSV Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Strassenbau. 1994.

Fluet, J. E., (1986). Geosynthetics and North American Railroads. Geotextiles and Geomembranes 3.

Geosynthetics Design and Construction Guidelines. NHI Course no. 13213. (1998). FHWA HI 95-038. Washington.

Giroud, J. P., Noiray, L. (1981). Geotextile reinforced Unpaved Roads. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 107. No. GT 9.

Gobel C. in Lieberenz, K. 2004. Handbuch Erdbauwerke der Bahnen. Eurailpress. Hamburg.

Halese, Y., Wiertz, J., Rigo, J.-M., Cazzuffi, D. A. 1991. Chemical Identification Methods Used to Characterize Polymeric Geomembranes. Rilem, Report no.4. London

Koerner, R.M. (1999). Designing with Geosynthetics. Prentice Hall. New York.

Moore, G. R., Kline, D. E. 1984. Properties and Processing of Polymers for Engineers, Englewood Cliffs NJ. Prentice Hall.

Recommended Descriptions of Geosynthetics, Functions, Terminology, Mathematical and Graphical Symbols. IGS, 2000.

Ruegger, R., Hufenus, R. 2003. Bauen mit Geokunststoffen. SVG. ISBN 3 – 9522774-01.

Saathoff, F. 2003. Geosynthetics in geotechnical and hydraulic engineering. Special Print. Geotechnical Engineering Handbook. Vol.2: Procedures. Ernst&sohn. Willey co. Berlin.

Santvoort, G.P.T.M. 1995. Geosynthetics in Civil Engineering. Balkema Rotterdam.

SN 640 552. Geotextilien; Anforderungen für die Funktionen Trennen, Filtern, Drainieren

Maintenance of Low-Volume Roads. USDA, Forest Service., Portland. OR 1977.

Technical handbook - Geotextiles– Du Pont. 2002. Luxemburg.

DODACI

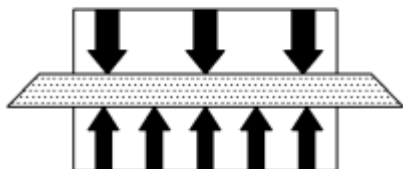
Dodatak 8.1.4.1: Standardni simboli i jedinice za definisanje svojstva geosintetika prema EN ISO 10318

Fizička svojstva		
simbol	enota	Oznaka
d	(mm)	Debljina
b	(m)	Širina
l	(m)	Dužina
M_A	(g/m ²)	Površinska masa
O_{90}	(μ m)	Veličina otvora koji odgovara vrednosti d_{90} tla koja prolazi kroz geosintetik
A	(%)	Procenat otvora u GTX ili GGR (odnos između površine otvora i površine GTX ili GGR)
Hidraulična svojstva		
k_n	(m/s)	Hidraulična propusnost, normalno u odnosu na površinu
k_p	(m/s)	Hidraulična propusnost uporedo sa površinom
ψ	(s ⁻¹)	Permitivnost ($\psi = k_r/d$)
θ	(m ² /s)	Transmisivnost ($\psi = k_p \cdot d$)
v	(m/s)	Brzina toka
q_p	(l/(s.m))	Kapacitet toka vode u ravni geosintetika
Q_n	(l/(m ² .s))	Sposobnost odvodnjavanja normalno u odnosu na površinu
Svojstva zatezne čvrstoće		
σ_e	(MPa)	Zatezni napon GMB kod date deformacije
T_e	(kN/m)	Zatezni napon GTX, GTP ili GCL, izmeren na traci određene širine za datu deformaciju, npr. T_3 za deformaciju od 3%
σ_f	(MPa)	Zatezni napon GMB prilikom rušenja
T_f	(kN/m)	Zatezni napon GTX, GTP ili GCL, prilikom rušenja
σ_{max}	(MPa)	Čvrstoća na zatezanje GMB
T_{max}	(kN/m)	Čvrstoća na zatezanje GTX, GTP ili GCL
S_{max}	(kN/m)	Maksimalna čvrstoća spoja
ξ_{ss}	(%)	Efikasnost spoja, maks. čvrstoća spoja/ maks. čvrstoća mat.
Svojstva čvrstoće na smicanje		
$\phi_{s,GSY}$	(°)	Ugao smicanja kontakta zemlja/GSY
$\phi_{GSY,GSY}$	(°)	Ugao smicanja kontakta GSY/GSY
F_{sGSY}	(-)	Koeficijent trenja zemlja-GSY
$f_{GSY,GSY}$	(-)	Koeficijent trenja GSY-GSY
Svojstva čvrstoće		
F_f	(kN)	Sila zabeležena prilikom rušenja kod ispitivanja zatezanja prema EN ISO 10319
F_{max}	(kN)	Najveća sila zabeležena tokom ispitivanja zatezanja prema EN ISO 10319
F_P	(kN)	Sila klipa kod statičnog ispitivanja probijanja, prema EN ISO 12236
P_n	(kN)	Normalna sila prilikom kompresionog <i>creep</i> ispitivanja prema ENV 1897
P_S	(kN)	Sila smicanja kod direktnog ispitivanja smicanja prema prEN ISO 12957-1
Ostala svojstva		
O_d	(mm)	Prečnik otvora kod ispitivanja sa padajućim konusom prema EN 918

