



SMJERNICE ZA PROJEKTOVANJE, GRAĐENJE, ODRŽAVANJE I NADZOR NA PUTEVIMA

Knjiga I: PROJEKTOVANJE

Dio 1: PROJEKTOVANJE PUTEVA

Poglavlje 7: KONSTRUKTIVNI ELEMENTI PUTA

Sarajevo/Banja Luka
2005



SADRŽAJ

1.	ZEMljANI RADOVI	5
1.1	STABILNOST KOSINA	5
1.2	NASIPI NA SLABO NOSIVOM TEMELJNOM TLU	13
1.3	GEOSINTETIČKI MATERIALI	35
2.	KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE	69
2.1	SAOBRAĆAJNO OPTEREĆENJE	69
2.2	KLIMATSKI I HIDROLOŠKI USLOVI	85
2.3	KARAKTERISTIKE MATERIALA ZA KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE.....	97
2.4	NOSIVOST KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE	111
2.5	NOVE ASFALTNE KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE	127
2.6	NOVE BETONSKE KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE.....	141
2.7	OJAČANJE ASFALTNIH KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA	149
3.	SISTEM ZA ODVODNJAVANJE.....	163
3.1	ODVODNJAVANJE ATMOSFERSKIH VODA	163

SMJERNICE ZA PROJEKTOVANJE, GRAĐENJE, ODRŽAVANJE I NADZOR NA PUTEVIMA

Knjiga I: PROJEKTOVANJE

Dio 1: PROJEKTOVANJE PUTEVA

Poglavlje 7: KONSTRUKTIVNI ELEMENTI PUTA

Smjernica 1: ZEMLJANI RADOVI

Sarajevo/Banja Luka
2005

1. ZEMLJANI RADOVI

1.1 STABILNOST KOSINA

1.1.1 Predmet smjernice

Smjernice vrijede za objekte 1. i 2. geotehničke kategorije. Za 3. geotehničku kategoriju smjernice predstavljaju samo minimalan obim i osnovno vodilo kod projektiranja. Često će kod 3. kategorije biti potrebno koristiti i druge postupke i metode i pozvati na suradnju specijalizirane stručnjake.

Obezbjedjivanje stabilnosti padina ukopa i nasipa znači obezbjedjivanje bezbjednosti protiv klizanja zemlje ili kamenine po padini prema dolje.

Posljedice nestabilnosti padina mogu biti:

- gubitak globalne stabilnosti površina i obližnjih konstrukcija
- prekomjerni pomaci površina zbog smicajnih deformacija, slijeganja, vibracija ili podizanja površina
- oštećenja ili smanjenja upotrebljivosti obližnjih konstrukcija, kolnik i infrastruktura zbog pomaka površina.

Nasipi su pretežno građeni od kvalitetnih i kontrolisano ugrađenih materijala, u pravilu nisu zasićeni sa vodom i zato obezbjedjivanje stabilnosti padine samog nasipa prije svega ovisi o odabiru odgovarajućeg nagiba padine. Stabilnost površina, opterećenih sa nasipom, nije predmet ovog poglavlja, nego je opisano u poglavlju 1.1.7.1.2.

Padine ukopa mogu biti izvršene u zemljani (koherentni ili nekoherentni) ili u kamenoj površini. Zbog različite prirode oba materijala razmatramo stabilnost padina u tim materijalima sa različitim metodama.

Na padinama ukopa često se pojavljuje i podzemna voda, koja smanjuje globalnu stabilnost, a uzrokuje i površinsku i unutarnju eroziju površine.

Stabilnost ukopnih padina je zbog prirodne raznolikosti uslova, u kojima su građeni ukopi, mnogo zahtjevniji i zato im je posvećena većina ovog poglavlja.

Nakon razmatranja stabilnosti padina treba uvažavati usporediva iskustva.

1.1.2 Upotrebljeni simboli

c	kohezija
c'	kohezija izražena sa efektivnim naponima
c_u	nedrenirana čvrstoća smicanja
h	visina (nasipa, ukopa)
k	koeficijent vodopropusnosti
N	normalna sila na kliznoj plohi
T_c	rezultirajući kohezijski otpor uzduž klizišta
T_φ	rezultirajući otpor trenja uzduž klizišta
u	tlak kapilarne vode
W	težina (zemlje)

Grčka slova

β	nagib padine
γ	volumenska težina
γ_c, γ_φ	faktora bezbjednosti na koheziju i smicanja kao u dreniranim uslovima
γ_{cu}	faktor bezbjednosti u nedreniranim uslovima
θ	nagib klizišta
σ	normalni totalni napon

σ'	normalni efektivni napon
τ	strižni napon
φ'	ugao smicanja, izražen sa efektivnim naponima

Skraćenice (originano)

SMR	Slope mass rating
RMR	Rock mass rating
GSI	Geological strength index
JRC	Joint roughness coefficient
JCS	Joint wall compressive strength

Za geotehničke izračune preporučaju se sljedeće jedinice i njihovi višekratnici:

sila	kN
masa	kg
moment	kNm
gustoća	kg/m ³
volumenska težina	kN/m ³
napon, tlak, čvrstoća, krutost	kPa
koeficijent propusnosti	m/s
koeficijent konsolidacije	m ² /s

Kategorije objekata prema Eurocode 7

1. kategorija: geotehničko jednostavni objekti
2. kategorija: većina objekata
3. kategorija: geotehničko vrlo zahtjevni objekti

1.1.3 Uticaji na stabilnost padina

Svaki geotehnički projekt mora kao moguće uticaje kod razmatranja stabilnosti uvažavati:

- težinu zemljanih površina, kamenina i vode
- naponi u površina
- pritiske zemlje i pritisak podzemne vode
- pritiske slobodne vode, uključujući i pritiske valova
- pritiske podzemne vode
- strujne sile
- vlastitu težinu konstrukcija i ostala opterećenja, koja izviru iz konstrukcija
- opterećenja površina
- uklanjanje opterećenja ili iskop zemlje
- prometne opterećenja
- pomake zbog rudarenja, gradnje tunela ili izgradnje ostalih podzemnih prostora
- bubrenje i skupljanje, koje uzrokuje vegetacija, podneblje ili promjena vlage
- pomake zbog klizanja ili slijeganja zemljanih masa
- pomake zbog truljenja, disperzije glina, raspadanja, sasjedanja i rastapanja
- pomake i poticanja, koja uzrokuju potresi, eksplozije, vibracije i dinamična opterećenja
- uticaje temperature, uključujući sa djelovanja smrzavice
- opterećenje zbog leda

- sile prednapona sidara
- negativno trenje
- tijek i izvedbu građevinskih radova
- nove padine i konstrukcije na ili u blizini konkretne lokacije
- prolazne ili još uvijek aktivne pomake površine zbog različitih uzoraka
- klimatske promjene, uključujući i promjenu temperature (smrzavanje i otapanje), sušu i jake padaline
- vegetaciju ili uklanjanje vegetacije
- djelovanje ljudi i životinja
- promjene vlažnosti ili tlakova kapilarne vode
- mogućnost otkazivanja drenaža, filtara ili elemenata za zaptivanje.

1.1.4 Podaci o tlu

Na stabilnost prirodnih ili vještačkih padina utječu prije svega sljedeći podaci o tlu:

- morfologija terena
- sastav površina
- čvrstoća smicanja pojedinih slojeva (drenirana: c' , ϕ' ili nedrenirana c_u)
- volumenska težina pojedinih slojeva
- raspored pornih tlakova u vodonosnim slojevima

a u kameninama i

- smjer i nagib pada svih sistema diskontinuiteta
- čvrstoća smicanja uzduž pojedinih sistema diskontinuiteta.

U heterogenim površinama globalna stabilnost padina bitno ovisi o prisutnosti vode i posljedičnog rasporeda pornih tlakova u vodonosnim slojevima površina. Kod istraživanja je zato potrebno pažljivo bilježiti pojavu vlažnih (mokrlih) zona, iako se radi samo o tankim slojevima. Posebnu pažnju treba namijeniti vodonosnim slojevima između dva nepropusna sloja, bez obzira na njihovu debljinu.

U slučajevima, kada je zbog uticaja gradnje ukopa ili nasipa potrebno ispitati i graničnu stanje upotrebljivosti, važni su i podaci o krutosti pojedinih slojeva površina. Kod odabira računskih vrijednosti krutosti treba uvažavati red veličine deformacije i način naponske promjene (opterećenje, rasterećenje), odnosno treba koristiti odgovarajući materijalni model višeg reda.

Podatke o površinama treba dobiti sa odgovarajućim ispitivanjima sastava i svojstva površina.

Računske materijalne karakteristike moraju predstavljati sigurnu vrijednost, određenu na osnovu svih raspoloživih rezultata istraživanja.

1.1.5 Analize stabilnosti padina

Globalnu stabilnost padina, zajedno sa postojećim ili planiranim konstrukcijama u uticajnom području, treba ispitati sa analizama stabilnosti ili sa analizama vjerovatnosti rušenja prema jednoj od priznatih metoda i to

- u zemljinama sa:
 - analitičkim računima za pretpostavljene klizne plohe jednostavnih oblik (ravna, kružna, logaritamski oblik klizne plohe) u homogenim površinama,
 - numeričkim računima prema lamelnim metodama za pretpostavljene klizne plohe kružne, odsjecima ravne ili kompleksnijih oblika, (metode Bishopa, Janbuja, Morgensterna i Price-a, Spencerja, Sarma....)
 - numeričkim računima prema MKE ili diferencnoj metodi,

- u kameninama (uz smislenu upotrebu gornjih metoda) i sa
 - grafičkim analizama (npr. Marklandov test),
 - 2D i 3D analizama klizanja bloka ili klina kamenine,
 - numeričkim analizama prema metodi odvojenih elemenata (distinct element method),
 - metodama klasifikovanje padina (n.pr. SMR – Slope Mass Rating).

Kružna površina rušenje može se koristiti za analizu padina od relativno homogenih i izotropnih materijala. U slučajevima, kada može doći do klizanja uzduž kontakta dva različita sloja površine ili uzduž izrazito lošeg sloja površine, isključna upotreba kružnih kliznih površina za analizu stabilnosti nije prihvatljiva.

Kod odabira računске metode treba uvažavati

- slojevitost površina,
- prisutnost i ugao upadanja diskontinuiteta,
- cijeđenje i raspoređivanje tlakova kapilarne vode,
- dali razmatramo kratkoročnu ili dugoročnu stabilnost,
- puzanje zbog visoke nivoa napona smicanja,
- vrstu rušenja (kružna ili proizvoljna ploha za rušenje; preokretanje; tečenje).

Kod analize globalne stabilnosti površina, u zemlje ili kamenini, treba uvažavati sve moguće oblike i načine rušenja.

Kod analize stabilnosti moraju se koristiti djelomični količnici bezbjednosti prema principu metode graničnih stanja i to za:

- | | |
|--|---|
| - efektivni ugao smicanja | $\gamma\varphi = 1,25$ |
| - efektivnu koheziju | $\gamma c = 1,25$ |
| - nedreniranu čvrstoću smicanja | $\gamma c_u = 1,40$ |
| - jednoosnu tlačnu čvrstoću | $\gamma q_u = 1,40$ |
| - vlastitu težinu površine | $\gamma\gamma = 1,00^{1)}$ |
| - stalno opterećenje na površini površine | $\gamma G = 1,35$ |
| - povremeno opterećenje na površini površine | $\gamma Q = 1,50$ |
| - metodu analize | $\gamma M = 1,00$ (odnosno prema izboru korisnika). |

¹⁾ moguće nepouzdanosti kod određivanja volumenske težine površina gledamo na način, da analizu ponovimo sa najmanjom i najvišom volumenskom težinom.

Kod analiza padina, koje su dio u prošlosti nestabilnih padina (fosilni plazovi), gornji djelomični količnici bezbjednosti nisu nužno odgovarajući. U takvim slučajevima treba prije svega pokazati, da sa gradnjom ukopa ili nasipa bezbjednost u usporedbi sa prvotnim stanjem nije pogoršana. Dio te analize je povratna analiza stabilnosti prvotnog stanja terena, sa kojom se i provjeri primjerenost ulaznih parametara.

Kod odabira računskih (karakterističnih) vrijednosti materijalnih svojstva pojedinih slojeva površina treba uvažavati kompatibilnost deformacija. Prije svega u slučajevima, kada kod garantovanja bezbjednosti sudjeluju različiti kruti slojevi površina ili relativno krute konstrukcije i više deformabilne zemlje, kod prihvatljivih deformacija u pojedinim slojevima površina često se ne može aktivirati puna otpornost smicanja.

Prije svega će kod analiza stabilnosti u kameninama biti potrebno glede na strukturu kamenina (prostorni položaj diskontinuiteta) koristiti i 3D analize stabilnosti.

1.1.6 Obezbjedivanje stabilnosti padina sa konstrukcijskim mjerama

Potencijalno nestabilnim padinama je moguće osigurati odgovarajuću bezbjednost sa

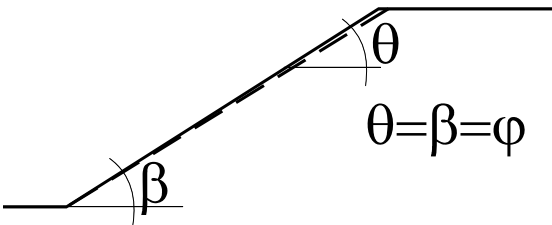
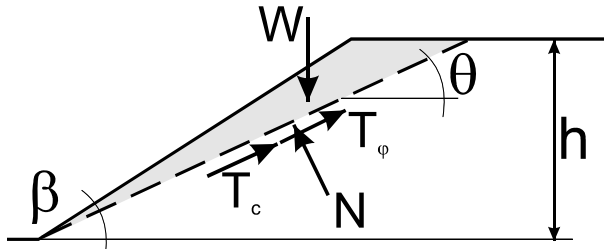
- promjenom geometrije padine,
- vegetacijskom zaštitom (pretežno kao zaštita protiv erozije),

- drenažnim sistemima,
- konstrukcijama za podupiranje, kao što su kamene složbe, kašte i gabioni, načinjeni od žičane mreže ili geotekstila,
- zemljanim ili kamenim štapnim sidrima,
- armiranjem zemlje,
- betonskom ili armiranobetonskim potporom ili potpornom konstrukcijom sa sidrima ili bez njih,
- kombinacijom svih gore navedenih mjera.

1.1.7 Stabilnost padina nasipa

Stabilan nagib padine (β) homogenog nasipa, po kojem se ne cijedi voda, možemo u slučaju koherentnih i nekoherentnih zemljanih površina a izračunati prema donjoj jednačini:

Tabela 1: Brza kontrola stabilnosti padina od homogenih zemljanih površina a bez prisutnosti vode

Nekoherentno tlo	Koherentno tlo
	
$\tan \beta \leq \tan \varphi'_d$	$h_{mej} = \frac{2c'_d}{\gamma} \frac{\sin \beta \cos \varphi'_d}{\sin^2 \frac{\beta - \varphi'_d}{2}}$

gdje je:

$$\tan \varphi'_d = \tan \varphi' / \gamma_\varphi$$

$$c'_d = c' / \gamma_c$$

Iskustveno su u pretežnim slučajevima odgovarajuće padine sa nagibom (*visina : dužina*):

- 1:3 za nasipe od loših zemljanih površina a i bočne nasipe,
- 1:2 za nasipe od sitnozrnatog zemljanog materijala ili od agregata od mekih kamenina (lapor, fliš, permokarbonske kamenine,...),
- 1:1,5 (2:3) za nasipe od šljunka (šodera),
- 1:1 za nasipe od kamenog materijala sa učvršćenom kamenom oblogom.

Strmije padine nasipa (do 90°) moguće je sagraditi sa armiranjem nasipane zemlje ili sa izgradnjom potpornih konstrukcija. Suvremena programska oprema za analize stabilnosti omogućuje i uzimanje u obzir armaturnih geosintetika i konstrukcija u analizi stabilnosti.

Padine heterogenih nasipa, izgrađenih od različitih materijala, i/ili padine nasipa, po kojima se cijedi voda, treba analizirati sa numeričkim metodama analiza stabilnosti.

Karakteristike smicanja materijala za nasipanje treba odrediti sa ispitivanjem uzoraka, zgusnutih prema Proctorovom postupku kod optimalne vlage.

Nasipe treba izvoditi sa nadprofilom, jer potpuno do ruba nasipa kvalitetno zgušnjavanje nije moguće. Izvođenje sa nadprofilom i kasnija uklanjanje viška materijala sa padina

garantuje odgovarajuću (projektiranu) kvalitetu materijala za nasipanje i na samoj padini nasipa.

Nepovoljne učinke površinske erozije moguće je najefikasnije spriječiti sa trenutnom vegetativnom zaštitom novo formirane padine.

Nepovoljne učinke izviranja vode kroz nasip moguće je najefikasnije spriječiti sa odgovarajućim slojem drenažnog materijala na kontaktu nasipa i temeljnih površina. Minimalna debljina takvog sloja za dugoročnu stabilnost iznosi 1 m. Potrebno mu je osigurati i filtarsku stabilnost i odgovarajuće istjecanje vode na najnižem mjestu.

1.1.8 Stabilnost ukopnih padina u zemljama

Za brzu ocjenu stabilnosti ukopa u homogenim zemljama bez prisutnosti podzemne vode moguće je koristiti jednadžbe iz tabele 1.

Za stabilnost ukopnih padina je kritično završno, drenirano stanje padine, koje mora biti u analiza razmatrano sa efektivnim parametrima čvrstoće smicanja. Kritičnim stanjem smatra se i završno stanje uz maksimalnu moguću piezometričku visinu vode u vodonosnih slojevima tla.

Nedrenirano stanje daje više bezbjednosti, ali je relevantno kratkog perioda, znači kod privremenih ukopa. Ako treba iskoristiti privremenu višu bezbjednost kod privremenih ukopa za vrijeme gradnje ukopanih dijelova objekata u materijalima, kao što su gline i melji, treba osigurati zaštitu privremenih padina i indirektnog zaleđivanja od oborinskih voda. To je još posebno nužno kod nisko slojnih i/ili pješčanih sitnih materijala i glina.

Posebnu pažnju treba kod projektiranja i gradnji posvetiti pojavama tanjih slojeva propusnih zemljanih materijala (pijesak, šljunak), između slojeva koherentnih zemljina po kojima se cijedi voda.

Nakloni ukopnih brežina u zemljinama su iskustveno jednaki kao su navedeni u ovom poglavlju za padine nasipa (pogl. 1.1.7). U svakom primjeru je treba stabilnost dokazati po metodama u ovom poglavlju. Padine kamnina mogu biti i strmije u naklonu do 5:1. U mekanim kamninama (lapor, skrilj, fliš) mogu biti padine u naklonu po pravilu od 2:3 do 3:2. Na strmijim padinama je teže održavati vegetacijsku zaštitu. Utvrdim kamninama (krečnjak, dolomit, magmati) iskustveno se upotrebljavaju nakloni 2:1 do 5:1. Stabilnost kamnina je potrebno proveravati po metodama navedenim u pogl. 1.1.9

Na dužim ukopima padina treba predvidjeti opterećenje na 8 do 12 m visine ukopa. Njihova uloga je prije svega :

- smanjivanje erozijskog djelovanja vode,
- smanjivanje generalnog nagiba ukopne padine,
- omogućavanje pristupa za održavanje,
- zadržavanje koturajućeg kamenja, klizanja snijega.

Na opterećenjima treba za odvod vode predvidjeti uzdužne odvodne tlakovane kanale ili kanalete. Uzdužne drenažne cijevi ispod opterećenja nisu preporučljive.

Gradnju ukopa treba iskoristiti i kao ispitivanje površina, koje neka služi prije svega za usporedbu prognoziranog i stvarnog strukture površina, a prema potrebi i za uzimanje uzoraka i dodatna terenska mjerenja. Prema potrebi se na bazi novih podataka ponove analize iz projekta.

1.1.9 Stabilnost ukopnih padina u kameninama

Stabilnost padina i ukopa u kameninama treba ispitati glede na mogućnost translacije i rotacije pojedinih kamenih blokova ili veće kamene mase kao i s obzirom na opasnost od padanja stijena. Posebnu pažnju treba posvetiti pritiscima, koje uzrokuje zastala voda u pukotinama.

Treba uvažavati i da će rušenje padina ili ukopa u čvrstim kameninama sa dobro definisanim sistemima pukotina uključivati

- klizanje kamenih blokova i klinova,
- bušenja blokova ili ploča,
- uklanjanje ploča,
- kombinaciju odbacivanja bušenja i klizanja,

ovisno o orijentaciji padine uzbrdice glede na smjer diskontinuiteta.

Klizanje pojedinih blokova ili klinova običajno je moguće spriječiti sa smanjivanjem nagiba padine i ugradnjom sidara i unutarnje drenaže. Na ukopnim padinama je moguće spriječiti klizanje sa odgovarajućim odabirom smjera i orijentacije čela padine, tako da su pomicanja pojedinih blokova kinematički nemogući.

Izbušenje blokova obično je moguće spriječiti sa sidrima i unutarnjim drenažama.

Kod proučavanja dugoročne stabilnosti padina i ukopa treba računati sa štetnim učinkom vegetacije, faktora okoline ili zagađenja na čvrstoću smicanja uzduž diskontinuiteta i na čvrstoću intaktne kamenine.

U slučajevima, kada nije moguće na pouzdan način spriječiti padanja stijena treba ih ostaviti da padnu i sa mrežama, pregradama ili sa ostalim usporedivim mjerama ih zaustaviti. Projekt mjera za zaustavljanje padajućih kamenih blokova i šljunaka uzduž kamene uzbrdice mora se temeljiti na pažljivoj analizi mogućih trajektora padajućeg materijala.

Za analize stabilnosti ukopa u kameninama ima više mogućnosti:

- analize potencijalno nestabilnih blokova i klinova na osnovu smjera i pada diskontinuiteta odgovarajuće su za kamenine sa manjim brojem sistema diskontinuitet. Jedine moguće klizne plohe su uzduž postojećih diskontinuiteta. Zato treba uvažavati parametare smicanja koji vrijede za pukotine. Te analize nazivamo "strukturne analize stabilnosti". Moguće ih je izraditi za jednostavne slučajeve analitički, a nešto kompleksnije slučajeve moguće ih je razmatrati grafički, a najčešće treba koristiti numeričke metode
- za jako raspucane i/ili škrljave kamenine moguće je analizirati stabilnost sa metodama, poznatim za zemljane materijale. Potencijalna klizišta mogu se nalaziti djelomično uzduž postojećih (različitim) diskontinuiteta, a djelomično u drugom smjeru. Zato treba za čvrstoću smicanja koristiti neke prosječne vrijednosti čvrstoće za cjelokupnu kamenu masu (Hoek-Brownov kriterij za raspucane kamenine)
- alternativno je moguća ocjena stabilnosti padina uz pomoć klasifikovanjih metoda za kamenine. Posebno za ocjenu stabilnosti kamenih padina izrađena je klasifikovanja sa nazivom "Slope Mass Rating" (SMR).

Karakteristike smicanja uzduž diskontinuiteta moguće je odrediti prije svega ispitivanjem ili postupkom Bartona na osnovu koeficijenta hrapavosti pukotina (JRC – Joint Roughness Coefficient) i tlačne čvrstoće kamenine uz pukotinu (JCS - Joint wall Compressive Strength).

Prosječne karakteristike smicanja jako raspuknutih kamenih materijala (kameni materijali sa više nizova pukotina) najčešće je moguće odrediti na osnovu sistema klasifikovanje kamenina, npr. GSI (Geological Strength Index) ili RMR (Rock Mass Rating).

1.1.10 Tehničko praćenje

Padine ukopa i nasipa i njihovu okolinu treba promatrati sa odgovarajućom opremom, ako

- s računima nije moguće dokazati, da je vjerojatnost nastanka graničnih stanja dovoljno mala, ili
- pretpostavke, upotrijebljene u računskim analizama, ne temelje na pouzdanim podacima.

Tehničko praćenje mora biti planirano na način, da je moguće odrediti

- nivo podzemne vode ili veličinu tlakova kapilarne vode u površini, na način da je izvršena ili provjerena analiza sa efektivnim naponima,
- horizontalne i vertikalne pomake u tlu koje se pomiče, kako bi bilo moguće predvidjeti daljnje deformacije,
- dubinu i oblik klizišta u aktivnom plazu, da je omogućeno određivanje parametara čvrstoće površine za projekt sanacijskih radova,
- brzina pomaka, kako bi se moglo upažnja iti na nadolazeću opasnost. U takvim slučajevima je moguć odgovarajući sistem daljinskog digitalnog očitavanja mjernih uređaja ili upotreba daljinskog alarmnog sistema.

Najčešće je za gornja mjerenja odgovarajuće koristiti sljedeću opremu

- geodetske tačke za 3 D mjerenja pomaka
- inklinometare (prijenosne ili stalno ugrađene) za mjerenja horizontalnih pomaka (sa dubinom) i određivanje položaja klizne plohe
- piezometare različite izvedbe za mjerenja pornih tlakova u površinama
- mjerače pukotina za mjerenje širenja kidajućih rubova odnosno pukotina u kamenom materijalu.

1.2 NASIPI NA SLABO NOSIVOM TEMELJNOM TLU.

1.2.11 Predmet smjernice

Nasipi na loše nosivom tlu su nasipi, kod kojih postoji opasnost, da se za vrijeme gradnje ili nakon izgradnje u površini razvile takve deformacije, koje bi štetno utjecale na bezbjednost, trajnost i upotrebnost nasipa i objekata na njemu.

Ispod dodatnog opterećenja u loše nosivom temeljnom tlu se razviju premašeni porzi i tlakovi, koji u vremenu gradnje samo malo opadnu. Za vrijeme gradnje je postignut niski stupanj konsolidacije, zato se glavna deformacija razvije tek nakon dovršene gradnje. Za vrijeme gradnje nasipa strižna otpornost u temeljnim površinama se vrlo polako povećava.

Loše nosivo tlo i tla koja se stišću obično su napravljena iz šute i organskih zemljanih površina a ili iz sitnozrnatih vezivih zemljanih površina a, kao što su gline, melji i pijesak u žitkoj, lakognječivoj ili srednje gnječivoj konzistenciji. Među loše nosiva tla se uvrštavaju i neravnomjerno uležani miješani sedimenti i rahla, nekontrolisana umjetna nasipavanja. Loše nosiva temeljna tla nije moguće opisati sa jedinstvenim graničnim vrijednostima nedrenirane čvrstoće smicanja i deformacijskog modula, jer je uvijek potrebno razmatrati međusobnu ovisnost između

- karakteristika tla,
- geometrijom nasipa,
- planiranim rokovima izgradnje i
- osjetljivošću odn. ranjivošću objekata u ili na nasipu na deformacije.

Kod nasipa, izgrađenih na mekom i stišljivom tlu, treba namijeniti posebnu pažnju:

- provjeriti dozvoljene nosivosti temeljnih površina i opasnost od rušenja zbog prekoračenja čvrstoće smicanja zemljanih materijala a u temeljnom tlu za vrijeme gradnje i
- izračunom posjedkov i vremenskog razvoja posjedka za vrijeme gradnje i nakon nje

Za stabilnost nasipa na mekim površinama kritična je faza izgradnje odmah nakon dovršetka gradnje.

Za gradnju nasipa na mekim površinama se koriste različiti, okolini prilagođeni postupci gradnje. Kod odlučivanja za gradnju treba barem uvažavati već stečena iskustva u usporedivim uslovima.

1.2.12 Upotrebljeni simboli

A	Skemptonov parametar
A_c	presjek šljunčanog kola
A_R	udio šljunka u kompozitu zemlje
A_∞	Površina dijagrama dodatnih napona
a	udaljenost između središta kružne sile rušenja i smjernice T_{cm}
B	<i>Skemptonov parametar</i>
b	širina (nasipa, temelja, drenažne trake)
b'	širina nasipa na uticajnom području padine
c	kohezija
c'	kohezija izražena sa efektivnim naponima
c_u	nedrenirana čvrstoća smicanja
c_v	koeficijent vertikalne konsolidacije
c_r	koeficijent radialne konsolidacije
E	modul elastičnosti
E_{oed}	edometrijski modul stezanja
E_a	aktivni pritisak zemlje

E_p	pasivni pritisak zemlje
F_c, F_ϕ	faktor bezbjednosti u dreniranim uslovima
F_U	faktor bezbjednosti u nedreniranim uslovima
f	faktor kao rezultat izračuna
H	horizontalna opterećenje ili komponenta cjelokupnog uticaja, koja djeluje usporedo 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, Terzaghi, Vesic)
n	broj; (npr. broj pilotov, istraživanja, nagiba padina 1:n)
q	otpornost površine ispod temeljne površine, opterećenje
q_c	opterećenje površina ispod šljunkastih kola
R	uticajni radij šljunčanog kola
r	radij
r_c	radij šljunčanog kola
s	posjedek
s_0	trenutni posjedek
s_1	konsolidacijski posjedek
s_2	slijeganja zbog viskoznog puzanja (sekundarni slijeganja)
s_c	slijeganja šljunčanog kola
s_s	slijeganja zemlje kod šljunčanog kola
S_r	stepen zasićenja zemljine
T_{cm}	mobilizirana reaktivna kohezijska sila
Tr	vremenski faktor radijalne konsolidacije
Tv	vremenski faktor vertikalne konsolidacije
u	tlak kapilarne vode
U_R	stupanj radijalne konsolidacije
Uv	stupanj vertikalne konsolidacije
W	težina (zemlje)
z	okomita udaljenost
x	udaljenost

Grčka slova

2α	unutarnji ugao kružnog isjeka kružne sila rušenje
β	nagib površine iza zida (pozitivan, ako se teren podiže)
γ	volumenska težina
γ_N	volumenska težina nasipavanja
γ'	efektivna volumenska težina
γ_s	specifična težina (volumenska težina bez pora)
θ	smjer (nagib) opterećenja H
σ	normalni totalni napon
σ'	normalni efektivni napon
η	odnos (između vertikalnih napona u kolu i temeljnim površinama)
ν	Poissonov količnik
τ	strižni napon
ϕ'	ugao smicanja, izražen sa efektivnim naponima

Skraćenice

CPT statičko penetracijsko ispitivanje

CPTU statičko penetracijsko ispitivanje sa mjerenjima pornih tlakova

OCR količnik prekonsolidacije

SPT standardni penetracijski test

Za geotehničke izračune preporučuju se sljedeće jedinice i njihovi višekratnici:

Sila kN

Masa kg

Moment kNm

Gustoća kg/m^3

Volumenska težina kN/m^3

napon, tlak, čvrstoća, krutost kPa

koeficijent propusnosti m/s

koeficijent konsolidacije m^2/s

Kategorije objekata prema Eurocode 7

1. kategorija: geotehničko jednostavni objekti

2. kategorija: većina objekata

3. kategorija: geotehničko vrlo zahtjevni objekti

1.2.13 Postupci za gradnju nasipa na loše nosivom i stišljivim tlu**1.2.13.1 Općenito**

Za poboljšanje stabilnosti nasipa na loše nosivim površinama se koriste različni postupci gradnje, koji uključuju

- postupke, vezane uz geometariju nasipa i svojstva nasipavanja,
- postupke, vezane uz sanaciju ili poboljšanje svojstva temeljnih površina nasipa,
- postupke, vezane uz vremensko prilagođene i nadzirane postupke gradnje i
- različite kombinacije istih.

Primjernost odabranog postupka gradnje treba dokazati s

- analizom stabilnosti nasipa za vrijeme gradnje i nakon nje,
- analizom slijeganja i vremenskog razvoja slijeganja i
- analizama izvedljivosti i cijene.

1.2.13.2 Postupci gradnje, vezani na geometriju nasipa i svojstva nasipa

Kako bi povećali (poboljšali) stabilnosti nasipa na mekim površinama mogu se upotrebljavati sljedeći prilagođeni postupci gradnje nasipa:

- gradnja nasipa sa blagim nagibima padina (1: n), n = 2.5, 3, 4
- gradnja nasipa sa bočnim nasipima uz glavni nasipu
- gradnja nasipa od lakih ili vrlo lakih materijala za nasipanje kao što su: elektrofiltarski pepeli, agregati od ekspandirane gline, ploče od ekstrudiranog polistirena, ploče od pijenjenog cementnog betona i sl.

Kod gradnje nasipa sa blažim nagibima padina su stabilnije odnose povoljnije, ili su slijeganja nasipa veća. Gradnja bočnih nasipa ima slične učinke kao i gradnja nasipa sa vrlo blagim nagibima padina.

Kod nasipavanja prometnica veličina opterećenja temeljnih površina ovisi prije svega o težini zapremine težine nasipavanja. Običajna nasipavanja zemljama imaju težinu zapremine između 18 i 24 kN/m^3 . sa upotrebom lakih i vrlo lakih materijala smanjuju se opterećenja na temeljne površine i tako se indirektno povećava bezbjednost i smanjuju slijeganja.

1.2.13.3 Postupci gradnje, vezani uz sanaciju ili poboljšanje loše nosivog tla

Postupci za sanaciju ili poboljšanje loše nosivih površina uključuju različite tehnološke mjere, sa kojima se povećaju propusnost i/ili poboljšaju čvrstoće i deformacijska svojstva temeljnih površina. Među te postupke su najčešće u upotrebi sljedeći:

- ugradnja vertikalnih drenaža (šljunčani koli, vertikalni drenažni traka (wick – drains)) za pospješivanje konsolidacije u radijalnom i vertikalnom smjeru; postupak je odgovarajući, kada je dubina uticaja loših površina velika (5 do 30 m)
- ugradnja horizontalnih drenažnih rebara za pospješivanje vertikalne i horizontalne konsolidacije i za poboljšanje strižne otpornosti mekog sloja; postupak je odgovarajući, kada je dubina uticaja loših površina razmjerno mala
- nadoknađivanje lošeg tla sa boljim materijalima; postupak je odgovarajući, kada je dubina uticaja loših površina razmjerno mala
- poboljšanje čvrstoće smicanja loših zemljina sa postupcima dubinskog injektiranja (jet – grouting kola) ili dubinskog kemijskog stabiliziranja (vapneni koli); postupci su odgovarajući, kada je dubina uticaja loših površina velika (5 do 30 m)
- poboljšanje čvrstoću mekih zemljina sa postupcima dodatnog zgušnjavanja (dinamička komprimacija - heavy tamping, dubinsko vibriranje); postupci su odgovarajući u propusnijim, nehomogenim zemljanim materijalima, kao što su sitni pijesak i nekontrolisana umjetna nasipavanja
- poboljšanje čvrstoće temeljnih površina sa armiranjem sa geosinteticima.

U posebnih slučajevima, kada sa opisanim metodama nije moguće osigurati homogeno poboljšanja svojstva temeljnih površina u planiranih rokovima, nasipe može se graditi i na sabijenim ili uvrtnim kolima.

Navedeni postupci upotrebljavaju su samostalno ili u kombinaciji sa postupcima, opisani u tačkama 1.2.3.2 i 1.2.3.4.

1.2.13.4 Posebni postupci, vezani na vremensko prilagođene postupke gradnje

Kod vremensko prilagođenih postupaka gradnje brzina gradnje nasipa prilagođuje se postignutom stupnju konsolidacije temeljnih površina ispod nasipa. Za vrijeme gradnje nasipa treba izvoditi

- mjerenja pornih tlakova u temeljnim površinama ili
- mjerenja povećanja čvrstoće smicanjaili
- mjerenja pomaka u temeljnim površinama i na nasipu.

brzinu gradnje nasipa na loše nosivim površinama treba prilagođavati rezultatima mjerenja i analizama postignutog stupnja konsolidacije. glede na način izvođenja najčešće se upotrebljavaju sljedeći oblici vremensko prilagođenih postupaka gradnje:

- vremensko prilagođen rast nasipa sa usputnim mjerenjima i praćenjem premašenih pornih tlakova u temeljnim površinama
- gradnja sa predopterećenošću; predopterećenje znači dogradnju i odležavanje izgrađenog nasipa do traženog stupnja konsolidacije, prije nego se započne sa nadgradnjom sa kolnikom
- gradnja sa predopterećenošću i preopterećenpcu; u tom slučaju se uz predopterećenje izvede dodatno preopterećenje, sa kojim se u temeljnim površinama mobiliziraju odgovarajuća veća slijeganja od onih, koji bi se u planiranom periodu dobi odležavanja mogli razviti samo sa predopterećenošću; preopterećenje se obično izvodi na temeljnim površinama sa viskoznim zemljama, gdje se važan dio slijeganja može razviti zbog puzanja ili u slučajevima, kada je potrebna brza mobilizacija slijeganja.

Obavezan sastavni dio vremensko prilagođene gradnje je geotehničko praćenje.

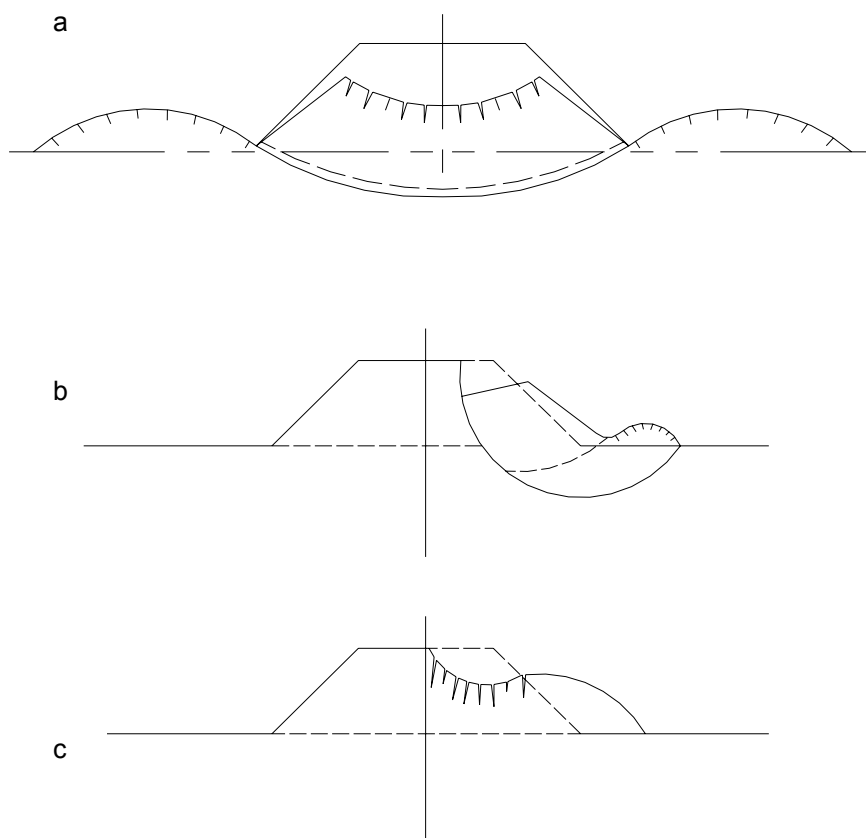
1.2.13.5 Gradnja testnih nasipa

U slučajevima, kada je efikasnost posebnih postupaka teško predvidjeti ili obuhvatiti u izračun deformacija i stabilnosti, pristupa se izgradnji testnih nasipa. Testni nasipi moraju biti izgrađeni na karakterističnom odsjeku trase, sa jednakim materijalima i sa upotrebom jednakih postupaka, kao što će se upotrebiti na glavnom nasipu. Geometarija testnog nasipa mora biti takva, da su dobivene informacije odgovarajuće za ocjenu postupaka gradnje kod redovite gradnje nasipa.

1.2.14 Osnovi za projektiranje nasipa na loše nosivom i stišljivom tlu

1.2.14.1 Općenito

Osnovno načelo projektiranja nasipa na loše nosivim površinama je provjeravanje bezbjednosti nasipa protiv rušenja za vrijeme različitih faza gradnje. Tri glavna moguća oblike rušenja nasipa (slika 1) prikazuju vrste analiza stabilnosti, koje treba obaviti. Za razliku od nasipa na nesavitljivim površinama, treba kod nasipa na mekim površinama usporedo sa računom stabilnosti ispitati i slijeganja i vremenski razvoj slijeganja i puzanja nasipa.



Slika 1: Karakteristični primjeri deformacija na nasipima na loše nosivim površinama kao posljedica: a – prekoračenje nosivosti, b – prekoračenje čvrstoće smicanja, c – istiskivanje mekih površina odmah ispod nasipa

Osnovu za prijelazne geotehničke izračune daju geološko geotehnička istraživanja, a kontrolne izračune treba izvoditi na temelju podataka istraživanja i promatranja, dobivenih za vrijeme gradnje i nakon nje.

1.2.14.2 Geološko geotehnička istraživanja - prethodna istraživanja

S geološko geotehničkim ispitivanjima treba dobiti podatke o karakterističnim geološko geotehničkim profilima površina u poprečnom i uzdužnom pravcu nasipa. Dubina

istraživanja mora biti takva, da obuhvaća sve slojeve, u kojima će se zbog dodatnih opterećenja sa nasipom razvili posjedki i sve slojeve, koje su relevantni za ocjenu stabilnosti nasipa.

Kada nisu posebni dodatni zahtjevi, u izračunu slijeganja moraju se uvažavati slojevi površina koji se do dubine, na kojoj je veličina dodatnih vertikalnih tlakova zbog opterećenja sa nasipom manja ili jednaka 20 % prirodnom geološkom tlaku.

Vrsta i obim obavljenih istraživanja, raspoređivanje istraživačkih sonda, dubine i broj uzetih uzoraka ovisi o uslovima u temeljnim površinama i o geotehničkoj kategoriji objekta. Kolnički nasipi običajno spadaju u kategoriju 2.

Istraživanja treba planirati na način, da se za sve karakteristične slojeve zemljanih površina, koji se nalaze u temeljnim površinama, dobiju sljedeći materijalni podaci:

- indeksni pokazivači stanja zemljanih površina a: volumenska težina, zrnatost, slojevitost, specifikacijska težina
- parametri čvrstoće
- parametri deformabilnosti
- koeficijenti propusnosti.

Uz klasična istraživanja sa bušenjem i uzimanjem uzoraka kod planiranja nasipa na loše nosivim površinama imaju kod istraživanja prednost sljedeći postupci i situ istraživanja:

- CPT i CPTU test
- dilatometarski test
- određivanje nedrenirane čvrstoće sa krilnom sondom
- presiometarski test
- SPT i drugi penetracijski testovi u nevezivim zemljama.

S laboratorijskim ispitivanjima treba odrediti indeksne pokazivače svojstva zemljanih površina a, kao što su zrnatost sastava i slojevitost, volumenska težina i specifikacijska težina zrna i moguća prisutnost štetnih kemijskih i biokemijskih tvari.

Posebnu pažnju treba namijeniti ispitivanjima deformabilnosti i dreniranim i nedreniranim strižnim čvrstoćama. Kod izvođenja istraživanja treba uvažavati dubinu uzetog uzorka, prirodne tlakove u temeljnim površinama prije početka gradnje i sve dodatne tlakove, koji mogu nastupiti u temeljnim površinama zbog gradnje nasipa, promjene nivoa podzemne vode ili ostalih sekundarnih uticaja.

1.2.14.3 Izrada karakterističnih profila i određivanje inženjerskih svojstva zemljanih površina a u karakterističnim slojevima

U karakterističnom profilu površina moraju biti obuhvaćeni sljedeći podaci:

- postojeća površina terena, uključujući i sve karakteristične morfološke oblike, kao što su kanali, melioracijske drenaže, površinsko močvarna područja
- svi postojeći i mogući novi objekti, na koje bi planirana gradnja mogla imati negativne uticaje
- lokacije svih sonda za ispitivanje
- nivo podzemne vode i podaci o ev. arteškoj i subarteškoj vodi
- granice između karakterističnih slojeva.

Karakteristični profili nasipa na loše nosivim površinama moraju biti izrađeni u odgovarajućem mjerilu (preporučljivo je mjerilo 1:100 do 1:200).

Inženjerska svojstva zemljanih površina a u karakterističnim slojevima moraju biti opisana sa sljedećim parametrima:

- volumenska težina, specifična težina ($\gamma_s, \gamma, \gamma', \gamma_d$)
- nedrenirana čvrstoća smicanja (c_u)
- drenirana čvrstoća smicanja (c', ϕ')

- deformacijske svojstva (E_{oed} ili K , G odn. E i ν) ili konsolidacijski parametri (C_c , C_r , c_v , σ_p)
- koeficijent propusnosti k (σ)
- kemijski i biološki faktori, koji bi mogli utjecati na efikasnost mjera za ojačanje (huminske kiseline, sulfati)
- varijacije svojstva prema dubini i u uzdužnom i poprečnom smjeru.

1.2.14.4 Određivanje geometrije nasipa i očekivanih opterećenja

Geometriju nasipa opisu sljedeće svojstva:

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

Svojstva nasipavanja opisu:

- klasifikovanja materijala u nasipanom materijalu
- relacije vlaga – gustoća i očekivana volumenska težina materijala u nasipu
- parametri čvrstoće smicanjai deformabilnosti nasipanog materijala

Dodatna (vanjska) opterećenja opisu:

- težina nasipa
- prometna opterećenja
- dinamička opterećenja (potres).

Opterećenja zbog uticaja okolina opisu:

- uticaj smrzavice
- uticaji skupljanja i bubrenja
- mjere dreniranja, melioracija i visoke vode

Uticaje gradnje opisu:

- zahtjevni rokovi dovršenja gradnje
- planirana odn. očekivana brzina gradnje.

2.1.8.3.2.3.1 Određivanje graničnih stanja

Kod projektiranja nasipa na loše nosivim površinama treba ispitati sljedeća granična stanja:

- gubitak globalne stabilnosti i stabilnosti u pojedinim fazama gradnje
- rušenje padine i krune nasipa
- deformacije u nasipu, koje uzrokuju smanjivanje upotrebljivosti ili funkcionalnosti objekata (npr. otkazivanje kanalizacije, pukotine i neravnine na kolniku)
- slijeganja i pomake, koji mogu uzrokovati štetu na okolnim objektima
- prekomjerne deformacije kod prijelaza iz nasipa na objekt
- promjene uslova u okolini zbog uticaja konsolidacije (na primjer promjena kvalitete vode, sniženje nivoa podzemne vode).

1.2.14.5 Određivanje minimalnih faktora bezbjednosti i dozvoljenih pomaka

Minimalni faktori bezbjednosti su propisani sa odredbama standarda EN 1997 i za konačno stanje nakon izgradnji nasipa jednaki $F_c = 1,25$ i $F_{\phi} = 1,25$, a za vrijeme gradnje u nedreniranim uslovima $F_u = 1,40$.

Kriterij pomaka i slijeganja ovisi o projektnim zahtjevima svakog pojedinog projekta.

Za umjesne faze gradnje moraju biti faktori bezbjednosti taki, da ne pride do rušenja ili škodljivih deformacij med gradnju. Običajno se za vmesne kritičite faze gradnje zahtjev $F_u > 1,15$.

1.2.15 Osnova geotehničkog izračuna nasipa na loše nosivom tlu

1.2.15.1 Općenito

Za izračun nosivosti loše nosivih površina, stabilnosti nasipa, deformacija i vremenskog razvoja deformacija mogu se upotrebljavati različite semiempirične, analitičke i numeričke metode, prilagođene za upotrebu u različitim slučajevima. Ulazni podaci za izračun karakteristične su vrijednosti, dobivene iz podataka terenskih i laboratorijskih istraživanja.

1.2.15.2 Provjeravanje nosivosti

Kada je debljina loše nosivih površina veća od širine nasipa, za približni izračun graničnog opterećenja nasipa može se koristiti jednadžba (Prandtl), (slika 2.1)

$$\gamma_N h = q_f < (2 + \pi) c_u \quad (1)$$

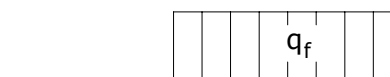
Za izračun uticaja nagiba padine nasipa na nosivost površina može se koristiti relacija (slika 2.2)

$$\frac{1}{n} < \frac{1.95 c_u}{\gamma_n h} \quad (2)$$

Povoljan uticaj bočnog nasipa na stabilnost glavnog nasipa prikaže relacija (slika 2.3)

$$q_f = 0.5 \gamma B N_\gamma + c N_c + \gamma D N_q \quad (3)$$

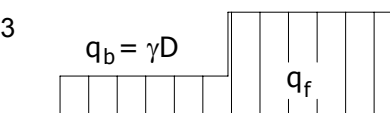
2.1



2.2



2.3



Slika 2: Šematski prikaz uticaja geometarije padina na nosivost površina ispod nasipa

Parametar nedrenirane strižne čvrstoće (c_u) se utvrdi preskusima na terenu ili u laboratoriji. Na terenu se upotrebljava:

- statički penetracijski preskus sa konusom (CPT),
- dilatometrski preskus (DMT) i
- terenska krilna sonda.

U laboratoriji se nedreniranu strižnu čvrstoću utvrdi sa:

- triosnim nedreniranim nekonsolidiranim preskusom (UU),
- preskusom enoosne tlačne čvrstoće na valjcima ($c_u = q_u/2$),
- preskusom sa laboratorijsko krilno sondo ili laboratorijskim konusom.

1.2.15.3 Provjeravanje rotacione strižne stabilnosti

Gradnja nasipa u temeljnim površinama uzrokuje porast premašenih pornih tlakova i time smanjivanje bezbjednosti protiv rušenja. Kritičnu fazu predstavlja stanje odmah nakon završetka gradnje nasipa, zato što su premašeni porni tlakovi u površina najviši. Tom stanju odgovara račun stabilnosti sa uvažavanjem nedrenirane čvrstoće smicanja ($\tau_u = c_u$, $\varphi_u = 0$) ili račun sa uvažavanjem drenirane čvrstoće smicanja premašenih pornih tlakova u temeljnim površinama (c' , φ' , Δu).

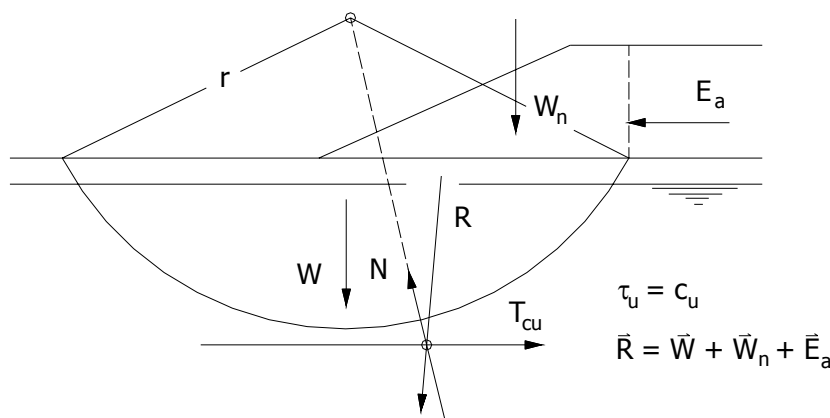
U slučaju izračuna stabilnosti sa uvažavanjem nedrenirane strižne čvrstoće, pornih tlakova zbog vodostaja i dodatna opterećenja nitreba uvažavati.

U slučaju izračuna stabilnosti odmah posle izgradnje nasipa uvažavajući drenirane strižne čvrstoće, uzimaju se vrijednosti prevaziđenih pornih tlakova (Δu), jednake vrijednosti dodatnih vertikalnih pritisaka zbog teže nasipa ($\Delta u = \Delta \sigma_{zz}$).

Parametre drenirane strižne čvrstoće (c' , φ') moguće je naći sa preskusima na terenu ili u laboratoriji. Na terenu se upotrebljavaju slijedeći postupci:

- statički penetracijski preskus sa konusom za pijeske (CPT),
- dinamički penetracijski preskus za pijeske i prode (SPT) i
- specialne metode za direktno merenje strižne čvrstoće v vrtinah ali v izkopih.

U laboratoriju je moguće dreniranu strižnu čvrstoću definirati sa triosnim konsolidiranim nedreniranim preskusom (CU) i translatornom i rotacijskim direktnom strižnom preskusom.



Slika 3: Grafički prikaz određivanja stabilnosti nasipa u nedreniranim uslovima

Ako je nedrenirana čvrstoća smicanja ($\tau_u = c_u$) uzduž kružne klizne plohe konstanta, količnik bezbjednosti F_u može se izračunati sa uvažavanjem, da sila T_{cm} leži u smjernici, koja je usporedna sa tetivom, koja veže početak i kraj klizišta, pravougao na je na simetralu kružnog klizišta i udaljena od središta klizišta za udaljenost $a = r \alpha / \sin \alpha$.

Veličina mobilizirane reaktivne kohezijske sile T_{cm} u ovom slučaju može se izračunati iz momentnog uslova ravnoteže na središte klizišta.

$$\sum M^0 = 0 \Rightarrow W x_W + E_a y_E = T_{cm} a \quad (4)$$

$$T_{cm} = \frac{W x_W + E_a y_E}{a}, \quad c_m = \frac{W x_W + E_a y_E}{a l}, \quad F_u = \frac{c_u}{c_m} \quad (5)$$

gdje znači:

r - polumjer kružnog klizišta

α - polovična vrijednost središnjeg ugao a klizišta

x_W - udaljenost rezultirajuće težine nasipa W_N do središta klizišta

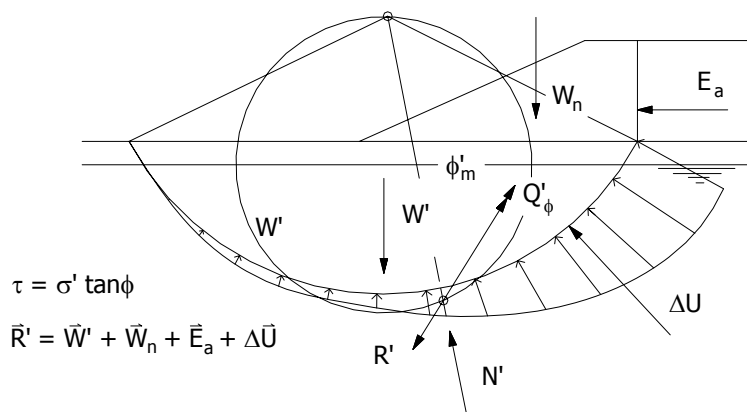
y_E - udaljenost sile E_a do središta klizišta

l - dužina tetive, koja veže početak i kraj kružnog klizišta

U slučaju izračuna stabilnosti sa uvažavanjem drenirane čvrstoće smicanja treba uvažavati uz porne tlakova zbog vodostaja i premašene (dodatne) kapilarne tlakove zbog opterećenja sa nasipom. Za normalno konsolidirane i zasićene koherentne zemlje dodatni porni tlakovi su zbog opterećenja sa nasipom jednaki dodatnom vertikalnom tlaku. Za izračun premašenih pornih tlakova (Δu) može se koristiti relacija

$$\Delta u = B (\Delta \sigma_3 + A (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)) \quad (6)$$

Skemtonov parametar B je jednak stepenu zasićenja S_r . Obično je stepen zasićenja malo nosivog tla 100%. Skemtonov parametar A ima vrednost 1 za normalno konsolidirane zemljine i vrednost manju od 1, ako je zemljina prekonsolidirana. Za malo nosivo tlo je obična vrijednost Skemptonovog parametra $A = 1$.



Slika 4: Grafički prikaz izračuna stabilnosti nasipa u dreniranim uslovima

S konsolidaciju koja napreduje bezbjednost nasipa protiv rušenja se povećava sve do konačne vrijednosti, koja je postignuta, kada premašeni porni tlakovi opadnu na nulte vrijednosti. Nakon završene konsolidacije površina rezultanta premašenih pornih tlakova postane Δu nulta.

U slučaju da izračun stabilnosti u nedreniranim uslovima pokaže premalu bezbjednost protiv rušenja, treba sa projektnim i konstrukcijskim zahtjevima propisati postupke, koji jamče odgovarajuću bezbjednost.

Izračuni stabilnosti nasipa na mekanom tlu se izvedu analizama verovatnosti rušenja po jednojod priznatih metoda:

- analitički računi za predpostavljene drsne ploskve jednostavnih oblika u homogenom tlu,
- numerički računi po lamelnih metodama za predpostavljene drsne površine kružne, odsekoma ravne ili bolj kompleksnog oblika (metode Bishopa, Janbuja, Morgensterna i Pricea, Spencerja i drugih),
- numerički računi po MKE ali diferencnoj metodi uz upoštavanje različitih konstitutivnih modela za opis ponašanja podloge i nasipa (n.pr.: elastoplastički modeli: Mohr-Coulombov, Drucker-Pragerjev, Cam clay, Cap model i drugi ...).

1.2.15.4 Izračun slijeganja

U izračun treba uključiti početna i kasnija slijeganja. Treba uvažavati sljedeće tri komponente slijeganja:

- s_0 : početna slijeganja zbog distorzije kod puno zasićene zemlje odn. zbog smanjivanja volumena i smicanja deformacija kod nezasićene zemlje
- s_1 : slijeganja zbog konsolidacije
- s_2 : slijeganja zbog puzanja.

Posebnu pažnju treba namijeniti organskim zemljama, šuti i ostalim mekim zemljama, gdje se slijeganje zbog viskoznog puzanja može odvijati neograničeno dugo. Viskozni učinci se odrede iz podataka edometarskog istraživanja ili troosnog istraživanja deformabilnosti.

Za izračun slijeganja mogu se koristiti različite u struci provjerene i isprobane metode. Među tim su i metode

- naponska deformacijska metoda i
- prilagođena metoda elastičnosti

1.2.15.4.1 Naponska deformacijska metoda

Kod naponske deformacijske metodi treba najprije izračunati raspored vertikalnih dodatnih napona u temeljnim površinama. Pritom treba uvažavati kako uticaje dodatnih opterećenje sa nasipom tako i ostala opterećenja, na primjer uticaje snižavanja tlakova vode u površina zbog gradnje kanala ili crpljenja vode.

Deformacije u površini – sakupljanja pojedinih slojeva (ρ_i) izračunaju se na način, da se pripadajuća površina dijagrama dodatnih vertikalnih napona u pojedinom sloju temeljnih površina dijeli sa naponskim promjenama odgovarajućem modulom sakupljanja.

$$\rho = \frac{A_{\infty}}{E_{oed}} \quad (7)$$

1.2.15.4.2 Prilagođena metoda elastičnosti

Sakupljanje pojedinog sloja izračuna se kao razlika pomaka vrha i dna sloja. Veličina pomaka ovisi o opterećenju nasipa, njegovom obliku, dubini sloja i njegovoj deformabilnosti (elastični modul E i Poissonov broj ν). Izračun se izvede sa uvažavanjem relacije

$$s = \frac{q \cdot b}{E} \cdot f \quad (8)$$

gdje znači:

f - faktor, koji ovisi o Poissonovom broju, obliku temelja, dubini sloja

Prihvatljiva veličina slijeganja određena je sa projektom pojedinog objekta. Ako izračun pokaže, da se zbog slijeganja mogu pojaviti deformacije, pukotine ili ostali oblici oštećenja, treba sa projektom konstrukcijskim postupcima propisati odgovarajuće mjere, sa kojima će biti moguće smanjiti slijeganja na prihvatljivu nivo.

1.2.15.4.3 Izračun vremenskog razvoja konsolidacije

Vremenski razvoj konsolidacije izračuna se uz pomoć parametara konsolidacije, dobivenih

kod edometarske provjere:

$$c_v = k M_v / \gamma_w \quad (9)$$

$$T_v = c_v t / h^2. \quad (10)$$

$$U_v = \rho / \rho_\infty \quad (11)$$

Za brzu ocjenu vremenskog razvoja konsolidacije u vertikalnom pravcu mogu se koristiti vrijednosti, prikazane u tabelama 1 i 2.

Tabela 1: Postignuti stupanj konsolidacije kod različitih vremenskih faktora

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 2: Vremenski faktori konsolidacije kod postignutog stupnja konsolidacije

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	$\cong 2$

Kod određivanja vremenskog razvoja konsolidacije prednost imaju koeficijenti propusnosti, određeni kod terenskih istraživanja.

U slučaju, kada izračun vremenskog razvoja slijeganja pokaže, da u vrijeme planirane gradnje i predaje objekta na upotrebu nije očekivana mobilizacija dovoljnog dijela slijeganja, treba sa projektno konstrukcijskim zahtjevima propisati mjere za poticanje konsolidacije.

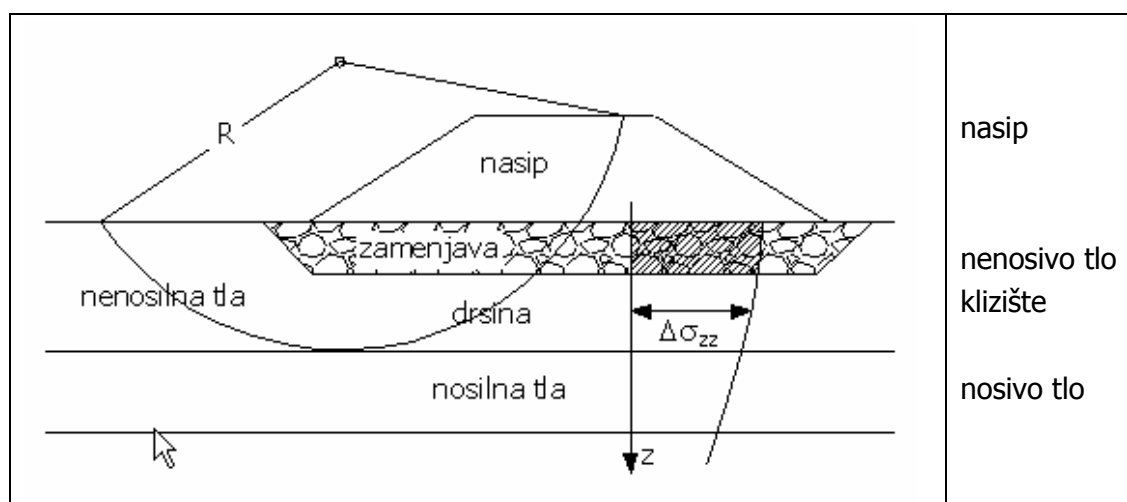
1.2.16 Osnovu geotehničkog izračuna konstrukcijskih mjera za gradnju nasipa na loše nosivim površinama

1.2.16.1 Izračun uticaja promjene geometarije nasipa i svojstva zamjenskog nasipavanja

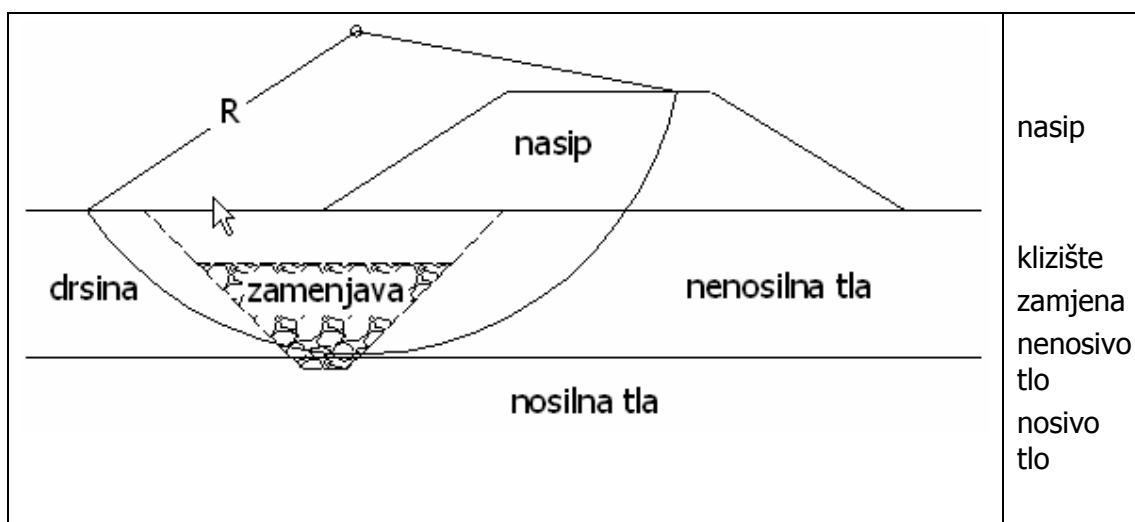
Izračun uticaja geometarije nasipa na poboljšanje bezbjednosti gradnje izvede se prema postupcima, opisanim, u tč. 1.2.5.2. Treba ispitati uticaje smanjivanja nagiba padina (n) glede na početno projektirano stanje i uticaje gradnje bočnih nasipa. Usporedo treba ispitati uticaje promjene geometarije padina na veličinu slijeganja.

Kod izračuna uticaja zamjenskog nasipavanja treba razlikovati između

- nasipavanja, koji se upotrebljavaju za nadomještanje loše nosivih temeljnih površina za poboljšanje njihove čvrstoću i deformabilnosti i
- nasipavanja, koji koriste se kao nadomjestak klasičnim zemljanim nasipanjima u nasipanom tijelu.

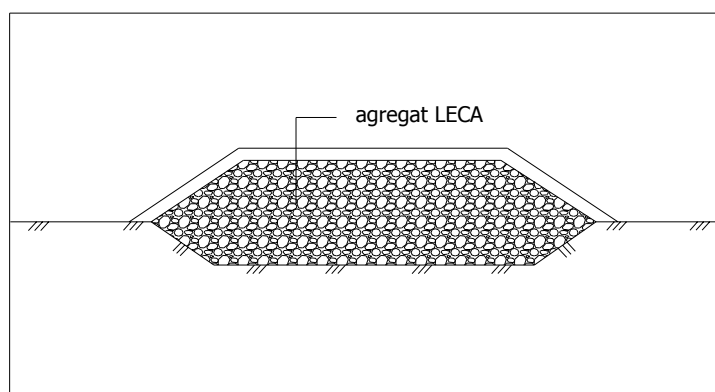


Slika 5: Primjer gradnje nasipa sa djelomičnom zamjenom loše nosivih površina ispod nasipa sa kamenim materijalom



Slika 6: Primjer gradnje nasipa sa djelomičnom zamjenom loše nosivih površina u području pete nasipa sa kamenim materijalom

Kod izračuna uticaja promjene svojstva nasipavanja u tijelu nasipanja najvažnija je ispravnost određivanja volumenske težine materijala za nasipanje. Obična zemljana nasipavanja imaju volumensku težinu između 18 i 24 kN/m³. Agregati od ekspandirane gline imaju približno 4 do 5 x nižu volumensku težinu (3.5 do 7 kN/m³), a ploče od ekspandiranih polistirena do 100 x nižu volumensku težinu (0.25 do 0.35 kN/m³) od klasičnih zemljanih nasipavanja.



Slika 7: Primjer gradnje nasipa sa upotrebom lakih agregata od ekspandirane gline (LECA – light expanded clay aggregate)

	planum nasipna zemljina prekrivni sloj plošče zavarovati proti premikanju 1:1 50 x 200 m h = potrebna visina planum izboljšanih temeljnih tal nadomestna nasipna zemljina slabo nosilna temeljna tla	planum zemlja za nasip ploče od lakog materijala h=potrebna visina planum poboljšanog osnovnog tla zamjenska nasipna zemlja loše nosivo osnovno tlo
prekrivni sloj ploče obezbjediti protiv pomicanja		

Slika 8: Primjer gradnje nasipa sa upotrebom ploča iz ekstrudiranog polistirena.

Kada su odnosi takvi, da treba nasipe u cijelosti izgraditi od lakih ploča, treba sa odgovarajućim mjerama pobrinuti se za odgovarajuću zaštitu ploča odmah ispod kolne konstrukcije (slika 9).

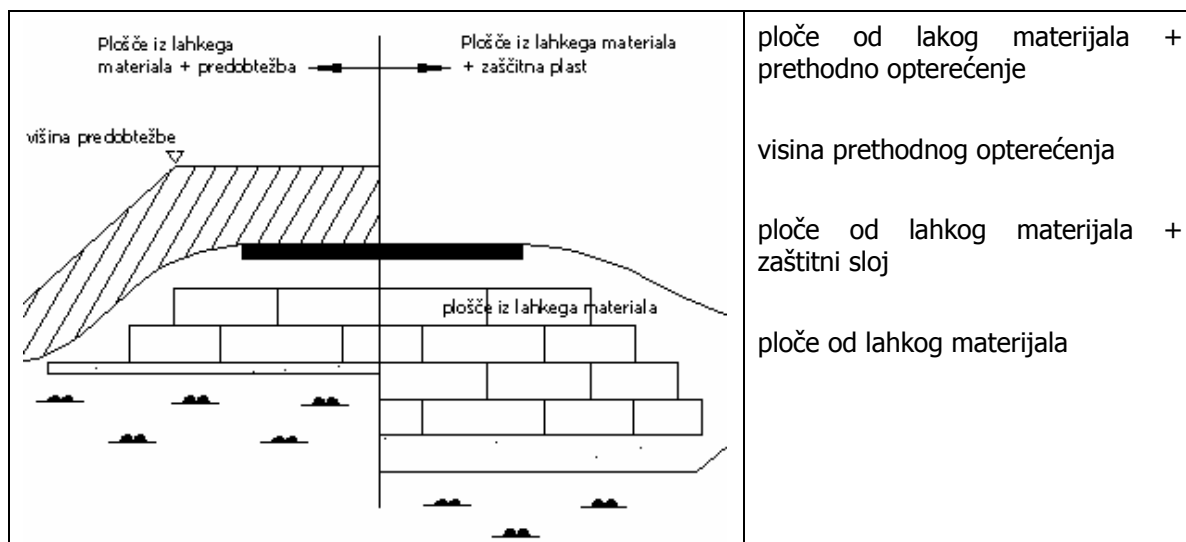
	nevezan nosilni sloj armirana betonska plošča, B25, > 12 cm h = potrebna visina plošče iz lakog materijala planum izboljšanih temeljnih tal nasipna zemljina slabo nosilna temeljna tla	nepovezani nosivi sloj armirana betonska ploča h=potrebna visina ploče od lakog materijala planum poboljšanog osnovnog tla nasipna zemlja loše nosivo osnovno tlo
prekrivni sloj ploče obezbjediti protiv pomicanja		

Slika 9: Primjer gradnje nasipa sa upotrebom ploča od ekstrudiranog polistirena sa cementnobetonskom zaštitom iznad ploča

S upotrebom lakih i vrlo lakih materijala smanjimo opterećenja na temeljna tla i tako direktno utječemo na veću bezbjednost i manje slijeganja.

Kod planiranju gradnje nasipa od lakih i vrlo lakih materijala treba uvažavati vremenski prirast težine materijala zbog postupnog zasićenja sa podzemnom vodom i konstrukcijske mjere za zaštitu tih materijala od vanjskih uticaja i djelovanja životinja. Posebno treba ispitati razlike u krutosti i deformacijskom ponašanju različitih materijala, ugrađenih ispod, iznad i uz obje strane nasipa od lakih materijala.

I kod gradnje nasipa od lakih materijala mogu se koristiti kombinacije metoda sa predopterećenošću i/ili preopterećenošću (slika 10).



Slika 10: Primjer kombinirane gradnje nasipa na loše nosivim površinama sa preopterećenošću i bez nje

1.2.17 Izračun uticaja šljunčanih greda

1.2.17.1 Općenito

S ugradnjom šljunčanih greda u temeljnim površinama postignut je trojni učinak:

- povećava se horizontalna propusnost sloja zemlje i potiče konsolidacija
- poboljšava se nosivost temeljnih površina
- smanjuju se slijeganje ispod planiranog opterećenja.

Trajanje konsolidacije je jedan od kriterija za Dimenzionisanje šljunčanih greda. sa tim kriterijem se odrede razmaci između greda i dimenzije greda, a zatim se prevjere i uticaji greda na nosivost i smanjivanje slijeganja.

Šljunčani gredi obično su promjera 40 do 100 cm i dužine do 30 m, a iznimno i više. Najmanja udaljenost između kola obično je 1.5 m.

Uticaj šljunčanih greda na brzinu konsolidacije ovisi o načinu rasporeda i gustoći rasporeda greda.

Za odabrani radij greda, propusnost, edometarski modul i očekivano vrijeme konsolidacije treba potražiti broj greda

$$n = R/r_c$$

kako bi stupanj konsolidacije bio 95 %.

1.2.17.2 Ukupni stupanj radijalne i vertikalne konsolidacije

$$U = 1 - (1 - U_V)(1 - U_R) \quad (12)$$

$$T_V = \frac{c_V t}{h^2} = \frac{k E_{oed} t}{\gamma_w h^2} \quad (13)$$

$$U_V = U_V(T_V) = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{(2m-1)^2} \exp\left[-\frac{(2m-1)^2 \pi^2}{4} T_V\right] \quad (14)$$

$$T_R = \frac{c_R t}{4 R^2} = \frac{k_R E_{oed R} t}{4 \gamma_w R^2} \quad (15)$$

$$n = \frac{R}{r_0} \quad (16)$$

$$\mu = \frac{n^2}{n^2 - 1} \left(\ln n - \frac{3}{4} + \frac{1}{n^2} - \frac{1}{4n^4} \right) \quad (17)$$

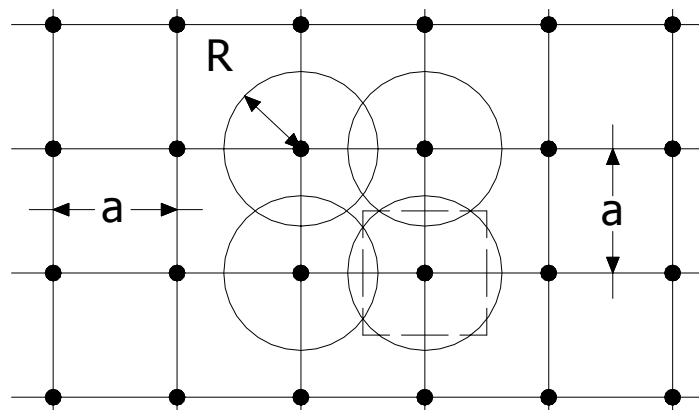
$$U_R = U_R(T_R, n) = 1 - \exp\left[-\frac{8}{\mu} T_R\right] \quad (18)$$

1.2.17.3 Raspored šljunčanih greda

Mogući su različiti rasporedi šljunčanih greda: kvadratni, trougao asti, heksagonalni i sl. Kvadratni tlorisni raspored

$$R = \frac{1}{\sqrt{\pi}} a = 0.564 a \quad (19)$$

$$a = \frac{R}{0.564}$$

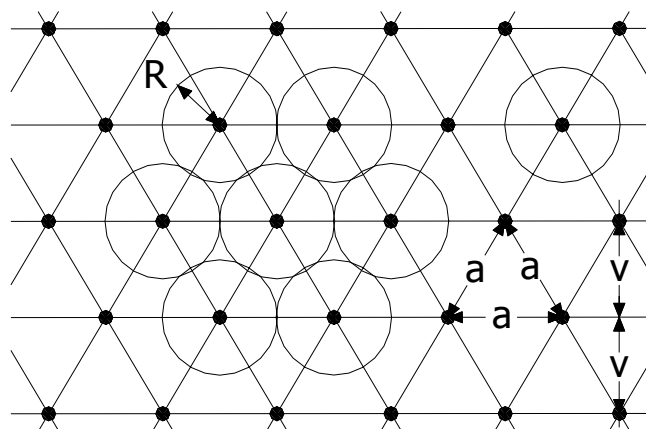


Slika 11: Šematski prikaz kvadratnog rasporeda šljunčanih greda

Trougaoni tlocrtni raspored

$$R = \sqrt{\frac{\sqrt{3}}{2\pi}} a = 0.525 a$$

$$a = \frac{R}{0.525} \quad (20)$$

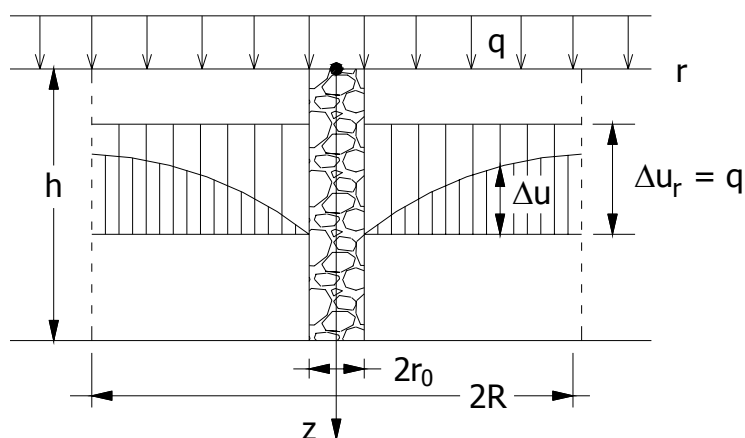


Slika 12: Tematski prikaz trougao astog tlocrtnog rasporeda

1.2.17.4 Uticaj šljunčanih greda na slijeganja i na nosivost temeljnih površina

Šljunčane grede utječu na nosivost na dva načina:

- zbog središnjih slojeva visoku strižnu otpornost materijala, koji se nalazi u kolu, možemo računati sa bitno višom strižnom otpornošću temeljnih površina
- zbog ugrađenih šljunčanih greda u temeljnim površinama brže se stvaraju uslovi dreniranog stanja
- međusobna udaljenost šljunčanih greda i polumjer greda, čija je uticaj obuhvaćen u brezdimenzijskom količniku A_R , jako utječu na količnik redukcije slijeganja β .



Slika 13: Šematski prikaz šljunčanog kolnika

Izračuni:

Geometrijske količine:

- $2r_c$ promjer šljunčanog kola
- $2R$ uticajni promjer šljunčanog slopa
- a međuosna udaljenost između šljunčanih slopova
- A_c prerez šljunčanog kola
- H dužina šljunčanog kola
- A prerez valjka u uticajnom području
- A_s prerez osnovne zemlje
- A_R udio prereza šljunčanog kola u kompozitu

$$A_R = \frac{A_c}{A} = \left(\frac{r_c}{R} \right)^2 \quad (21)$$

$$A_c = \pi r_c^2 \quad (22)$$

$$A = \pi R^2 \quad (23)$$

$$R = \chi a \quad (24)$$

$\chi = 0.525$... trougana tlocrtna mreža slopova

$\chi = 0.565$... kvadratna tlocrtna mreža slopova

$\chi = 0.645$... šesterougana tlocrtna mreža slopova

Slijeganja temeljnih površina bez greda ispod nasipa je

$$s_0 = \frac{qH}{E_{oed}} \quad (25)$$

Završno slijeganja temeljnih površina sa ugrađenim gredima je

$$s = s_0 \beta = \frac{qH}{E_{oedn}} \quad (26)$$

Slijeganja greda je

$$s_c = \frac{q_c H}{E_{oedc}} \quad (27)$$

Slijeganja zemlje između greda je

$$s_s = \frac{q_s H}{E_{oeds}} \quad (28)$$

$$qA = q_c A_c + q_s A_s \quad (29)$$

$$q_c = \frac{q\eta}{1 + A_R(\eta - 1)} \quad (30)$$

$$q_s = \frac{q}{1 + A_R(\eta - 1)} \quad (31)$$

$$f(v_s, A_R) = \frac{(1 - v_s)(1 - A_R)}{(1 - 2v_s + A_R)} \quad (32)$$

$$\sigma_{r_c} = q_c k_{a_c} = q_c \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi'_c}{2} \right) \quad (33)$$

$$\eta = \frac{1 + 2f(v_s, A_R)}{2k_{a_c} f(v_s, A_R)} \quad (34)$$

$\eta =$ količnik raspodjele opterećenja ($\frac{q_c}{q_s}$), a q je veličina opterećenja sa nasipom

$$q_c = \frac{q\eta}{1 + A_R(\eta - 1)} \quad (35)$$

$$q_s = \frac{q}{1 + A_R(\eta - 1)} \quad (36)$$

$$\beta = \frac{s}{s_0} = \frac{1}{1 + A_R(\eta - 1)} < 1 \quad (37)$$

$$s = s_c = s_s \quad (38)$$

Zamjenska volumenska težina

$$\gamma_n = A_R \gamma_c + (1 - A_R) \gamma_s \quad (39)$$

Zamjenska čvrstoće parametara su

- u početnim nedreniranim uslovima:

$$\tau_{un} = c_{un} + \sigma_{zn} \tan \varphi_{un} \quad (40)$$

$$c_{un} = A_R (q_c - q \frac{\gamma_c}{\gamma_s}) \tan \varphi'_c + (1 - A_R) c_{us} \quad (41)$$

$$\sigma_{zn} = \gamma_n z + q \quad (42)$$

$$\tan \varphi_{un} = A_R \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \tan \varphi'_c \quad (43)$$

- u dreniranim uslovima:

$$\tau_n = c'_n + \sigma'_{zn} \tan \varphi'_n \quad (44)$$

$$c'_n = A_R (q_c - q \frac{\gamma'_c}{\gamma'_n}) \tan \varphi'_c + (1 - A_R) \left[c'_s + (q_s - q \frac{\gamma'_s}{\gamma'_n}) \tan \varphi'_s \right] \quad (45)$$

$$\sigma'_{zn} = \gamma'_n z + q \quad (46)$$

$$\tan \varphi'_n = A_R \frac{\gamma'_c}{\gamma'_n} \tan \varphi'_c + (1 - A_R) \frac{\gamma'_s}{\gamma'_n} \tan \varphi'_s \quad (47)$$

1.2.17.5 Izračun uticaja vertikalnih drenaža (wick drains)

Osnovna svrha ugradnje vertikalnih drenaža je pospješivanje konsolidacije zbog povećanja propusnosti površina u radialnom, a djelomično i u vertikalnom smjeru. Za izračun uticaja vertikalnih drenaža na pospješivanje konsolidacije uvažavaju se slične relacije, kao što se uvažavaju kod izračuna šljunčanih greda. Uticaj vertikalnih drenaža na smanjivanje slijeganja i poboljšanje nosivosti temeljnim površinama u konzervativnom izračunu obično zanemarimo.

Zamjenski radij za trakastu drenažu širine b i debljinu t treba izračunati prema jednadžbi

$$2 \pi r_0 = 2 (b + t) \Rightarrow r_0 = \frac{b + t}{\pi} \quad (48)$$

gdje znači:

b - širina trakaste drenaže

t - debljina trakaste drenaže

1.2.17.6 Izračun uticaja dubinske konsolidacije na poboljšanje nosivosti

Postupci dubinske konsolidacije (vapneni gredi, jet grouting gredi, zgušnjavanje sa

vibracijama) su postupci, koji sa unošenjem veziva ili dodatne energije u tlo povećavaju strižnu otpornost zemlje. sa postupcima dubinske konsolidacije se

- poboljša nosivost temeljnih površina,
- smanjuje slijeganje ispod planiranog opterećenja i
- povećava bezbjednost protiv rušenja.

Veličina povećanja strižne čvrstoću odrediti se na osnovu laboratorijskih istraživanja, terenskih istraživanja na testnih poljima ili iz prošlih iskustava.

Za izračun se koriste zamjenske vrijednosti korigirane čvrstoće za poboljšana tla i postupci, opisani u tč. 1.2.7.5

1.2.18 Posebni zahtjevi kod planiranja nasipa na loše nosivim površinama

Kod planiranja nasipa na loše nosivim površinama treba uvažavati i sljedeće:

- odluke o uklanjanju travnate i humusne zemlje, koji često predstavljaju »čvrstu, nosivu « koru iznad mekih zemlja, koje ovise o geotehničkoj ocijeni za konkretni objekt
- na loše nosiva temeljna tla preporučljivo je ugraditi geosintetik za razdvajanje prije polaganja platoa za vožnju; za ojačanje temeljnih površina može se koristiti i ojačani geosintetik; Dimenzionisanje geosintetika za ojačanje izvede se prema postupcima, koji vrijede za upotrebu geosintetika
- prvi sloj nasipa iznad loše nosivim temeljnim površinama ili iznad geosintetika mora biti barem od dobro propusnog kamenog materijala, koji djeluje kao drenažni sloj i kao radni plato
- kod planiranja debljine platoa za vožnju i slojeva od kamenog materijala treba uvažavati visinu očekivanih slijeganja i visine visokih (poplavnih) voda.

1.2.19 Plan geotehničkog praćenja kod gradnje nasipa na loše nosivim površinama

Kod planiranju nasipa na loše nosivim površinama treba u okviru izrade plan a izraditi i plan e geotehničkog praćenja. Plan i geotehničkog praćenja moraju biti raspodijeljeni na mjere

- za praćenje nasipa za vrijeme izgradnje i
- za praćenje nasipa nakon izgradnje.

Za praćenje nasipa odgovarajuće su sljedeće metode:

- posedalne ploče za geodetsko praćenje slijeganja
- horizontalni inklinometari za ukupno mjerenje slijeganja u poprečnom pravcu kroz nasip
- vertikalni inklinometari za zajedničko mjerenje pomaka glede na vertikalni smjer u nasipu i temeljnim površinama
- mjerači površnih tlakova vode
- piezometari za praćenje nivo voda
- mjerači istjecanja vode iz drenaža
- ostale metode (npr. ekstenziometari, mjerni listići za mjerenje deformacija u geosinteticima itd.).

1.3 GEOSINTETIČKI MATERIALI

1.3.1 Predmet smjernice

Geosintetici su planirani polimerni materijali, koji se koriste u kombinaciji ili u kontaktu sa zemljom, kamenjem ili ostalim geotehničkim materijalima za različite svrhe kod gradnje kolnik, u hidrotehničkim gradnjama i kod ostalih inženjerskih gradnja.

Geosintetici imaju sljedeća glavna područja upotrebe:

- razdvajanje
- filtriranje
- dreniranje
- ojačanje – armiranje
- zaptivanje
- zaštita.

Većina geosintetika proizvedena je od sintetičnih polimera: polipropilena, poliestra i polietilena. Ti polimeri su visoko otporni na biološke i kemijske uticaje. Rjeđe se koriste: poliamidi (najlon) i staklena vlakna. Prirodna vlakna, kao što su kokos, juta i pamuk mogu se isto tako koristiti kao i geosintetici, međutim zbog svrhe njihove potrošnje, koja je uvijek samo privremena, razmatraju se odvojeno od geosintetika.

Između geosintetskih materijala razlikujemo sljedeće glavne grupe:

- geotekstilije: su propusni, površinski tekstilni materijali, koji mogu biti tkani, čvornati, rađeni iglom ili toplo valjani. Najviše se koriste za razdvajanje, filtriranje i za zaštitu, a često i za dreniranje i ojačanje – armiranje. Oznaka je GTX
- geomreže – za ojačanja: to su površinski materijali sa ispravno raspoređenim otvorima. Sastoje se od mreže elemenata za natezanje, međusobno povezanih varenjem, spajanjem ili ekstrudisanjem. Veličina otvora je mnogo veća od elemenata, koji tvore strukturu. Njihova primarna uloga je armiranje. Oznaka je GGR
- geomreže – drenažne: poseban oblik geomreža koji se sastoji od guste, ispravne mreže elemenata, čiji sastavni dijelovi su međusobno povezani sa čvorovima ili ekstruzijom. Koriste se prije svega za razdvajanje i dreniranje. Oznaka je GNE
- geomembrane: su nepropusni, površinski materijali, čija je glavna svrha zaptivanje. Oznaka je GMB
- geokompoziti: su proizvedeni ili na terenu sastavljeni veštački materijali, koji se sastoje od najmanje dvije vrste različitih materijala, od kojih je najmanje jedan od polimernih sintetičnih vlakana. Postoji skoro neograničena vrsta različitih vrsta geokompozita. Najviše se koriste za dreniranje i zaptivanje. Oznaka je GCO
- bentonitne membrane: su neki oblik nepropusnih geokompozita, načinjen od dva sloja površinskih polimera, između kojih je ugrađen bentonit ili neka druga glina. Koriste se za zaptivanje. Oznaka je GCL.

1.3.2 Simboli

c	kohezija
c'	kohezija izražena sa efektivnim naponima
c_a	adhezija zemljina - geosintetik
c_u	nedrenirana čvrstoća smicanja
h	visina (nasipa, ukopa)
dh	razmak među armaturnim trakama
l_{ai}	nenosiva dužina armaturne trake
l_{ni}	nosiva dužina armaturne trake

k	koeficijent vodopropusnosti
k_a	koeficijent aktivnog pritiska zemljine
p_a	aktivni pritisak zemljine
$\check{s}$	širina armaturne trake
E_i	pritisak zemljine
N	normalna sila na kliznoj plohi
T_c	rezultirajući kohezijski otpor uzduž klizišta
T_φ	rezultirajući otpor trenja uzduž klizišta
u	tlak kapilarne vode
W	težina (zemlje)

Grčka slova

β	nagib padine
γ	volumenska težina
γ_c, γ_φ	faktor bezbjednosti na koheziju i ugao smicanja u dreniranim uslovima
γ_{cu}	faktor bezbjednosti u nedreniranim uslovima
γ_{trak}	faktor bezbjednosti za geosintetik
θ	nagib klizišta
ϑ	nagib drsine
σ	normalni totalni napon
σ'	normalni efektivni napon
τ	napon smicanja
φ'	ugao smicanja, izražen sa efektivnim naponima

Skraćenice

Za geotehničke izračune preporučene su slijedeće jedinice i njihovi višekratnici:

sila	kN
masa	kg
moment	kNm
gustoća	kg/m ³
volumenska težina	kN/m ³
napon, tlak, čvrstoća, krutost	kPa
koeficijent propusnosti	m/s
koeficijent konsolidacije	m ² /s

Kategorije objekata prema Eurocode 7

1. kategorija: geotehničko jednostavni objekti
2. kategorija: većina objekata
3. kategorija: geotehničko vrlo zahtjevni objekti

1.3.3 Karakteristike geosintetika

Na tržištu je više od 600 različitih vrsta geosintetika, koji se razlikuju po svojstvima osnovnog polimera, svojstvima osnovnih vlakana i načinima proizvodnje stoga su svojstva geosintetika vrlo različita. Parametri, koji moraju biti provjereni kod upotrebe geosintetika u izradi kolnika, prikazani su u tabeli 1. U tabeli navedena svojstva odnose na tako zvana indeksna svojstva i primjerena su za veći dio upotrebe. Za specifične svrhe upotrebe treba obaviti specijalna istraživanja, sa kojima se potvrde u projektnoj dokumentaciji tražena svojstva.

Tabela 1. Važna svojstva i svojstva geosintetika, koje treba ispitati kod gradnje kolnik

Karakteristika Characteristic	Postupak ispitivanja Test method	Uloga			dreniranje
		Filtracija	Razdvajanje	ojačanje	
Čvrstoća natezanja	EN ISO 10319	H	H	H	H
Rastezanje kod najvećeg opterećenja	EN ISO 10319	A	A	H	A
Čvrstoća natezanja čvrstoća kontakata	EN ISO 10321	S	S	S	S
Statička čvrstoća na probijanje (CBR) ^{a,b}	EN ISO 12236	S	H	H	--
Dinamična otpornost protiv probijanja (cone drop test) ^a	EN 918	H	A	H	--
Karakteristike trenja	prEN ISO 12957	S	S	A	S
Puzanje kod natezanja	EN ISO 13431	--	--	S	A
Oštećenja za vrijeme instaliranja	ENV ISO 10722-1	A	A	A	A
Karakteristični otvori pora	EN ISO 12956	H	A	--	--
Propusnost za vodu, normalno na površinu	EN ISO 11058	H	A	A	--
Sposobnost provođenja vode	EN ISO 12958	--	--	--	H
Trajnost		H	H	H	H
Otpornost na truljenje	EN 12224	A	A	A	A
Otpornost na kemijsko starenje	ENV ISO 12960 EN ISO 13438 ENV 12447	S	S	S	S
Otpornost na mikrobiološko raspadanje	EN 12225	S	S	S	S

Legenda:

H – zahtjev za harmonizaciju

A - relevantno za sve oblasti upotrebe

S - relevantno za specifične oblasti upotrebe

-- - nije relevantno za ovu oblast upotrebe

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

^b - ako su mehanička svojstva (čvrstoća na natezanje i probijanje) označena sa »H«, proizvođač će koristiti oba dokaza.