Dodatak 8.1.4.2: Standardno obeležavanje funkcionalnih svojstava prema EN ISO 10318

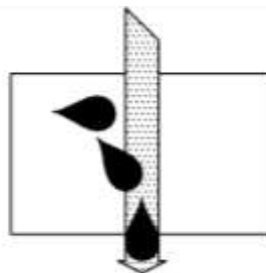
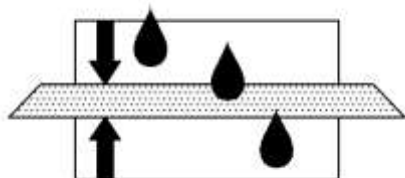
Odvajanje
Separation
Trennung
Séparation

Zaptivanje – barijere
Barrier, function
Sperrfunktion
Fonction de barrière



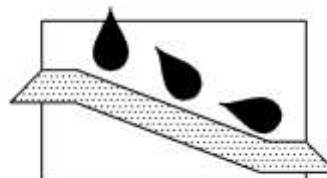
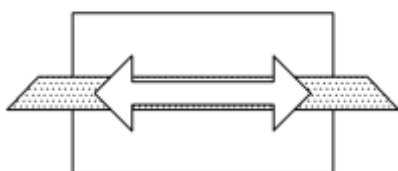
Filtracija
Filtration
Filtration
Filtration

Drenaža
Drainage
Dränung
Drainage

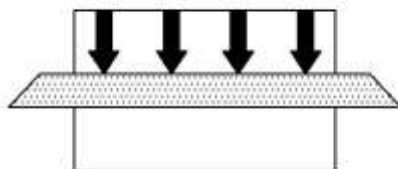


Ojačanje – armatura
Reinforcement
Bewehrung
Renforcement

Zaštita od površinske erozije
Surface erosion control
Erosionsschutz (Oberfläche)
Lutte contre l'érosion de surface

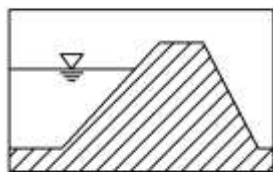


Zaštita
Protection
Schutz
Protection



Dodatak 8.1.4.3: Standardne oznake primene geosintetika prema EN ISO 10318

Rezervoari i pregrade
Reservoirs and dams
Rückhaltebecken und Staudämme
Réservoirs et barrages



Tečni otpad
Liquid waste
Klärteiche und Sedimentationsanlagen
Déchets liquides



Kanali
Canals
Kanäle
Canaux



Čvrsti otpaci
Solid waste
Feststoffdeponien
Déchets solides



Putevi
Roads
Strassen
Routes



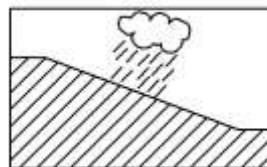
Temelji i potporne konstrukcije
Foundations and retaining walls
Gründungen und Stützbauwerke
Fondations et murs de soutènement



Železnice
Railways
Eisenbahnunterbau
Voies ferrées



Zaštita od erozije
Erosion control systems
Erosionsschutzsysteme
Systèmes de lutte contre l'érosion



Tuneli i podzemni objekti
Tunnels and underground structures
Tunnel und erdberührte Bauwerke
Tunnels et structures souterraines



Drenažni sistemi
Drainage systems
Dränanlagen
Systèmes de drainage