U tabeli nisu obuhvaćena svojstva za geomembrane u tunelima, rezervoarima za vodu i za zaštitu od zagađenja sa autoputa. Ta svojstva moraju biti određena u tehničkim specifikacijama za tunele odnosno za zaštitu podzemne vode ili u projektnoj dokumentaciji za svaki pojedini objekt.

1.3.4 Tehničke specifikacije za geosintetike

Odabir geosintetika za određenu svrhu upotrebe u izradi kolnika mora se temeljiti na svojstvima geosintetike koja su važna za sa projektnom dokumentacijom određenu svrhu upotrebe i uslove gradnje. Određivanje određenog standardnog tipa proizvoda (na primjer: 300 gramski filc) može dovesti do potpuno pogrešne upotrebe.

U projektnoj dokumentaciji moraju biti određeni

- osnovni zahtjevi,
- specifični zahtjevi,
- detalji dodirivanja, šivanje i prekrivanje,
- postupci polaganja,
- postupci popravaka oštećenja i
- kriteriji za preuzimanje ili odbijanje.

1.3.5 Projektiranje radova sa geosinteticima

Geosintetici su razmjerno mlad materijal, zato postupci planiranja njihove upotrebe još nisu ujednačeni. Postoji više različitih pristupa planiranju radova sa geosinteticima i to:

- planiranje na osnovu ocjene troškova i dostupnosti materijala za gradnju. U tom slučaju se obavi uporedba cijene dva ili više alternativnih materijala i odabere se materijal koji najbolje odgovara. Postupak je još uvijek u primjeni iako bi ga morali odbacivati
- planiranje na osnovu tehničkih specifikacija. U tom slučaju u specifikacijama postojećih svojstva geosintetika za različite uslove i svrhe upotrebe, planer odabere materijal, koji svoji svojstvima odgovara uslovima planirane upotrebe
- planiranje glede na svrhu upotrebe. U tom slučaju treba najprije odrediti ulogu geosintetika u objektu i zatim glede na uslove okoline i na osnovu analize odrediti numeričke vrijednosti za pojedina svojstva kao što su propusnost, rastezanje, čvrstoća natezanja i slično.

Faktor bezbjednosti geosintetika $F_{(G)}$ je omjer proizvodne, ispitivanjem određene vrijednosti geosintetika i numeričke vrijednosti, određene sa izračunom za određenu svrhu upotrebe:

$$F_{(G)} = \frac{\text{testna karakteristika}}{\text{tražena karakteristika}}$$

Testna karakteristika: karakteristika, određena u laboratoriju ili kod testiranja na terenu, koja imitira određenu situaciju

Tražena karakteristika: numerička vrijednost, određena projektnim izračunom.

Kod odabira računskih vrijednosti materijalnih svojstva geosintetika, što se posebno odnosi na armaturne geosintetike, potrebno uvažavati kompatibilnosti zemlje i geosintetika, a posebno kompatibilnosti deformacija. Geosintetik, na primjer, može razviti određene vrijednosti čvrstoće natezanja kod vrlo velike deformaciji, dakle u području, u kojem se zemljana površina već poruši. Planiranje geosintetika, koji ne uzima u obzir kompatibilnosti materijala i njihove zahtjeve može biti štetno i opasno.

Kod planiranja geosintetika treba uvažavati i da su uslovi, kojima je izložen geosintetik u vrijeme ugrađivanja, često agresivniji od uslova, kojima će biti izložen u vrijeme obavljanja funkcije u objektu. Zato treba kod planiranja radova sa geosinteticima uvažavati sve relevantne uticaje okoline i uslova ugradnje i odrediti ih sa traženim karakteristikama geosintetika, koja su zaokružena u sljedeće glavne grupe svojstva:

- fizička svojstva
- mehanička svojstva
- hidraulička svojstva
- svojstva, vezana za trajnost i otpornost (oštećenja kod polaganja, puzanje, abrazija itd.)
- svojstva, vezana za raspadanje zbog uticaja okoline (temperatura, kemijski i biološki uticaji, starenje itd.)

Budući da se svojstva geosintetika određuju u idealnim uslovima laboratorijske okoline se kod planiranja upotrebe obično računa sa reduciranim vrijednostima. Veličina redukcionog faktora ovisi o svrsi upotrebe, kritičnosti aplikacije i stečenim iskustvima. U tabeli 2 su navedene preporučene vrijednosti redukcionih faktora za različite svrhe upotrebe.

Tabela 2. Preporučene vrijednosti redukcionih faktora

Svrha upotrebe	Oštećenja kod ugradnje	Redukcioni faktori		
		Puzanje	Kemijska degradacija	Biološka degradacija
- razdvajanje	1.1 – 2.5	1.5 – 2.5	1.0 – 1.5	1.0 – 1.2
- makadamski kolnik	1.1 – 2.0	1.5 – 2.5	1.0 – 1.5	1.0 – 1.2
- potkapilarne konstrukcije	1.1 – 2.0	2.0 – 4.0	1.0 – 1.5	1.0 – 1.3
- nasipi	1.1 – 2.0	2.0 – 3.5	1.0 – 1.5	1.0 – 1.3
- nosivost	1.1 – 2.0	2.0 – 4.0	1.0 – 1.5	1.0 – 1.3
- stabilizacija padina	1.1 – 1.5	2.0 – 3.0	1.0 – 1.5	1.0 – 1.3

1.3.6 Planiranje geosintetika za razdvajanje

1.3.6.1 Oblast i svrha upotrebe

Geosintetici, koji se koriste za razdvajanje, sprječavaju miješanje dvije različite vrste materijala. Razdvajanje i time sprječavanje miješanja različitih materijala može se izvoditi na različitim nivoima kolničke konstrukcije:

- između glinenih temeljnih površina i nadgradnje sa nasipom, kamenim platoom za vožnju ili kolne konstrukcije
- između nasipa i kolne konstrukcije
- između slojeva stare i nove konstrukcije.

Geosintetici za razdvajanje sprječavaju utiskivanje kamenih zrna u mekšu podlogu i prodiranje sitnih zrna iz podloge prema gore u kamene slojeve konstrukcije. Osnovna svrha upotrebe geosintetika za razdvajanje je očuvanje planirane debljine, kvaliteta i homogenosti ugrađenih slojeva.

Uloga geosintetika za razdvajanje može biti i filtriranje i dreniranje. Za razdvajanje se najviše koriste geotekstilije.

1.3.6.2 Svojstva podloge, na kojoj je efikasna upotreba geosintetika za razdvajanje

Upotreba geosintetika za razdvajanje je najefikasnija u slijedećim slučajevima:

- kada su u podlozi sitno zrnata tla ili tla od gline iz grupe glinenih pijesaka i šljunaka, sitnog pijeska, glina, organskih gлина i šute: GC, SC, ML, MH, CL, CH, OL, OH i Pt
- kada je nedrenirana čvrstoća smicanja zemljanih površina u podlozi niska: $\tau_u = c_u < 90 \text{ kPa}$; $\text{CBR} < 3 \%$ i $M_s < 45 \text{ MPa}$
- kod visoke nivoa podzemne vode
- kod vrlo osjetljivih materijala.

U navedenim slučajevima geosintetik za razdvajanje djeluje kao sloj za razdvajanje i filtriranje, poboljšava uslove gradnje, djelomično pojačava podlogu i održava stabilan kontakt između dva sloja.

S obzirom na granične nedrenirane čvrstoće smicanja $c_u < 90 \text{ kPa}$, kod koje je upotreba geosintetika za razdvajanje još efikasnija, mogli bi zaključiti, da je upotreba geosintetika kod polučvrstih i čvrstih sitnozrnastih materijala nepotrebna. Međutim, neki

prekonsolidirani materijali, koji su u prirodnom stanju u čvrstoj konsistenciji jako osjetljivi na promijenjene uslove vlage i napona, mogu brzo izgubiti čvrstoću. Zato je kod planiranju geosintetika za razdvajanje treba uvažavati različite vidove uticaja, ne samo vidove nedrenirane čvrstoće ili sastav površine.

1.3.6.3 Dimenzionisanje geosintetika za razdvajanje

1.3.6.3.1 Osnov

Na odabir geosintetika za razdvajanje utiču:

- nosivost podloge
- vrsta materijala za nasipanje
- prometna opterećenost.

Podloge mogu biti prirodne temeljne površine ili nasuti slojevi. Obzirom na nosivost podloge se dijele na klase, navedene u tabeli 3.

Tabela 3: Podjela podloga glede 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 S_3 ili veća, slojevi od geosintetike za razdvajanje u pravilu nisu potrebni, kada radimo u neosjetljivim, inertnih materijalima. Ako se geosintetici koriste, na njih se primjenjuju odredbe koje vrijede za klasu nosivosti S_2 .*

Materijali za nasipanje su glede na veličinu i zaobljenost zrna raspoređeni u tri klase i to

- klasa A: materijali sa zaobljenim ili okruglim zrnima promjera < 150 mm: šoderi i kugle,
- klasa B: materijali sa oštorubim zrnima promjera < 150 mm: tucanik i šljunci,
- klasa C: ostali materijali: različite miješane zemlje, padinski šljunci, sekundarne sirovine itd.

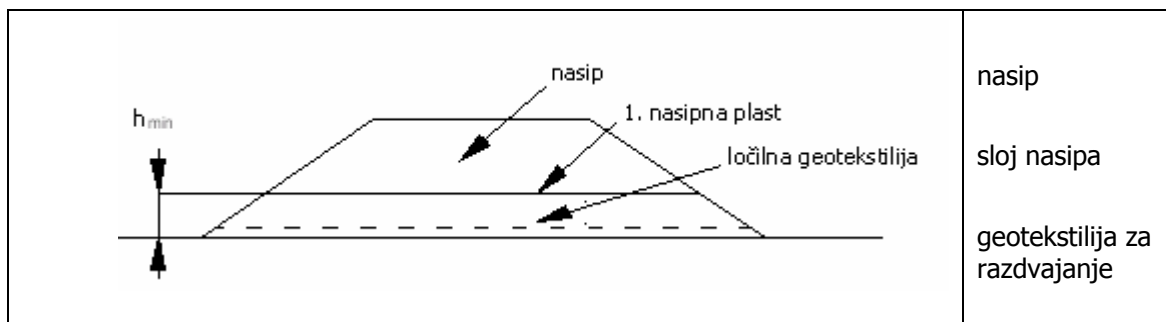
Opterećenja sa transportnim vozilima, kojima je za vrijeme gradnje izložena geotekstilija, raspoređena su u dvije klase ukupne opterećenosti transportnih vozila:

- < 500 MN i
- > 500 MN.

1.3.6.3.2 Određivanje svojstva geosintetika za razdvajanje

Za određivanje svojstva geosintetika za razdvajanje potrebno je

- dobiti podatke o vrsti i svojstvima zemljanih površina u podlozi,
- odrediti vrste nasipavanja i
- odrediti:
- opterećenja kojima će biti izložen geosintetik
- mehanička svojstva geosintetika
- hidraulička svojstva geosintetika
- minimalne tražene uslove za ugrađivanje.



Slika 1: Prikaz gradnje nasipa sa upotrebom geosintetika za razdvajanje ($h_{\min}$ je minimalna tražena debljina nasipavanja)

1.3.6.3.3 Opterećenje geosintetika za razdvajanje

Minimalna debljina nasipavanja na geosintetik za razdvajanje ovisi o nosivosti podloge i iznosi

- na podlozi klasa S_0 : $h_{\min} = 50$ cm
- na podlozi klasa S_1 : $h_{\min} = 40$ cm
- na podlozi klasa S_2 : $h_{\min} = 30$ cm

1.3.6.3.4 Mehanička svojstva geosintetika za razdvajanje

Minimalni zahtjevi za mehanička svojstva geotekstilija za slojeve za razdvajanje navedeni su u tabeli 4 kao minimalne tražene vrijednosti čvrstoće rastezanja ($T_{\min}$) kod minimalnog rastezanja $\varepsilon_{\min} \geq 30$ %. U slučaju upotrebe geosintetika, kod kojih je $\varepsilon_{\min} \leq 30$ %, u tabeli 4 naveden zahtjev za minimalni traženi produkt $(T \times \varepsilon)_{\min}$, koji je izražen kao $(T \times \varepsilon)_{\min} \geq T_{\min} \times 30$ (kN/m.%).

Tabela 4: Minimalni zahtjevi za rastezne rušilačka čvrstoća i rastezanje u poprečnom i uzdužnom pravcu za geotekstilije za razdvajanje, određeni prema postupku EN ISO 10319

Podloge	Minimalna debljina nasipanog sloja	Mehaničke karakteristike materijala	Prometna opterećenje					
			< 500 MN			> 500 MN		
			Vrsta materijala za nasipanje					
A	B	C	A	B	C			
So	0,5 m	T_{min} (kN/m) $(Tx \varepsilon)_{min}$	12	14	16	14	16	18
			360	420	480	420	480	540
S1	0,4 m	T_{min} (kN/m) $(Tx \varepsilon)_{min}$	10	12	14	12	14	16
			300	360	420	360	420	480
S2	0,3 m	T_{min} (kN/m) $(Tx \varepsilon)_{min}$	6	8	10	8	10	12
			180	240	300	240	300	360

Za preuzete klase nasipanih materijala geosintetik - geotekstilija mora uz u tabeli 3 dane vrijednosti čvrstoće natezanja, pripadajućeg rastezanja i energetske apsorpcije ispunjavati i kriterije glede na otpornosti na probijanje. Otpornost na probijanje treba odrediti prema postupku dinamičnog istraživanja probijanja (cone drop test) prema SIST EN 918. Promjer otvora O_d , kojeg u geotekstiliji napravi konus, smije iznositi

- za materijal za nasipanje A: $O_d < 35$ mm,
- za materijal za nasipanje B: $O_d < 30$ mm,

- za materijal za nasipanje C: $O_d < 25 \text{ mm}$.

Za određivanje otpornosti na probijanje alternativno može se koristiti i statičko ispitivanje probijanja (CBR) prema EN ISO 12 236. Minimalna sila, potrebna za probijanje, smije iznositi

- za materijal za nasipanje A: $F_p > 1500 \text{ N}$
- za materijal za nasipanje B: $F_p > 2000 \text{ N}$
- za materijal za nasipanje C: $F_p > 2500 \text{ N}$

1.3.6.3.5 Hidraulička svojstva geosintetika za razdvajanje

Geosintetici za razdvajanje obavljaju uz glavnu ulogu razdvajanja i sekundarnu ulogu filtriranja. Minimalni zahtjevi za hidraulička svojstva geosintetika za razdvajanje navedeni su u tabeli 5.

U slučajevima, kada geosintetici imaju jednaku ulogu razdvajanja i filtriranja, moraju ispunjavati zahtjeve za mehanička svojstva, koji vrijede za geosintetike za razdvajanje i zahtjeve za hidraulička svojstva, koja vrijede za geosintetike za filtriranje i opisani su u tč. 1.3.6.3.5.

Tabela 5: Minimalni zahtjevi za hidraulička svojstva za geosintetike za razdvajanje

Materijal u podlozi	Klasifikovanja USCS	Karakteristična veličina pora O_{90} (mm) (prema EN 12956)	Minimalna propusnost k_G (m/s)* (po E – DIN 60500 – 4)
- presjek	SW, SP	$0,05 < O_{90} < 0,5$	10^{-4}
- sitni pijesak i sitno zrnata zemljana površina	ML, GM, SM, GM-ML, SM-ML, GM-GC, SM-SC	$0,05 < O_{90} < 0,2$	10^{-5}
- glina i glinena zemljana površina	GC, SC, CL-ML, CL, GC-CH, SC-CH, CH	$0,05 < O_{90} < 0,5$	10^{-6}
- organska zemljana površina	OL, OH, Pt	$0,05 < O_{90} < 0,5$	10^{-4}

* k_G je minimalan koeficijent propusnosti kod efektivnog opterećenja, koju uzrokuje materijal za nasipanje. Obično su vrijednosti za proizvode navedene za normalna opterećenja 20 kN/m^2 i 200 kN/m^2 . Kod opterećenja sa nasipima visine do 2 m u pravilu se treba uvažavati vrijednost k_G , određene kod normalnog opterećenja 20 kN/m^2 , a za veća opterećenja sa nasipima vrijednosti, određene na 200 kN/m^2 .

EN ISO 11058 propisuje postupak testiranja propusnosti za vodu pravougaono na površinu. Rezultat testiranja je indeks brzine VI_{H50} (m/s). Indeks brzine se često zamjenjuje sa koeficijentom propusnosti, zbog čega dolazi kod vrednovanja i ocjenjivanja sukladnosti materijala do nesporazuma. Hidraulička svojstva, određena prema EN ISO 11058, zato bi morala biti barem posebno označene kao indeks brzine ili u – indeks, a ne kao vodopropusnost. Za slojeve za razdvajanje preporučeno je zahtjev $VI_{H50} > 3 \text{ mm/s}$ odnosno $> 3 \times 10^{-3} \text{ m/s}$.

1.3.6.3.6 Uslovi za polaganje i ugradnju

Geosintetike za razdvajanje treba polagati od ruba do ruba, može ručno ili mašinski. Tražena minimalna mehanička svojstva, navedene u tabeli 3, vrijede za oba načina ugrađivanja.

Geosintetike - geotekstilije za razdvajanje treba polagati na ravnu podlogu. Nakon položene geotekstilije nije dozvoljeno voziti, dok ista nije prekrivena sa nasipom minimalne debljine kao što su navedene u tabeli 3. Širina trake je ograničena, zato se susjedne trake moraju međusobno prekrivati. Prekrivanje i dodirivanje treba izvesti sa

čvrstim (šivanje, varenje) ili mekanim kontaktima (prekrivanje). Geotekstilije za razdvajanje se u pravilu prekrivaju (mekani kontakt).

Širina prekrivenosti susjednog sloja ovisi o čvrstoći i ravnoći podloge. Kod ravnih, srednje dobro učvršćenih podloga (S_2 , S_3) najmanja širina prekrivenosti je 30 cm, a kod neravnih i loše nosivih podloga najmanja širina prekrivenosti je 50 cm. Kada se geotekstilije za razdvajanje polažu ispod vode, širina prekrivanja mora biti najmanje 1 m.

1.3.7 Planiranje geosintetika za slojeve za filtriranje

1.3.7.1 Oblast i svrha upotrebe

Geosintetici, koji se koriste za slojeve za filtriranje, sprječavaju ispiranje sitnih čestica zemlje u drenažni sloj i tako sprječavaju unutarnju eroziju površina. Geosintetik djeluje kao filter, kada je glavna struja podzemne vode usmjerena pravougaono na površinu geosintetika. Proces sprječavanja unutarnje erozije i ispiranja sitnih čestica zemlje u debeli zrnati drenažni sloj nazivamo filtarska stabilnost kontakta između zemlje i drenažnog sloja. Da bi geosintetik mogao jamčiti trajnu filtarsku stabilnost kontakta, porni prostor, veličina i raspored pora mora biti takav, da mogu preuzimati dio zrna zaštićene zemlje bez da se pri tome smanjuje propusnost geosintetika za vodu.

Dimenzionisanje geosintetika za filtriranje temelji se na jednakom principu kao dimenzionisanje klasičnih filtera za zemlju. Osnov za izračun su zrnatost sastava i propusnost zemlje, koju geosintetik za filtriranje štiti. Propusnost geosintetika za vodu mora biti veća od propusnosti zemlje i dovoljno velika, da se ispred površine filtra ne mogu stvoriti povećani pritisci vode.

Kako za vrijeme ugrađivanja ne bi došlo do oštećenja i lokalnih promjena filtarskih svojstva, upotrebljene geotekstilije za filtriranje moraju ispunjavati minimalne zahtjeve za mehaničku čvrstoću i rastezanje.

1.3.7.2 Dimenzionisanje geosintetika za filtriranje

1.3.7.2.1 Osnov

Kod planiranju geosintetika za filtriranje treba uvažavati kriterije za

- zadržavanje ili retenciju za laminarnu i turbulentnu struju i za vrste zemlje,
- propusnost i permitivnost,
- začepljenje geosintetika i
- trajnost i otpornost.

Dimenzionisanje sa uvažavanjem gore navedenih kriterija može se obaviti u svim slučajevima, a obično se obavlja samo u posebnih aplikacijama za vrlo zahtjevne objekte. Za uobičajenu upotrebu u izradi kolnika za dimenzionisanje geosintetika za filtriranje mogu se preuzeti uslovi, određeni u tč. 1.3.8.2.2.

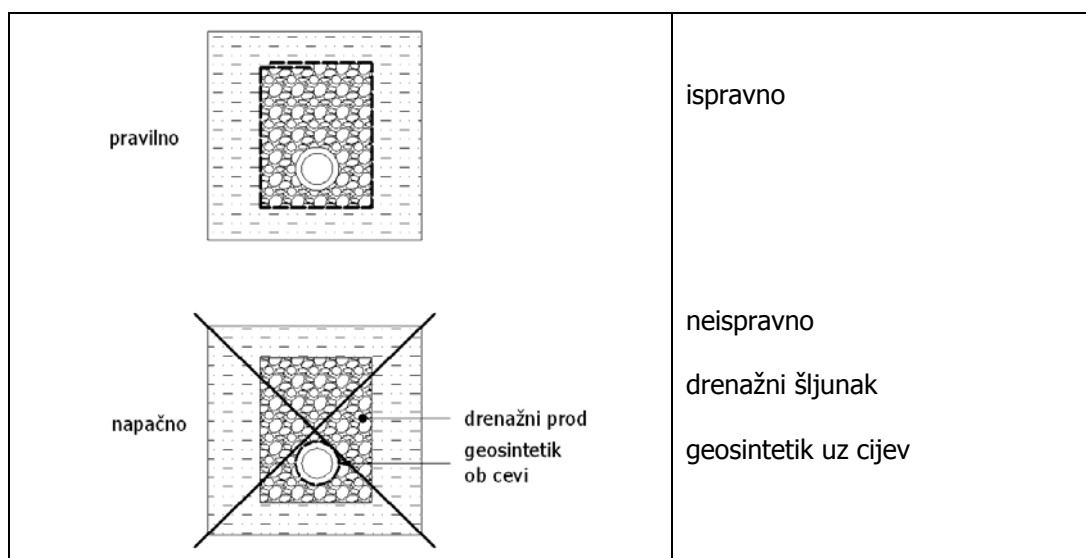
Na odabir geosintetika za filtriranje utiču:

- vrsta i svojstva zemlje, koju filter štiti
- brzina odnosno pritisci vode
- vrsta drenažnog sloja
- uslovi ugradnje.

1.3.7.2.2 Određivanje svojstva geosintetika za filtriranje

Dimenzionisanje geosintetika za filtriranje uslovljava određivanje

- zahtjevnost objekta, prije svega u smislu, da li je dozvoljeno početno ispiranje ili nije,
- svojstva zaštićene zemlje,
- svojstva drenažnog agregata i
- uslova za održavanje.



Slika 2: Primjer ispravne i neispravne upotrebe geosintetika za filtriranje

1.3.7.2.3 Hidraulička svojstva geotekstilije za filtriranje

Minimalni zahtjevi za obezbjeđivanje filtarske stabilnosti i trajne funkcije filtriranja navedeni su u tabeli 6 za slučaj kada je dozvoljeno početno ispiranje i u tabeli 7 za posebne slučajeve kada početno ispiranje nije dozvoljeno.

Za nevezujuće zemlje, koje imaju vrijednost $d_{85} < 0,05$ mm, treba predvidjeti posebne mjere za obezbjeđivanje filtarske stabilnosti.

Kod heterogenih i slojevitih površina za dimenzionisanje karakteristične veličine pora mjerodavna je sitno zrnata zemljana površina, a za dimenzionisanje minimalne propusnosti debelo zrnata zemljana površina.

Tabela 6: Minimalni zahtjevi za hidraulička svojstva geotekstilije za filtriranje (dozvoljeno je početno ispiranje)

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

**Za sitno pješčane-šljunčane zemlje, u kojima može doći do unutarnjeg transporta tvari i do kulmatacije*

Tabela 7: Minimalni zahtjevi za hidraulička svojstva geotekstilije za filtriranje (početno ispiranje nije dozvoljeno)

Zrnatost svojstva zemlje	Koeficijent propusnosti k_q (m/s)*	Karakteristična veličina pora O_{90} (mm)
$d_{50} \leq 0.06$ mm	k_g veći od $10 k_{zemlje}$ još bolje veći od $100 k_{zemlje}$	$O_{90} \leq d_{85}$ $O_{90} \geq 0.05$ mm
$d_{50} > 0.06$ mm	k_g veći od $10 k_{zemlje}$ još bolje veći od $100 k_{zemlje}$	$O_{90} \leq d_{85}$ ali $O_{90} \leq 5 d_{10} \times (Cu)^{1/2}$ $O_{90} \geq 0.05$ mm

* k_G je minimalni koeficijent propusnosti kod efektivnog opterećenja, koju uzrokuje materijal za nasipanje. Obično su vrijednosti za proizvode navedene za normalna opterećenja 20 kN/m² i 200 kN/m². Kod opterećenja sa nasipima visine do 2 m ispravno treba uvažavati vrijednost k_G određene kod normalnog opterećenja 20 kN/m², a za veća opterećenja sa nasipima vrijednosti, određene kod 200 kN/m².

EN ISO 11058 propisuje postupak testiranja propusnosti za vodu pravougaono na površinu. Rezultat testiranja je indeks brzine VI_{H50} (m/s). Indeks brzine se često zamjenjuje sa koeficijentom propusnosti, zbog čega dolazi kod vrednovanja i ocjenjivanja sukladnosti materijala do nesporazuma. Hidraulička svojstva, određena prema EN ISO 11058, bi zato morala biti barem posebno označena kao indeks brzine ili u – indeks, a ne kao vodopropusnost. Za slojeve za filtriranje preporučen je zahtjev $VI_{H50} > 3$ mm/s odn. $> 3 \times 10^{-3}$ m/s.

1.3.7.2.4 Mehanička svojstva geotekstilije za filtriranje

Da u vrijeme polaganja i ugrađivanja ne bi došlo do oštećenja i kako bi osigurali odgovarajući period trajanja, geotekstilija za filtriranje mora ispunjavati minimalne zahtjeve za mehaničku čvrstoću i rastezanje. Za određivanje potrebne mehaničke čvrstoće mjerodavni su veličina i oblik zrna drenažnog materijala.

Minimalni zahtjevi prikazani su u tabeli 8 u obliku minimalno tražene čvrstoće natezanja (T_{min}) kod minimalno 30 %-nog rastezanja i u obliku minimalno traženog produkta čvrstoće natezanja i rastezanja $(T \times \epsilon)_{min}$.

Tabela 8: Minimalni zahtjevi za mehaničku čvrstoću geotekstilija za filtriranje u poprečnom i uzdužnom pravcu

Drenažni materijal (klasa)	Minimalna* čvrstoća natezanja T_{min} (kN/m)	Minimalni produkt $(T \times \epsilon)_{min}$ (kN/m x %)	Otpornost na probijanje O_d (mm)
- zaobljen – (A)	6	180	40
- drobljen – (B)	8	240	35

Za potrebe dimenzionisanja mehaničkih otpornosti geotekstilija za filtriranje materijali za drenažna zasipavanja uvršteni su u dvije klase:

- klasa A: zaobljeni materijali
 - šoderi: $d < 63$ mm
 - šoderi i kugle: $d < 150$ mm
- klasa B : zdrobljeni (ili prirodni oštrorubni) materijali
 - tucanik $d < 16$ mm
 - tucanik i krš $d < 125$ mm
 - krš $d < 150$ mm

1.3.7.2.5 Uslovi za polaganje i ugradnju

Kod polaganja geotekstilija za filtriranje mora što bolje nalijegati na površine, koje se odvodnjava odnosno koje su zaštićene. Zato geotekstilija za filtriranje mora biti dovoljno rastezljiva, kako bi se mogla prilagoditi rubovima kanala ili neispravnostima u podlozi.

Na kontaktima u poprečnom i uzdužnom pravcu treba prekrivanje susjednih slojeva geotekstilije za filtriranje najmanje 30 cm. Kada se geotekstilija za filtriranje polažu u drenažne kanale za drenažna kamneia rebra na padinama ili u ostalim agresivnim uslovima okolina, svojstva čvrstoće geotekstilije moraju biti posebno određena u projektu.

1.3.8 Projektiranje geosintetika za drenažne slojeve

1.3.8.1 Oblast i svrha upotrebe

Geosintetici za drenažu skupljaju vodu iz zaleđene zemlje i odvajaju je izvan područja uticaja okoline, u koju su položeni. Sa svojim djelovanjem moraju spriječiti nastanak viška pritiska u porama u zaleđenoj zemlji.

Geosintetik djeluje kao drenaža kada je glavni dio vodene struje usmjeren uzduž tijela geosintetika. Za drenažne slojeve u pravilu se koriste geokompozitni materijali ili geotekstilije za drenažu.

Geosintetici za drenažu u izradi kolnika se koriste za

- bočne drenaže na kolnicima,
- drenaže koja se nalaze u padinama,
- drenaže za temelje objekata i za ukopane zidove,
- drenaže za rasterećivanje pritiska podzemne vode kod ukopanih objekata i
- privremene drenaže u zemlji, npr. vertikalne ili horizontalne drenažne trake za poticanje konsolidacije,

Drenažni geosintetik može biti ugrađen u homogeno propusnu zemljanu površinu, na kontaktu između više i manje propusnih materijala ili na kontaktu između propusnog i potpuno nepropusnog materijala.

Vodu, koja prodire preko zaleđene zemlje prema geosintetiku za drenažu, treba odvesti iz područja dreniranja sa što manjim tlačnim gubitkom. Zato geosintetik u svojoj ravni mora imati dovoljnu sposobnost razdvajanja vode. Sposobnost razdvajanja vode u ravni određena je kao transmisivnost ili provodnost θ (m^2/s). Kod dimenzionisanja geosintetika za drenažu treba uzeti u obzir da je sposobnost provođenja geosintetika za drenažu relativno mala (oko $2 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ pod tlakom ca 12 kPa), ako je uspoređujemo sa sposobnošću provođenja od 0.15 – 0.30 m debelog sloja drenažnog šljunka. To znači, da sa geosintetikom za drenažu možemo nadomjestiti kamene slojeve za drenažu samo, ako sa izračunom dokažemo ekvivalentnost propusnosti odnosno odgovarajuće razdvajanja izračunate količine vode.

Svaki geosintetik za drenažu mora djelovati i kao filter, zato geosintetici za drenažu moraju ispunjavati i uslove filtarske stabilnosti.

Kako za vrijeme ugrađivanja ili u planiranom period u trajanja geosintetika za drenažu ne bi došlo do oštećenja zbog konsolidacije ili pritiska zemlje, geosintetici za drenažu moraju imati minimalne tražene mehaničke čvrstoće.

Zbog promjene pritiska i temperature podzemne vode u nekim geološkim sredinama može doći do izlučivanja tvari iz vode i do smanjivanja provodnosti geosintetika za drenažu. U sredinama, gdje postoji povećana opasnost od inkrustacije, potrebna je posebna ocjena geosintetika za drenažu i sa stajališta trajnosti djelovanja i mogućnost održavanja i čišćenja.

1.3.8.2 Dimenzionisanje geosintetika za drenažu

1.3.8.2.1 Osnov

Kod planiranja geosintetika za drenažu treba ispitati

- dolazne i izlazne kapacitete ispod planiranih opterećenja glede na očekivane dotoke vode u period u trajanja (provodljivost),
- sposobnost filtriranja (kriterij začepljenja i unutarnje erozije) i
- djelovanja u planiranom sistemu (mogućnost ugradnje i generalna bezbjednost).

Na odabir geosintetika za drenažu utječu:

- vrsta i svojstva zemlje, u kojoj će geosintetik biti ugrađen
- brzina odnosno pritisci vode

- vrsta drenažnog sloja i vrijeme djelovanja
- mehanička svojstva glede na svrha upotrebe i uslove ugradnje.

Dinamička opterećenja prometa za geosintetik za drenažu znače vrlo tražene uslove ugradnje. Rušenje geosintetika za drenažu na mjestu kolnika može za posljedicu imati urušavanje kolnika. Zato je kod Dimenzionisanja geosintetika za drenažu potrebno razmatrati cjelokupan stajališt gradnje i sa odgovarajućim geostatičkim izračunima dokazati bezbjednost upotrebe.

1.3.8.2.2 Određivanje svojstva geosintetika za drenažu

Dimenzionisanje geosintetika za drenažu uslovljuje određivanje

- zahtjevnosti objekta i ulogu geosintetika za drenažu u konstrukciji i
- svojstva zemlje i očekivane količine vode u sredini, u kojoj djeluje geosintetik za drenažu i
- uslove za ugrađivanje.

1.3.8.2.3 Hidraulička svojstva geosintetika za drenažu

Minimalni zahtjevi za hidraulična svojstva geosintetika za drenažu navedeni su u tabeli 9. Kada je djelovanje slojeva za drenažu indirektno vezano na obezbjeđivanje bezbjednosti objekta (npr. drenažni slojevi iza zidova potpornih konstrukcija), svojstva geosintetika za drenažu moraju biti određena sa hidrauličkim izračunom već u projektnoj dokumentaciji. Za takve slučajeve odredbe ovih tehničkih uslova nisu mjerodavne.

Drenažni geosintetik treba odabrati glede na ocijenjenu maksimalnu količinu vode, koju drenažni sistem mora provoditi. Sposobnost provođenja geosintetika Q treba odrediti sa upotrebom Darcyevog zakona:

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

gdje znači:

k_p = koeficijent propusnosti geosintetika u ravnini (m/s)

i = hidraulični gradient ($\Delta h/\Delta L$)

A = površina prereza geosintetika (m^2)

B = širina (m)

d = debljina (m)

Tabela 9: Minimalni zahtjevi za hidrauličkim svojstvima geosintetika za drenažu

Zrnatost zemlje	Koeficijent propusnosti k_g (m/s)	Karakteristična veličina pora O_{90} (mm)	Transmisivnost θ (m^2/s)
$d_{50} \leq 0.06 \text{ mm}$	$k_g > 10 k_{\text{zemlje}}$	$O_{90} \leq d_{85}$ $O_{90} \geq 0.05 \text{ mm}$	$\theta > (F \cdot Q_{\text{max}})/(B \cdot i)$ - F - faktor bezbjednosti
$d_{50} > 0.06 \text{ mm}$	$k_g > 10 k_{\text{zemlje}}$	$O_{90} \leq d_{85}$ ali $O_{90} \leq 5 d_{10} \times (C_u)^{1/2}$ $O_{90} \geq 0.05 \text{ mm}$	$F = 5$ (jednoslojne geotekstilije) $F = 2$ (višeslojne geotekstilije ili geokompozite) - Q_{max} - max. količina vode (m^3/s)

Kada se koriste proizvodi koji se skupljaju, treba izračunati uticaj vanjskog opterećenja i puzanja na smanjivanje njihove debljine i vremensko smanjivanje provođenja vode. Treba računski dokazati minimalno traženje vrijednost za planirano vrijeme upotrebe.

1.3.8.2.4 Mehanička svojstva geosintetika za drenažu

Kako za vrijeme polaganja i ugrađivanjem ne bi došlo do oštećenja i kako bi osigurali odgovarajući period trajanja, geosintetik za drenažu mora ispunjavati minimalne zahtjeve za mehaničke čvrstoće i rastezanje, koje su navedene u tabeli 10.

Tabela 10: Minimalni zahtjevi za mehaničku čvrstoću geosintetika za drenažu u poprečnom i uzdužnom smjeru

Vrsta upotrebe	Tražena karakteristika	Preporučene vrijednosti
- zidna drenaža (betonski zid/zemljana površina)	čvrstoća rastezanja rastezanje	min. 8 kN/m min. 10 %
- ukopana vertikalna drenaža	čvrstoća rastezanja rastezanje	min. 8 kN/m min. 20 %
- horizontalna drenaža (drenažni tepisi)	čvrstoća rastezanja rastezanje	s obzirom na sekundarnu ulogu preuzimaju se vrijednosti iz tabele 3 ili 7

1.3.8.2.5 Uslovi za polaganje i ugradnju

Kod polaganju treba usmjeriti posebnu pažnju neometanom protoku vode kroz geosintetik. Posebno treba paziti kod dodirivanja i prekrivanja susjednih slojeva u pravcu protoka i kod priključivanja geosintetika na drenažnu šahtu ili kanal. Ti detalji moraju biti dorađeni u projektnoj dokumentaciji.

1.3.9 Geosintetici kod gradnje nasipa na loše nosivim površinama

1.3.9.1 Oblast i svrha upotrebe

Kod gradnje nasipa na loše nosivim površinama postoji opasnost od izguravanja zbog horizontalnih pritisaka zemlje, koji djeluju u nasipu i uzrokuju horizontalne napone smicanja u temeljnim površinama, koje moraju preuzeti temeljne površine. U slučaju, da temeljne površine nemaju odgovarajuće otpornosti smicanja dolazi do rušenja nasipa.

Ispravno planirana upotreba geosintetika u temeljnim površinama ispod nasipa predstavlja ojačanje, koje povećava stabilnost i smanjuje opasnost od rušenja. Sa ispravnom upotrebom geosintetika možemo djelomično smanjiti horizontalna i vertikalna slijeganja temeljnih površina.

Upotreba geosintetika ne smanjuje magnitude sasjedanja zbog konsolidacije i puzanja.

Upotreba geosintetika za ojačanje loše nosivih površina kod gradnje nasipa doprinosi

- većoj bezbjednosti nasipa,
- povećanju dozvoljene visine nasipa,
- smanjenju deformacija za vrijeme gradnje i
- poboljšanju ponašanja nasipa zbog povećanja homogenosti kod slijeganja nakon izgradnje.

Za ojačanje loše nosivih temeljnih površina ispod nasipa se koriste geosintetici za ojačavanje, među kojima prevladavaju geotekstilije za ojačavanje, mreže za ojačavanje i armaturni geokompoziti, načinjeni od mreže za ojačavanje i geotekstilije za razdvajanje.

Uputstva u ovoj specifikaciji pripremljene su uz pretpostavku, da su u preliminarnih fazama već bile istražene i analizirane različite mogućnosti gradnje nasipa na loše nosivim površinama.

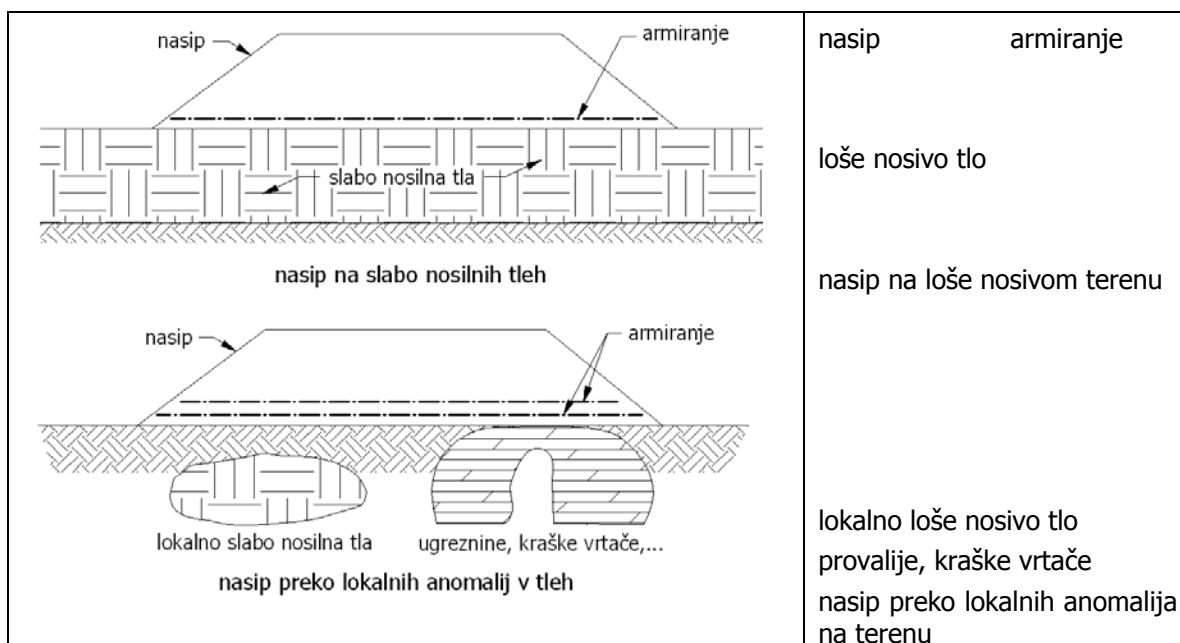
1.3.9.2 Vrste upotrebe

Geosintetici za ojačanje loše nosivih temeljnih površina ispod nasipa mogu biti upotrebljeni

- za gradnju nasipa preko više ili manje homogenim, mekih površina, izrađenih od debelog veznog sloja loše nosivih sedimenata ili
- za gradnju nasipa preko površina, u kojima se pojavljuju lokalne anomalije, kao što je gradnja preko krških vrtača, lokalnih prodora, raspuklinskih zonama, uložaka mekih, vodom zasićenih sedimenata, na primjer pijeska između čvrste gline i slično.

U prvom slučaju treba geosintetik u pravilu polagati na način, da je smjer ojačanja, to je smjer geosintetika sa većom čvrstoćom natezanja, pravougaono na os ceste odn. nasipa. Dodatne ojačanja u pravcu osi ceste moraju biti izvršene na početku i na kraju nasipa.

U drugom slučaju geosintetik premošćuje neravnomjerna loša mjesta u inače dobro nosivim temeljnim površinama. Zato je ojačanje možda potrebno u različitim smjerovima. To znači, da orijentacija jačeg smjera geosintetika ovisi o lokaciji anomalije uz ujedno uzimanje u obzir os nasipa.



Slika 3: Karakteristični primjeri upotrebe geosintetika za ojačanje ispod nasipa na loše nosivim temeljnim površinama

1.3.9.3 Dimenzionisanje geosintetika za ojačanje ispod nasipa na loše nosivim površinama

1.3.9.3.1 Osnove

Osnovno je dimenzionisanje protiv rušenja. Tri karakteristična oblika rušenja, ukazuju na vrste analize stabilnosti, koje treba obaviti kod planiranja gradnje sa geosinteticima. Zato što kritična faza gradnje nasipa na loše nosivim površinama netom prije završetka gradnje nasipa, glavna funkcija geosintetika za ojačanje vezana je na vrijeme, dok temeljne površine ne dobiju dovoljnu čvrstoću za preuzimanje opterećenja sa nasipom. U izračunu treba uvažavati i očekivane slijeganja nasipa i učinke puzanja geosintetika za ojačanje, posljednje samo u slučaju, kada su očekivane deformacije tako velike, da je prekoračena otpornost geosintetika na natezanje.

Postupci izračuna uzimaju u obzir klasične postupke za izračun stabilnosti, samo sa jednom razlikom, da u računu uzimaju u obzir i ojačanje sa geosintetikom.

Kod analiza stabilnosti sa upotrebom geosintetika za ojačanje obično se upotrebljava postupak topodnih pritisaka, što znači konzervativni pristup. Može se znači koristiti i

postupak efektivnih pritisaka, što traži vrlo precizne podatke o svojstvima zemljanih površina u temeljnim površinama, razvoju i padu pritisaka pora, zahtjev kontrolnog mjerenja za vrijeme gradnje, što sve može poskupjeti i/ili i produži gradnju.

1.3.9.3.2 Pristupi planiranja geosintetika za ojačanje ispod nasipa na loše nosivim površinama

Kod planiranja upotrebe geosintetika za ojačanje kod gradnje nasipa na loše nosivim površinama potrebno je

- odrediti geometariju nasipa i opterećenja
- odrediti geološko geotehničke odnose i svojstva nasipa
- odrediti minimalne faktore bezbjednosti
- ispitati nosivost
- ispitati stabilnost
- odrediti svojstva geosintetika za ojačanje.

1.3.9.3.3 Određivanje geometarije nasipa i opterećenje

U sklopu geometarije nasipa i opterećenja treba odrediti:

- geometariju nasipa:
- visina nasipa (H)
- dužina nasipa,
- širina krune,
- nagibe padina
- vanjskog opterećenja:
- stalno opterećenje
- povremena – prometna opterećenje
- dinamična opterećenja (potres)
- opterećenje zbog uslova okolina:
- smrzavica,
- skupljanje i bubrenje
- dreniranje, erozija...
- uslove gradnje nasipa:
- projektna ograničenja
- najavljena odn. očekivana brzina gradnje

1.3.9.3.4 Određivanje geološko geotehničkih uslova i svojstva nasipa

Geološko geotehničke odnose i svojstva nasipa uslovuju određivanje

- karakteristike prereza površina i inženjerskih svojstva zemljanih površina u temeljnim površinama i nasipu, koje obuhvaćaju
- stratigrafiju i podni prerez
- nivo podzemne vode
- nedreniranu strižnu čvrstoću
- dreniranu strižnu čvrstoću
- konsolidacijske parametare
- kemijske i biološke uticaje
- varijacije svojstva u vertikalnom i horizontalnom smjeru
- vrstu nasipavanja i klasifikovanju
- stupanj zgusnutosti i relaciju vlaga – gustoća

- svojstva čvrstoće zgusnutog nasipa
- kemijska i biološka svojstva, koja bi mogla utjecati na geosintetik

Kod toga treba uvažavati klasične postupke za odabir i načine ugrađivanja materijala za nasipanje, samo sa jednom iznimkom, da je prvi sloj iznad geosintetika za ojačanje barem od dobro propusnog granuliranog materijala. sa takvim odabirom materijala za prvi nasipani sloj mora biti osigurana velika otpornost na trenje dodirnih mjesta geosintetika – nasipa kao i mogućnost brzog dreniranja i smanjivanja premašenih pornih tlakova.

1.3.9.3.5 Određivanje minimalnih količnika bezbjednosti

Kod analiza stabilnosti treba koristiti djelomične količnike bezbjednosti prema principu metode graničnih stanja i to:

- | | |
|---|-------------------------------------|
| - za efektivna ugao smicanja | $\gamma_{\phi}=1,25$ |
| - za efektivnu koheziju | $\gamma_c=1,25$ |
| - za nedreniranu strižnu čvrstoću | $\gamma_{cu}=1,40$ |
| - za jednoosnu tlačnu čvrstoću | $\gamma_{qu}=1,40$ |
| - za vlastitu težinu površina | $\gamma_v=1,00^{1)}$ |
| - za stalno opterećenje na površini površina | $\gamma_G=1,35$ |
| - za povremeno opterećenje na površini površina | $\gamma_Q=1,50$ |
| - na graničnu nosivost armature | 1,15 |
| - na striž uz armaturu | 1,4 – 1,5 |
| - za metodu analize upotrebnika) | $\gamma_M=1,00$ (odnosno po presudi |

Kod planiranja geosintetika za ojačanje može se uvažavajući iskustva, konkretnu situaciju i druge uslove koristiti viši faktora.

1.3.9.3.6 Provjeravanje nosivosti

Kada je debljina loše nosivih površina veća od širine nasipa, za približni izračun graničnog opterećenja nasipa može se koristiti jednačba (Prandtl), (slika 4)

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

gdje znači:

c_u - nedrenirana čvrstoća smicanja

N_c - faktor nosivosti

h - visina nasipa

Takav približni izračun naime podcjenjuje nosivost temeljnih površina, ojačanih sa geosintetikom i na sigurnoj je strani. Može se pretpostavljati, da geosintetik ne utječe na generalno povećanje nosivosti temeljnih površina. Ako izračun pokaže, da je nosivost temeljnih površina premala, nasip nije moguće graditi sa upotrebom geosintetika za ojačanje, bez da bi prije prihvatili dodatne mjere.

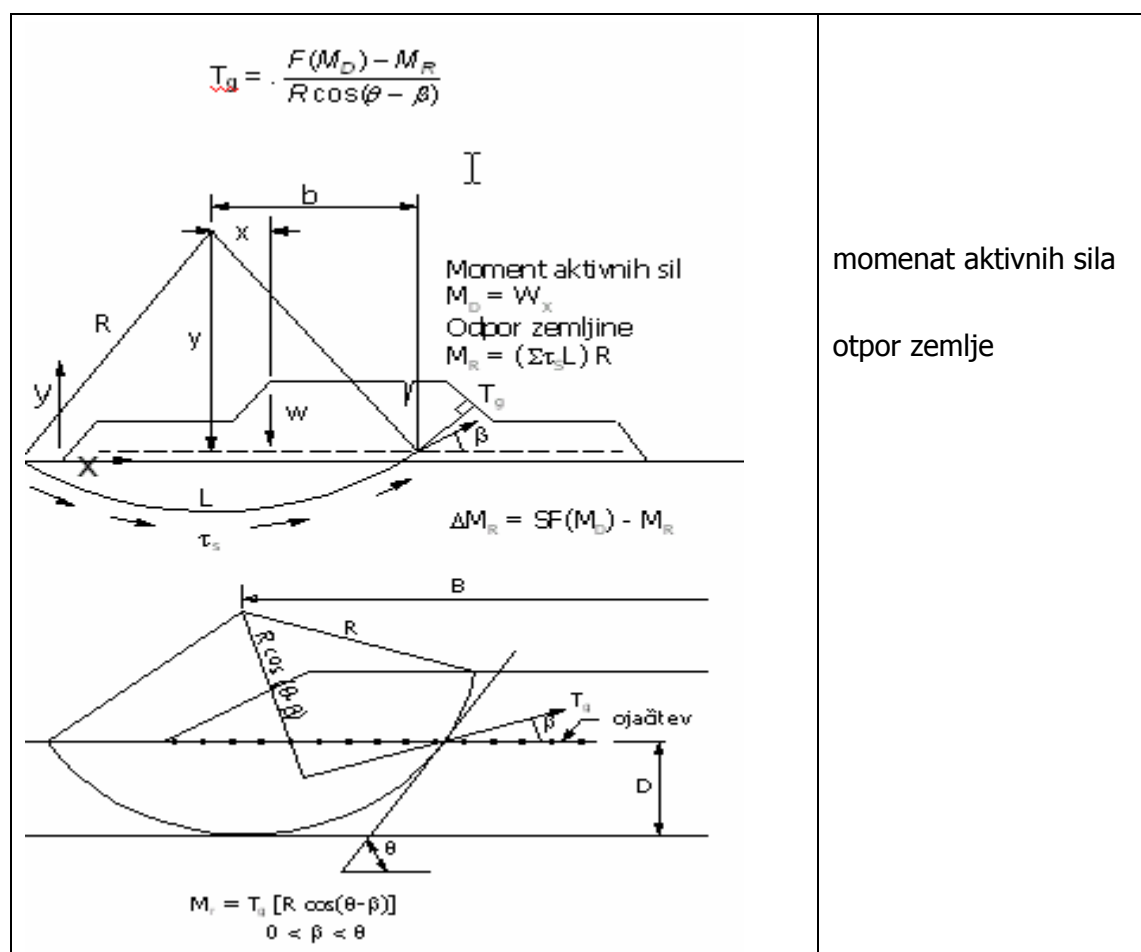
Nosivost temeljnih površina može odrediti i sa upotrebom ostalih klasičnih metoda izračuna (Terzaghi – Peck, Vesić i drugi), koje se temelje na izračunu graničnih stanja uzimajući u obzir sile razaranja u obliku logaritamske spirale. Te analize nisu odgovarajuće za temeljne površine, u kojima je debljina mekih površina vrlo mala i gdje može doći do bočnog izguravanja površina ispod nasipa. U tim slučajevima treba obaviti analizu prema jednoj od novijih metoda (Holtz- Giroud, Rowe i Siderman). Treba uvažavati, da su metode izračuna bočnog izguravanja prije svega približne i nijedna se još nije konačno primjenila kod gradnje.

1.3.9.3.7 Provjeravanje stabilnosti za kružnu silu razaranja

Kružnu silu razaranja možemo koristiti samo u slučajevima homogenim površina. Najprije treba obaviti analizu stabilnosti nasipa, sa kojom se odrediti kritična kružna sila razaranja i faktor bezbjednosti za lokalne sile razaranja bez uzimanja u obzir geosintetika za ojačanje. Ako je faktor bezbjednosti veći od traženog prema Eurocode, geosintetik za ojačavanje nije potreban.

Ako je faktor bezbjednosti manji od traženog, treba izračunati minimalnu čvrstoću natezanja (T), potrebno za dobivanje odgovarajućeg faktora bezbjednosti, prema jednačini (slika 4)

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

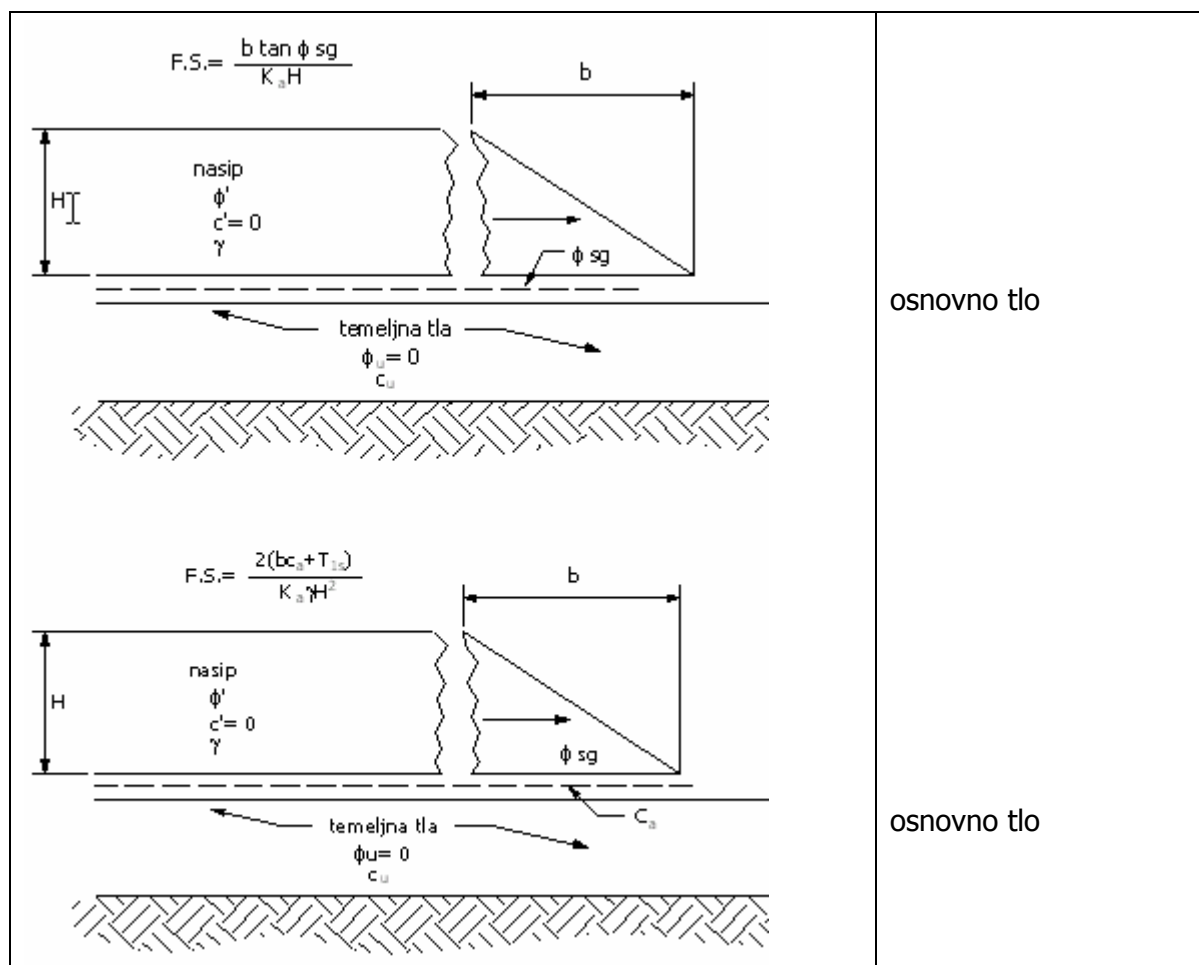


Slika 4: Ojačanje temeljnih površina sa geosintetikom za obezbjeđivanje bezbjednosti protiv rušenja – kružna sila razaranja za slučaj, ako geosintetik ne poboljša čvrstoću zemlje

1.3.9.3.8 Provjeravanje stabilnosti za slučaj bočnog izguravanja

Provjeravanje može se izvesti prema postupku, prikazanom na slici 5. U slučaju, da je izračunati faktor bezbjednosti veći od minimalno traženog, za takav oblik rušenja ojačanje sa geosintetikom nitreba. U slučaju, da je manji, treba odrediti minimalnu potrebnu čvrstoću T .

Zatim treba ispitati i bezbjednost padine protiv klizanja iznad geosintetika.



Slika 5: Određivanje ojačanja temeljnih površina sa geosintetikom za obezbjeđivanje bočne stabilnosti

Gore za primer $\beta = 0$ (Christopher in Holtz, 1985); dole za primerda geosintetik ne izboljšava čvrstoće zemljine (Bonaparte in Christopher, 1987).

1.3.9.3.9 Određivanje deformacijskih svojstva (rastezanja) geosintetika za ojačanje

Preporuke se temelje na iskustvima. Rastezanje geosintetika za ojačanje iznose:

- za nevezujuće, granulirane zemlje: $\varepsilon = 5 - 10 \%$
- za vezive zemlje: $\varepsilon = 2 \%$
- za šute: $\varepsilon = 2 - 10 \%$

1.3.9.3.10 Određivanje svojstva geosintetika

Svojstva geosintetika treba odrediti na osnovu podataka, dobivenih u analizi.

Otpornost na trenje kontakta između zemlje i geosintetika preporučljivo je odrediti za vrstu zemlje, u koju će biti ugrađen geosintetik. Za općenitu ocjenu može se preuzeti vrijednost, da je otpornost na trenje kontakta zemljane površina – geosintetik $\varphi_{s,g} = 2/3\varphi$. Krutost geosintetika utječe na uslove ugrađivanja i oštećenja, koji se mogu pojaviti za vrijeme gradnje. Zato je krutost geosintetika važan parametar, koji treba odrediti glede na odnose na terenu i već stečena iskustva. Pri radu na vrlo mekim površina potrebna je visoka krutost. Kod odabira geosintetika treba uvažavati i druge uslove trajnosti i postojanosti, sve u ovisnosti o uslovu i načinu ugrađivanja, vrste materijala za nasipanje i tehnološke opreme.

1.3.9.3.11 Ostali uslovi

Treba odrediti

- veličinu i vremenski razvoj slijeganja temeljnih površina ispod nasipa sa upotrebom klasičnih postupaka izračuna
- postupke gradnje i
- uslove geotehničkog praćenja i mogućih dodatnih mjera, koje se prihvata za vrijeme gradnje.

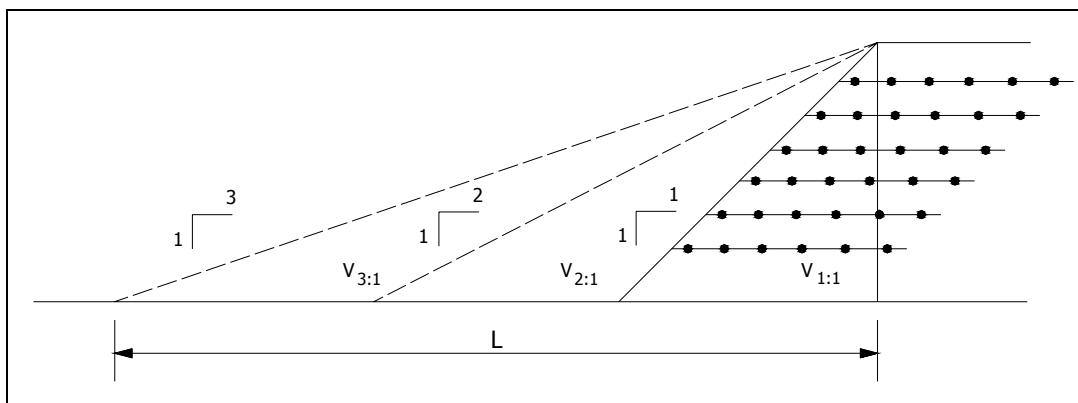
1.3.10 Geosintetici za ojačanje padina

1.3.10.1 Oblast i svrha upotrebe

Ojačana (armirana) zemljana površina je kompozitni materijal, koji združuje svojstva dvije potpuno različite vrste materijala na taj način, da smanjuje njihova slaba svojstva. Zemljana površina, koja je jeftina i dostupna u velikim količinama, ima razmjerno dobru tlačnu i strižnu čvrstoću, a zanemarivo malu čvrstoću natezanja. Sa ugradnjom geosintetika za ojačanje, koji je u usporedbi sa zemljama skup materijal, a ima veliku čvrstoću natezanja, moguće je iskoristiti međusobnu kombinaciju tlačne, strižne i čvrstoće natezanja i na taj način poboljšati generalna svojstva kompozitnog materijala.

Geosintetik je odgovarajući za ojačanje padina u slučajevima, kada su planirani nagibi padina veći od nagiba, koje dozvoljava gradnja od neojačane zemlje (slika 6). Ojačanje padina može se koristiti kod

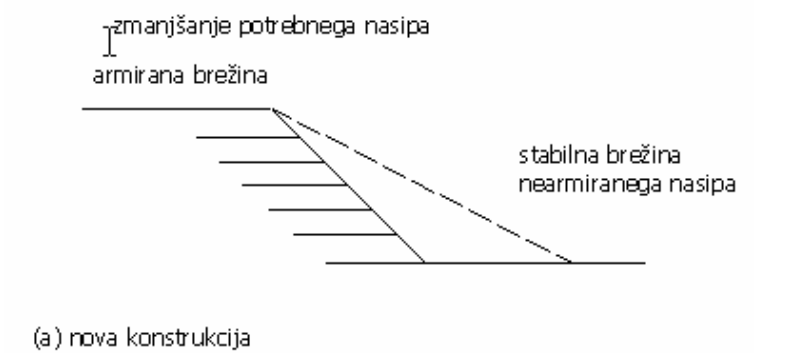
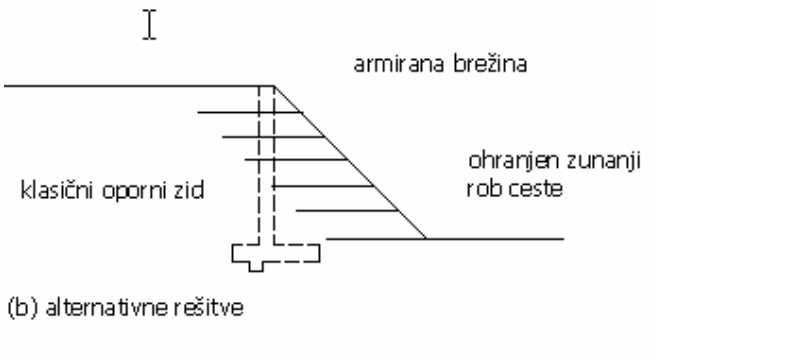
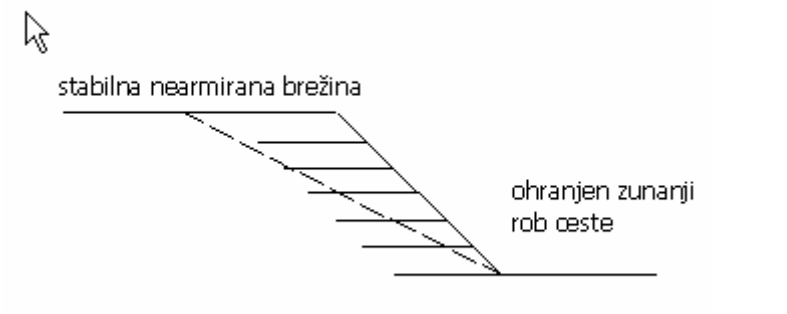
- gradnje novih nasipa,
- proširivanja postojećih nasipa,
- kao alternativno rješenje konstrukcijama za podupiranje i
- kod sanacija oštećenih i porušenih padina.



Slika 6: Karakteristični primjer manjeg volumna nasipa sa armiranjem padine

S ojačavanjem padina može se (slika 7)

- smanjiti količina potrebnog nasipavanja,
- omogućiti potrošnja manje kvalitetnog nasipavanja,
- smanjiti troškovi, vezani na gradnju konstrukcija za podupiranje i
- uspostaviti uslovi boljeg iskorištenja prostora.

 (a) nova konstrukcija	smanjene potrebnog nasipa armirana padina stabilna padina nearmiranog nasipa a) nova konstrukcija
 (b) alternativne rešitve	armirana padina klasični potporni zid sačuvan spoljni rub kolnika b) alternativna rješenja
 (c) razširitev ceste	dobivanje prostora za širenje stabilna nearmirana padina sačuvan spoljni rub kolnika c) širenje kolnika
 (d) sanacija splazelih brežin	rekonstrukcija skliznutih padina u prvobitno stanje klizna ploha d) sanacija skliznutih padina

Slika 7: Karakteristični primjeri korisne upotrebe armiranja padina

Planiranje ojačane padine zahtjeva detaljnu geotehničku analizu. Urušavanje geosintetika može uzrokovati rušenje padine.

Ojačanje padina sa geosintetikom može se koristiti i u slučajevima, kada treba

- poboljšati bočnu stabilnost vanjskih dijelova padine i omogućiti bolje zgušnjavanje,
- poboljšati površinsku stabilnost i erozijsku otpornost padine ali
- pospješiti konsolidaciju nasipa.

U ovim slučajevima posebne analize stabilnosti nisu potrebne. Obično je dovoljno, da se usporedo sa gradnjom nasipanih sloja na vanjskom dijelu padine ugradi traka geosintetika za ojačanje široka 1 do 2 m.

Ojačanje padina sa geosintetikom može se koristiti i za

- povećanje dozvoljene visine nasipa za određenu vrstu zemlje u slučajevima, kada nosivost površina nije problematična,
- gradnju nasipa od vrlo vlažnih sitno zrnatih materijala,
- gradnju nasipa padina za trajnu ili povremenu zaštitu od visokih voda,
- za zaštitu podupirača i gradnju prijelaznih nasipanih stožaca na objekte,
- za privremena proširenja kolnik ili
- za gradnju nasipa protiv buke.

1.3.10.2 Analiza stabilnosti ojačanja padine

Globalnu stabilnost ojačane padine treba ispitati sa sličnim postupcima, koji vrijede za neojačane padine za privremenu i trajnu bezbjednost protiv rušenja, tj. sa analizama stabilnosti ili sa analizama vjerojatnosti rušenja za različite pretpostavljene klizne površine prema jednoj od priznatih metoda.

Trajno ojačana padina (planirano vrijeme upotrebe je veća od jedne do tri godine) može se razmatrati kao nekritična, kada je faktor bezbjednosti za jednaku geometariju neojačane padine veći od $F = 1.1$; ojačanje sa geosintetikom može se koristiti za povećanje ovog faktora.

Ojačanu zemljanih površina u treba razmatrati kao kritičnu u slijedećim slučajevima:

- ako se u planiranom period u trajanja ispod opterećenja mobilizira cjelokupna čvrstoća rastezanja geosintetika,
- ako otkazivanje geosintetika ima posljedicu rušenja padine,
- ako rušenje padine ugrožava bezbjednost ljudi i imovine.

Kod analize stabilnosti ojačane padine treba razmatrati sljedeće moguće oblike rušenja stabilnosti:

- interna: sila razaranja kreće se kroz ojačano zemljanu površinu
- vanjska: sila razaranja protječe ispod ojačano zemlje
- kombinirana: sila razaranja protječe kroz neojačane i ojačane dijelove padine.

Najviši nagib padine, sagrađene od homogenog materijala bez kohezije i bez ojačanja, je $\beta = \varphi$, pri čemu je φ ugao smicanja zemlje u padini. Ako želimo izgraditi padinu od istog materijala u većem nagibu, treba u zemljanih površina u unijeti dodatnu otpornost za održavanje ravnoteže. Najjednostavniji način je unošenje dodatne horizontalne otpornosti sa polaganjem geosintetika u horizontalnih slojevima, uz pomoć kojeg poboljšamo strižni otpor zemlje. Dodatna sila, koja je potrebna za održavanje ravnoteže, je (Jewell,1991)

$$T = 0.5 K \gamma H^2,$$

gdje znači :

H - visina padine

K - koeficijent pritisaka zemlje, koji ovisi o nagibu padine β , čvrstoći parametara zemlje i koeficijentu kapilarnog tlaka.

1.3.10.3 Planiranje ojačane zemlje

Kod planiranju ojačane padine je najprije treba odrediti

- geometariju padine,
- vanjsko opterećenje,
- geotehnička svojstva temeljnih površina i zemljanih površina a u površini,
- visino i pritisak podzemne vode,
- globalnu stabilnost neojačane padine,
- inženjerska svojstva nasipane zemlje u području i iza područja armiranja i
- projektne parametare ojačanja: odabir geosintetika, njegovu čvrstoća i krutost i interakcijska svojstva sa zemljanih površina om.

Kada su dobiveni navedeni podaci, treba ispitati

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

To može se izvesti sa upotrebom

- komercijalnih programa za provjeravanje stabilnosti,
- analitičnih postupaka, koje su razvili različiti autori,
- metoda konačnih elemenata ili
- dijagrama za Dimenzionisanje, koji se temelje na određivanju koeficijenta pritiska zemlje K i dužine ojačanja L na osnovu nagiba padine, strižnog ugao a zemlje i veličine kapilarnog tlaka.

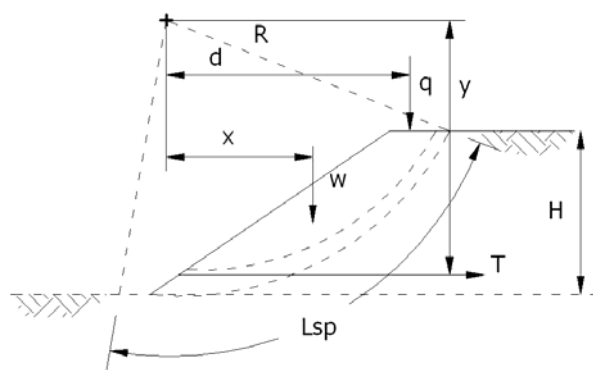
Uobičajeni geotehnički pristup provjeravanja stabilnosti ojačanih padina je sa metodom graničnih stanja za pretpostavljene potencijalne kružne sile razaranja.

Faktor bezbjednosti možemo izraziti kao

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

gdje znači:

- M_R - moment, koji osigurava otpor zemlje
 M_d - moment aktivnih sila
 T_i - raspoloživa čvrstoća ojačanja sa geosintetikom
 y_i - udaljenost
 N - broj slojeva za ojačanje



Slika 8: Pristup rješavanju sa pretpostavljenim kružnim porušnicama

Faktor bezbjednosti za kružnu silu razaranja treba izračunati sa odgovarajućim računalnim programima, uz pomoć kojih je moguće odrediti kritične sile razaranja i potrebnu geometariju ojačanja.

Alternativno je moguće internu stabilnost ojačane padine odrediti uz pomoć dijagrama za Dimenzionisanje.

Dijagrame za Dimenzionisanje padina ojačanih sa geomrežama je odredio Jewell (slike 9, 10 i 11). sa upotrebom tih dijagrama moguće je odrediti

- vrijednost minimalne potrebne sile traka za armiranje K_{req} ,
- potrebnu traženu minimalnu vrijednost L/H za obezbjeđivanje generalne stabilnosti (L = dužina trake, a H visina padine),
- potrebnu minimalno vrijednost L/H za obezbjeđivanje bezbjednosti od proklizavanja,
- projektnu vrijednost čvrstoće geosintetika, koja je

$$P = T_{dop} / F_{mreže}$$

$$T_{dop} = T_{max} / F_{mreže}$$

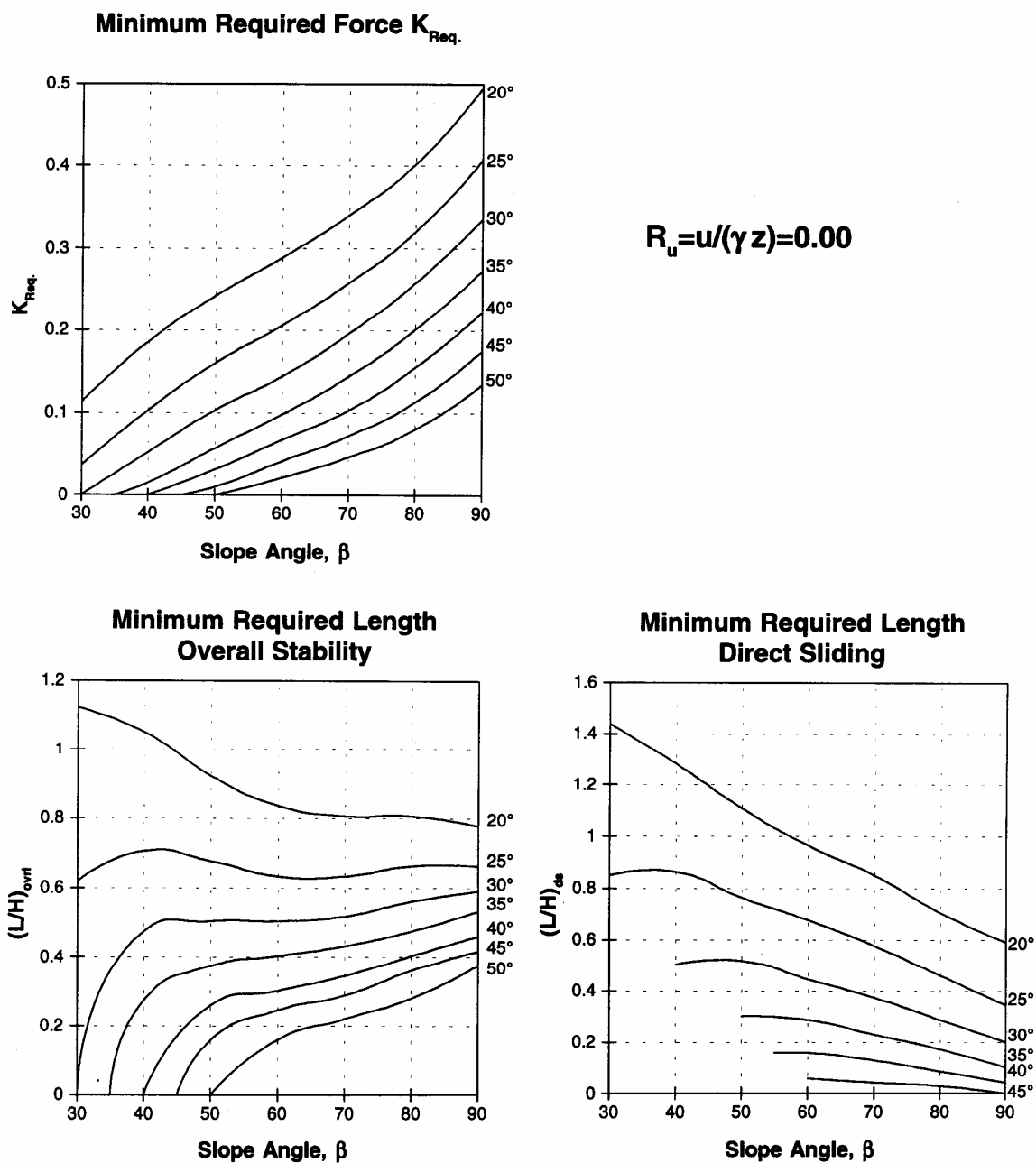
$$F_{mreže} = (F_{creep} \times F_{kontakata} \times F_{biol.} \times F_{kem})$$

- visinu nasipanog sloja zemlje z ,
- vrijednost $Q = P / (K \gamma z)$ i
- područja ekvivalentnih visina.

Upotreba dijagrama na slikama 9 do 11 važi za sljedeće pretpostavke:

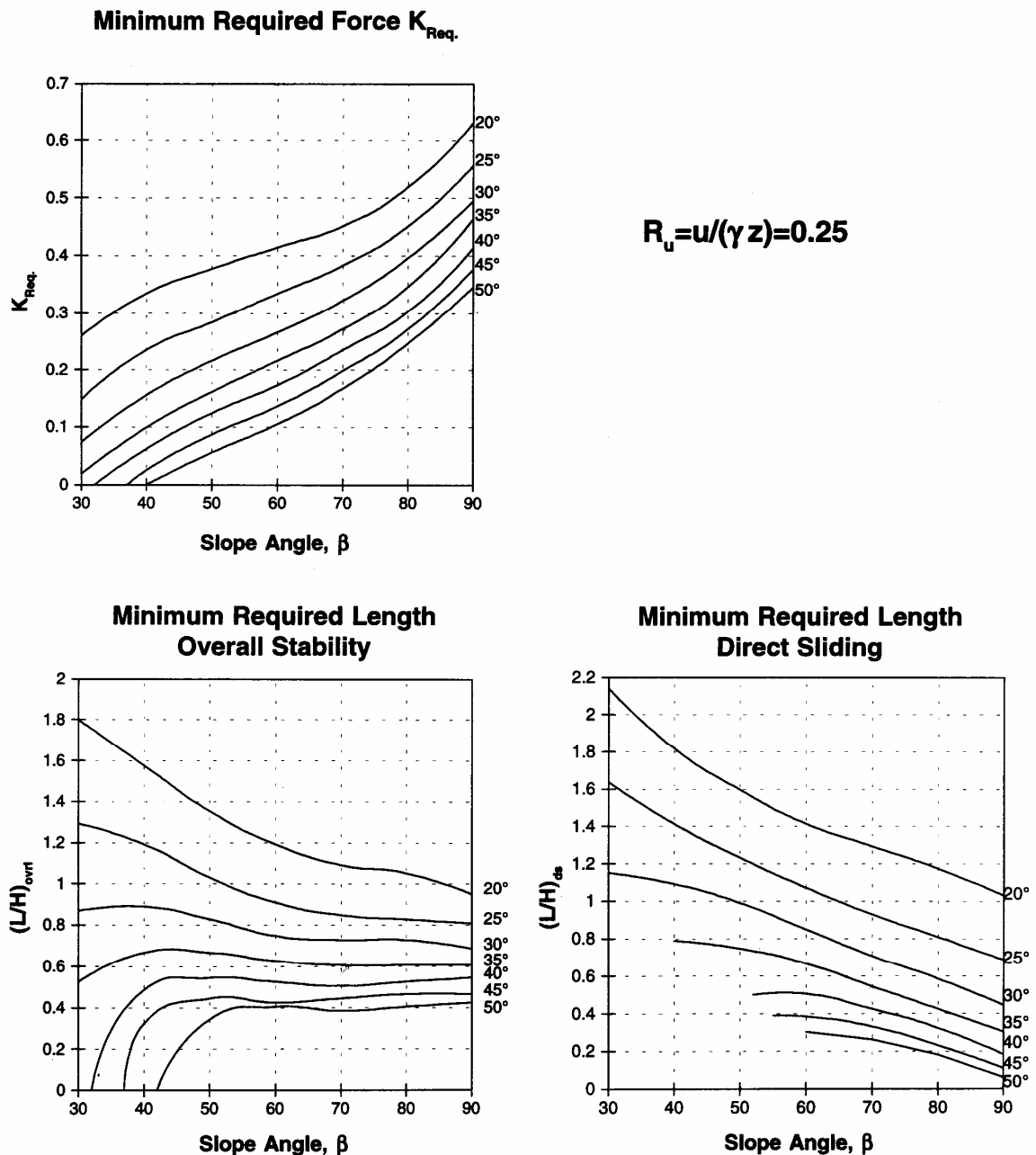
- padina je ravnomjerna, u nagibu od 30 do 90°, padina iza uzvisine je horizontalna
- padina je na ravnim temeljnim površinama, koje imaju odgovarajuću nosivost
- materijal za nasipanje je homogen
- svojstva čvrstoće materijala za nasipanje dana su sa parametrima dreniranog stanja
- porni tlakovi izraženi su u obliku koeficijenta $R_u = u/z \times \gamma$
- opterećenje na kruni je ravnomjerno
- geosintetik je položen u horizontalnim slojevima

Steep Reinforced Slope Design Charts (Jewell, 1991)



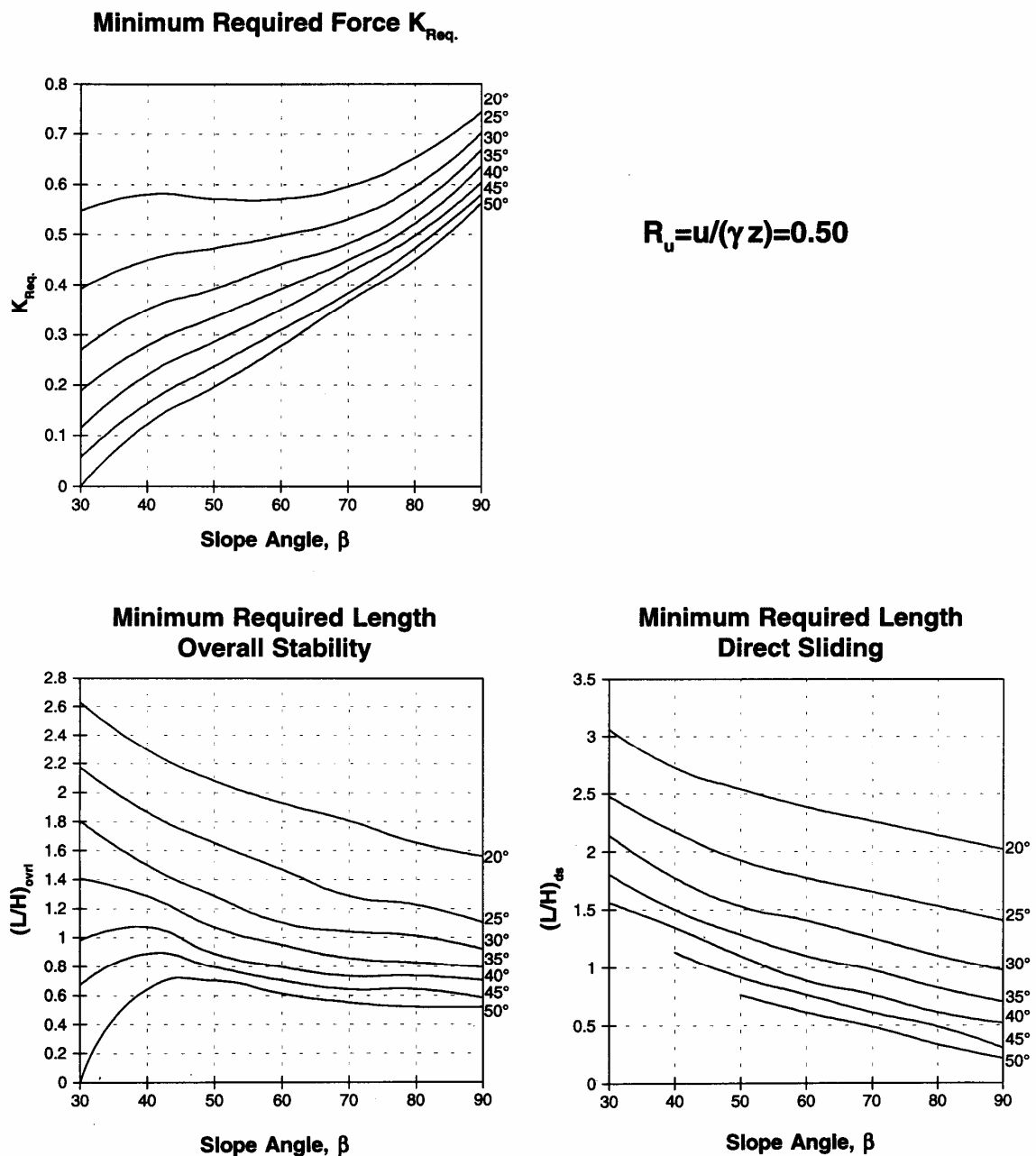
Slika 9: Dijagrami za dimenzionisanje ojačane padine, $R_u = 0$

Steep Reinforced Slope Design Charts (Jewell, 1991)



Slika 10: Dijagrami za dimenzionisanje ojačane padine, $R_u = 0.25$

Steep Reinforced Slope Design Charts (Jewell, 1991)



Slika 11: Dijagrami za dimenzionisanje ojačane padine, $R_u = 0.50$

1.3.10.4 Određivanje uslova gradnje

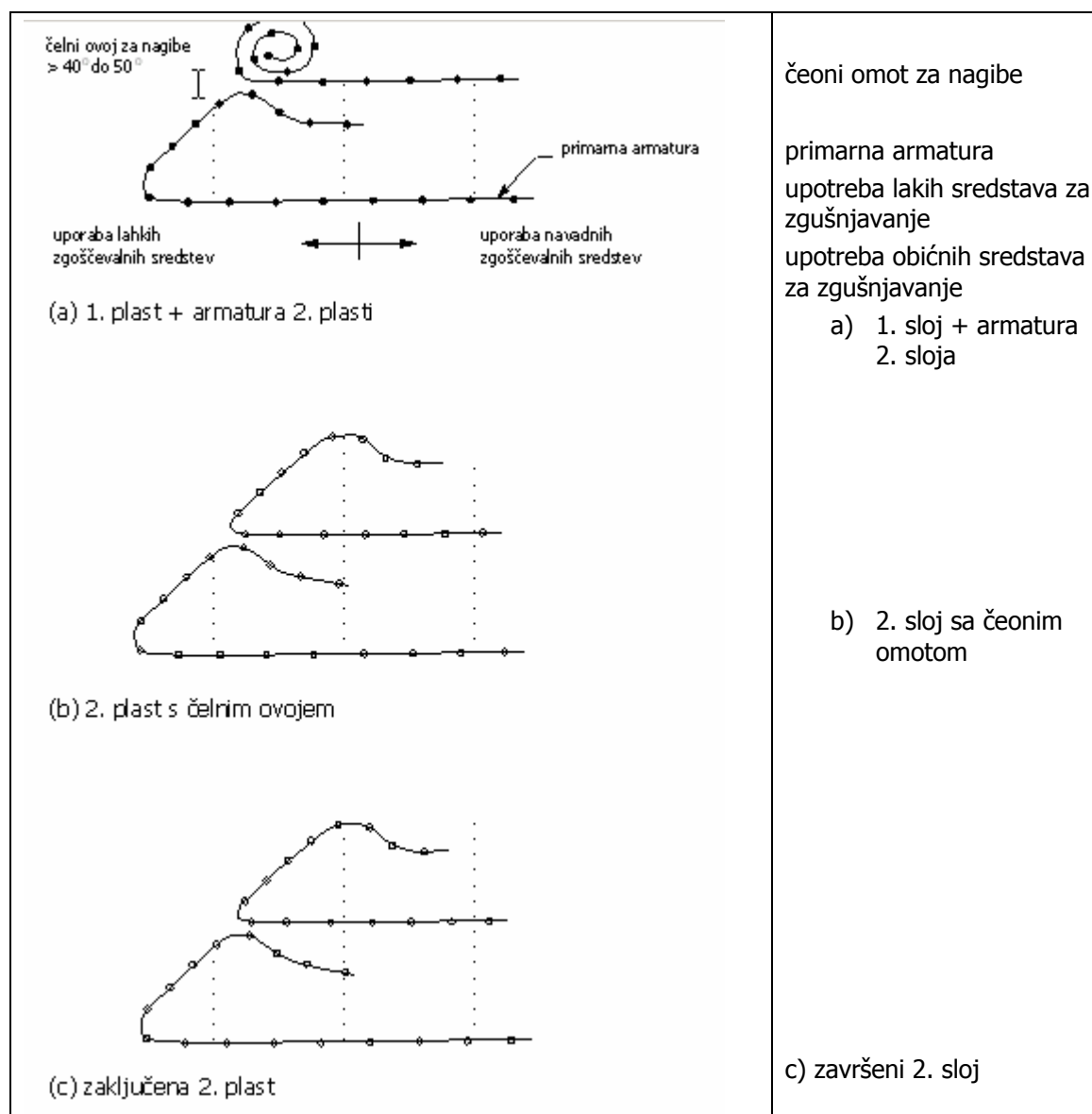
Polaganje geosintetika za ojačanje između nasipnog sloja je jednostavno, zato se gradnja padina može odvijati slično kao i gradnja nasipa sve do nagiba padina 1:1. sa projektom ojačane padine treba odrediti

- način pripreme temeljnih površina,
- način polaganja geosintetika i širinu prekrivanja susjednih slojeva,

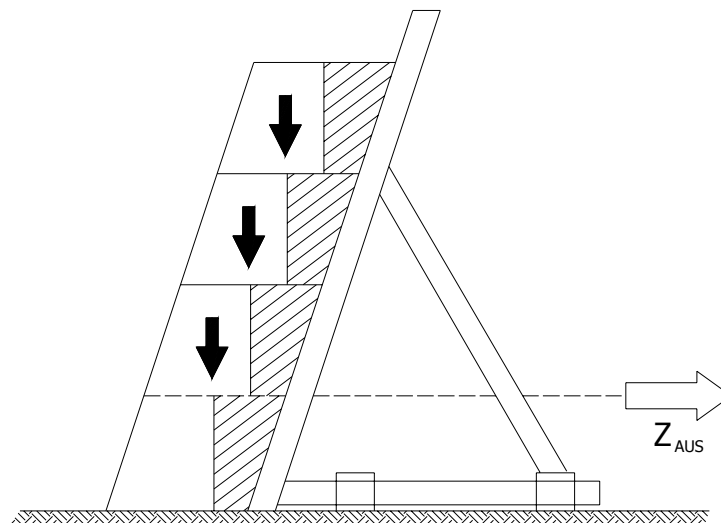
- debljinu i stupanj zgusnutosti nasipanog sloja; nasipani slojevi moraju biti zgušćeni $\geq 95\%$ prema Proctorju kod vlage sa odstupanjem do 2 m.-% glede na optimalnu,
- način izvođenja kontrole zgušnjavanja.

Kod gradnje ojačanih padina sa nagibima većim od 1:1, treba osigurati otpornost padine protiv eroziji sa omatanjem čeine strane svakog usporednog ili svakog drugog nasipanog sloja, a ne u razmaku, većem od 0.4 m. Način savijanja geosintetika preko čela nasipanog sloja prikazan je na slici 11.

kod vrlo strmih padina i kod debljih nasipanih slojeva (0.5 – 0.6 m) treba za vrijeme gradnje koristiti privremene podkapilarne elemente za održavanje odgovarajuće geometarije (slika 12). Kada se za ojačanje padina upotrebljavaju mreže, kod sipkih materijala treba koristiti na čelnoj strani dodatni zaštitni –geotekstil za zadržavanje.



Slika 12: Prikaz izvedbe ovijanja čelne strane nasipa od ojačane padine za nagibe 40 do 50°



Slika 13: Skica elementa za održavanje planirane geometrije strmih ojačanih padina za vrijeme gradnje

1.3.10.5 Geotehničko praćenje

S projektnom dokumentacijom treba odrediti obim i vrstu geotehničkog praćenja ojačane padine nakon izgradnje. Praćenja običajno uključuju

- geodetska praćenja pomaka na kruni nasipa (ukopa),
- mjerenja relativnih pomaka sa ekstenziometarima,
- inklinometarska mjerenja i
- praćenja pritisaka i nivoa podzemnih voda.

1.3.11 Oporni zemljanizidovi i opornjaci

1.3.11.1 Područje upotrebe

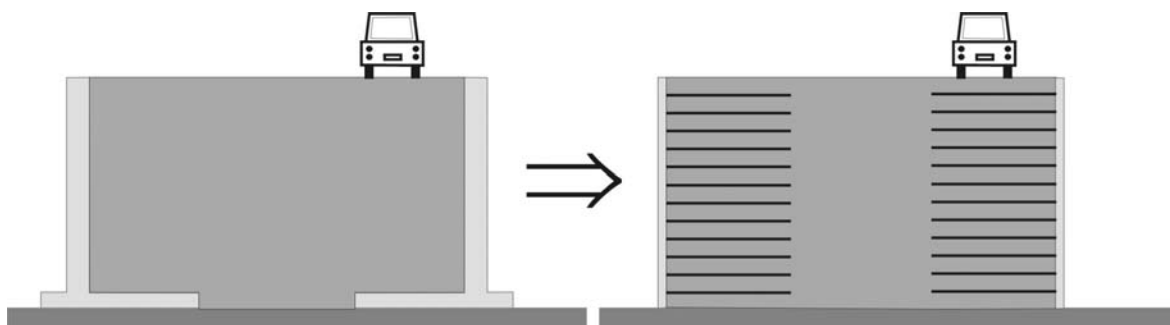
Oporne zidove od ojačane zemlje treba razmatrati kao ekvivalentno inačicu klasičnih konstrukcija ili nasipa. U usporedbi sa betonskim konstrukcijama za podupiranje su fleksibilnije i manje osjetljive na dinamička opterećenja.

Često se upotrebljavaju za priključne nasipe na objekte ili za gradnju nasipa u veoma ograničenom prostoru (slika 14).

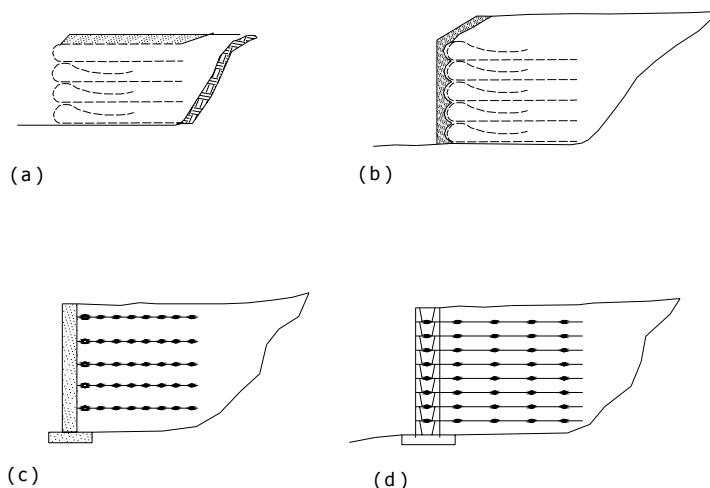
Može ih se promatrati kao poseban slučaj ojačane padine sa vrlo strmim do vertikalnim nagibima i sa dodatnom čelnom zaštitom, koju je moguće izvesti sa upotrebom različitih elemenata ili bez njih (slika 15).

- s ovijanjem bez čelne stranice,
- s ovijanjem sa čelnom stranicom,
- s upotrebom geomreže i cementnobetonskih panela,
- s upotrebom traka, ugrađenih u ploče za oblaganje
- druge oblike ojačanja sa upotrebom geosintetičkih ili čeličnih traka i različitim čeonim oblikovancima.

Za oporne konstrukcije od ojačane zemlje treba sa statičkim analizama ispitati globalnu stabilnost, potrebnu dužinu trake, nosivost trake, njihovu međusobnu udaljenost i način dodirivanja i prekrivanja. U većini slučajeva odgovarajuće, ako se uzima u obzir Rankinovo stanje pritisaka zemlje.



Slika 14. Primjer oporne konstrukcije iz armirane zemljine umesto klasičnog betonskog zida.



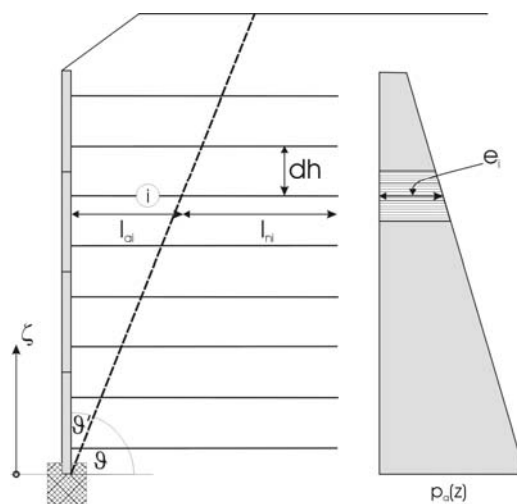
Slika 15: Šematski prikaz načina izvedbe podkapilarne konstrukcije sa ojačanjem sa geosinteticima:

1.3.11.2 Opšti principi projektiranja

Pored provjere globalne stabilnosti armirane zemljine potrebno je izračunati dužinu i broj armaturnih traka i njihov razmak.

Trake mogu biti u obliku prave uzke trake (čelične ili poliestrske) ili se upotrebi geomreža/geotekstilija položena ravnomerno po svakom sloju.

Trake (geomreže, geotekstilije) moraju biti dovoljno duge da prenesu izračunatu silu zemljanog pritiska pomoću trenja i adhezije u zaleđe iza potencijalne krivine rušenja. (slika 16).



Slika 16. Shematski prikaz izračuna zemljanog pritiska

Diagram aktivnih zemljanih pritiska (na 1 dužni metar podporne konstrukcije) podjelimo na djelove, koji opterećuju posameznu vrstu traka (geomreže, geotekstilije). Rezultanta, koju preuzima pjedinačna vrsta traka (geomreža, geotekstilija) je produkt zemljanog pritiska na dubini položaja traka (geomreže, geotekstilije) i vertikalnog razmaka među nivojima traka (geomreža, geotekstilija).

$$k_a = \tan^2(\pi/4 - \varphi'/2)$$

$$\vartheta = \pi/4 + \varphi'/2$$

$$\vartheta' = \pi/4 - \varphi'/2$$

$$e_i = p_a(z_i) = \sigma_v k_a - 2 c' \sqrt{k_a}$$

$$E_i = dh e_i$$

Broj traka na nivou "i"

Sila u traci (geomreži, geotekstiliji) mora biti manja od njene izračunate nosivosti.

Nosivost armature izračunamo iz granične nosivosti geomreže/geotekstilije/trake uz uvažavanje odgovarajućeg koeficijenta sigurnosti. Okvirne vrednosti koeficijenta sigurnosti su prikazane u razpredelnici 2. Stvarne vrijednosti je potrebno izabrati obzirom na kritičnost aplikacije.

Za geomrežu:

$$P_d = P_{mej} / \gamma_{mreža}$$

Za traku:

$$P_d = P_{mej} / \gamma_{trak}$$

Broj traka na nivou "i"

$$n_i = E_i / P_d$$

Broj traka na svakom nivou pritvrđenih na čeonu ploču mora biti ≥ 2 , da se ploča ne okreće u vertikalnoj ravni.

Dužina trake i/ili geomreže na nivou "i"

Dužina trake (geomreže, geotekstilije) je suma dviju karakterističnih dužina svake trake (geomreže, geotekstilije):

- nenosive dužine (l_{ai}), od čeonu ploče do aktivne porušnice i
- nosive dužine (l_{ni}), na kojoj se pomoću trenja prenosi sila u taci (geomreži, geotekstiliji) u zalednu zemljinu iza Rankinove porušne plohe.

Nenosivu dužinu izračunamo iz geometrije aktivne porušne plohe

$$l_{ai} = \zeta_i \tan \vartheta'$$

Nosivu dužinu izračunamo iz uslova ravnoteže za svaki nivo traka (geomreže, geotekstilije) u horizontalnom pravcu:

Sila u traci (geomreži, geotekstiliji) E_i mora biti jednaka trenju uzduž nosivog djela traka širine s ili trenju uzduž nosivog djela geomreže širine 1 m na svakom nivou:

Geomreže ali geotekstilije:

$$E_i = \tau_i A_i = \tau_i l_{ni}$$

$$\tau_i = \sigma_{vi} \tan \varphi' + c'$$

$$l_{ni} = \frac{E_i}{(\sigma_{vi} \tan \varphi' + c')}$$

Trakovi:

$$E_i = \tau_i A_i = \tau_i l_{ni} 2 n_i \bar{s}$$

$$\tau_i = \sigma_{vi} \tan \varphi' + c'$$

$$l_{ni} = \frac{E_i}{n_i 2 \bar{s} (\sigma_{vi} \tan \varphi' + c')}$$

V zadnjoj jednačini je n_i stvarni broj traka u svakom nivou.

Konstruktivna dužina trake (geomreže, geotekstilije) je suma obojice parcialnih dužina:

$$l_i = l_{ai} + l_{ni}$$

Postoje različiti postupci dimenzioniranja konstrukcija iz armirane zemljine zavisno od proizvođača elemenata, metode (numeričke, analitičke) ili oblika čeonu strane posporne konstrukcije.

Proizvođači traka, geosintetika ili geotekstilija objavljuju postupke i na internetu

Geotehničko praćenje stanja konstrukcija se izvodi po istim metodama koje važe za ostale geomehanske konstrukcije.

SMJERNICE ZA PROJEKTOVANJE, GRAĐENJE, ODRŽAVANJE I NADZOR NA PUTEVIMA

Knjiga I: PROJEKTOVANJE

Dio 1: PROJEKTOVANJE PUTEVA

Poglavlje 7: KONSTRUKTIVNI ELEMENTI PUTA

Smjernica 2: KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE

Sarajevo/Banja Luka
2005

2. KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE

2.1 SAOBRAĆAJNO OPTEREĆENJE

2.1.1 Predmet smjernica

U smjernicama navodi se način određivanja projektovanog saobraćajnog opterećenja, na osnovu čega se vrši određivanje dimenzija slojeva kolovozne konstrukcije. Naime, riječ je o kolovoznim konstrukcijama sa asfaltnim i cement-betonskim zastorom za novo izgrađene puteve, kao i za sanaciju i poboljšanje postojećih puteva.

2.1.2 Referentna dokumentacija

Smjernice se zasnivaju na sljedećoj referentnoj dokumentaciji:

AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, Washington, D.C., 1974

JUS U.C4.010: 1981, Projektovanje i građenje puteva, Određivanje ukupnog ekvivalentnog saobraćajnog opterećenja za dimenzionisanje asfaltnih kolovoznih konstrukcija.

Road Note 29: 1970, A guide to the structural design of pavements for new roads, Road Research Laboratory, London

RStO 86: 1989, Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen (Guidelines for standardization of pavements of traffic surfaces)

SNV 640 320: 1971, Dimensionierung – Äquivalente Verkehrslast (Design – equivalent traffic loading)

SNV 640 324: 1971, Dimensionierung – Straßenoberbau (Design – road pavement)

Smjernice obuhvataju odredbe drugih publikacija, preko datiranih ili nedatiranih referenci. Ukoliko se radi o datiranim referencama u obzir je potrebno uzeti posljednje dopune ili izmjene, ukoliko su navedene u dopuni ili reviziji. Ukoliko se radi o nedatiranim referencama, važeće je posljednje izdanje publikacije reference.

2.1.3 Objašnjenje pojmova

Tehnički pojmovi koji su upotrebljeni u ovim smjernicama imaju sljedeće značenje:

Analiza saobraćaja (traffic analysis, Verkehrsanalyse) znači snimanje, opis i procjenu postojećeg stanja saobraćaja.

Asfaltna kolovozna konstrukcija (asphalt pavement, Asphalt - Fahrbahnbefestigung) je dio učvršćene prometne površine s asfaltnim zastorom; vrsta preostalih nosivih slojeva u kolovoznoj konstrukciji nije određena.

Brojanje saobraćaja (traffic count, Verkehrszählung) je način ustanovljavanja broja i vrste vozila ili osovinskih opterećenja, koja prevezu izabrani presjek ceste u određenom vremenu.

Dinamičko opterećenje kolovozne konstrukcije (pavement dynamic loading, dynamische Belastung der Fahrbahnbefestigung) je dodatno opterećenje, kojeg uslovljava stanje vozne površine i/ili saobraćaj motornih vozila, ili odnos između stvarnog prometnog opterećenja, koje djeluje na voznu konstrukciju u toku vožnje vozila i njihovog statičkog opterećenja.

Dupla / trostruka osovina (tandem / three axle, Tandem/ Dreiachsig) (v zaprezi) su dvije ili tri uzastopne osovine vozila u razmaku do 1,8 m.

Ekvivalentno prometno opterećenje (equivalent traffic load, äquivalente Verkehrslast) je opterećenje, izraženo s jednakovrijednim brojem prelaza nazivnog (nominalnog) osovinskog opterećenja (u pravilu 82 kN).

Faktor ekvivalentnosti (equivalency faktor, Aequivalenzfaktor) označava jednakovrijedan uticaj na zamor u odnosu na nazivno (nominalno osovinsko) opterećenje.

Jednostruka osovina (single axle, Einzelachse) je pojedinačna osovina vozila.

Kolovoz (carriageway, Fahrbahn) je jednakomjerno neprekinuti utvrđeni dio cestnog tijela, primjeren za vožnju vozila.

Mjerodavno saobraćajno opterećenje (design traffic loading, massgebende Verkehrsbelastung) je karakteristična vrijednost za saobraćajno opterećenje kolovozne konstrukcije jednog voznog pasa u planiranom razdoblju trajanja, određena na osnovu prosječnog godišnjeg dnevnog saobraćaja (broja vozila) i njegovog porasta te dodatnih uticaja: broja i širine voznih traka, najvećeg uzdužnog nagiba kolovoza i mogućih dinamičkih učinaka; označava sumu broja prelaza nazivnog (nominalnog) osovinskog opterećenja (82 kN).

Nazivno (nominalno) osovinsko opterećenje (NOO) (nominal axle load, nominelle Achslast) je (standardno, nominalno) opterećenje jednostruke osovine vozila sa 81,6 (82) kN, koje se prenosi sa duplim točkovima (4 x 20,4 kN) na voznu površinu; određeno je kao osnova za upoređivanje uticaja različitih osovinskih opterećenja.

Novogradnja (new construction, Neubau) je izgradnja nove ceste.

Ojačanje (strengthening, Verstärkung) znači ugradnju jednog ili više dodatnih slojeva materijala na postojeću konstrukciju za poboljšanje njene nosivosti i/ili očuvanje njene upotrebljivosti na primjernom nivou.

Opterećenje točka (wheel load, Radlast) je normalna sila teže, koje preko točkova djeluje na kolovoznu konstrukciju.

Osovinsko opterećenje (axle load, Achslast) je sila, koja se preko točkova na jednoj osovini vozila prenosi na kolovoz.

Popravak (repair, Instandsetzung) je skupni pojam za sve mjere za zamjenjivanje slabih ili oštećenih mjesta na objektu, koji se povremeno ponavljaju.

Prognoza saobraćaja (traffic forecast, Verkehrsprognose) je ocjena stanja saobraćaja u buduće (u odabranom razdoblju).

Prosječni godišnji dnevni saobraćaj (PLDP) (average annual daily traffic (ADT), durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV)) je na osnovu podataka brojanja saobraćaja ocijenjen prosječni dnevni broj motornih vozila, koji je u određenoj godini provozio odabrani presjek ceste.

Razred saobraćajnog opterećenja (traffic loading class, Verkehrsbelastungsklasse) označava razvrščavanje u odnosu na saobraćajno opterećenje.

Razred saobraćajnog opterećenja (traffic loading class, Verkehrsbelastungsklasse) označava razvrščavanje u odnosu na saobraćajno opterećenje.

Saobraćajna traka (traffic lane, Verkehrsstreifen) je dio kolovoza, primjerno širok za kretanje jedne vrste vozila u jednom smjeru, uključujući tu i oznake.

Smjerni kolovoz (one-way / carriageway, Richtungsfahrbahn) je onaj, po kojem se smiju kretati vozila naprijed samo u određenom smjeru.

Vaganje vozila (vehicle weighing, Fahrzeugwiegung) je mjerenje mase ili težine vozila.

Vaganje vozila u toku vožnje (weigh-in-motion/WIM, Wiegen des rollenden Verkehrs) je mjerenje osovinskih opterećenja, s kojim pojedine osovine vozila u toku vožnje djeluju na kolovoznu konstrukciju (WIM).

Vrijeme trajanja kolovozne konstrukcije (pavement life time, Lebensdauer der Fahrbahnbefestigung) je vrijeme planirane primjerne upotrebljivosti vozne površine u odnosu na sigurnost, udobnost i gospodarnost vožnje.

Zastor (surfacing, Decke) je vršni dio kolovozne konstrukcije, u pravilu izgrađen od habajućeg i (s odgovarajućim vezivom) vezanog gornjeg nosivog sloja.

2.1.4 Saobraćajne analize

Prilikom određivanja saobraćajnog opterećenja na kolovozu, potrebno je izvršiti sljedeće:

- odrediti prosječan godišnji dnevni promet, i
- odrediti težinu pojedinih osovina vozila, ili
- izvršiti procjenu stope iskorištenosti vozila

2.1.4.1 Prosječan godišnji dnevni promet (PGDP)

Podaci o prosječnom godišnjem dnevnom prometu (PGDP) na postojećim autoputevima, brzim putevima i ostalim državnim putevima, koji su utvrđeni na osnovu rezultata dobijenih brojanjem saobraćaja na određenim karakterističnim poprečnim presjecima puta, prikupljeni su publikacijama koje je objavila Direkcija za puteve.

Prosječan godišnji dnevni promet za izgradnju novih puteva sa određuje na osnovu saobraćajnih predviđanja.

Za manje opterećene puteve moguće je izvršiti samo procjenu prosječnog godišnjeg dnevnog prometa.

Podaci o prosječnom godišnjem dnevnom prometu treba, prema pravilu, da obuhvataju sljedeću kategorizaciju reprezentativnih motornih vozila:

- osobni automobili i karavani
- autobusi
- kamioni:
 - laki – nosivosti do 3 t
 - srednji – nosivosti 3 - 7 t
 - teški – nosivosti preko 7 t
 - teški sa prikolicom i vučnim vozom

2.1.4.2 Određivanje težine vozila

Određivanje stvarne težine motornog vozila i pojedinačnog osovinskog opterećenja moguće je izvršiti samo odgovarajućom metodom vaganja. Vaganje može biti:

- statičko vaganje pomoću fiksnih ili pokretnih naprava za vaganje, ili
- dinamičko vaganje za vozila u pokretu (pri normalnoj brzini, ili pri brzini do 10 km/h na posebnim platformama).

Za vaganje motornih vozila ili mjerenje pojedinačnih osovinskih opterećenja pogodni su samo oni postupci gdje se važu sva vozila ili barem reprezentativni uzorci navedenih vozila.

Na osnovu vaganja, osovinsko opterećenje motornih vozila je moguće kategorizovati u odgovarajuće razrede, u opsegu 5, 10, ili 20 kN.

Rezultati dobijeni vaganjem motornih vozila ili mjerenjem osovinskih opterećenja procjenjuju se pomoću histograma za pojedinačne, dvojne i trojne osovine, kako bi se direktno mogli upotrijebiti za procjenu saobraćajnog opterećenja na postojećim putevima, kao i za predviđanje saobraćajnog opterećenja na novim putevima.

Ukoliko rezultati vaganja motornog vozila nisu reprezentativni, potrebno ih je pomoću određenih faktora ispraviti, uzimajući u obzir npr. sezonski i/ili dnevni uticaj.

2.1.4.3 Određivanje stope iskorištenosti vozila

Ukoliko težina motornog vozila nije utvrđena vaganjem, određivanje osovinskog opterećenja reprezentativnih vozila treba izvršiti na osnovu određivanja stope njihove iskorištenosti.

Karakteristična opterećenja odabranih reprezentativnih motornih vozila, uključujući procjenjenu stopu iskorištenosti navedena su u prilogima 1/1 do 1/6.

2.1.5 Ekvivalentno saobraćajno opterećenje

Zamor materijala kolovozne konstrukcije zavisi od sljedećeg:

- karakteristika motornog vozila:
- osovinskog opterećenja,
- rasporeda osovina na vozilu,
- rasporeda točkova na osovini vozila, i
- broja opterećenja motornih vozila, tj. prolaza vozila kroz poprečni presjek kolovoza.

2.1.5.1 Ekvivalentno osovinsko opterećenje

Osovinsko opterećenje motornog vozila treba pretvoriti u ekvivalentno saobraćajno opterećenje.

Za kvantitativnu procjenu uticaja različitih osovinskih opterećenja motornih vozila na zamor materijala kolovozne konstrukcije, primjenjuje se izmjenjena jednačina AASHO testa za puteve:

$$FE_{nom} = 10^{-8} \times f_o \times (f_k \times L_{stat})^4$$

gdje je:

FE_{nom} - faktor ekvivalentnog uticaja stvarnog osovinskog opterećenja motornog vozila na zamor u odnosu na uticaj nominalnog osovinskog opterećenja (NOO) od 82 kN.

f_o – faktor rasporeda osovina na motornom vozilu:

- za pojedinačnu osovину $f_{o11} = 2.212$
- za dvojnju osovину $f_{o2} = 0.1975$
- za trojnu osovину $f_{o3} = 0.048$
- za pojedinačnu osovину tandema $f_{o12} = 1.583$

f_k – faktor rasporeda točkova na osovini vozila:

- za jedan standardni točak i izvagane osovine (privremeno) $f_{k1} = 1.0$
- za dupli standardni točak (par) $f_{k2} = 0.9$
- za jedan široki točak $f_{k3} = 0.97$

Na osnovu gore navedenog vrši se procjena faktora ekvivalentnosti osovinskih opterećenja za stvarna osovinska opterećenja izvaganih vozila (tabela 1), kao i procjena odabranih reprezentativnih vrijednosti (tabela 2).

2.1.5.2 Ekvivalentno opterećenje vozila

Procjena faktora ekvivalentnosti FE_v reprezentativnog motornog vozila vrši se pomoću sljedeće jednačine:

$$FE_v = \sum FE_{nom}$$

Prosječne vrijednosti faktora ekvivalentnosti za osovinska opterećenja reprezentativnih vozila navedena u prilogima 1/1 do 1/6 predstavljene su u tabeli 3.

U slučajevima gdje je poznata vrsta motornih vozila koji preovladavaju na određenom putu, te se ne vrši vaganje vozila, na osnovu navedenih jednačina moguće je odrediti odgovarajući faktor ekvivalentnosti FE_v .

Ukoliko sastav teških kamiona nije poznat, informativne vrijednosti navedene u tabeli 4 moguće je uzeti za prosječne vrijednosti faktora ekvivalentnosti FE_v za navedena vozila.

2.1.5.3 Ekvivalentno dnevno saobraćajno opterećenje

Procjena ekvivalentnog dnevnog saobraćajnog opterećenja je definisana načinom procjenjivanja saobraćajnog opterećenja na kolovozu.

Tabela 1: Faktori ekvivalentnosti osovinskog opterećenja izvaganih vozila u odnosu na nominalno osovinsko opterećenje od 82 kN

Osovinsko opterećenje (kN)	Faktor ekvivalentnosti		
	jedna osovina	dvojna osovina	trojna osovina
4	0.000006		
6	0.000029		
8	0.000091		
10	0.00022		
15	0.00112		
20	0.00354	0.00063	
25	0.00864	0.00154	
30	0.01792	0.00320	
35	0.03319	0.00593	
40	0.05663	0.01011	
45	0.09071	0.01620	
50	0.13825	0.02469	0.00900
55	0.20241	0.03614	0.01318
60	0.28668	0.05119	0.01866
65	0.39486	0.07051	0.02570
70	0.53110	0.09484	0.03457
75	0.69989	0.12498	0.04556
80	0.90604	0.16179	0.05898
85	1.15468	0.20619	0.07517
90	1.45129	0.25916	0.09448
95	1.80169	0.32173	0.11729
100	2.21200	0.96500	0.14400
105	2.68870	0.48012	0.17503
110	3.23859	0.57832	0.21083
115	3.86880	0.69086	0.25186
120	4.58680	0.81907	0.29860
125	5.40039	0.96436	0.35156
130	6.31769	1.12816	0.41128
140	8.49762	1.51743	0.55319
150	11.1982	1.99969	0.72900
160	14.4965	2.58867	0.94372
170	18.4748	3.29908	1.20270
180	23.2207	4.14655	1.51165
190	28.8270	5.14768	1.87662
200	35.3920	6.32000	2.30400
210		7.68200	2.80053
220		9.25311	3.37329
230		11.0537	4.02971
240		13.1052	4.77757
250		15.4297	5.62500
260		18.0506	6.58045
270		20.9919	7.65275
280		24.2789	8.85105
290		27.9376	10.1848
300		31.9950	11.6640

Osovinsko opterećenje (kN)	Faktor ekvivalentnosti		
	jedna osovina	dvojna osovina	trojna osovina
310			13.2987
320			15.0995
330			17.0773
340			19.2432
350			21.6090
360			24.1865
380			30.0260
400			36.8640

Tabela 2: Faktori ekvivalentnosti osovinskog opterećenja odabranih reprezentativnih motornih vozila u odnosu na nominalno osovinsko opterećenje od 82 kN

Osovinsko opterećenje kN	Faktor ekvivalentnosti				
	jedna osovina		pojedinačna osovina u tandemu		
	jedan točak	dva točka	jedan točak	dva točka	jedan široki točak
4	0.000006	0.000004	0.000004	0.000003	0.000004
6	0.000029	0.000019	0.000021	0.000013	0.000018
8	0.000091	0.000059	0.000065	0.000043	0.000057
10	0.000221	0.000145	0.000158	0.000104	0.000140
15	0.00112	0.00074	0.00080	0.00053	0.00071
20	0.00354	0.00232	0.00252	0.00166	0.00224
25	0.00864	0.00567	0.00618	0.00406	0.00547
30	0.01792	0.01176	0.01282	0.00841	0.01135
35	0.03319	0.02178	0.02375	0.01559	0.02103
40	0.05663	0.03715	0.04052	0.02659	0.03588
45	0.09071	0.05951	0.06491	0.04259	0.05747
50	0.13825	0.09071	0.09894	0.06491	0.08759
55	0.20241	0.13280	0.14485	0.09504	0.12824
60	0.28668	0.18809	0.20516	0.13460	0.18162
65	0.39486	0.25906	0.28258	0.18540	0.25016
70	0.53110	0.34846	0.38001	0.24937	0.33648
75	0.69989	0.45920	0.50087	0.32862	0.44342
80	0.90603	0.59445	0.64840	0.42541	0.57402
85	1.1547	0.75758	0.82634	0.54216	0.73155
90	1.4513	0.95219	1.0386	0.68143	0.91947
95	1.8017	1.1821	1.2894	0.84595	1.1415
100	2.2120	1.4513	1.5830	1.0386	1.4014
105	2.6887	1.7641	1.9241	1.2624	1.7034
110	3.2386	2.1248	2.3177	1.5206	2.0518
115	3.8688	2.5383	2.7687	1.8165	2.4511
120	4.5868	3.0094	3.2825	2.1537	2.9060
125	5.4004	3.5432	3.8647	2.5357	3.4214
130	6.3177	4.1450	4.5212	2.9664	4.0026
140	8.4976	5.5753	6.0813	3.9899	5.3837
150	11.198	7.3472	8.0139	5.2579	7.0947

Tabela 3: Prosječne vrijednosti faktora ekvivalentnosti za reprezentativna vozila

Reprezentativno vozilo	Prosječan faktor ekvivalentnosti
- automobil	0.00006
- autobus	1.20
- kamion:	
- laki	0.01
- srednji	0.20
- teški	1.10
- teški sa prikolicom	2.00

Tabela 4: Prosječne informativne vrijednosti faktora ekvivalentnosti za kamione

Prosječan broj teških kamiona po danu	Prosječan faktor ekvivalentnosti
< 200	0.9
> 200 - 1,000	1.3
> 1000	1.8

2.1.5.3.1 Procjena na osnovu stvarnih osovinskih opterećenja

Ukoliko su stvarna, tj. izmjerena osovinska opterećenja poznata, moguće je izvršiti procjenu ukupnog dnevnog ekvivalentnog saobraćajnog opterećenja u poprečnom presjeku kolovoza (T_d), kao zbir svih izmjerenih osovinskih opterećenja:

$$T_d = \sum FE_{nom}$$

Ukoliko zbir $\sum FE_{nom}$ nije poznat (tj. nije direktno određen sistemom mjerenja), potrebno ga je izračunati na osnovu zbroja osovinskih opterećenja za pojedinačno uređenje osovina $FE_{o,i}$ a prema histogramima osovinskog opterećenja:

$$FE_{o,i} = \sum_{j=1}^R N_{i,j} \times FE_{nom,j}$$

gdje je:

- i – jedna, dvojna ili trojna osovina
- R – broj razreda u histogramima osovinskog opterećenja
- N_j – broj osovina j razreda
- $FE_{nom,j}$ – faktor uticaja ekvivalentnosti srednje vrijednosti osovinskog opterećenja j razreda

Udio rasporeda pojedinačnih osovina na motornom vozilu treba odrediti pomoću sljedećih jednačina:

- za jednu osovину:
$$FE_{o1} = 10^{-8} \times 2,212 \times \sum_{j=1}^R N_{j1} \times L_j^4$$
- za dvojne osovine:
$$FE_{o2} = 10^{-8} \times 0,1975 \times \sum_{j=1}^R N_{j2} \times L_j^4$$
- za trojne osovine:
$$FE_{o3} = 10^{-8} \times 0,048 \times \sum_{j=1}^R N_{j3} \times L_j^4$$

2.1.5.3.2 Procjena na osnovu prosječne vrijednosti faktora ekvivalentnosti

Ukupno dnevno ekvivalentno saobraćajno opterećenje u poprečnom presjeku kolovoza (T_d) moguće je odrediti na osnovu projektovanog prosječnog dnevnog broja motornih vozila u prvoj godini eksploatacije puta, na osnovu sljedeće jednačine:

$$T_d = \sum FE_v \times n_v$$

gdje je:

FE_v - faktor ekvivalentnosti reprezentativnog motornog vozila

n_v - broj motornih vozila određene vrste (reprezentativne) po danu na početku eksploatacije puta

2.1.6 Dodatni faktori koji utiču na saobraćajno opterećenje

Dodatni faktori koji utiču na saobraćajno opterećenje predstavljeni su karakteristikama puta:

- broj saobraćajnih traka
- širina saobraćajne trake
- uzdužni nagib nivelete kolovoza.

2.1.6.1 Broj saobraćajnih traka

Uticaj raspodjele saobraćajnog opterećenja na saobraćajne trake na kolovozu treba smatrati faktorima poprečnog profila f_{pp} , koji su navedeni u tabeli 5.

Ukoliko se saobraćajno opterećenje utvrđuje vaganjem na saobraćajnoj traci, vrijednost faktora poprečnog presjeka treba uzeti kao $f_{pp} = 1.0$ za određenu saobraćajnu traku.

Tabela 5: Faktori raspodjele saobraćajnog opterećenja f_{pp} na saobraćajne trake

Broj saobraćajnih traka	Faktor raspodjele saobraćajnog opterećenja na saobraćajne trake					
1	1.00					
2	0.50		0.50			
3	0.50		0.05	0.45		
4	0.45	0.05	0.05	0.45		
5	0.45	0.05	0.02	0.08	0.40	
6	0.40	0.08	0.02	0.02	0.08	0.40

2.1.6.2 Širina saobraćajne trake

Uticaj širine saobraćajne trake kolovoza na saobraćajno opterećenje treba smatrati faktorima f_{st} koji su navedeni u tabeli 6. .

Tabela 6: Faktori uticaja širine saobraćajne trake f_{st} na saobraćajno opterećenje

Širina saobraćajne trake (m)	Faktor širine saobraćajne trake
< 2.50	2.00
2.50 – 2.75	1.80
2.76 – 3.25	1.40
3.25 – 3.75	1.10
> 3.75	1.00

2.1.6.3 Uzdužni nagib nivelete kolovoza

Uticaj (najvećeg) uzdužnog nagiba nivelete kolovoza na saobraćaj treba smatrati faktorima f_{nn} , koji su navedeni u tabeli 7.

Tabela 7: Faktori uticaja uzdužnog nagiba nivelete kolovoza f_{nn} na saobraćajno opterećenje

Uzdužni nagib nivelete (%)	Faktor uzdužnog nagiba nivelete kolovoza
< 2	1.00
iznad 2 do 4	1.02
iznad 4 do 5	1.05
iznad 5 do 6	1.09
iznad 6 do 7	1.14
iznad 7 do 8	1.20
iznad 8 do 9	1.27
iznad 9 do 10	1.35
> 10	1.45

2.1.6.4 Dinamički uticaji

Zanošenje motornog vozila koje nastaje kao posljedica neravnosti kolovoza stvara dodatno dinamičko opterećenje, koje možemo smatrati faktorom f_{du} , koji iznosi:

- dobri uslovi vožnje $f_{du} = 1.03$
- srednji uslovi vožnje $f_{du} = 1.08$

Vrijednosti faktora f_{du} uglavnom zavise od kvaliteta izvedenih radova.

2.1.7 Projektovano saobraćajno opterećenje

Projektovano saobraćajno opterećenje se definiše na osnovu:

- projektovanog ekvivalentnog dnevnog saobraćajnog opterećenja T_d ,
- dodatnih uticaja koji nastaju kao posljedica karakteristika puta, i
- trajanja saobraćaja, i godišnjeg porasta saobraćaja.

Procjena ekvivalentnog dnevnog saobraćajnog opterećenja T_d definisana je u tački 5

2.1.7.1 Trajanje i povećanje saobraćajnog opterećenja

Predviđeno trajanje i povećanje saobraćajnog opterećenja usljed porasta saobraćaja u ovom periodu treba smatrati faktorom f_{po} , koji je naveden u tabeli 8.

Tabela 8: Faktori povećanja saobraćajnog opterećenja f_{po} u zavisnosti od projektovanog godišnjeg porasta saobraćaja i predviđenog trajanja

Predviđeno trajanje (godina)	Stopa godišnjeg porasta saobraćaja (%)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	5	5	5	6	6	6	6	6	7	7
10	11	11	12	12	13	14	15	16	17	17
15	16	18	19	21	23	25	27	29	32	35
20	22	25	28	31	35	39	44	49	56	63

2.1.7.2 Određivanje projektovanog saobraćajnog opterećenja

Određivanje projektovanog saobraćajnog opterećenja T_n se izvodi na osnovu sljedeće jednačine:

$$T_n = 365 \cdot T_d \cdot f_{pp} \cdot f_{st} \cdot f_{nn} \cdot f_{du} \cdot f_{po}$$

gdje je:

T_n - projektovano saobraćajno opterećenje za period od n godina

T_d - ekvivalentno dnevno saobraćajno opterećenje

f_{pp} - faktor prosječnog poprečnog presjeka kolovoza

f_{st} - faktor širine saobraćajne trake

f_{nn} - faktor uzdužnog nagiba nivelete

f_{du} - faktor dodatnih dinamičkih uticaja

f_{po} - faktor povećanja saobraćajnog opterećenja usljed porasta saobraćaja u određenom periodu

2.1.8 Kategorizacija saobraćajnog opterećenja

U zavisnosti od broja prolaza nominalnog osovinskog opterećenja po danu i u periodu od 20 godina, saobraćajno opterećenje kolovoza, koje je relevantno za određivanje debljine sloja, razvrstavamo u 6 grupa saobraćajnog opterećenja.

Kategorizacija saobraćajnog opterećenja navedena je u tabeli 9.

Tabela 9: Kategorizacija saobraćajnog opterećenja u grupe saobraćajnog opterećenja

Grupa saobraćajnog opterećenja	Broj prolaza nominalnog osovinskog opterećenja od 82 kN	
	po danu	za 20 godina
- izuzetno teško	preko 3,000	preko 2×10^7
- veoma teško	preko 800 do 3,000	preko 6×10^6 do 2×10^7
- teško	preko 300 do 800	preko 2×10^6 do 6×10^6
- srednje	preko 80 do 300	preko 6×10^5 do 2×10^6
- lako	preko 30 do 80	preko 2×10^5 do 6×10^5
- veoma lako	preko 30	do 2×10^5

PRORAČUN FAKTORA EKVIVALENTNOSTI REPREZENTATIVNOG OSOBNOG AUTOMOBILA

Nosivost vozila: 4 kN

Kapacitet vozila: 4 osobe sa prtljagom

Opterećenje vozila		Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazno		5.5	0.00002	5.5	0.00002
polu natovareno		6.0	0.00003	6.0	0.00003
potpuno natovareno		7.5	0.00007	7.5	0.00007
	Dio %				
prazno	60	0.000012		0.000012	
polu natovareno	30	0.000009		0.000009	
potpuno natovareno	10	0.000007		0.000007	
Ukupno:		0.000028		0.000028	
			FE _v =	0.000056	

$$FE_v \cong 0.00006$$

PRORAČUN FAKTORA EKVIVALENTNOSTI REPREZENTATIVNOG AUTOBUSA

Nosivost vozila: 40 kN

Kapacitet vozila: 50 putnika

Opterećenje vozila		Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazno		50	0.13825	70	0.34846
polu natovareno		55	0.20241	85	0.75758
potpuno natovareno		60	0.28668	100	1.45129
	Dio %				
prazno	5	0.006913		0.017423	
polu natovareno	60	0.121446		0.454548	
potpuno natovareno	35	0.100338		0.507952	
Ukupno:		0.228697		0.979923	
			FE _v =	1.208620	

$$FE_v \cong 1.20$$

PRORAČUN FAKTORA EKVIVALENTNOSTI REPREZENTATIVNOG LAKOG KAMIONA

Nosivost vozila: do 30 kN

Kapacitet vozila: 25 kN

Opterećenje vozila		Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazno		15.0	0.00112	10	0,00015
polu natovareno		17.5	0.00207	20	0,00232
potpuno natovareno		20.0	0.00354	30	0,01176
	Dio %				
prazno	25	0.000280		0,000036	
polu natovareno	25	0.000518		0,000580	
potpuno natovareno	50	0.001770		0,005880	
Ukupno:	0.002568			0,006496	
			FE _v =	0,009064	

$$FE_v \approx 0.01$$

PRORAČUN FAKTORA EKVIVALENTNOSTI REPREZENTATIVNOG SREDNJEG KAMIONA

Nosivost vozila: 30 - 50 kN

Kapacitet vozila: 40 kN

Opterećenje vozila		Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazno		20	0.00354	20	0,00232
polu natovareno		25	0.00864	35	0,02178
potpuno natovareno		30	0.01792	50	0,09071
	Dio %				
prazno	25	0.000885		0.000580	
polu natovareno	25	0.002160		0.005445	
potpuno natovareno	50	0.008960		0.045355	
Ukupno:		0.011905		0.051380	
			FE _{v1} =	0.063285	

Nosivost vozila: 50 - 70 kN

Kapacitet vozila: 60 kN

Opterećenje vozila		Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazno		30	0.01792	30	0,01176
polu natovareno		35	0.03319	55	0,13280
potpuno natovareno		40	0.05663	80	0,59445
	Dio %				
prazno	25	0.004480		0,002940	
polu natovareno	25	0.008298		0,033200	
potpuno natovareno	50	0.028315		0,297225	
Ukupno:		0.031093		0,333365	
			FE _{v2} =	0,364458	

$$FE_{v1} : 0.063285 \times 50 \% = 0.031642$$

$$FE_{v2} : 0.364458 \times 50 \% = 0.182229$$

$$0.213871$$

$$FE_v \approx 0.20$$

Priloga 1/4

PRORAČUN FAKTORA EKVIVALENTNOSTI REPREZENTATIVNOG TEŠKOG KAMIONA

Nosivost vozila: > 70 kN

Kapacitet vozila: 100 kN

Opterećenje vozila		Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazno		40	0.05663	40	0.03715
polu natovareno		55	0.20241	75	0.45920
potpuno natovareno		70	0.53110	110	2.12480
	Dio %				
prazno	25	0.014158		0.009288	
polu natovareno	25	0.050602		0.114800	
potpuno natovareno	50	0.265550		1.062400	
Ukupno:		0.330310		1.186488	
			FE _{v1} =	1.516798	

Nosivost vozila: > 70 kN

Kapacitet vozila: 140 kN (osovina u tandemu)

Opterećenje vozila		Prednja osovina L_1 (kN) FE_1		Zadnja osovina L_2 (kN) FE_2	
prazno		40	0.05663	2 x 20	2 x 0.00166
polu natovareno		55	0.20241	2 x 45	2 x 0.04259
potpuno natovareno		70	0.53110	2 x 75	2 x 0.32862
	Dio %				
prazno	25	0.014158		0.000830	
polu natovareno	25	0.050602		0.021295	
potpuno natovareno	50	0.265550		0.328620	
Ukupno:		0.330310		0.350745	
			$FE_{v2} =$	0.681055	

$$FE_{v1} : 1.516798 \times 50 \% = 0.758399$$

$$FE_{v2} : 0.681055 \times 50 \% = 0.340528$$

$$1.098927$$

$$FE_v \approx 1.10$$

Priloga 1/5

PRORAČUN FAKTORA EKVIVALENTNOSTI REPREZENTATIVNOG TEŠKOG KAMIONA SA PRIKOLICOM

Nosivost vozila: 50 – 70 kN

Nosivost prikolice: 60 kN

Kapacitet vozila: 60 kN

Kapacitet prikolice: 60 kN

Opterećenje prikolice		Prednja osovina L_1 (kN) FE_1		Zadnja osovina L_2 (kN) FE_2	
prazna		10	0.00022	10	0.00022
polu natovarena		25	0.00864	25	0.00864
potpuno natovarena		40	0.05663	40	0.05663
	Dio %				
prazna	25	0.000055		0.000055	
polu natovarena	25	0.002160		0.002160	
potpuno natovarena	50	0.028315		0.028315	
Ukupno:		0.030530		0.030530	
			$FE_{p1} =$	0.06106	

$$\begin{aligned}
 FE_v &: 0.212923 \\
 FE_{p1} &: 0.061060 \\
 &0.273983
 \end{aligned}$$

Nosivost vozila: > 70 kN

Nosivost prikolice: 120 kN

Kapacitet vozila: 100 kN

Kapacitet prikolice: 120 kN

Opterećenje prikolice		Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazna		30	0.01176	30	0.01176
polu natovarena		60	0.18809	60	0.18809
potpuno natovarena		90	0.95219	90	0.95219
	Dio %				
prazna	25	0.002940		0.002940	
polu natovarena	25	0.047023		0.047023	
potpuno natovarena	50	0.476095		0.476095	
Ukupno:		0.526058		0.526058	
			FE _{p2} =	1.052116	

$$\begin{aligned}
 FE_{v1} &: 1.516798 \\
 FE_{p2} &: 1.052116 \\
 &2.568914
 \end{aligned}$$

Prilog 1/6

Nosivost vozila: > 70 kN

Nosivost prikolice: 160 kN

Kapacitet vozila: 140 kN

Kapacitet prikolice: 160 kN

Opterećenje prikolice		Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazna		40	0.03715	40 + 20	0.02659+0.00252
polu natovarena		70	0.34846	70 + 35	0.24937+0.02375
potpuno natovarena		100	1.45130	100 + 50	1.03860+0.09894
	Dio %				
prazna	25	0.009288		0.006648 + 0.000630	
polu natovarena	25	0.087115		0.062342 + 0.005938	
potpuno natovarena	50	0.725650		0.519300 + 0.049470	
Ukupno:		0.822053		0.644328	
			FE _{n3} =	1.466381	

$FE_{v2} :$	0.681055
$FE_{p3} :$	<u>1.466381</u>
	2.147436
$FE_v + Fe_{p1} : 0.273983 \times 15 \% =$	0.041097
$FE_{v1} + Fe_{p2} : 2.568914 \times 40 \% =$	1.027566
$FE_{v2} + Fe_{p3} : 2.147463 \times 45 \% =$	<u>0.966358</u>
	2.035021
	$FE_{v+p} \cong 2.00$

2.2 KLIMATSKI I HIDROLOŠKI USLOVI

2.2.1 Predmet smjernica

Ove smjernice obezbjeđuju osnove za definisanje klimatskih i hidroloških uslova za izgradnju puteva, koji direktno utiču na određivanje vrste i dimenzija kolovoznih konstrukcija puta.

U smjernicama navedena su objašnjenja pojmova koji se najčešće upotrebljavaju, a koji se odnose na smrzavanje i otapanje materijala trupa puta, karakteristike mraza, kao i na pojavu oštećenja usljed smrzavanja i otapanja.

U smjernicama, navedene su potrebne mjere za zaštitu materijala od oštećenja usljed smrzavanja, i to u fazi projektovanja, izgradnje i održavanja, kao i za obezbjeđenje isplativosti navedenih mjera.

Sadržaj ovih smjernica ne može se tumačiti i primjenjivati kako bi se spriječilo ili uslovalo odgovarajuću primjenu građevinskih proizvoda, koji su odbreni za upotrebu u skladu sa odredbama Zakona o građevinskim proizvodima.

2.2.2 Referentna dokumentacija

Smjernice se zasnivaju na sljedećoj referentnoj dokumentaciji:

SN 640 317a: 1988 Dimensionierung, Unterbau und Untergrund (*Design, Substructure and Subgrade*)

SN 670 140a: 1988 Frost (*Frost*)

SN 670 005: 1970 Klassifikation der Lockergesteine, Feldmethode nach USCS (*Classification of Soils, In-situ Method by USCS*)

SN 670 008: 1970 Klassifikation der Lockergesteine, Laboratoriumsmethode nach USCS (*Classification of Soils, Laboratory Method by USCS*)

Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Strassenbau - ZTVE 94, DIN 18196, Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke (*Additional Technical Contractual Conditions and Guidelines for Earth Works in Road Construction – ZTVE 94, DIN 18196, Classification of Soils for Construction Purposes*)

Smjernice sadrže datirane odredbe ostalih publikacija. Naknadne dopune ili izmjene potrebno je uzeti u obzir ukoliko su obuhvaćene dodatkom ili revizijom.

2.2.3 Objašnjenje pojmova

Tehnički pojmovi koji su upotrebljeni u ovim smjernicama imaju sljedeće značenje:

Dizanje zbog smrzavanja (frost heave, Frosthebung) je lokalno dizanje kolovoza zbog nastanka ledenih sočiva u neodgovarajućem materijalu, ugradjenom do dubine smrzavanja.

Dubina smrzavanja (frost depth, Frosttiefe) je najveća dubina, do koje doseže izoterma 0°C u dugotrajnom mrazu.

Hidrološki uslovi (hydrological conditions, hydrologische Verhältnisse) su uslovi, koji određuju stanje voda u tlu (u blizini ceste).

Indeks mraza (frost index, Frostindex) je suma srednjih (negativnih) dnevnih temperatura vazduha od početka do kraja razdoblja smrzavanja; označava trajanje i intenzivnost mraza na odredjenom kraju.

Klimatski uslovi (climatic conditions, klimatische Verhältnisse) su uslovi, koje određuje temperatura vazduha u odredjenom vremenskom razdoblju i na odredjenom kraju ili području, kroz koje prolazi cesta.

Ledeno sočivo (ice lens, Eislinse) je karakterističan oblik porne vode, koji nastaje kod smrzavanja zbog povećanja sadržaja vode u materijalu.

Mikroklima (micro climate, Mikroklima) je skupina jednakih uslova, kao što su temperatura, obasjanje suncem, vlažnost, padavine, snježne prilike i vjetar, karakterističnih za ograničeno područje.

Na smrzavanje neosjetljiv materijal (frost insensible material, frostunempfindliches Material) je materijal, u kom smrzavajuća voda u porama ne prouzrokuje zamašnjeg dizanja niti otapanje zamašnjeg smanjenja nosivosti.

Oštećenje zbog smrzavanja (frost damage, Frostbeschädigung) je oštećenje na objektu, koje je neposredna ili posredna posljedica djelovanja mraza u vezi s vodom; može da znači rušenje objekta.

Otapanje (thaw, Auftauen) je skup fizikalnih pojava, koje nastaju u materijalima, kada se nakon perioda smrzavanja temperatura popne iznad 0°C.

Smrzavanje (freeze, Frieren) je skup fizikalnih pojava, koje nastaju u materijalima, kada temperatura iznosi manje od 0°C.

2.2.4 Definisanje uslova

Obim promjena materijala trupa puta nastalih za vrijeme smrzavanja i otapanja uglavnom zavisi od karakterističnih događaja u navedenim procesima. Procesi smrzavanja i otapanja uglavnom zavise od:

- karakteristika materijala, i
- lokalnih klimatskih i hidroloških uslova.

Uticaj karakteristika materijala je detaljno objašnjen u poglavlju 5. Uticaj lokalnih klimatskih i hidroloških uslova smrzavanja i otapanja predstavlja osnovni pojam za definisanje dimenzija kolovozne konstrukcije.

2.2.4.1 Klimatski uslovi

2.2.4.1.1 Opšte

Prilikom procjenjivanja opasnosti od promjene karakteristika izvedene kolovozne konstrukcije ili materijala trupa puta usljed smrzavanja i otapanja, potrebno je razmotriti najnepovoljnije predvidljive lokalne uslove, tj:

- dugotrajni mraz i sporo prodiranje izoterme 0°C u materijal, i
- brzo otapanje.

Moguće je procijeniti da opasnosti od štetnih promjena usljed smrzavanja i otapanja neće biti u sljedećim slučajevima:

- u toku kratkog perioda smrzavanja (takođe pri jakim mrazovima), kada izoterma 0°C prodiere samo u slojeve materijala koji su otporni na mraz, i
- u toku kratkog perioda otapanja (južni vjetar).

Dubina prodiranja mraza u trup puta zavisi od termičkih svojstava materijala, naročito od njihove kompaktnosti i sadržaja vlage.

Ukoliko je sadržaj vlage u materijalima donjeg nosećeg stroja uglavnom nizak, mraz relativno brzo prodiere u takve materijale. U sitnozrne materijale koji sadrže veću količinu vode, mraz prodiere sporije. To znači, da kada se debljina kolovozne konstrukcije poveća u cilju zaštite od promjene svojstava materijala, koji nisu otporni na mraz, djelomično se izaziva dublje prodiranje mraza, koje prouzrokuje smrzavanje.

Određivanje klimatskih uslova

Klimatske uslove u određenoj okolini možemo odrediti na osnovu

- dubine prodiranje mraza h_m , ili
- indeksa mraza I_m .

Obe vrijednosti moguće je odrediti pomoću odgovarajućih načina mjerenja.

2.2.4.1.2 Dubina mraza h_m

U cilju mjerenja dubine prodiranja mraza moguće je usvojiti sljedeće metode:

- sandom sa mjernim epruvetama,
- sandom sa indikatorom dubine mraza, i
- električnom sandom.

Sredstvo za mjerenje temperature u području tačke smrzavanja ili iza navedenog područja se postavlja u odgovarajuću cijev, a kasnije se postavlja u vertikalnu bušotinu koja se nalazi u trupu puta.

U osnovi, mjerenja dubine prodiranja mraza su predviđena za praćenje temperature u kolovoznim konstrukcijama puta.

Na osnovu utvrđenih maksimalnih dubina prodiranja mraza u tipičnim područjima (u prilogu 1) je karta o informativnim dubinama prodiranja mraza, na osnovu koje je moguća jednostavna i brza informativna procjena dubine prodiranja mraza u određenoj okolini.

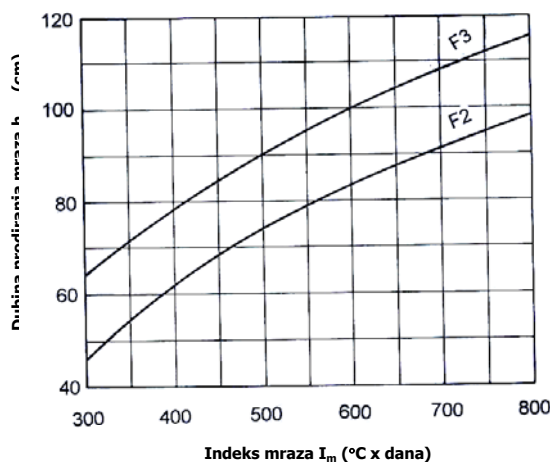
2.2.4.1.3 Indeks mraza I_m

Indeks mraza se određuje na osnovu apsolutne razlike između najviše i najniže tačke integrisane krivulje srednjih (negativnih) temperatura vazduha ($^{\circ}\text{C} \times \text{dana}$). Predstavlja intenzitet i uticaj niskih temperatura u određenoj sredini.

Određivanje srednje dnevne temperature vazduha se zasniva na načinu koji koriste hidro-meteorološke službe (prosjeak temperatura mjerenih u 7 časova prije podne, 2 časa poslije podne i 9 časova poslije podne, na visini od 1.2 m iznad tla). Integrisana krivulja srednjih dnevnih temperatura se povećava ukoliko su vrijednosti temperature pozitivne, i počinje da se smanjuje ukoliko se vrijednosti temperature spuste ispod 0°C . U slučaju da se u toku perioda smrzavanja javi prolazno upozorenje, koje ne prouzrokuje otapanje materijala u cjelini, ukupna razlika između najviše i najniže tačke na integrisanoj krivulji smatra se vrijednošću projektovanog indeksa mraza.

Za projektovanje kolovozne konstrukcije puta, kao i za određivanje mjera za zaštitu kolovozne konstrukcije od nepovoljnih uticaja smrzavanja i otapanja, potrebno je izvršiti procjenu projektovanog indeksa mraza za cjelokupan projektovani vijek trajanja. Prema pravilu, navedena vrijednost predstavlja srednju vrijednost indeksa mraza u tri najhladnije zime u odabranom nizu godina.

Uticaj indeksa mraza I_m na procjenu potrebne zaštite materijala F2 i F3 koji su podložni smrzavanju se određuje indirektno na osnovu dubine prodiranja mraza h_m (dijagram 1).



Dijagram 1: Zavisnost prodiranja mraza u materijale F2 i F3 od indeksa mraza

2.2.4.2 Hidrološki uslovi

Hidrološki uslovi u određenoj sredini su neophodni za procjenu osjetljivosti kolovozne konstrukcije i materijala u njenom sastavu na smrzavanje, kao i za određivanje mjera za sprečavanje nastanka štete.

Hidrološki uslovi se određuju na osnovu sljedećeg:

- nivoa podzemne vode,
- dubine prodiranja mraza, i
- osjetljivosti materijala na smrzavanje.

Na osnovu navedenih faktora hidrološke uslove dijelimo na

- povoljne, i
- nepovoljne.

Hidrološki uslovi su povoljni, ukoliko:

- visina nasipa puta iznosi najmanje 1.5 m,
- je nivo podzemne vode stalno ispod dubine prodiranja mraza h_m ,
- je obezbjeđeno dobro odvodnjavanje plitkog usjeka,
- je bočni ulazak vode u trup puta (iz vodenih tokova) ili sa površine spriječen iznad nivoa podzemne vode.

Hidrološki uslovi su nepovoljni, ukoliko:

- je visina nasipa puta manja od 1.5 m,
- je nivo podzemne vode u području dubine prodiranja mraza h_m ,
- nije obezbjeđeno dobro odvodnjavanje plitkog usjeka,
- je usjek dubok,
- je omogućeno podizanje nivoa podzemne vode ili bočno ulijevanje vode kao i ulazak vode sa površine.

U slučaju da su upotrebljeni sitnozrni materijali, koji su uglavnom osjetljiviji na smrzavanje, podizanje nivoa podzemne vode može biti veoma značajno. Stoga je, u većini slučajeva, potrebno razmotriti nepovoljne hidrološke uslove, bez obzira na činjenicu da se nivo podzemnih voda nalazi nekoliko metara ispod posteljice.

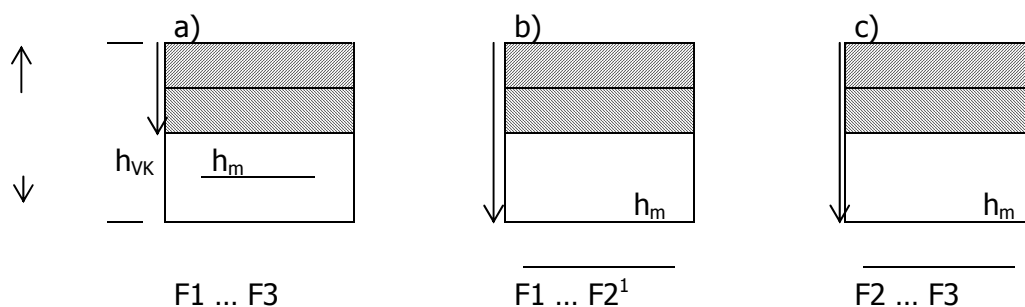
2.2.4.3 Faktori koji utiču na projekat

Rizik od pojave oštećenja na putu usljed smrzavanja i otapanja zavisi od sljedećih faktora:

- dubine prodiranja mraza h_m (stavka 4.1),
- hidroloških uslova, (stavka 4.2),
- osjetljivosti materijala na smrzavanje, koja je određena razredima u stavci 5.1,
- debljine kolovozne konstrukcije, koja je otporna na smrzavanje.

Mjere za sprečavanje negativnih uticaja smrzavanja i otapanje su potrebne i relevantne za materijale koji su klasifikovani u razrede F2 i F3, kada dubina mraza dosegne do navedenih materijala, te je u obzir potrebno uzeti nepovoljne hidrološke uslove (Crtež 1c).

Pod svim ostalim uslovima (Crtež 1a i Crtež 1b), otpornost kolovozne konstrukcije na zamor je relevantna za projekat.



Legenda: h_{VK} - debljina kolovozne konstrukcije h_m - projektovana dubina prodiranja mraza $F1 \dots F3$ - osjetljivost materijala na smrzavanje¹ - materijali klasifikovani u $F1$, ukoliko je ispunjen uslov naveden u dijagramu 2**Crtež 1: Vrste mjera za sprečavanje negativnih uticaja smrzavanja**

Kako bi se kolovozna konstrukcija puta zaštitila od štetnih uticaja smrzavanja ili od oštećenja, potrebno je da bude izvedena od otpornih materijala na određenoj dubini. Iskustva stečena na putevima na kojima su velika saobraćajna opterećenja, gdje nisu zabilježena nikakva oštećenja usljed smrzavanja i otapanja, su pokazala da minimalna potrebna debljina kolovozne konstrukcije h_{min} (tj. debljina otpornih materijala) nije jednaka mjerenoj maksimalnoj dubini prodiranja mraza h_m , ali da je, prema pravilu, dovoljna manja ukupna dubina h_{min} slojeva materijala otpornih na mraz. Na osnovu toga pripremljena je Tabela 1.

Tabela 1: Minimalna potrebna debljina kolovozne konstrukcije h_{min}

Otpornost materijala ispod kolovozne konstrukcije na uticaje smrzavanja i otapanja	Hidrološki uslovi	Debljina kolovozne konstrukcije h_{min}
otporan	povoljni	$\geq 0.6 h_m$
	nepovoljni	$\geq 0.7 h_m$
neotporan	povoljni	$\geq 0.7 h_m$
	nepovoljni	$\geq 0.8 h_m$

2.2.5 Smrzavanje i otapanje**2.2.5.1 Osnovna karakteristike smrzavanja i otapanja****2.2.5.1.1 Smrzavanje vode**

Na oko 0° C voda prelazi iz tečnog stanja u kristalnu strukturu, čija se zapremina povećava za oko 10 %, a čija se gustina smanjuje za oko 9 %. U toku procesa smrzavanja oslobađa se toplotna energija od oko 335 kJ/kg.

Ukoliko u vodi nema nukleusa kristalizacije, ili ukoliko voda sadrži hemijske rastvore, ili ukoliko je voda pod pritiskom, tačka smrzavanja može da bude na nižoj temperaturi.

S obzirom da čista voda ne sadrži nukleuse kristalizacije, može doći do znatnog hlađenja vode bez stvaranja leda.

2.2.5.1.2 Smrzavanje vlažnog materijala

S obzirom da se čista voda u materijalu smrzava, kristali leda rastu i tako mijenjaju prirodnu ravnotežu vode u zavisnosti od granulometrijskog sastava i mineraloških svojstava materijala. Usljed smanjenja sadržaja nesmrznute vode u materijalu, javlja se određen negativni pritisak (napon zatezanja), koji prouzrokuje dotok vode, naročito iz zone ispod izoterme 0°C tj. dubine mraza. Ova voda, po dolasku u područje mraza, povećava količinu leda u vidu ledenih sočiva i slojeva, koji iskopavaju i podižu smrznuti materijal. Na taj način dolazi do podizanja kolovoza pod dejstvom mraza.

Povećanje količine leda (ledenih sočiva) u materijalu zavisi od sljedećeg:

- sadržaja vode,
- promjera i sadržaja sitnih zrna,
- vodopropunosti materijala,

- trajanja smrzavanja, i
- oštine mraza.

Indirektno, zavisi od negativnog pritiska koji se javlja.

Na osnovu gore navedenih razmatranja moguće je zaključiti da dobro propustljivi krupnozrni materijali i zemljani materijali, npr. glina nisu osjetljivi na smrzavanje, jer onemogućavaju ulazak čiste vode u područje smrzavanja. Povećanjem sadržaja sitnih zrna (prašinski pijesak, prašina), opasnost od pojave prevelikih količina leda u materijalu postaje znatno veća.

Ukoliko se voda smrzne u kohezivnim materijalima i vlažnom kamenju, zapremina se povećava, i javlja se fenomen koji je sličan onom koji se javlja prilikom miniranja, ukoliko jačina veze ne izdrži pritisak kristalizacije. Međutim, takav fenomen se javlja samo pri temperaturama koje su znatno ispod 0°C , jer se tačka smrzavanja vode spušta usljed povećanog pritiska.

2.2.5.1.3 Linija prodora mraza

U toku perioda smrzavanja mraz prodire u materijal. Što je mraz jači i što duže djeluje, to je brže i dublje njegovo prodiranje.

Informativna dubina granice prodiranja mraza je proporcionalna kvadratnom korjenu vremena prodiranja.

2.2.5.1.4 Otapanje

Led, koji se u trupu puta stvorio za vrijeme perioda smrzavanja, počinje da se topi kada na njega počne da djeluje toplota

- odozgo usljed zagrijavanja, i
- odozdo od Zemlje.

Otapanjem povećanih količina leda, tj. ledenih sočiva ili slojeva, plastična svojstva i konzistencija materijala (tla), koji su smrzavanjem oslabili, počinju da se mijenjaju. Pod određenim okolnostima materijal može da postane rjeđi ili čak tečan, te se tada njegova nosivost znatno mijenja.

Otapanje vlažnih materijala odozgo je često brže nego odozdo, tako se otopljeni materijal zajedno sa vodom i dalje nalazi na još uvijek smrznutoj podlozi, što sprečava njegovu odvodnju. U takvim slučajevima, rijedak ili tečan materijal može kroz pukotine prodrijeti na površinu kolovoza.

Samo ukoliko je omogućeno odvođenje vode prema dole, moguća je odvodnja velikih količina vode, te materijal može postepeno povratiti svoja prvobitna svojstva.

2.2.5.2 Oštećenje usljed smrzavanja i otapanja

2.2.5.2.1 Opšti uslovi u kojima se mogu javiti oštećenja

Oštećenja kolovozne konstrukcije se mogu javiti u sljedećim okolnostima:

- veoma jak i dugotrajan mraz,
- osjetljivost materijala kolovozne konstrukcije, koji je postavljen u zoni prodiranja mraza, na smrzavanje,
- voda može da uđe u kolovoznu konstrukciju do linije prodiranja mraza,
- saobraćajno opterećenje,
- nedovoljna nosivost kolovozne konstrukcije.

Prema pravilu, do oštećenja kolovozne konstrukcije može doći samo ukoliko se realizuju svi gore navedeni faktori. Zaštitne mjere od oštećenja nastalih smrzavanjem i otapanjem su uglavnom predviđene samo za jedan od navedenih uslova.

Različitim ispitivanjima je dokazano da se usljed smrzavanja ne javljaju nikakva ili neznatna oštećenja, ukoliko

- mraz ne doseže ispod donjeg ruba kolovozne konstrukcije koja je otporna na mraz,
- iznenada jave oštri mrazovi, te nema dovoljno vremena za akumulaciju leda u području osjetljivih materijala; oštećenja se mogu javiti jedino usljed stvrdnjavanja i skupljanja asfaltne mješavine (stvaranje pukotina).

Manja oštećenja usljed smrzavanja mogu se javiti, ukoliko se smrzavanje odvija brzo, te ukoliko je mraz dugotrajan i prodire duboko; sloj leda je obično tako dubok da, izuzev što utiče na stvaranje širokih izdignutih dijelova kolovoza, ne utiče negativno na kolovoznu površinu.

Veća oštećenja kolovozne konstrukcije se javljaju ukoliko mraz prodire samo malo ispod kolovozne konstrukcije, tj. u materijal koji je osjetljiv na mraz, te se duže zadržava i stvara znatno nagomilavanje leda direktno ispod kolovozne konstrukcije.

2.2.5.2.2 Pojava oštećenja

Razarajući uticaji vode prilikom smrzavanja mogu da unište veze između materijala. Međutim, takve promjene su prema pravilu, manjeg obima i bez značajnijeg uticaja na stanje puta.

Preovlađujuća oštećenja puteva usljed smrzavanja javljaju se usljed nejednakog izdizanja kolovoza koje se javlja usljed povećane količine vode ili leda, uglavnom u osnovi.

Nejednako izdizanje kolovoza uglavnom se javlja ukoliko mraz prodire duž ruba puta na manjoj dubini nego na sredini puta. To je slučaj, ukoliko

- je provodljivost toplote uglavnom obraslog gornjeg sloja niža od provodljivosti kolovozne konstrukcije, ili
- je prodiranje mraza u osjetljivo zemljište drugačije usljed nagomilavanja snijega na rubovima kolovoza.

Nejednako ili raznovrsno izdizanje kolovoza može se takođe javiti kao posljedica lokalno različitih kolovoznih konstrukcija, ili usljed različitog dotoka vode u područje mraza.

Izdizanje kolvoza prouzrokuje ispučćenost na površini kolovoza; kod asfaltnih kolovoza navedene ispučćenosti stvaraju otvorene uzdužne pukotine; kod čvrstih cementno-betonskih zastora navedena ispučćenost stvara manje ili više nejednako podizanje ploča (stvaranje stepenica). Ova nejednakost takođe utiče na upotrebljivost kolovoza.

Smanjena nosivost kolovozne konstrukcije za vrijeme otapanja može da prouzrokuje deformacije i njeno pucanje usljed saobraćajnog opterećenja. Pukotine mogu biti u vidu sitne mreže, koja se naziva krokodilskom kožom, ili u vidu većih blokova, koji označavaju početak uništenja kolovozne konstrukcije.

Mogu da proteknu dani ili čak sedmice do uspostavljanja prvobitnog stanja nosivosti.

Kolovozna konstrukcija takođe može biti uništena, ukoliko je relativno tanak asfaltni zastor, koji je postavljen na podlogu slabije nosivosti, izložen prolaznom uticaju oštrog mraza. Usljed stvrdnjavanja bitumenskog veziva, do čega dolazi usljed niske temperature i termički izazvanih napona, kolovozni zastor (kora) može da pukne i rasprši se u komade usljed mehaničkog opterećenja.

2.2.5.2.3 Uticaj osjetljivosti materijala na smrzavanje

Za materijal možemo reći da je osjetljiv na smrzavanje, ukoliko se u njemu, usljed djelovanja mraza, pojave ledena sočiva ili slojevi, koji su manje ili više uporedni sa linijom mraza, i koji prouzrokuju pojavu izdizanja kolovoza; materijal takođe smatramo osjetljivim na smrzavanje ukoliko je njegova nosivost smanjena otapanjem.

Osjetljivost materijala na smrzavanje zavisi od:

- granulometrijskog sastava,
- oblika zrna,
- kompaktnosti,
- vrsta minerala u sitnozrnim grupama, i

- mineraloško-hemijskih svojstava.

Na osnovu kriterijuma za granulometrijski sastav i mineraloškog kriterijuma, materijali koji se upotrebljavaju za izgradnju puteva mogu se razvrstati u tri razreda prema njihovoj osjetljivosti na smrzavanje (Tabela 2).

Na osnovu koeficienta neravnomernosti oblika granulometrijske krivulje materijala $U = d_{60}/d_{10}$, kao i sadržaja sitnih čestica (do 0.063 mm), izvedeno je detaljnije definisanje razreda osjetljivosti materijala F1 i F2 (Dijagram 2).

U skladu sa kategorizacijom materijala, koja je predstavljena u Tabeli 1, svi krupno-zrni agregati, koji sadrže do 5 % mase zrna do 0.063 mm nisu osjetljivi na smrzavanje.

Miješani agregati, koji sadrže do 15 % mase sitnih čestica nisu osjetljivi ili su samo neznatno osjetljivi na mraz, ukoliko koeficient neravnomernosti oblika granulometrijske krivulje iznosi do $U = d_{60}/d_{10} \leq 6$.

Ukoliko koeficient U iznosi 6 do 15, dozvoljeni sadržaj sitnih čestica u materijalu treba da se linearno interpolira između 15 % mase i 5 % mase. Ukoliko miješani materijali ne ispunjavaju ovaj kriterijum potrebno ih je klasifikovati u razred materijala koji su osjetljivi na mraz F2.

Tabela 2: Kategorizacija materijala (agregata) na osnovu njihove osjetljivost na smrzavanje

Razred	Osjetljivost	Sadržaj zrna do 0.063 mm % mase	Kategorizacija ¹
F1	neosjetljiv	< 5	GW, GP SW, SP
F2	malo do srednje osjetljiv	5 ... 15	GC ² , GM ² SC ² , SM ² CL, CH
F3	veoma osjetljiv	> 15	SM – ML ML, MH CL - ML

Legenda:

¹ - Kategorizacija u skladu sa DIN 18 196 i USCS

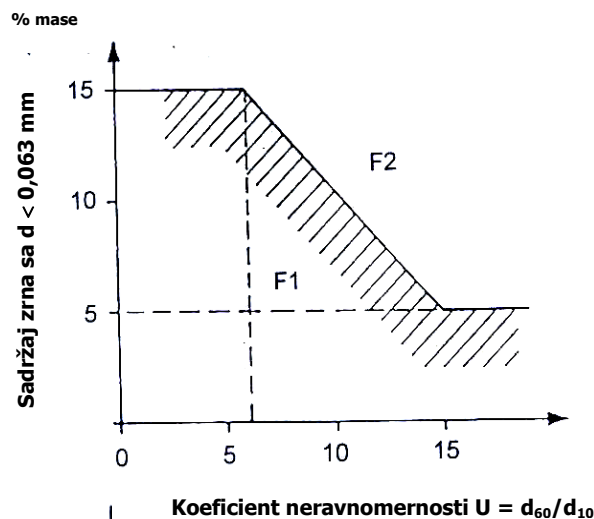
G – šljunak

S – pijesak

M – prašina

C – glina

² - Klasifikovan u F1, ukoliko je primjenjen uslov koji je naveden u Dijagramu 2



Dijagram 2: Određivanje razreda osjetljivosti F1 i F2 u zavisnosti od koeficienta U, i sadržaja sitnih čestica

Osjetljivost miješanih i sitno-zrnih agregata na smrzavanje proizilazi iz složenog simultanog djelovanja:

- stvaranje negativnog pritiska pri smrzavanju vode na granici leda - vode,
- primjese različitih minerala gline,
- vodopropusnost materijala u vezi sa stopom kompaktnosti,
- pokretljivost vode,
- plastičnost sitnih čestica i
- uslovi sedimentacije materijala (prirodna, ili uništena iskopavanjem i ugradnjom).

Stoga su potrebna sveobuhvatna laboratorijska ispitivanja, kako bi se upoznali sa osjetljivošću lokalnih materijala na smrzavanje, tj:

- CBR vrijednosti nakon smrzavanja i otapanja (CBR_3), i u posebnim slučajevima takođe
- izdizanje usljed dejstva mraza na uzorcima materijala sa različitim sadržajem vode.

Na osnovu rezultata dobijenih mjerenjima, u skladu sa metodom CBR_3 (poslije smrzavanja i otapanja), materijale je moguće klasifikovati u razrede osjetljivosti na smrzavanje, kako je navedeno u Tabeli 3.

Tabela 3: Kategorizacija materijala prema osjetljivosti na smrzavanje na osnovu CBR_3 vrijednosti

	Razred osjetljivosti materijala		
	F1	F2	F3
CBR_3 vrijednost	> 30 %	8 .. 30 %	< 8 %

2.2.5.2.4 Uticaj vode

Oštećenja usljed smrzavanja se javljaju usljed neprekidnog djelovanja mraza i vode. Stoga je, sama voda, kao i njeno doticanje i isticanje veoma značajno za kolovozne konstrukcije.

U cilju očuvanja nosivosti materijala i sprečavanje oštećenja materijala koji su osjetljivi na smrzavanje, iste je potrebno zaštititi od prodora vode, te je potrebno što bolje izvesti njihovu drenažu. Ovo se primjenjuje na sve metode građenja koji se izvode na podlozi

koja je osjetljiva na smrzavanje.

U zavisnosti od izvora vode, potrebno je razlikovati uticaj površinske vode, uticaj vode koja prodire bočno, te udicaj podzemne vode.

Kroz nezaštićenu bankinu i razdjelni pojas, atmosferske vode mogu da prodiru u kolovoznu konstrukciju i osnovu (donji stroj, nasip, posteljica).

Vodu koja prodire bočno moguće je potpuno uspješno odvesti samo pomoću efikasne duboke drenaže.

Međusobna zavisnost udaljenosti između linije prodiranja mraza i podzemne vode i oštećenja nastalog usljed smrzavanja je veoma složena. Podzemnu vodu je moguće podići kao vezanu podzemnu vodu veoma visoko u kohezivno tlo veoma slabe propusnosti. Stoga, pošto je propusnost tla veoma mala, količina podignute vezane podzemne vode je više ili manje ograničena, te je stoga smanjena opasnost od nastajanja oštećenja.

Uticaj vode možemo smatrati znatnim ukoliko je nivo podzemne vode stalno ili periodično manje od 2 m ispod površine posteljice u periodu smrzavanja. Međutim, uticaj vode nije moguće u potpunosti isključiti čak i u slučaju kada je nivo podzemne vode dublji. Samo mala količina vode (vlage) u materijalu podloge je dovoljna da prouzrokuje koncentrisanje vode u vidu sloja leda.

2.2.5.2.5 Uticaj saobraćaja

U toku smrzavanja povećava se nosivost materijala. Usljed toga nema direktne opasnosti od oštećenja usljed saobraćajnog opterećenja.

U toku otapanja, saobraćajno opterećenje može da prouzrokuje oštećenje kolovoza nedovoljne nosivosti. U takvim okolnostima veoma je značajno osovinsko opterećenje vozila, dok je gustina saobraćaja od manjeg značaja.

2.2.5.3 Mjere za sprečavanje oštećenja

Put mora biti zaštićen od oštećenja prouzrokovanih smrzavanjem ili otapanjem, ukoliko su istovremeno prisutna sljedeća dva uslova:

- osjetljivost materijala na smrzavanje (F2, F3)
- slobodna kapilarna voda, ili voda vezana apsorpcijom dotiče u područje smrzavanja, te je njena količina dovoljna za stvaranje leda.

Zaštitne mjere je potrebno planirati tako da je moguće isključiti jedan od dva gore navedena uslova.

2.2.5.3.1 Smanjenje uticaja mraza

Uticaj mraza je moguće umanjiti ukoliko se snijeg zadržao na kolovozu, te ukoliko se umjesto soli za sprečavanje stvaranja poledice upotrebljavaju mineralni materijali za posipanje. Međutim, to je izvodljivo samo na putevima nižih kategorija (sa relativno niskim intenzitetom saobraćaja), uz uslov da saobraćajna bezbjednost nije ugrožena.

2.2.5.3.2 Odvodnjavanje

Efikasno odvodnjavanje površine kolovoza, kolovozne konstrukcije, donjeg stroja, nasipa i posteljice mora uvijek biti omogućeno. U cilju efikasnog odvodnjavanja potrebno je redovno održavati instalacije i sredstva za odvodnju.

Oštećenja nastala smrzavanjem moguće je smanjiti ili čak ukloniti redovnim održavanjem puta. Nažalost, ovu mjeru nije moguće primijeniti za sve izvore oštećenja.

Za materijale koji su manje osjetljivi na smrzavanje, poprečni nagib posteljice treba da iznosi najmanje 2.5 %, dok kod osjetljivijih materijala (kohezivno tlo), poprečni nagib treba minimalno da iznosi 4 %. Što je hidraulički pad veći to je potrebno kraće vrijeme za odvodnju.

Ukoliko kolovozna konstrukcija nije vodonepropusna, atmosferske vode mogu da prodru u podlogu i tako ubrzaju stvaranje oštećenja usljed smrzavanja. Odgovarajuća hidroizolacija takođe može da bude moguća mjera za održavanje.

2.2.5.3.3 Kolovozna konstrukcija

Prilikom izvođenja kolovozne konstrukcije posebnu pažnju je potrebno obratiti na kvalitet mineralnih agregata koji se upotrebljavaju za izradu donjeg nosećeg stroja, u skladu sa važećim tehničkim propisima.

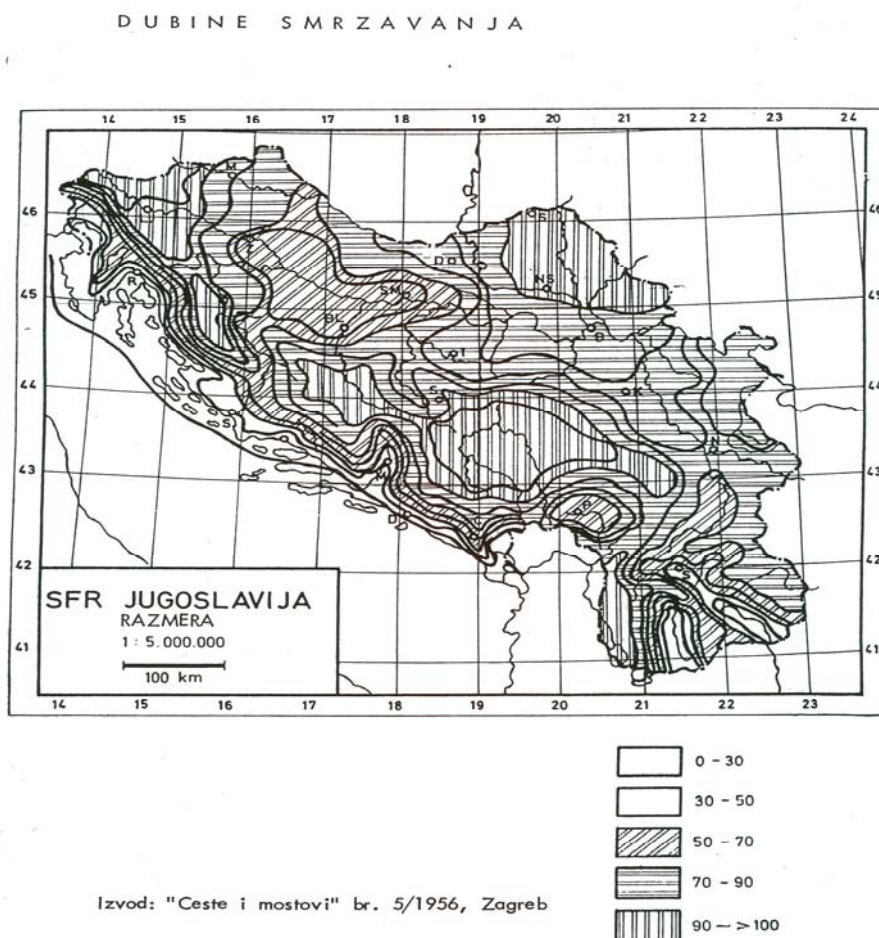
Kapacitet apsorpcije vode nevezanog agregata veličina zrna preko 4 mm mora biti $\leq 0,5$ % mase.

Ukoliko materijal kolovozne konstrukcije nije dovoljno otporan na smrzavanje i otapanje, tako da je dio ili cjelokupnu kolovoznu konstrukciju potrebno zamijeniti materijalima koji nisu osjetljivi na smrzavanje i otapanje, smatra se da je provodljivost toplote ovih drugih veća od provodljivosti postojećih materijala koji su osjetljivi na smrzavanje. To znači da se nakon promjene materijala dubina mraza znatno povećala, što je naročito potrebno uzeti u obzir kod stabilnih konstrukcija/objekata.

2.2.5.3.4 Ograničenje saobraćajnog opterećenja

Puteve na kojima su materijali koji nisu otporni na smrzavanje postavljeni u područje prodiranja mraza, iz ekonomskih ili bilo kojih drugih razloga, moguće je znatno zaštititi od oštećenja prouzrokovanih smrzavanjem i otapanjem, tako što će se ograničiti osovinsko opterećenje vozila, ili potpuno zatvoriti put za saobraćaj. Trajanje navedenih ograničenja zavisi od toka otapanja, opsega omekšavanja osnove i stanja sredstava za odvodnju. Neophodne podatke o promjeni nosivosti koja se povremeno javlja, moguće je dobiti na osnovu usklađenih mjerenja deformacija pomoću Benkelman-ove grede; u toku otapanja navedena mjerenja je potrebno izvoditi svakodnevno.

Prilog 1



2.3 KARAKTERISTIKE MATERIALA ZA KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE

2.3.1 Predmet smjernica

Smjernica obezbjeđuje osnove za mjerenje modula deformacije, kao i za procjenjivanje rezultata mjerenja.

Svrha mjerenja modula deformacije je određivanje toka i obima slijeganja površine ugrađenog sloja koji se sastoji od zrnastog materijala. Karakteristike slijeganja (elastična i plastična komponenta) omogućavaju procjenu nosivosti, kao i provjeru nabijenosti i stišljivosti ugrađenog materijala.

U postupku izgradnje puta, mjerenje modula deformacije predstavlja sastavni dio kontrole kvaliteta izvedenih zemljanih radova i donjeg nosivog sloja kolovozne konstrukcije; sami moduli deformacije predstavljaju jednu od osnova za određivanje potrebnih dimenzija kolovoznih konstrukcija.

U zavisnosti od namjene u koju će se upotrebljavati i načina mjerenja, prilikom izgradnje puta potrebno je izmjeriti sljedeće količine:

- statičke module deformacije E_{vs} ,
- dinamičke module deformacije E_{vd} ,
- module stišljivosti i sabijenosti M_E ,
- module reakcije posteljice k_s , i
- CBR vrijednosti

2.3.2 Referentna dokumentacija

Smjernice se zasnivaju na sljedećoj tehničkoj referentnoj dokumentaciji:

BAST – Empfehlungen (E 1), Ausführung von Plattendruckversuchen, BAST, Köln, 1968 (*BAST – Recommendations (E 1), Execution of Plate Bearing Tests, BAST, Cologne, 1968*)

BAST – Empfehlungen (E 4), Ausführung von Plattendruckgeräten, BAST, Köln, 1969 (*BAST – Recommendations (E 4), Performance of Plate Bearing Testing Devices, BAST, Cologne, 1969*)

BAST – Empfehlungen (E 8), Plattendruckversuch mit Hilfe des Benkelman – Balkens für die Erdbaukontrolle (Ein-Uhr-Messverfahren), BAST, Köln, 1970 (*BAST – Recommendations (E 8), Plate Bearing Test by Means of Benkelman Beam for Earth Works Quality Control, BAST, Cologne, 1970*)

DIN 18 134: 1993 Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte, Plattendruckversuch (*DIN 18 134: 1993 Foundation Soil, Tests and Testing Devices, Plate Bearing Test*)

Siedeck P in R. Voss, **Die Bodenprüfverfahren bei Strassenbauten**, BAST, Werner-Verlag, Düsseldorf, 1966 (*Soil Testing Methods in Road Construction, BAST, Werner-Verlag, Düsseldorf, 1966*)

SNV 670 316: 1975 Versuche, CBR-Penetrometer, Feldversuch (*Testing, CBR Penetrometer, In Place Test*)

SNV 670 318: 1980 Versuche, Schneller M_E – Versuch (*Testing, Fast M_E – Test*)

SNV 70 312: 1959 Versuche, VSS-Gerät (M_E und CBR) (*Tests, VSS-Device (M_E and CBR)*)

SNV 70 317: 1959 Versuche, Plattenversuch (*Testing, Plate Bearing Test*)

SNV 70 319: 1972 Versuche, Plattenversuch nach Westergaard (*Testing, Westergaard Plate Test*)

TP BF-StB: 1992 B 8.3, Boden /Fels, Prüfung, Dynamischer Plattendruckversuch mit Hilfe des Leichten Fallgewichtsgerätes (*Soil/Rock, Testing, Dynamical Plate Bearing Test by Means of Light Falling Weight Device*)

Smjernice obuhvataju odredbe drugih publikacija, preko datiranih ili nedatiranih referenci. Ukoliko se radi o datiranim referencama, naknadne dopune ili izmjene je potrebno uzeti u obzir, ukoliko su obuhvaćene dodatkom ili revizijom. Ukoliko se radi o nedatiranim referencama, važeće je posljednje izdanje referentne publikacije.

2.3.3 Objašnjenje pojmova

Tehnički pojmovi upotrebljeni u ovim smjernicama imaju sljedeće značenje:

Dinamički deformacijski modul E_{vd} (dynamic modulus of deformation, dynamischer Verformungsmodul) je karakteristična vrijednost za deformabilnost materijala kod definisanog sunkovitog opterećenja kružne ploče s padajućim lakim utegom, određena na osnovu izmjerene amplitude "s" ulegnuća ploče.

Ispitivanje s pločom (plate bearing test, Plattendruckversuch) je postupak probe, kod koga je materijal sa kružnom pločom i odgovarajućom dodatnom opremom opterećen i rasterećen; prosječna opterećenja ploče »p« i pripadajuća ulegnuća »s« određuju krivulju slijeganja (deformacije).

Modul reakcije tla k_s (modulus of subgrade reaction k_s , Bettungsmodul k_s) je karakteristična vrijednost za deformabilnost tla kod određenog opterećenja kružne ploče, određena na osnovu nastalog slijeganja

Modul stišljivosti M_E (modulus of compressibility M_E , Zusammen-drückungsmodul M_E) je karakteristična vrijednost za deformabilnost materijala kod postupnog jednokratnog opterećavanja kružne ploče, određena na osnovu nagiba sekante krivulje slijeganja u određenom području opterećenja.

Nosivost (bearing capacity, Tragfähigkeit) označava mehaničku otpornost planuma ugrađenog materijala protiv (kratkotrajnih) opterećenja.

Statički deformacijski modul E_{vs} (static modulus of deformation E_{vs} , statischer Verformungs-modul E_{vs}) je karakteristična vrijednost za deformabilnost materijala kod postupnog višekratnog opterećenja kružne ploče, određena na osnovu nagiba sekante krivulje slijeganja u određenom području prvog, drugog ili trećeg opterećenja

Stepen zbijenosti (compaction degree, Verdichtungsgrad) je odnos između izmerjene (suhe) gustoće i najveće (suhe) gustoće materijala, određen odgovarajućim postupkom (npr. prema Proctor-u), izražen u %.

Vrijednost CBR (California Bearing Ratio, CBR-Wert) je karakteristična vrijednost deformabilnosti materijala pri slijeganju pritisnutog cilindra, određena na osnovu opterećenja, koje prouzrokuje unaprijed određeno slegnuće.

2.3.4 Osnove mjerenja

2.3.4.1 Fizičke osnove

2.3.4.1.1 Opšte

Kod homogenog elastičnog izotropskog temeljnog tla, slijeganje **s** ispod kružne ploče se definiše sljedećom jednačinom:

$$s = \frac{\pi}{2} \cdot \left(1 - \mu^2\right) \cdot \frac{p \cdot r}{E}$$

gdje je:

μ – Poisson-ov omjer ($\mu = 0.5$)

p – ravnomerno vertikalno opterećenje (normalni napon σ)

r – radijus kružne ploče

E – modul elastičnosti materijala

Modul elastičnosti materijala E u homogenom temeljnom tlu se, u odnosu na modul deformacije E_v , definiše na osnovu sljedeće jednačine:

$$E = \frac{\pi}{3} \cdot (1 - \mu^2) \cdot E_V$$

Na ovaj način jednačina za modul defomacije E_V dobija svoj osnovni oblik, koji glasi:

$$E_V = \frac{3}{2} \cdot \frac{p \cdot r}{s} = 0,75 \frac{p}{s} \cdot D$$

gdje je:

D – prečnik kružne ploče

2.3.4.1.2 Osnovne metode mjerenja

Kada je riječ o osnovnim metodama, jednačine za određivanje karakterističnih vrijednosti deformacije ugrađenih materijala se usvajaju direktno ili se vrši izmjena osnovnih oblika:

- za statički modul deformacije E_{vs} :

$$E_{vs} = 0,75 \frac{\Delta \sigma}{\Delta s} \cdot D \quad \left[MN / m^2 \right]$$

gdje je:

$\Delta \sigma$ – razlika između dva predviđena nivoa vertikalnog opterećenja ($= \Delta p$) $[MN/m^2]$

Δs – razlika između dva slijeganja kružne ploče pri promjeni specifičnog opterećenja za Δp $[mm]$

D – prečnik kružne ploče $[mm]$

- za dinamički modul deformacije E_{vd} :

$$E_{vd} = 1,5 \cdot r \cdot \frac{\sigma}{s} \quad \left[MN / m^2 \right]$$

gdje je:

σ – normalan napon ispod ploče koja je opterećena maksimalnom silom F_s :

$$\sigma = \frac{F_s}{\pi \cdot r^2} \quad \left[MN / m^2 \right]$$

- za modul stišljivosti M_E :

$$M_E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta s} \cdot D \quad \left[MN / m^2 \right]$$

- za modul reakcije posteljice k_s :

$$k_s = \frac{\sigma_o}{s} \quad \left[MN / m^3 \right]$$

- za CBR vrijednost:

$$CBR = \frac{\sigma}{\sigma_s} \cdot 100 \quad [\%]$$

gdje je:

σ – opterećenje za standardno utiskivanje malja u materijal koji se ispituje

σ_s – opterećenje za normirano utiskivanje malja u standardni materijal (kameni sitnež)

2.3.4.2 Oprema

Mjerna oprema za određivanje slijeganja osnove pomoću kružne ploče sastoji se od sljedeće tri osnovne komponente:

- opreme za mehaničko opterećenje, tj.:
- kruta kružna ploča, i
- naprave za opterećenje,
- opreme za mjerenje slijeganja, i

- opreme za procjenjivanje i izvođenje mjerenja.

Pored gore navedene opreme, za sva mjerenja koja se izvode kružnom pločom neophodan je odgovarajući kontrateg, izuzev za određivanje dinamičkog modula deformacije.

2.3.4.2.1 Opšte

Kruta ploča nosivosti mora biti izrađena od čelika Č 0562.

Dimenzije ploče zavise od načina mjerenja slijeganja. Dozvoljena tolerancija dimenzija ploče ne smije preći 1 %.

Donja (nosiva) površina krute kružne ploče mora biti ravna i glatka. Srednja hrapavost površine ne smije biti veća od $6.3 \mu\text{m}$.

Na gornju stranu ploče potrebno je postaviti libelu. Libela mora imati takvu konstrukciju da je istu moguće horizontalno postaviti na površinu ploče pod nagibom do 7° .

Na ploču moraju biti pričvršćene dvije ručke.

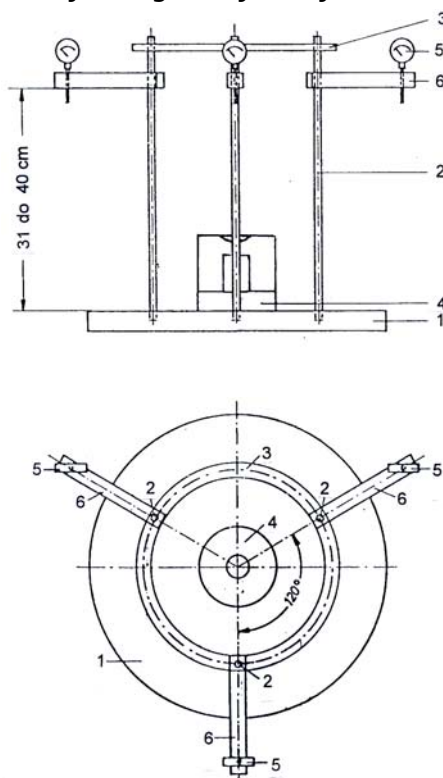
Masa kontratega, koja je neophodna za mjerenje slijeganja pomoću krute kružne ploče mora najmanje 1,000 kg biti veća od maksimalne mase koja je potrebna za izvođenje mjerenja.

2.3.4.2.2 Statički modul deformacije E_{vs}

Shema dijela opreme za određivanje statičkog modula deformacije E_{vs} predstavljena je na Crtežu 1.

2.3.4.2.2.1 Kružna ploča

Prečnik kružne ploče treba da iznosi 300 mm, a debljina najmanje 25 mm. Na ploči se moraju nalaziti tri nosača za postavljanje mjernih uređaja (2), prsten za povezivanje (3), i dodatne pomoćne ploče (4). Na donjoj strani navedene pomoćne ploče treba da postoji otvor kako bi se omogućilo mjerenje pomoću jednog mjernog uređaja (uređaj za mjerenje pokreta). Kako bi dodatnu pomoćnu ploču bilo moguće postaviti stabilno i na centar, na nosivoj ploči je potrebno predvidjeti odgovarajući žlijeb.



Crtež 1: Shema kružne ploče uključujući opremu za mjerenje slijeganja

2.3.4.2.2 Naprave za opterećenje

Napravama za opterećenje treba obezbijediti opterećenje i rasterećenje kružne ploče po stepenima. Navedene naprave se sastoje od sljedećih komponenti:

- pumpe za ulje pod pritiskom sa ventilom za regulaciju pritiska,
- crijevo pod pritiskom, i
- hidraulični klip.

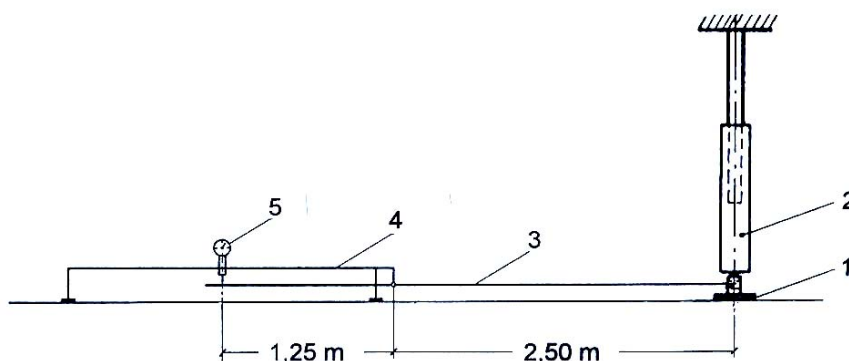
U cilju postizanja savršenog prenosa opterećenja, na hidraulični klip treba postaviti dvostranu šarku. Ukoliko je neophodno, klip je moguće produžiti odgovarajućim elementima, s tim da dužina ne smije preći 1 m. Zahvat klipa treba da iznosi najmanje 150 mm.

Mjerni instrumenti koji služe za mehaničko i/ili elektronsko mjerenje opterećenja takođe predstavljaju sastavni dio naprave za opterećenje (tačnost mjerenja sa najviše 1%-nim odstupanjem).

2.3.4.2.3 Oprema za mjerenje slijeganja

Oprema za mjerenje slijeganja (defleksije) zavisi od načina mjerenja:

- za mjerenja koja se izvode na tri tačke preporučuju se tri mjerna sata (5) čiji domet iznosi najmanje 10 mm (20 mm je preporučljivo), sa tačnošću očitavanja od 0.01 mm; mjerni satovi moraju biti pričvršćeni na kružnoj ploči (2), pričvršćivanje se vrši odgovarajućim ručkama (6) (Crtež 1); navedeni satovi moraju biti postavljeni na nosače koji su pričvršćeni za stabilan oslonac (tronožac);
- za mjerenja slijeganja koja se izvode na jednom mjestu, tj. u otvoru koji se nalazi u sredini pomoćne ploče (4) (Crtež 1), pored mjernih satova ili elektronskih mjernih instrumenata za mjerenje kretanja, potreban je odgovarajući nosivi okvir za postavljanje i učvršćivanje naprava za mjerenje (Crtež 2).



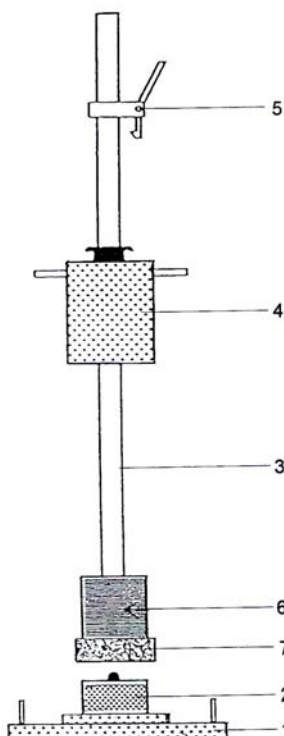
Crtež 2: Shema mjerenja slijeganja upotrebom jednog mjernog instrumenta (Benkelmanova greda)

Legenda:

- 1 - kružna ploča sa dodatnom pomoćnom pločom sa otvorom za mjerenje
- 2 - hidraulični klip
- 3 - mjerni krak
- 4 - nosivi okvir
- 5 - mjerni sat

2.3.4.2.3 Dinamički modul deformacije E_{vd}

Shema opreme za određivanje dinamičkog modula deformacije E_{vd} prikazana je na crtežu 3.



Crtež 3: Shema kružne ploče sa opremom za dinamičko opterećenje kao i za mjerenje slijeganja

2.3.4.2.3.1 Kružna ploča

Prečnik kružne ploče (1) treba da iznosi 300 mm, dok debljina treba da iznosi 20 mm (17 mm, 15 mm). Na ploču mora biti pričvršćeno kućište sa senzorom i klinom (2) za prilagođavanje vođice (3).

Ukupna masa kružne ploče uključujući sve elemente koji su na nju pričvršćeni, kao i senzore za mjerenje slijeganja, treba da iznosi $15 \text{ kg} \pm 0.25 \text{ kg}$.

2.3.4.2.3.2 Naprave za opterećenje

Naprave za opterećenje kružne ploče moraju obezbijediti impulsivno (dinamičko) opterećenje.

Sastavljene su od sljedećih komponenti:

- vođice (3) preko koje može da klizi slobodno padajući teg sa ručkom u obliku prstena (4); sljedeće komponente su pričvršćene za vođicu:
- sa donje strane se postavlja čelična kružna opruga sa oblogom (6), i naprava za sprečavanje prevrtanja (7),
- sa gornje strane se postavlja naprava za zaključavanje (5).

Naprave za opterećenje moraju ispunjavati sljedeće zahtjeve:

- | | |
|--|------------------------------------|
| - masa padajućeg tega (4) | $10 \text{ kg} \pm 0.1 \text{ kg}$ |
| - ukupna masa vođice uključujući čeličnu oprugu sa oblogom, napravu za sprečavanje prevrtanja i napravu za zaključavanje | $5 \text{ kg} \pm 0.25 \text{ kg}$ |
| - maksimalna snaga impulsa F_s | 7.07 kN |
| - trajanje impulsa t_s | $18 \text{ ms} \pm 2 \text{ ms}$ |

Elementi opruge kao i visina padajućeg tega moraju biti prilagođeni tako da da obezbijede potrebnu snagu impulsa F_s tačnosti $\pm 1 \%$ u temperaturnom područja između 0°C i 40°C .

Padajući teg (izrađen od čelika) mora biti projektovan tako da ga je moguće zaustaviti nakon udara. Minimalno trenje između padajućeg tega i vođice koja mora biti izrađena od ugljačanog nerđajućeg čelika mora biti dugotrajno osigurano.

2.3.4.2.3.3 Oprema za mjerenje slijeganja

Oprema za mjerenje slijeganja se sastoji od slijedećih komponenti:

- senzora sa ulazom za priključak, koji je pričvršćen za krutu kružnu ploču, i
- elektronskog mjernog instrumenta.

Senzorom ili uređajem za mjerenje ubrzanjana potrebno je obezbijediti tačnost rezultata dobijenih mjerenjem, sa maskimalnom greškom od 2 % u temperaturnom području između 0°C i 40°C, i u području frekvencije između 8 Hz i 100 Hz. Tačnost mjerenja zavisi od opsega slijeganja i iznosi:

- u području između 0.2 mm i 1 mm minimalno ± 0.02 mm,
- u području između 1 mm i 2 mm minimalno ± 2 %

Napajanje elektronskog mjernog instrumenta za prikupljanje podataka treba vršiti uglavnom putem akumulatora (NC blok), koji se mora puniti automatski. Napon i druge karakteristike elektronske opreme za mjerenje slijeganja treba uskladiti na odgovarajući način.

2.3.4.2.4 Modul stišljivosti ME

2.3.4.2.4.1 Kružna ploča

Površina kružne ploče treba da iznosi 200 cm² (D = 15.96 cm), ili 700 cm² (D = 29.86 cm).

2.3.4.2.4.2 Oprema za mjerenje slijeganja

Oprema za mjerenje slijeganja je ista.

2.3.4.2.5 Modul reakcije posteljice ks

2.3.4.2.5.1 Kružna ploča

Prečnik kružne ploče za mjerenje modula reakcije posteljice k_s treba da iznosi 600 mm ili 762 mm. Rebra na ploči, za povećanje njene čvrstoće, moraju biti postavljena simetrično radijusu. Rebra sa gornje strane moraju biti istrugana mašinskim putem, paralelno sa kontaktnom površinom, kako bi se omogućilo postavljanje kružne ploče prečnika 300 mm na rebra. U cilju postavljanja ploče na središte, na donju ploču je potrebno postaviti klinove i, ukoliko je potrebno, zatege.

2.3.4.2.5.2 Naprave za opterećenje

Naprave za opterećenje kružne ploče u cilju mjerenja modula reakcije posteljice k_s su iste.

2.3.4.2.5.3 Oprema za mjerenje slijeganja

Uzimajući u obzir karakteristike kružne ploče, oprema za mjerenje slijeganja je ista.

2.3.4.2.6 Vrijednost kalifornijskog indeksa nosivosti CBR

2.3.4.2.6.1 Hidraulični klip

Hidraulični klip za određivanje vrijednosti CBR (uglavnom koherentnog materijala) mora imati kontaktnu površinu od 20 cm², koja djeluje direktno na osnovu čije se mjerenje vrši. Bočno istiskivanje tla treba spriječiti pomoću olovnih cilindara, vanjskog prečnika 150 mm, unutrašnjeg prečnika 52 mm i visine 10 mm. Navedene cilindre treba postaviti na hidraulični klip.

2.3.4.2.6.2 Naprave za opterećenje

S obzirom na činjenicu da se hidraulični klip koristi direktno za opterećenje osnove čije se mjerenje vrši, naprave za opterećenje su iste kao u tč 2.3.4.2.2

2.3.4.2.6.3 Oprema za mjerenje slijeganja

Za određivanje vrijednosti CBR, potrebna je uglavnom ista oprema za mjerenje slijeganja, kao što je navedena pod stavkom 2.3.4.2.3.

Preporučljivo je da se uvede mjerni sat koji je podijeljen na inče, tako da jedan krug indikatora iznosi 1/20 inča (oko 1.25 mm = propisani otisak u minuti), čime se omogućava da sekundarica na štoperici i indikator otiska klipa na mjernom satu rade sinhronizovano.

2.3.5 Izvođenje mjerenja

Izvođenje mjerenja slijeganja krutom kružnom pločom određeno je na osnovu:

- osnovnih uslova za izvođenje mjerenja, i
- odobrenih načina mjerenja, uključujući rezultate dobijene mjerenjem.

2.3.5.1 Uslovi za izvođenje mjerenja

Slijeganje je moguće izmjeriti pomoću krute kružne ploče na slijedećim materijalima:

- krupno-zrnim materijalima,
- miješanim materijalima, i
- koherentnom tlu u teško gnječivoj do tvrdj konzistenciji.

U materijalu može da je neznatan udio zrna čija veličina prelazi 63 mm ili više od ¼ prečnika ploče.

U slučaju da se radi o materijalima koji se brzo suše, pijesku sa jednakom veličinom zrna, tlu sa korom, tlu koje brzo omekša ili koje se brzo natopi ili o materijalima čiji se gornji dio izmjenio iz bilo kojeg razloga, mjerenje treba izvršiti pomoću ploče ispod izmijenjenog dijela. Gustina ispitanih materijala treba ostati nepromijenjena u najvećoj mogućoj mjeri.

Ukoliko se radi o sitnozrnim tlu (prašina, glina), mjerenje gredom je moguće savršeno izvesti i ocijeniti, ukoliko se materijali kreću od teško gnječive do tvrde konzistencije. U dubioznim slučajevima potrebno je procijeniti sadržaj vode u tlu, s obzirom da voda ima presudan uticaj na rezultate mjerenja. Procjenu je potrebno izvršiti na različitim dubinama do 3r ispod površine mjernog mjesta.

Rezultati mjerenja, koje je izvedeno pomoću ploče, uglavnom nisu realistični ili primjenljivi, ukoliko su mjerenja izvedena na smrznutom materijalu.

2.3.5.2 Mjerni postupci

Metod mjerenja slijeganja pomoću krute kružne ploče sastoji se od sljedeće tri karakteristične faze:

- priprema površine za mjerenje
- postavljanje mjernog uređaja
- samo mjerenje.

2.3.5.2.1 Priprema površine za izvođenje mjerenja

Površinu na kojoj će se vršiti mjerenje treba prilagoditi veličini kružne ploče.

Odgovarajuću ravnost površine na kojoj će se vršiti mjerenje treba postići primjenom odgovarajućih alata (čelično ravvalo, mistrija). Sitne čestice materijala treba ukloniti metlom.

Ukoliko je nagib osnove veći od 5°, horizontalnu površinu za mjerenje treba obezbijediti na sljedeći način:

- ukoliko se radi o koherentnom terenu, uklanjanjem sloja u gornjem dijelu, uklanjanjem izloženih krupnih čestica, i ispunjavanjem lokalnih šupljina pijeskom ili gipsom,
- ukoliko se radi o nekoherentnim materijalima, polaganjem sloja pijeska ili gipsa do nivoa horizontalne osnove.

Središte površine na kojoj će se vršiti mjerenje treba prethodno odrediti na osnovu vertikalne linije ispod tačke djelovanja sile hidrauličnog klipa na kontra teg.

2.3.5.2.2 Postavljanje mjerne opreme

2.3.5.2.2.1 Mjerenje statičkog modula deformacije E_{VS}

Na cjelokupnoj kontaktnoj površini, kružna ploča mora biti čvrsto postavljena na pripremljenoj osnovi. Moguće šupljine moraju biti ispunjene slojem suvog, srednje-zrnog pijeska ili gipsa debljine nekoliko milimetara.

Ukoliko se koristi mješavina gipsa, koja se primjenjuje samo za nekoherentne materijale, kontaktnu površinu kružne ploče treba podmazati uljem.

Ploča mora biti postavljena horizontalno na pripremljenu osnovu. Okretanjem oko vertikalne ose i udaranjem ploča mora biti utisnuta u pijesak ili gips kako bi se spriječila moguća pojava šupljina između ploče i osnove.

Mješavinu gipsa, koja je istisnuta na rubovima ploče, treba otkloniti mistrijom prije stvrdnjavanja.

Mješavina gipsa se mora stvrdnuti prije početka mjerenja. Da li je gips stvrdnut moguće je provjeriti posmatranjem da li je gips prestao da bubri, jer bubrenje prestaje kada se stvrdne, ili zarezivanjem u sklonjenu mješavinu gipsa.

Zatim, u središte kružne ploče, ispod kontratega, treba postaviti hidraulični klip i osigurati ga od prevrtanja. Razmak između kružne ploče i kontratega treba da iznosi najmanje 75 cm.

Tronožac ili drugi nosivi okir za mjerenje slijeganja pomoću kružne ploče treba postaviti tako da lokacija nosača bude izvan uticaja kontratega, kao i izvan uticaja na kružnoj ploči i pored nje (na najmanjoj udaljenosti od 50 cm).

Mjerne satove treba postaviti vertikalno na površinu na kojoj se mjerenje vrši, te tako da se omogući očitavanje.

U opseg postavljanja mjerne opreme takođe spada i kratkoročno prethodno opterećenje kružne ploče (oko 30 sekundi sa 0.01 MN/m^2). Nakon ovog perioda, mjerne satove ili uređaje za mjerenje pokreta treba postaviti na nulu.

Ukoliko je izvodljivo, mjernu opremu treba zaštititi od vremenskih uticaja, kao što su sunčeva zračenja i vjetar.

Postavljenu mjernu opremu kao i kontrategove ne treba izlagati vibracijama u toku mjerenja.

2.3.5.2.2.2 Mjerenje dinamičkog modula deformacije E_{vd}

Postupak pripreme površine za mjerenje dinamičkog modula deformacije je isti kao postupak opisan pod stavkom 2.3.5.2.1, ukoliko se za ispunu šupljina upotrebljava suv, srednje-zrni pijesak.

Na središte postavljene kružne ploče vertikalno treba postaviti vođicu, uključujući sve komponente neophodne za izvođenje mjerenja.

U cilju obezbjeđenja kontakta između kružne ploče i osnove, potrebno je na mjernom mjestu izvesti pred-opterećenje sa tri udara (impulsa) slobodno padajućeg tega sa određene (kalibrisane) visine. Nakon svakog udara (odskoka) teg treba zadržati, a zatim uvesti opremu za mjerenje slijeganja.

2.3.5.2.2.3 Mjerenje modula stišljivosti M_E

Postupak postavljanja opreme za mjerenje modula stišljivosti je isti kao postupak opisan pod tačkom 2.3.5.2.2.

U cilju obezbjeđenja kontakta između kružne ploče i površine na kojoj se izvodi mjerenje, potrebno je izvesti pred-opterećenje ploče sa 0.02 MN/m^2 . U navedenu vrijednost uključena je težina konstrukcije hidrauličnog klipa i ploče.

2.3.5.2.2.4 Mjerenje modula reakcije posteljice k_s

Postupak pripreme površine za mjerenje modula reakcije posteljice je isti kao što je opisano pod stavkom 2.3.5.2.1.

Razmak između kružne ploče i kontratega treba da iznosi:

- za ploču prečnika $D = 600$ mm minimalno 1.10 m
- za ploču prečnika $D = 762$ mm minimalno 1.30 m

Za mjerenje modula reakcije posteljice potrebno je uvesti krutu kružnu ploču prečnika 762 mm.

U cilju obezbjeđenja kontakta između kružne ploče i površine na kojoj se izvodi mjerenje, potrebno je izvesti predopterećenje ploče sa 0.01 MN/m^2 . U navedenu vrijednost uključena je težina konstrukcije hidrauličnog klipa i ploče. Predopterećenje treba nastaviti sve dok razlika između slijeganja, koja su izmjerena u posljednjoj minuti, ne pređe 0.05 mm.

2.3.5.2.2.5 Mjerenje vrijednosti CBR

Kada je riječ o kružnoj kontaktnoj površini hidrauličnog klipa (površine 20 cm^2), i olovnim cilindrima koji se nalaze na klipu, potrebno je obezbijediti odgovarajuću ravnost površine na kojoj će se mjerenje izvoditi primjenom odgovarajućih alata; u izuzetnim slučajevima, šupljine treba ispuniti suvim, srednje-zrnim pijeskom.

Težina konstrukcije olovni cilindara koji se postavljaju u cilju sprečavanja bočnog istiskanja tla treba biti slična težini kolovozne konstrukcije koja će biti izgrađena iznad površine na kojoj se mjerenje vrši.

Pomoću odgovarajućeg tronožca ili drugog odgovarajućeg nosivog okvira, kao i pomoću učvršćavanja, treba stvoriti mogućnost mjerenja slijeganja jednim mjernim uređajem.

2.3.5.2.3 Mjerenje

Maksimalno opterećenje u toku mjerenja, i/ili maksimalno slijeganje koje treba postići zavisi od cilja ispitivanja, kao i od svojstava materijala i veličine kružne ploče.

Ukoliko su uočena neka neobična slijeganja, npr. s obzirom na znatan nagib kružne ploče, materijal ispod kružne ploče treba iskopati do dubine koja je jednaka prečniku ploče. Takođe, potrebno je voditi evidenciju o dobijenim rezultatima.

2.3.5.2.3.1 Mjerenje statičkog modula deformacije E_{VS}

Prilikom mjerenja statičkog modula deformacije pomoću krute kružne ploče, opterećenje je potrebno povećati sve dok se ne postigne:

- slijeganje od 2 mm, ili
- normalan napon ispod ploče do 0.5 MN/m^2 .

Međutim, mjerenje treba prekinuti pri manjem naponu ili manjem slijeganju, ukoliko se pri povećanju opterećenja uočavaju prevelike promjene koje ukazuju na oštećenje ugrađenih materijala.

Opterećenje treba izvršiti na najmanje šest nivoa, s tim da razlika između dva uzastopna nivoa bude ista za cjelokupan opseg opterećenja. Ukoliko je tokom ispitivanja utvrđeno da su prvobitno određeni intervali između uzastopnih stepena opterećenja preveliki ili premali, potrebno ih je na odgovarajući način izmijeniti.

Prelaz sa jednog nivoa opterećenja na drugi treba izvesti u minuti.

Prilikom opterećivanja i rasterećivanja, sljedeći stepen (nivo) opterećenja je moguće primjeniti samo ukoliko razlika u slijeganju, koja se očitava na pojedinim mjernim satovima, nije veća od 0.02 mm. Na jednom nivou opterećenja, opterećenje mora biti konstantno.

Ukoliko se mjerenja izvode pomoću tri mjerna satova, prvo očitavanje treba izvršiti 10 sekundi prije isteka vremena za čekanje. Pažnju je potrebno obratiti na činjenicu da se

opterećenje ploče, po završetku prvog očitavanja, stalno povećava u jednakim vremenskim intervalima.

Ukoliko je, greškom, ploča opterećena više nego što je bilo predviđeno, opterećenje se ne smije smanjivati. Međutim, navedeno preopterećenje je potrebno evidentirati.

Prema pravilu, nivoi (stepeni) opterećenja moraju biti sljedeći:

- za koherentno tlo 0.02 to 0.03 MN/m²
- za miješani materijal 0.03 to 0.04 MN/m²
- za šljunak 0.05 to 0.06 MN/m²
- za drobljeni kamen 0.06 to 0.07 MN/m²

Rasterećenje kružne ploče treba izvesti u tri stepena: do 50 %, 25 %, i 0 % maksimalnog opterećenja. Nakon što je izvršeno potpuno rasterećenje, potrebno je ponovo izvesti krug opterećenja, međutim, ne do posljednjeg već samo do jednog nivoa opterećenja posljednjeg u prvom krugu.

2.3.5.2.3.2 Mjerenje dinamičkog modula deformacije E_{vd}

Nakon uključivanja opreme za mjerenje sleganja potrebno je izvršiti opterećenje sa tri udara podajućeg tega. Amplituda sleganja mora biti izmjerena tačnošću najmanje $\pm 0,02$ mm. Kalibrirana visina pada tega mora da je osigurana, a teg posle svakog odboja uhvaćen.

2.3.5.2.3.3 Mjerenje modula stisljivosti M_E

Ravnomjernim porastom opterećenja kružne ploče potrebno je stvoriti pritisak za prvi nivo (stepen), tj. 0.05 MN/m² (vrijednost koja se očitava na mjeracu pritiska treba da iznosi 0.05 MN/m² – pritisak uslijed vlastite težine konstrukcije).

Čim se postigne napon za ovaj nivo, slijeganja je moguće očitati na mjernim satovima na sljedeći način:

- za koherentno tlo nakon 3, 6, 9 minuta, itd,
- za nekoherentne materijale nakon 2, 4, 6, 8 minuta, itd.

Očitano slijeganje je potrebno evidentirati na odgovarajući način.

Opterećenje za naredni nivo (stepen) može početi čim slijeganje nakon 3 ili 2 minute iznosi manje od 0.05 mm.

Vrijeme opterećenja, potrebno na prvom nivou opterećenja (npr. 9 minuta) treba takođe zadržati za svaki naredni nivo (stepen).

Primjenjuju se sljedeći stepeni (nivoi) opterećenja:

- na temeljnom tlu stepenom od 0.05 MN/m² do konačnog opterećenja od 0.25 MN/m²
- na posteljici stepenom od 0.1 MN/m², od 0.05 MN/m² do konačnog opterećenja od 0.45 MN/m²
- na nevezanom nosivom sloju stepenom od 0.1 MN/m², od 0.05 MN/m² do konačnog opterećenja od 0.55 MN/m².

2.3.5.2.3.4 Mjerenje modula reakcije tla k_s

Kruta kružna ploča treba biti opterećena (0.01 MN/m²) sve dok promjena slijeganja u posljednjoj minuti ne bude veća od 0.02 mm. Sljedeći nivoi (stepeni) opterećenja su 0.04 MN/m², 0.08 MN/m², 0.14 MN/m², i 0.20 MN/m². Na svakom nivou opterećenja potrebno je sačekati da se slijeganje smanji ispod 0.02 mm/min. Stoga, slijeganje je potrebno očitavati svaki minut. Pri rasterećenju, dovoljan je jedan srednji nivo na 0.08 MN/m².

2.3.5.2.3.5 Mjerenje vrijednosti CBR

Kroz otvor, tj. kroz postavljene olovne cilindre, potrebno je postaviti hidraulični klip i opteretiti ga sa 0.1 MN/m². Zatim ga je potrebno rasteretiti tako da kontaktna površina

klipa dodiruje osnovu. Zatim je klip potrebno utisnuti u osnovu ujednačenom brzinom od 1.27 mm po minuti. Do dubine od 2.54 mm, pritisak je potrebno očitavati svakih 30 sekundi. Nakon toga, do dubine od 5.08 mm, pritisak je potrebno očitavati svaki minut.

2.3.6 Ocjena mjerenja

2.3.6.1 Zapisnik o mjerenju

U cilju obezbjeđenja potrebnih karakterističnih podataka o izvedenim mjerenjima potrebno je voditi zapisnik, koji treba da sadrži sljedeće detaljne podatke:

- podatke o mjestu na kojem se mjerenje izvodi, i
- podatke o međusobnoj zavisnosti povećanja slijeganja i slijeganja koje se javlja ispod krute kružne ploče ili ispod hidrauličnog cilindra.

Potrebni podaci o mjestu na kojem se mjerenje izvodi su uglavnom sljedeći:

- tačna lokacija
- vrsta materijala u osnovi
- vremenske prilike, temperatura
- datum i vrijeme kao i druge pojedinosti koje se odnose na izvedeno mjerenje.

Pored gore navedenih podataka zapisnik treba takođe da sadrži karakteristike metoda mjerenja (prečnik kružne ploče, postupak mjerenja).

Za svaki nivo (stepen) opterećenja potrebno je zabilježiti sva slijeganja, tj. svako očitavanje na mjernom uređaju ili drugoj mjernoj opremi. Štaviše, potrebno je procijentirati prosječne vrijednosti slijeganja na određenim nivoima opterećenja.

Prema pravilu, slijeganja na pojedinim nivoima opterećenja kao i tok slijeganja moraju biti jasno predstavljeni u grafičkom obliku.

2.3.6.2 Proračun modula deformacije

2.3.6.2.1 Statički modul deformacije E_{vs}

Osnovu za izračunavanje statičkog modula deformacije E_{vs} predstavlja jednačina navedena pod tačkom 4.1.2:

$$E_{vs} = 0,75 \cdot \frac{\Delta p}{\Delta s} \cdot D \quad \left[MN / m^2 \right]$$

U cilju određivanja nosivosti osnove, statički modul deformacije E_{vs2} treba izračunati na osnovu ove jednačine; za procjenu sabijenosti materijala, takođe treba proračunati statički modul deformacije E_{vs1} i omjer E_{vs2}/E_{vs1} .

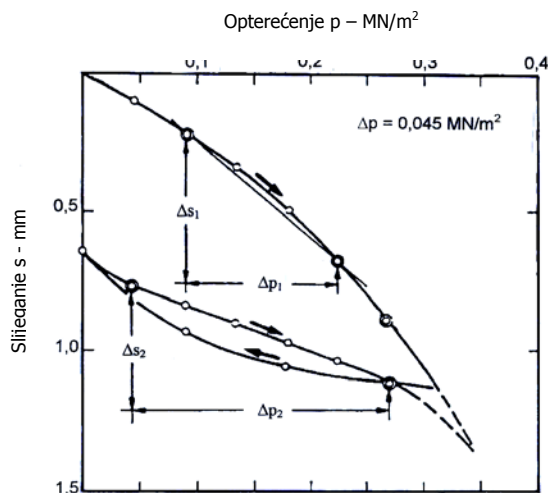
Vrijednosti Δs se uglavnom određuju u području ujednačenog toka slijeganja osnove pri opterećenju u nivoima (stepenima). Navedeno područje je uglavnom sljedeće:

- za prvo opterećenje između drugog i petog nivoa, i
- za drugo opterećenje između drugog i šestog nivoa.

Na Crtežu 4 prikazane su vrijednosti za izračunavanje modula deformacije:

$$E_{vs1} = 0,75 \cdot \frac{\Delta p_1}{\Delta s_1} \cdot D \quad \left[MN / m^2 \right]$$

$$E_{vs2} = 0,75 \cdot \frac{\Delta p_2}{\Delta s_2} \cdot D \quad \left[MN / m^2 \right]$$



Crtež 4: Dijagram slijeganja kružne ploče »s« u zavisnosti od opterećenja »p«

Navedene granične vrijednosti slijeganja „s“ i opterećenja „p“ moguće je razabrati iz zapisnika o mjerenju.

2.3.6.2.2 Dinamički modul deformacije E_{vd}

Sa dinamičkom snagom impulsa $F_s \cong 7$ kN vrši se opterećenje kružne ploče prečnika $r = 150$ mm, i područja od 700 cm², normalnim naponom od $\sigma = 0.1$ MN/m². U skladu sa osnovnom jednačinom za dinamički modul deformacije (stavka 4.1.2)

$$E_{vd} = 1,5 \cdot r \cdot \frac{\sigma}{s} \quad [MN/m^2]$$

ili

$$E_{vd} = 22,5/s \quad [MN/m^2]$$

Moguće je, pomoću elektronskog mjernog instrumenta, koji određuje maksimalno slijeganje dvostrukom integracijom mjerenog ubrzanja, odrediti vrijednost dinamičkog modula deformacije E_{vd} . Za određivanje, relevantna je prosječna srednja vrijednost dobijena na osnovu tri izvedena mjerenja.

2.3.6.2.3 Modul stišljivosti M_E

U osnovnoj jednačini za izračunavanje modula stišljivosti (stavka 4.1.2),

$$M_E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta s} \cdot D \quad [MN/m^2]$$

potrebno je razmotriti vrijednost Δs koja je utvrđena u sljedećim obimima napona:

- za temeljno tlo i nasipe između 0.05 i 0.15 MN/m²,
- za posteljica između 0.15 i 0.25 MN/m²,
- za nevezani noseći sloj između 0.25 i 0.35 MN/m².

2.3.6.2.4 Modul reakcije posteljice k_s

Na osnovu dijagrama slijeganja, potrebno je odrediti napon σ_o koji odgovara srednjoj vrijednosti slijeganja $s = 1.25$ mm (Crtež 5).

Modul reakcije posteljice k_s treba izračunati prema osnovnoj jednačini (stavka 4.1.2).

$$k_s = \frac{\sigma_o}{s} = \sigma_o / 0,00125 \quad [MN/m^3]$$

U zavisnosti od toka krivulje slijeganja, polaznu tačku slijeganja treba ispraviti pomoću tangente u tački skretanja krive.

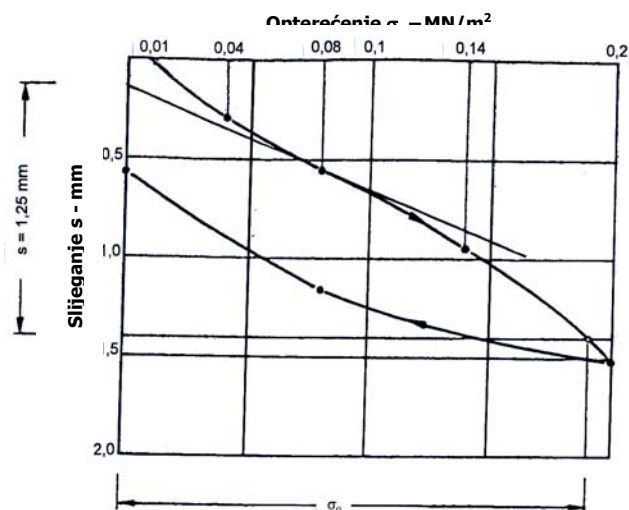
2.3.6.2.5 Vrijednost CBR

Vrijednost CBR treba izračunati pomoću osnovne jednačine (tč. 1.1.7.2.3.4.1.2), uvođenjem vrijednosti napona σ , koje su izmjerene prilikom utiskivanja klipa do određene dubine 2.54 mm ili 5.08 mm, i standardizovanih vrijednosti za drobljeni kamen:

$$CBR = \frac{\sigma}{\sigma_s} \cdot 100 \quad [\%]$$

U obzir je potrebno uzeti nižu vrijednost CBR.

Ukoliko je krivulja slijeganja konkavna na početku opterećenja, polaznu tačku slijeganja je potrebno ispraviti pomoću tangente u tački skretanja krive.



Crtež 5: Dijagram pritiska » σ_0 « ispod kružne ploče u zavisnosti od predviđenog slijeganja » s «

2.4 NOSIVOST KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE

2.4.1 Predmet smjernice

Ove smjernice obezbjeđuje tehničke osnove za određivanje nosivosti kolovozne konstrukcije.

Svrha mjerenja ugiba površine kolovozne konstrukcije je utvrđivanje stanja i trajnosti kolovozne konstrukcije.

Mjerenja ugiba površine kolovozne konstrukcije su pogodna uglavnom za sljedeće:

- utvrđivanje usklađenosti i jednolikosti izvedenih radova, ukoliko se radi o novogradnji,
- praćenje stanja postojećih kolovoznih konstrukcija u okviru upravljanja putevima,
- određivanje stvarnog stanja postojećih kolovoznih konstrukcija, i
- određivanje odgovarajućeg ojačanja postojećih kolovoznih konstrukcija za projektovano razdoblje trajanja.

Izvedeni radovi ispunjavaju zahtjeve ukoliko su obezbjeđene projektovane vrijednosti ugiba površine kolovozne konstrukcije.

Smjernica je predviđena za definisanje stanja kolovoznih konstrukcija sa asfaltnim zastorom.

2.4.2 Referentna dokumentacija

Smjernice se zasnivaju na sljedećoj referentnoj dokumentaciji:

COST 324, Long Term Performance of Road Pavements, Final Report, EEC, Brussels, 1997

COST 325, New Road Monitoring Equipment and Methods, Final Report, EEC, Brussels, 1997

DYNATEST 8000 FWD Test System – Owner's Manual and Operating Instructions, Technical description

FEHRL Technical note ISSN 1362-6019: 1996 Harmonisation of the Use of the Falling Weight Deflectometer on Pavements; Harmonisation of FWD measurements and data processing for flexible road pavement evaluation

Merkblatt über Einsenkungsmessungen mit dem Benkelman – Balken, FGSV, Köln, 1991 (*Instructions to Deflection Measurements with Benkelman – Beam*)

SNV 640 330: 1974 Deflektionen, Allgemeines, VSS, Zürich (*Deflections, General*)

Smjernice obuhvataju odredbe drugih publikacija, ili preko datiranih ili nedatiranih referenci. Kada je riječ o datiranim referencama, u obzir je potrebno uzeti naknadne dopune ili izmjene, ukoliko su obuhvaćene dodatkom ili revizijom. Kada je riječ o nedatiranim referencama, važeće je posljednje izdanje referentne publikacije.

2.4.3 Objašnjenje pojmova

Pojmovi upotrebljeni u ovim smjernicama imaju sljedeće značenje:

Benkelmanova greda (Benkelman-beam, Benkelman-Balken) je sprava za određivanje elastičnog ili cjelokupnog ugiba vozne površine ispod točka vozila s određenim statičkim opterećenjem (u pravilu 50 kN).

Deflektograf (deflectograph, Deflektograph) je sprava za mjerenje, za kontinuirano automatsko određivanje (mjerenje i zapisivanje) potpunih nagiba vozne površine pod određenim opterećenjem točkova vozila u toku vožnje.

Deflektometar (deflectometer, Deflektometer) je sprava za mjerenje, za automatsko određivanje (mjerenje i zapisivanje) ugiba vozne površine pod određenim dinamičkim opterećenjem.

Homogen odsjek (homogenous section, homogener Abschnitt) je određen s odabranim količnikom varijacije, tj. odnosom između standardnog otklona izmjerenih datosti i njihove srednje vrijednosti.

Kalibrirati (calibrate/adjust, kalibrieren/justieren) znači provjeriti srazmjernost određenih karakteristika opreme i/ili njihovo umjeravanje na zahtevanu mjeru.

Kolotrag (rut, Spurrinne) je uzdužni žlijeb, koji nastane u području traga točkova zbog preoblikovanja u kolovoznoj konstrukciji i/ili u podlozi ugrađenog materijala.

Kolovozna konstrukcija (pavement/pavement structure, Fahrbahnbefestigung) je dio utvrđene prometne površine, koji se sastoji iz jednog ili više nosivih slojeva i habajućeg sloja.

Mjerodavan ugib/defleksija (design deflection, massgebende Durchbiegung) je slijeganje vozne površine pod određenim opterećenjem sa u obzir uzetim uticajima na rezultat mjerenja (korekcijama).

Modul elastičnosti (dinamički) (modulus of elasticity (dynamic), Elastizitätsmodul (dynamischer)) je kvocijent normalnog napona i elastičnog razvlačenja (pod dinamičkim opterećenjem).

Nazivno (nominalno) osovinsko opterećenje (NOO) (nominal axle load, nominelle Achslast) je (standardno, nominalno) opterećenje jednostruke osovine vozila sa 81,6 (82) kN, koje se prenosi sa duplim točkovima (4 x 20,4 kN) na vožnju površinu; određeno je kao osnova za upoređivanje uticaja različitih osovinskih opterećenja.

Nosivost (bearing capacity, Tragfähigkeit) označava mehaničku otpornost planuma ugrađenog materijala protiv (kratkotrajnih) opterećenja.

Poissonov količnik (Poisson's ratio, Poissonische Querdehnungszahl) je odnos poprečnog i uzdužnog iztezanja materijala.

Preostali period trajanja (residual lifetime, Restlebensdauer) je vremensko razdoblje između izvršenog mjerenja (npr. slijeganja vozne površine) i zamorenosti (rušenja) ugrađenog materijala.

Saobraćajna traka (traffic lane, Verkehrsstreifen) je dio kolovoza, primjerno širok za kretanje jedne vrste vozila u jednom smjeru, uključujući tu i oznake.

Trag točkova (wheel pass, Radspur) je područje na kolovozu, gdje se najčešće odvija saobraćaj; na jednom saobraćajnom pojasu su dva traga točkova.

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

Ugib/defleksija (deflection, Durchbiegung) je slijeganje površine pod određenim opterećenjem kao mjerilo stanja (razpoložive nosivosti) konstrukcije za vrijeme mjerenja; sastoji se iz elastične i plastične komponente.

Vozna površina (pavement surface, Fahrbahnoberfläche) je ravnomjerna, neprekinuto utvrđena površina habajućeg sloja kolovozne konstrukcije, po kojoj kreće saobraćaj.

Zastor (surfacing, Decke) je vršni dio kolovozne konstrukcije, u pravilu izgrađen od habajućeg i (s odgovarajućim vezivom) vezanog gornjeg nosivog sloja.

2.4.4 Osnovne metode mjerenja ugiba

Odobrene metode za mjerenje ugiba postojeće kolovozne konstrukcije zasnivaju se na statičkom ili dinamičkom opterećenju mjernog mjesta.

Osnovne metode se definišu kao mjerenja ugiba površine kolovozne konstrukcije, koja se izvode pomoću

- Benkelmanove grede (pod statičkim opterećenjem),
- Lacroix deflektografa (pod pokretnim opterećenjem), i
- Dynatest 8000 FWD deflektometra (sa padajućim tegom – pod dinamičkim opterećenjem).

Za posebne namjene i pod posebnim uslovima, ugib površine kolovozne konstrukcije je moguće odrediti uvođenjem druge metode, npr. pomoću optičkog deflektometra, mjerne sonde (koja se ugrađuje u kolovoznu konstrukciju), vibratora (za mjerenje amplituda oscilacije), itd.

Različita opterećenja koja su određena za gore navedene osnovne metode mjerenje imaju za rezultat različite vrijednosti ugiba, koje nisu međusobno direktno uporedive.

U cilju utvrđivanja stanja postojeće kolovozne konstrukcije i određivanja odgovarajućih mjera, odobrenim metodama za mjerenje ugiba treba odrediti sljedeće:

- mjerodavan ugib na površini kolovozne konstrukcije na homogenoj dionici puta d_m
- razdoblje trajanja kolovozne konstrukcije.

2.4.5 Oprema za mjerenje ugiba

Oprema za mjerenje ugiba površine kolovozne konstrukcije mora biti takva da omogućava:

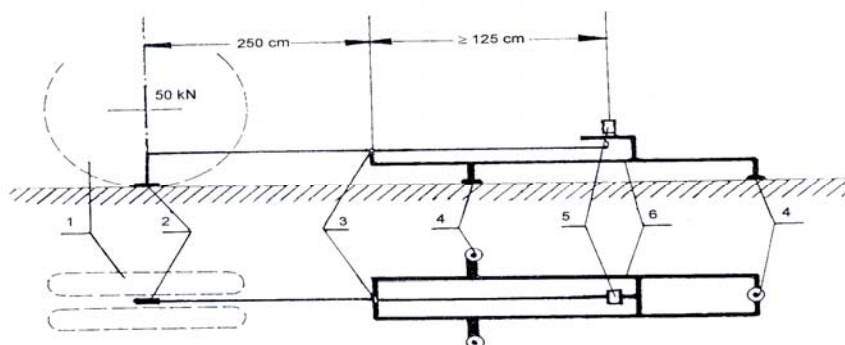
- ponavljanje,
- tačnost mjerenja ugiba i bilježenje dobijenih rezultata, u grafičkom ili digitalnom obliku, i
- trajnost zabilješke.

Cjelokupna oprema za mjerenje ugiba mora posjedovati određene tehničke karakteristike i mora biti kalibrisana u skladu sa odgovarajućom metodom, koju uglavnom određuje proizvođač opreme; štaviše, oprema mora imati važeći certifikat.

2.4.5.1 Benkelmanova greda

Benkelmanova greda predstavlja mehanički mjerni uređaj koji prenosi vertikalne pokrete (ugib) površine kolovozne konstrukcije na mjerni sat (Crtež 1). Sastoji se od sljedećih komponenti:

- prenosnog ili pokretnog držača sa tri oslonca; visinu oslonaca je moguće prilagođavati;
- vertikalnog pokretnog kraka senzora, koji je moguće blokirati;
- mjernog sata (prečnika $\square$ 100 mm), opsega mjerenja od 30 mm, i sa podjelom skale od 0.01 mm;
- vibratora koji je moguće podesiti u cilju uklanjanja trenja kraka senzora kao i trenja na mjestu mjernog sata.



Crtež 1: Benkelmanova greda

Legenda:

- 1 – položaj točkova
- 2 – vrh kraka senzora
- 3 – potporna šarka
- 4 – podesivi nosač
- 5 – mjerni sat
- 6 – držač

Dužina kraka senzora od vrha senzora do ležaja (250 cm), i od ležaja do mjernog sata (125 cm) mora biti u omjeru 2 : 1 (ili 1 : 1). Razmak vrha senzora od susjednih nosača treba najmanje da iznosi 270 cm.

Ukoliko se uređaj za mjerenje ugiba pokreće, krak senzora Benkelmanove grede mora biti blokiran.

Umjesto mjernog sata moguće je upotrebljavati tačan elektronski mjerni uređaj, npr. induktivni mjerac pokreta.

Za opterećenje mjernog mjesta potreban je dvo-osovinski kamion koji ima dva dupla točka na zadnjoj (mornoj) osovini. Razmak između unutrašnjih rubova pneumatskih guma treba da iznosi 90 – 140 mm. Osovinsko opterećenje treba biti 100 kN. Prije i nakon mjerenja potrebno je pomoću odgovarajućeg mjernog uređaja provjeriti osovinsko opterećenje. Ukoliko opterećenje točkova odstupa od 50 kN, vrijednosti mjerenog ugiba treba u skladu sa tim ispraviti. Pritisak vazduha u gumama mora biti isti i mora da iznosi oko 0.7 MPa, ali ne manje od 0.45 MPa.

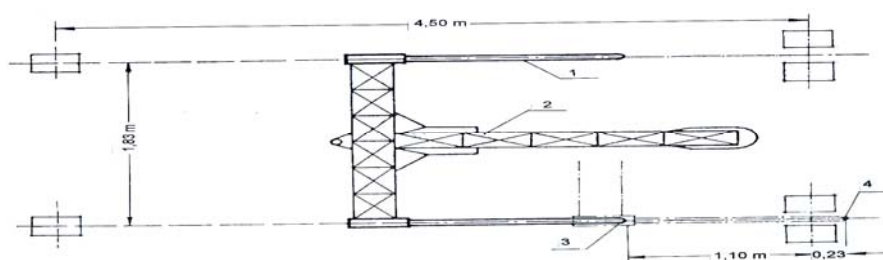
Za mjerenje temperature asfaltnog zastora (prema pravilu, u dubini od 4 cm), naročito su pogodni elektronski mjerni uređaji sa senzorom u opsegu od 0°C do 50°C. Tačnost izmjerene temperature treba da iznosi $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Benkelmanova greda treba da obezbijedi tačnost mjerenja ugiba površine kolovozne konstrukcije do ± 0.05 mm.

2.4.5.2 Lacroix deflektograf

Lacroix deflektograf se sastoji od sljedećih osnovnih komponenti:

- kamiona, koji
- prenosi mjernu opremu, i
- predstavlja opterećenje za izvođenje mjerenja,
- mjerne opreme, koja se sastoji od
- fiksnog nosivog okvira,
- pokretnog nosivog okvira sa dva kraka senzora (Crtež 2),
- dva induktivna mjerača pokreta kraka senzora,
- sistema sa računarskom podrškom za nadzor nad mjerenjem, kontrolu pokreta pokretnog nosivog okvira, automatsko evidentiranje ugiba, i prenos podataka na računar,
- računara sa programima za evidentiranje svih potrebnih podataka o izvedenim mjerenjima i dobijenim rezultatima.



Legenda:

- 1 – krak senzora
- 2 – pokretni nosivi okvir
- 3 – početni položaj kraka senzora
- 4 – završni položaj kraka senzora

Crtež 2: Lacroix deflektograf – mjerna oprema

Oprema za automatsko bilježenje rezultata dobijenih mjerenjem omogućava elektronski vid bilježenja ili bilježenje na papirnoj traci.

Kako bi se izvršilo opterećenje mjernog mjesta, zadnja osovina kamiona mora biti opremljena sa dva dupla točka. Osovinsko opterećenje treba da iznosi do 100 kN. Opterećenje je moguće podešavati regulišući količinu vode koja se nalazi u rezervoaru postavljenom na kamion.

Pritisak u gumama na mjernoj osovini mora biti isti i mora da iznosi od 0.7 – 0.8 MPa.

Za mjerenje temperature asfaltnog zastora upotrebljava se termometar u opsegu od 0°C do 50°C.

Kalibrisanje deflektografa treba izvesti u skladu sa uputstvima proizvođača. Kalibrisanje je potrebno izvršiti prije svakog mjerenja i posebno za svaki krak senzora.

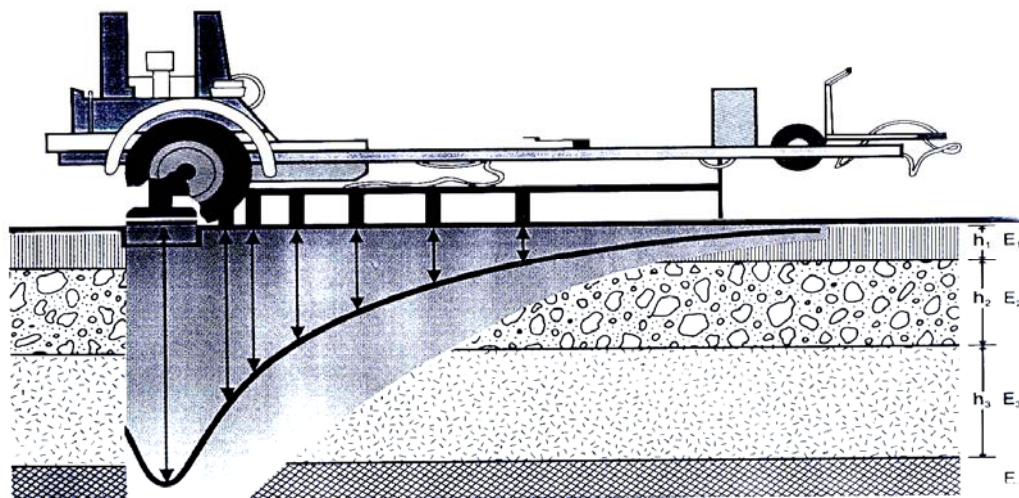
Kalibrisanjem deflektografa potrebno je obezbijediti tačnost odnosa kretanja vrha kraka senzora i zabilježenog kretanja. Maksimalno dozvoljeno odstupanje iznosi ± 0.02 mm.

Usvojena mjerna oprema mora da obezbijedi tačnost mjerenja ugiba u opsegu od ± 0.05 mm, kao i tačnost mjerenja razmaka (između mjernih mjesta i ukupno) od ± 3 .

2.4.5.3 Dynatest 8000 FWD deflektometar

Dynatest 8000 FWD deflektometar (Deflektometar sa padajućim tegom) se sastoji od sljedećih dijelova:

- prema pravilu, jednoosovinske prikolice (Crtež 3), koja služi
- za prevoz opreme za dinamičko opterećenje (slobodno padajući tegovi, senzori, sistem gumenih opruga, kružna ploča sa čelijom za opterećenje)
- za prevoz mjerne opreme (mjeraci ugiba – geofoni)
- sistema sa računarskom podrškom za nadzor nad mjerenjem i prenos podataka na računar
- računara sa programima za kontrolu čitavog postupka i opreme za bilježenje i obradu svih potrebnih podataka o izvedenim mjerenjima ugiba i dobijenim rezultatima.



Crtež 3: Dynatest 8000 FWD deflektometar

Elektro – hidraulična oprema treba da omogući dinamičko opterećenje mjernog mjesta u opsegu od 7 do 120 kN. Sistemom gumenih opruga iznad kružne ploče treba omogućiti sinusoidni vid opterećenja. Potrebne tehničke karakteristike kontrole opterećenja su sljedeće:

- tačnost: < 0.5 %

- ponavljanje: $\pm 0.1 \%$
- vrijeme povećanja opterećenja: 5 do 30 ms
- vrijeme evidentiranja ugiba: 20 do 60 ms

Tehničke karakteristike kružne ploče su:

- prečnik: 30 cm
- debljina: 2 cm
- osnova: 5 mm debela deformisana guma

Tehničke karakteristike mjerača ugiba – geofona su sljedeće:

- opseg evidentiranja ugiba: do 2 mm
- tačnost: $< 2 \%$ $\pm 1 \mu\text{m}$
- ponavljanje: $\pm 2 \mu\text{m} \pm 1 \%$

Potpuno kalibrisanje uređaja za mjerenje ugiba treba izvršiti jednom godišnje, dok je relativno kalibrisanje potrebno izvršiti nakon svakih 10,000 mjerenja (sa dozvoljenim odstupanjem $< \pm 1 \%$).

Dinamički opseg uređaja za mjerenje ugiba treba provjeriti prije svakog pojedinačnog mjerenja.

Opšti uslovi za postavljanje mjerača ugiba – geofona su sljedeći:

- postavljanje: na dužini od najviše 250 cm
- broj: 6 do 9
- standardni razmak: 30 cm

Raspored uređaja za mjerenje ugiba od središta kružne ploče zavisi od stanja kolovozne konstrukcije i od ugiba površine kolovozne konstrukcije d_{mD} :

- $d_{mD} \leq 500 \mu\text{m}$: raspored na 0-30-60-90-150-210 cm
- $500 \mu\text{m} < d_{mD} \leq 1000 \mu\text{m}$: raspored na 0-30-60-90-150-180 cm
- $d_{mD} > 1000 \mu\text{m}$: raspored na 0-30-60-90-120-150 cm

Uređaj za mjerenje temperature treba da ispunjava sljedeće uslove:

- obim rada: -10°C to 60°C
- djeljivost: $> 0.5^{\circ}\text{C}$
- tačnost: $\pm 1^{\circ}\text{C}$

2.4.6 Mjerenje ugiba

2.4.6.1 Pripreme za mjerenje

Prije početka mjerenja ugiba, kao i u toku izvođenja samog mjerenja neophodno je preduzeti potrebne mjere, kako bi se osigurala bezbjednost radnika, kao i učesnika u saobraćaju.

Cjelokupna mjerna oprema mora biti pripremljena i kalibrisana u skladu sa tč. 1.1.7.2.4.5 ovih smjernica.

Prije početka mjerenja ugiba površine kolovozne konstrukcije potrebno je sa iste ukloniti sve strane predmete.

Na rubu asfaltnog kolovoza potrebno je pripremiti otvore za mjerenje temperature zastora. Prije početka mjerenja, navedene otvore je potrebno ispuniti glicerinom.

Svako pojedinačno mjerenje ugiba mora biti dokumentovano bilježenjem sljedećih podataka:

- mjesto mjerenja: oznaka puta, oznaka stacionaže, lokacija saobraćajne trake, vrsta habajućeg sloja, osobitosti
- datum i vrijeme trajanja mjerenja
- struktura kolovozne konstrukcije

- temperatura asfaltnog zastora
- upotrebljena mjerna oprema: vrsta i karakteristike opterećenja
- mjerodavno/maksimalno opterećenje
- mjerodavna vrijednost ugiba uključujući sve ispravke.

U cilju utvrđivanja stvarnog stanja, ugib površine kolovozne konstrukcije treba mjeriti u obimu koji je, s obzirom na namjenu i upotrebljenu mjernu opremu relevantan za čitavu površinu kolovozne konstrukcije na kojoj se mjerenje izvodi.

Mjerenje ugiba površine kolovozne konstrukcije treba izvoditi uglavnom na vanjskom kolotragu, koji je, prema pravilu, najopterećeniji.

2.4.6.2 Benkelmanova greda

Benkelmanova greda omogućava mjerenje

- ukupnog, tj. elastičnog i plastičnog ugiba površine kolovozne konstrukcije (metodom "pri dolazećem opterećenju"), i samo
- elastičnog ugiba (metodom "pri odlazećem opterećenju"), za koji se uglavnom smatra da određuje stvarno stanje kolovozne konstrukcije.

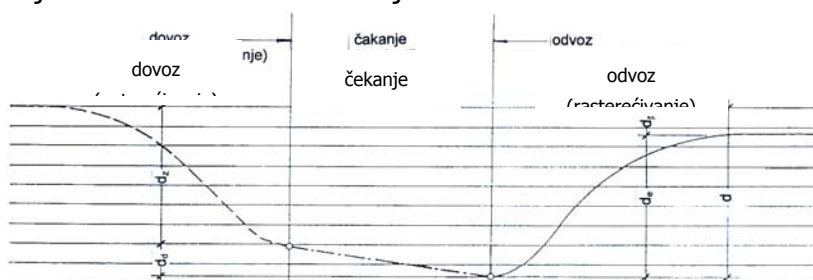
2.4.6.2.1 Način mjerenja

Benkelmanovu gredu treba postaviti na odabrano mjerno mjesto, kako bi se obezbijedio dobar kontakt sva tri nosača držača, te kako bi se postigla poprečna horizontalnost držača. Prije početka mjerenja ugiba potrebno je izmjeriti temperaturu asfaltnog zastora.

Prilikom mjerenja ugiba, u skladu sa metodom "pri dolazećem opterećenju", kamion mora da se kreće unazad brzinom od 0.5 m/s, i mora pažljivo da se približi vrhu senzora na kraku Benkelmanove grede. Par zadnjih točkova na kamionu mora, na početku mjerenja, biti 3 m udaljen od vrha senzora. U toku izvođenja ispitivanja, na određenim udaljenostima zadnje osovine kamiona od vrha senzora (2, 1, 0.5, i 0.25 m), te ukoliko se vrh senzora nalazi na osovini zadnjih točkova kamiona, vrijednosti ugiba treba očitavati na mjernom satu. Po isteku oko dvije minute, kamion treba da se vrati nazad na polaznu tačku, brzinom od oko 0.5 m/s. Ugib treba izmjeriti kada je zadnja osovina 1 m i 3 m udaljena od vrha senzora. Postupak mjerenja je shematski prikazan na Crtežu 4.

Prilikom mjerenja ugiba površine kolovozne konstrukcije u skladu sa metodom "pri odlazećem opterećenju", zadnja osovina kamiona, tj. oba točka za opterećenje moraju biti postavljena na mjerno mjesto (Crtež 5 – tačka A).

Na određenom mjernom mjestu na asfaltnom zastoru, kamion koji predstavlja opterećenje smije da se zadrži maksimalno jedan minut.

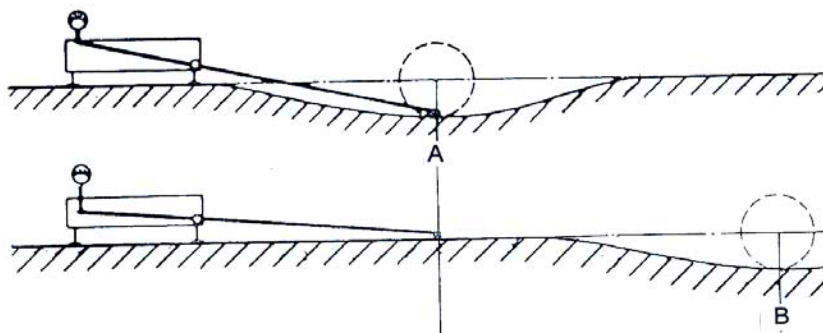


Crtež 4: Shematski prikaz mjerenja ukupnog ugiba površine kolovozne konstrukcije

Legenda:

- d – ukupan ugib na određenom mjernom mjestu
- d_z – početni ugib pod opterećenjem
- d_d – dodatni ugib za vrijeme čekanja pod opterećenjem
- d_e – elastični ugib
- d_p – plastični ugib

Krak senzora treba gurnuti između para točkova za opterećenje, tako da vrh senzora po njegovom otpuštanju dođe u dodir sa površinom, nekoliko centimetara prije osovine točka (kod kamiona koji se kreće prema naprijed).



Crtež 5: Shematski prikaz mjerenja elastičnog ugiba površine kolovozne konstrukcije Benkelmanovom gredom

Po uključivanju i odgovarajućem postavljanju vibratora, na mjernom satu je potrebno očitati vrijednost, a kamion treba da se odveze oko 10 m ispred mjernog mjesta (tačka B). Stanje na mjernom satu treba ponovo očitati nakon što se kazaljka zaustavi.

2.4.6.2.2 Procjena rezultata

Na osnovu rezultata koji su dobijeni mjerenjem Benkelmanovom gredom, moguće je odrediti sljedeće:

- projektovani ugib, i
- preostalo razdoblje trajanja kolovozne konstrukcije i možda potrebnu debljinu zastora.

Razlika između očitavanja na mjernom satu, kada je mjerno mjesto opterećeno određenim osovinskim opterećenjem ili opterećenjem točkova, i kada mjerno mjesto nije opterećeno predstavlja osnovu za izračunavanje ugiba površine kolovozne konstrukcije na određenom mjernom mjestu. Utvrđene vrijednosti ugiba treba navesti u 0.01 mm.

Svako moguće odstupanje

- opterećenja koje stvaraju točkovi od standardnog opterećenja (50 kN), i
- temperature zastora od standardne (20°C),

kao i uticaj kritičnog godišnjeg doba na projektovani ugib površine kolovozne konstrukcije treba ocijeniti odgovarajućim faktorom za korekciju.

S obzirom da je uticaj uzdužnog nagiba kolovoza relativno neznatan na opterećenje (oko $\pm 1\%$ pri uzdužnom nagibu od 8%). Pri većim uzdužnim nagibima na istom smjeru vožnje potrebno je uvijek izvesti komparativna mjerenja.

2.4.6.2.2.1 Uticaj opterećenja koje stvaraju točkovi

Faktori uticaja opterećenja koje stvaraju točkovi k_{ko} (u opsegu od 30 do 70 kN) na izračunavanje ugiba površine kolovozne konstrukcije predstavljeni su u Tabeli 1. Navedene vrijednosti obuhvataju sljedeće:

- omjer 2: 1 vertikalnog pomjeranja vrha senzora na kraku senzora do mjernog sata, i
- pretvaranje vrijednosti ugiba, koje su očitane na mjernom satu, u milimetre.

Maksimalan ugib d_i se izračunava na osnovu sljedeće jednačine:

$$d_i = k_{ko} \times (d_{To} - d_{Tr})$$

gdje je:

- d_{To} - očitavanje na skali mjernog sata pod opterećenjem
- d_{Tr} - očitavanje poslije rasterećenja

2.4.6.2.2.2 Uticaj temperature

U cilju određivanja uticaja temperature asfaltnog zastora (u opsegu od 5°C do 30°C) na ugeb površine kolovozne konstrukcije, u Tabeli 2 su navedeni faktori za korekciju k_T . Pri temperaturama koje su izvan gore navedenog opsega mjerenje ugiba nije izvodljivo.

Srednju temperaturu asfaltnog zastora treba izračunati na osnovu sljedeće jednačine:

$$T_m = \frac{5T_o + (h - 5)T_{10}}{h}$$

gdje je:

- T_o - temperatura na površini kolovozne konstrukcije (°C)

- T_{10} - temperatura na dubini od 10 cm (°C)

- h - debljina asfaltnog zastora

Tabela 1: Faktori uticaja opterećenja koje stvaraju točkovi k_{ko} na izračunavanje ugiba površine kolovozne konstrukcije

Opterećenje koje stvaraju točkovi [kN]	Faktor k_{ko}	Opterećenje koje stvaraju točkovi [kN]	Faktor k_{ko}	Opterećenje koje stvaraju točkovi [kN]	Faktor k_{ko}	Opterećenje koje stvaraju točkovi [kN]	Faktor k_{ko}
30.0	0.0333	40.0	0.0250	50.0	0.0200	60.0	0.0167
30.5	0.0328	40.5	0.0247	50.5	0.0198	60.5	0.0166
31.0	0.0323	41.0	0.0244	51.0	0.0196	61.0	0.0164
31.5	0.0318	41.5	0.0241	51.5	0.0194	61.5	0.0163
32.0	0.0312	42.0	0.0238	52.0	0.0192	62.0	0.0161
32.5	0.0308	42.5	0.0235	52.5	0.0190	62.5	0.0160
33.0	0.0303	43.0	0.0232	53.0	0.0189	63.0	0.0159
33.5	0.0298	43.5	0.0230	53.5	0.0187	63.5	0.0158
34.0	0.0294	44.0	0.0227	54.0	0.0185	64.0	0.0156
34.5	0.0290	44.5	0.0225	54.5	0.0183	64.5	0.0155
35.0	0.0286	45.0	0.0222	55.0	0.0182	65.0	0.0154
35.5	0.0282	45.5	0.0220	55.5	0.0180	65.5	0.0153
36.0	0.0278	46.0	0.0217	56.0	0.0179	66.0	0.0151
36.5	0.0274	46.5	0.0215	56.5	0.0177	66.5	0.0150
37.0	0.0270	47.0	0.0213	57.0	0.0175	67.0	0.0149
37.5	0.0267	47.5	0.0211	57.5	0.0174	67.5	0.0148
38.0	0.0263	48.0	0.0208	58.0	0.0172	68.0	0.0147
38.5	0.0260	48.5	0.0206	58.5	0.0171	68.5	0.0146
39.0	0.0257	49.0	0.0204	59.0	0.0169	69.0	0.0145
39.5	0.0253	49.5	0.0202	59.5	0.0168	69.5	0.0144

Tabela 2: Faktori uticaja temperature k_T na izračunavanje ugiba kolovozne konstrukcije sa asfaltnim zastorom (debljine h)

Srednja temperatura asfaltnog zastora T_m [°C]	Debljina asfaltnog zastora h		
	5 do 10 cm	10 do 20 cm	20 do 30 cm
5	Faktor k_T		
6	1.50		
	1.335		

Srednja temperatura asfaltnog zastora T_m [°C]	Debljina asfaltnog zastora h		
	5 do 10 cm	10 do 20 cm	20 do 30 cm
	Faktor k_T		
7	1.265		
8	1.205		
9	1.165		
10	1.135		
11	1.11		
12	1.09		
13	1.075		
14	1.06		
15	1.05		
16	1.04		
17	1.03		
18	1.025		
19	1.02		
20	1.000	1.000	1.000
21	0.985	0.975	0.99
22	0.98	0.955	0.975
23	0.975	0.94	0.955
24	0.975	0.925	0.935
25	0.97	0.91	0.915
26	0.97	0.895	0.89
27	0.97	0.88	0.87
28	0.97	0.865	0.845
29	0.97	0.85	0.825
30	0.97	0.835	0.80

Vrijednost ugiba površine kolovozne konstrukcije d_{20} , tj. vrijednost koja je određena za temperaturu od 20°C, treba izračunati za kolovozne konstrukcije sa asfaltnim zastorom, i

- nevezanim nosivim slojem, na osnovu jednačine

$$d_{20} = d_i \times k_T \quad (\text{mm})$$

- hidrauličnim vezivom vezanim nosivim slojem, na osnovu jednačine

$$d_{20} = d_i + k_h \quad (\text{mm})$$

gdje je:

- k_h - vrijednost korekcije koja je navedena u Tabeli 3.

Tabela 3: Vrijednost korekcije uticaja strukture kolovozne konstrukcije (hidrauličnim vezivom vezani nosivi sloj) na izračunavanje ugiba površine kolovozne konstrukcije pri različitim temperaturama

Srednja temperatura asfaltnog zastora T_m [°C]	Vrijednost korekcije k_h [mm]
5	0.05
6	0.05
7	0.05
8	0.04
9	0.04

Srednja temperatura asfaltnog zastora T_m [°C]	Vrijednost korekcije k_h [mm]
10	0.04
11	0.03
12	0.03
13	0.03
14	0.02
15	0.02
16	0.01
17	0.01
18	0.00
19	0.00
20	0.00
21	- 0.01
22	- 0.02
23	- 0.02
24	- 0.03
25	- 0.03
26	- 0.04
27	- 0.05
28	- 0.05
29	- 0.06
30	- 0.06

2.4.6.2.2.3 Uticaj godišnjeg doba

Uticaj godišnjeg doba na izračunavanje ugiba površine kolovozne konstrukcije zavisi uglavnom od sljedećeg:

- stanja kolovoza,
- osjetljivosti materijala koji se upotrebljavaju u područjima mraza na negativne uticaje smrzavanja, i
- klimatskih i hidroloških uslova.

Informativne vrijednosti faktora sezonskog uticaja „c” predstavljene su u Tabeli 4.

Tabela 4: Faktori sezonskih uticaja „c” na izračunavanje ugiba kolovozne konstrukcije sa asfaltnim zastorom

Faktor „c”	Karakteristični uslovi za određivanje informativnih vrijednosti
1.0	Mjerenje izvedeno u periodu najniže nosivosti (prilikom otapanja snijega)
1.1 – 1.2	Kolovozna konstrukcija nije osjetljiva na uticaje mraza, povoljni klimatski i hidrološki uslovi
1.2 – 1.4	Kolovozna konstrukcija sadrži nosivi sloj od nevezanog kamenog agregata umjerene osjetljivosti na uticaje mraza, povoljni klimatski i hidrološki uslovi
1.6 – 2.0	Zastor kolovozne konstrukcije napuknut; kolovozna konstrukcija sadrži nosivi sloj od nevezanog kamenog agregata srednje osjetljivosti na uticaje mraza, nepovoljni klimatski i hidrološki uslovi

2.4.6.2.2.4 Određivanje homogenih sekcija

Uslov za homogenu sekciju kolovozne konstrukcije, s obzirom na ugib, predstavlja faktor izmjene k_v koji se izračunava na osnovu jednačine:

$$k_v = \frac{s}{\bar{d}} \leq 0,35$$

gdje je:

- s – standardno odstupanje od vrijednosti ugiba, koje se izračunava na osnovu jednačine:

$$s = \sqrt{\frac{d_{20}^2 - \bar{d} \sum d_{20}}{n - 1}}$$

- $\bar{d}$ – srednja vrijednost ugiba koja se izračunava na osnovu jednačine:

$$\bar{d} = \frac{\sum d_{20}}{n}$$

Dužina homogene sekcije ne smije biti manja od 100 m u naseljima, odnosno 200 m izvan naselja.

2.4.6.2.2.5 Određivanje mjerodavnog elastičnog ugiba

Mjerodavni elastični ugib kolovozne konstrukcije sa asfaltnim zastorom, koji je utvrđen na osnovu rezultata dobijenih mjerenjem ugiba pomoću Benkelmanove grede, izračunava se na osnovu jednačine:

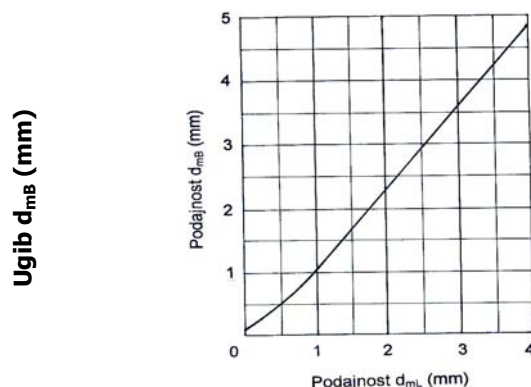
$$d_{mB} = c \cdot (\bar{d} + k_{pr} \cdot s)$$

gdje je:

- k_{pr} – faktor koji zavisi od vrste puta i potrebnog stepena bezbjednosti, a koji iznosi:
 - $k_{pr} = 2.0$: za autoputeve, brze puteve, i magistralne puteve (sa teškim saobraćajem)
 - $k_{pr} = 1.6$: za regionalne puteve (sa srednjim saobraćajem)
 - $k_{pr} = 1.3$: za lokalne puteve (sa lakim saobraćajem)

Mjerodavan elastični ugib d_{mB} predstavlja osnovu za utvrđivanje stvarnog stanja kolovozne konstrukcije.

U postupku utvrđivanja stvarnog stanja kolovozne konstrukcije i određivanja eventualnih potrebnih mjera za rješavanje postojećeg stanja, relevantan je ugib d_{mL} koji je utvrđen pomoću Lacroix deflektografa. Uzajamni odnos vrijednosti ugiba, koje su utvrđene na osnovu rezultata mjerenja Benkelmanovom gredom (d_{mB}), i Lacroix deflektografom (d_{mL}), predstavljen je na crtežu 6.



Crtež 6: Uzajamni odnos vrijednosti ugiba, koje su utvrđene na osnovu rezultata mjerenja Benkelmanovom gredom (d_{mB}), i Lacroix deflektografom (d_{mL})

2.4.6.3 Lacroix deflektograf

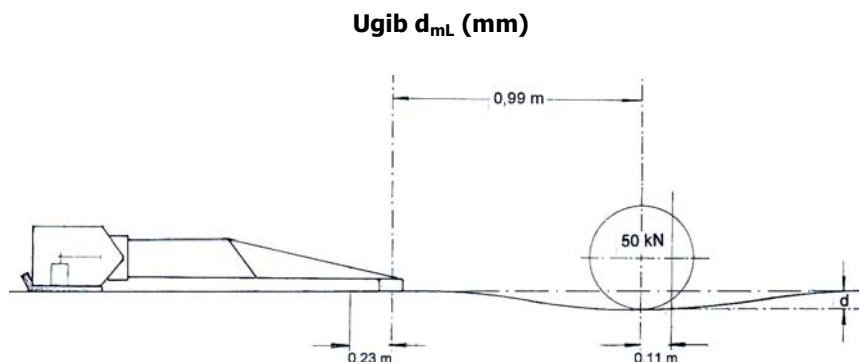
Deflektograf je mjerni uređaj za neprekidno automatsko određivanje (mjerenje i bilježenje) ugiba površine kolovozne konstrukcije pod određenim opterećenjem koje stvaraju točkovi u toku vožnje.

Uređaj je zamišljen tako da usvaja – isto kao što se primjenjuje za Benkelmanovu gredu – princip "pri dolazećem opterećenju".

Način mjerenja ugiba Lacroix deflektografom omogućava utvrđivanje stvarnog stanja kolovozne konstrukcije.

2.4.6.3.1 Način mjerenja

Deflektograf, tj. kamion koji prevozi mjernu opremu, mora, prije početka mjerenja, zadnjom osovinom biti postavljen na početak dionice puta na kojoj će se mjerenje izvoditi. Oba kraka senzora sa mehanizmom za evidentiranje ugiba površine kolovozne konstrukcije treba otpustiti tako da mogu ispravno prionuti na površinu. Kraci senzora se u tom položaju nalaze na udaljenosti od oko 100 cm od sredine zadnje osovine kamiona (Crtež 7). Prije početka mjerenja ugiba potrebno je izmjeriti temperaturu asfaltnog zastora.



Crtež 7: Shematski prikaz mjerenja ugiba površine kolovozne konstrukcije Lacroix deflektografom

Cjelokupan postupak mjerenja ugiba površine kolovozne konstrukcije Lacroix deflektografom je kontrolisan elektronskim putem (preko tastature računara).

U toku postupka mjerenja, kada se kamion neprestano kreće brzinom od oko 2 km/h, sljedeće korake je potrebno preduzimati naizmjenično:

- kontrola kretanja nosivog okvira; kretanje između 3.50 m i 5.50 m u dužinu (na početni položaj za sljedeći krug mjerenja);
- kretanje zadnjih točkova kamiona prema vrhu kraka senzora, što slijedi nakon slijetanja pod opterećenjem koje stvaraju zadnji točkovi;
- automatsko evidentiranje ugiba pomoću dva induktivna uređaja za mjerenje kretanja kraka senzora.

Rezultati dobijeni mjerenjem ugiba pomoću Lacroix deflektografa bilježe se u digitalnom obliku.

2.4.6.3.2 Procjena dobijenih rezultata

Na osnovu rezultata dobijenih mjerenjem ugiba pomoću deflektografa moguće je odrediti sljedeće:

- mjerodavan ugib,
- preostalo razdoblje trajanja kolovozne konstrukcije, kao i možda potrebnu debljinu novog zastora.

Postupak procjene rezultata mjerenja ugiba površine kolovozne konstrukcije d_{mL} pomoću Lacroix deflektografa je u osnovi isti kao i u slučaju mjerenja koja se izvode pomoću

Benkelmanove grede. Sve uticaje koji su opisani pod tačkom 6.2.2 treba u određenom obimu razmotriti, uključujući određivanje homogenih sekcija i mjerodavnog ugiba.

2.4.6.4 Dynatest 8000 FWD deflektometar

Mjerenje ugiba površine kolovozne konstrukcije pomoću Dynatest 8000 FWD deflektometra treba izvesti u skladu sa pojedinačnim detaljnim uputstvima proizvođača mjerne opreme.

Mjerenje ugiba površine kolovozne konstrukcije koje se izvodi deflektometrom sa padajućim tegom omogućava određivanje karakteristika mjernog mjesta (stvarno stanje, trajnost), kao i stvarno stanje materijala u strukturi kolovozne konstrukcije.

2.4.6.4.1 Način mjerenja

Način mjerenja ugiba površine kolovozne konstrukcije zasniva se na dinamičkom opterećenju kružne ploče padajućim tegom. Trajanje i sila opterećenja treba da budu isti kao u slučaju opterećenja pomoću točkova kamiona.

Prije početka mjerenja ugiba potrebno je izvesti sljedeće:

- omogućiti savršeno postavljanje kružne ploče i svih uređaja za mjerenje ugiba na površinu kolovozne konstrukcije;
- izmjeriti temperaturu asfaltnog zastora, i
- postaviti pojedine osnovne i moguće dodatne parametre za mjerenje (način, opterećenje, broj uređaja za mjerenje).

Mjerenje ugiba pomoću deflektometra treba uglavnom izvoditi u sredini kružne ploče, kao i na 6 mjesta u opsegu nosećeg okvira mjerne opreme. Tri vanjska mjerna uređaja, koja su na većoj udaljenosti od kružne ploče, moraju biti postavljena na većoj udaljenosti od ekvivalentne debljine kolovozne konstrukcije. Razmak između pojedinih mjernih mjesta treba odrediti s obzirom na namjenu mjerenja. Navedeni razmak treba da iznosi do 50 m za planiranje odgovarajućih mjera, i do 200 m za upravljanje kolovozom.

Cjelokupan postupak mjerenja ugiba površine kolovozne konstrukcije pomoću deflektometra sa padajućim tegom treba da bude kontrolisan elektronskim putem, preko računara. Svi podaci dobijeni mjerenjem, čija tačnost se provjerava u skladu sa posebnim programom moraju biti pohranjeni u računar.

2.4.6.4.2 Procjena rezultata

Na osnovu rezultata dobijenih mjerenjem ugiba površine kolovozne konstrukcije pomoću deflektometra sa padajućim tegom, moguće je odrediti sljedeće:

- mjerodavan ugib d_{mD} ,
- dinamičke module elastičnosti materijala slojeva kolovozne konstrukcije, i
- preostalo razdoblje trajanja kolovozne konstrukcije i možda potrebnu debljinu novog zastora.

2.4.6.4.2.1 Mjerodavan ugib

U cilju određivanja mjerodavnog ugiba kolovozne konstrukcije sa asfaltnim zastorom potrebno je obezbijediti dinamičko opterećenje ploče koje je jednako opterećenju koje stvaraju točkovi od 50 kN.

Vrijednost dobijena trećim ispitivanjem padajućim tegom uzima se kao vrijednost mjerodavnog ugiba.

Uticaj temperature na ugib površine kolovozne konstrukcije treba uzeti u obzir prilikom određivanja modula elastičnosti. U obzir nije uzet uticaj godišnjeg doba na ugib površine kolovozne konstrukcije koji se mjeri deflektometrom, kao i na dalje utvrđivanje karakteristika stanja kolovozne konstrukcije.

2.4.6.4.2.2 Moduli elastičnosti slojeva kolovozne konstrukcije

U cilju određivanja dinamičkog modula elastičnosti slojeva materijala kolovozne

konstrukcije, koji indirektno karakterišu stanje kolovozne konstrukcije, potrebno je definisati strukturu kolovozne konstrukcije. Proračun debljina ekvivalentnih slojeva zasniva se na Odemark-ovoj teoriji "polu-prostora" i posebnom programu ELMOD. Potrebni su sljedeći dodatni ulazni podaci:

- opterećenje ploče (kN/m^2)
- prečnik kružne ploče (standardni prečnik iznosi 300 mm)
- broj slojeva u kolovoznoj konstrukcije (maksimalno 4)
- debljine pojedinih slojeva ($h \geq 6 \text{ cm}$)
- Poisson-a broj ugrađenih materijala
- razmak između uređaja za mjerenje ugiba – geofona.

2.4.6.4.3 Preostalo razdoblje trajanja

Na osnovu rezultata dobijenih mjerenjem ugiba površine kolovozne konstrukcije pomoću deflektometra, i na osnovu utvrđenog dinamičkog modula elastičnosti slojeva kolovozne konstrukcije, poseban program ELMOD takođe pruža mogućnost izračunavanja preostalog razdoblja trajanja kolovozne konstrukcije za predviđeno saobraćajno opterećenje, tj. broj prolaza nominalnog osovinskog opterećenja od 82 kN, kao i određivanja potrebe za postavljanjem novog zastora ili ojačavanjem.

2.4.7 Kriterijumi za određivanje stvarnog stanja

U cilju određivanja stvarnog stanja kolovozne konstrukcije, prvo je potrebno odrediti homogene sekcije puta. Dužina navedenih sekcija iznosi najmanje 200 m izvan naselja, odnosno 100 m u naseljima.

Projektovano saobraćajno opterećenje za određivanje stanja kolovozne konstrukcije treba odrediti u skladu sa smjernicama 1.1.7.2.1. Informativna klasifikacija saobraćajnog opterećenja u grupe predstavljena je u Tabeli 5.

2.4.7.1 Mjerodavan ugib na novo-izgrađenim putevima

Projektovane vrijednosti ugiba površine kolovozne konstrukcije na novo-izgrađenim putevima sa asfaltnim zastorom (donja granica - d_{mm} i gornja granica - d_{ms}) prikazane su u Tabeli 6.

2.4.7.2 Mjerodavan ugib na postojećim putevima

Mjerodavne vrijednosti ugiba površine kolovozne konstrukcije na postojećim putevima sa asfaltnim zastorom (d_{mm}) prikazane su u Tabeli 7. Gornje granične vrijednosti d_{ms} mogu, prema pravilu, biti veće za najviše 0.1 mm.

Tabela 5: Informativna klasifikacija saobraćajnog opterećenja u grupe

Grupa saobraćajnog opterećenja	Broj prolaza nominalnog osovinskog opterećenja od 82 kN	
	po danu	za 20 godina
- izuzetno teško	preko 3,000	preko 2×10^7
- veoma teško	preko 800 do 3,000	preko 6×10^6 do 2×10^7
- teško	preko 300 do 800	preko 2×10^6 do 6×10^6
- srednje	preko 80 do 300	preko 6×10^5 do 2×10^6
- lako	preko 30 do 80	preko 2×10^5 do 6×10^5
- veoma lako	do 30	do 2×10^5

Tabela 6: Mjerodavne vrijednosti ugiba površine kolovozne konstrukcije na novo-izgrađenim putevima sa asfaltnim zastorom

Grupa saobraćajnog opterećenja	Projektovano razdoblje trajanja			
	10 godina		20 godina	
	Vrijednost ugiba (mm)			
	donja granica – d _{mm}	gornja granica – d _{ms}	donja granica – d _{mm}	gornja granica – d _{ms}
- izuzetno teško	0.45	0.55	0.40	0.45
- veoma teško	0.60	0.70	0.50	0.60
- teško	0.75	0.85	0.65	0.75
- srednje	0.90	1.00	0.80	0.90
- lako	1.05	1.15	0.95	1.05
- veoma lako	1.20	1.30	1.10	1.20

Tabela 7: Mjerodavne vrijednosti ugiba površine kolovozne konstrukcije na postojećim putevima sa asfaltnim zastorom

Grupa saobraćajnog opterećenja	Projektovano razdoblje trajanja			
	5 godina	10 godina	15 godina	20 godina
	Granična vrijednost ugiba d_{mm} (mm)			
- izuzetno teško	0.8	0.7	0.6	0.5
- veoma teško	0.9	0.8	0.7	0.6
- teško	1.2	1.0	0.9	0.8
- srednje	1.5	1.2	1.1	1.0
- lako	1.7	1.4	1.2	1.1
- veoma lako	1.8	1.6	1.4	1.2

2.5 NOVE ASFALTNE KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE

2.5.1 Predmet smjernica

U ovim smjernicama navedene su dimenzije kolovoznih konstrukcija na svim saobraćajnim površinama predviđenim za odvijanje motornog saobraćaja, koje su izgrađene na donjem stroju.

Dimenzije asfaltnog zastora na mostovima i u tunelima određuje se uzimajući u obzir posebne uslove.

Ove smjernice predviđene su za određivanje

- ukupne debljine kolovozne konstrukcije, i
- debljine slojeva pojedinih materijala,

u zavisnosti od sljedećih faktora:

- uticaj saobraćajnog opterećenja na zamor materijala kolovozne konstrukcije,
- nosivost donjeg stroja (osnove), i
- hidrološki i klimatski uslovi.

Projektovanje novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija, zasniva se na pretpostavci da su na određenoj dionici puta slični svi faktori (uticaji), te da se neće znatno mijenjati u poređenju sa predviđenim. U tom slučaju obezbjeđeno je projektovano razdoblje trajanja i upotrebljivost asfaltna kolovozne konstrukcije; s tim da se upotrebljivost vremenom postepeno smanjuje.

Sadržaj ovih smjernica ne može se tumačiti i primjenjivati tako da spriječi ili uslovi odgovarajuću primjenu građevinskih proizvoda odobrenih za upotrebu, u skladu sa odredbama Zakona o građevinskim proizvodima.

2.5.2 Referentna dokumentacija

Ove smjernice se zasnivaju na sljedećoj referentnoj dokumentaciji:

- **AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures**, AASHTO, Washington, D.C., 1974
- **Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen** – RStO 86, FGSV, Köln, 1989 (*Guidelines for Standardization of Pavements of Traffic Surfaces*)
- **Dimensionierung des Strassen-oberbaues** (Vorträge 1972), VSS, Zürich, 1972 (*Road Pavement Design*)
- **Road Note 29: 1970** A guide to the structural design of pavements for new roads, Road Research Laboratory, London
- **RVS 3.63: 1997** Strassenplanung, Bautechnische Details, Oberbaube-messung (*Road Design; Constructive Technical Details; Pavement Design*)
- **SN 640 324: 1988** Dimensionierung, Strassenoberbau (*Design, Road Pavement*)

Smjernice sadrže datirane odredbe ostalih publikacija. Naknadne dopune ili izmjene potrebno je uzeti u obzir ukoliko su obuhvaćene dodatkom ili revizijom.

2.5.3 Objašnjenje pojmova

Tehnički pojmovi upotrebljeni u ovim smjernicama imaju sljedeće značenje:

Asfaltni (habajući) zastor (asphalt surfacing, Asphaltdecke) je gornji dio kolovozne konstrukcije i sastoji se iz habajućeg sloja i vezanog gornjeg nosivog ili nosivohabajućeg sloja iz bituminizirane (asfaltna) smjese.

Asfaltna kolovozna konstrukcija (asphalt pavement, Asphalt - Fahrbahnbefestigung) je dio učvršćene prometne površine s asfaltnim zastorom; vrsta preostalih nosivih slojeva u kolovoznoj konstrukciji nije određena.

Bitumenski beton (asphalt concret, Asphaltbeton) je s bitumenskim vezivom vezana smjesa kamenih zrna određene veličine, namijenjena za izradu habajućih i zaptivnih slojeva.

Bitumenizirani drobljeni agregat (bituminous well graded crushed stone, bituminiertes Brechkorn - Mischgut) je bitumenska smjesa za nosive slojeve, sastavljena je iz potpuno drobljenih kamenih zrna, obavijenih sa bitumenskim vezivom.

Hidrološki uslovi (hydrological conditions, hydrologische Verhältnisse) su uslovi, koji određuju stanje voda u zemljištima (u blizini ceste).

Klimatski uslovi (climatic conditions, klimatische Verhältnisse) su uslovi, koje određuje temperatura vazduha u određenom vremenskom razdoblju i u određenom kraju ili području, kroz koje prolazi cesta.

Nosivost (bearing capacity, Tragfähigkeit) označava mehaničku otpornost planuma ugrađenog materijala protiv (kratkotrajnih) opterećenja.

Posteljica (capping layer, verfestigter Unterbau) je gornji (zaključni) sloj nasipa ili temeljnog tla, debeo do 50 cm, sa posebnim osobinama (povećana nosivost, smanjena osjetljivost na uticaje mraza), postignut s odgovarajućim građevinskotehničkim zahvatima (poboljšanje, učvršćenje stabiliziranje).

Prosječni godišnj dnevni saobraćaj (PLDP) (average annual daily traffic (AADT), durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV)) je na osnovu podataka brojanja saobraćaja ocijenjen prosječni dnevni broj motornih vozila, koji je u određenoj godini provozio odabrani presjek ceste.

Kolovoz (carriageway, Fahrbahn) je jednakomjerno neprekinuti utvrdjeni dio cestnog tijela, primjeren za vožnju vozila

Debljinski indeks kolovozne konstrukcije (D) (pavement thickness-index, Dickenindex der Fahrbahnbefestigung) je suma umnožaka faktora ekvivalentnosti (= otpornosti protiv zamaranja) pojedinih materijala (a_i), ugrađenih u voznu konstrukciju, i debljina slojeva tih materijala (d_i).

Mjerodavno saobraćajno opterećenje (design traffic loading, massgebende Verkehrsbelastung) je karakteristična vrijednost za saobraćajno opterećenje kolovozne konstrukcije jednog voznog pasa u planiranom razdoblju trajanja, određena na osnovu prosječnog godišnjeg dnevnog saobraćaja (broja vozila) i njegovog porasta te dodatnih uticaja: broja i širine voznih traka, najvećeg uzdužnog nagiba kolovoza i mogućih dinamičkih učinaka; označava sumu broja prelaza nazivnog (nominalnog) osovinskog opterećenja (82 kN).

Nazivno (nominalno) osovinsko opterećenje (NOO) (nominal axle load, nominelle Achslast) je (standardno, nominalno) opterećenje jednostruke osovine vozila sa 81,6 (82) kN, koje se prenosi sa duplim točkovima (4 x 20,4 kN) na voznu površinu; određeno je kao osnova za upoređivanje uticaja različitih osovinskih opterećenja.

Vrijeme trajanja kolovozne konstrukcije (pavement life time, Lebensdauer der Fahrbahnbefestigung) je vrijeme planirane primjerne upotrebljivosti vozne površine u odnosu na sigurnost, udobnost i gospodarnost vožnje.

2.5.4 Osnove za projektovanje

2.5.4.1 Opšte

Smjernica se zasniva na rezultatima AASHO ispitivanja (Američko udruženje državnih zvaničnika za autoputeve) koji su dopunjeni provjerom relevantnih napona i deformacija na graničnim površinama pojedinih slojeva kolovozne konstrukcije.

Osnovni parametri u ovom empirijskom načinu određivanja dimenzija kolovozne konstrukcije su sljedeći:

- doba trajanja kolovozne konstrukcije,
- upotrebljivost površine kolovozne konstrukcije po isteku doba trajanja (p),

- nosivost osnove = posteljice (CBR),
- mjerodavno dnevno saobraćajno opterećenje (T_d),
- klimatski i hidrološki uslovi (R)
- karakteristike materijala koji će se upotrebljavati za izradu predviđene kolovozne konstrukcije (a_i , d_i).

Upotrebljivost kolovozne konstrukcije, kao ciljna vrijednost, određuje se na osnovu indeksa p saobraćajne sposobnosti, koji iznosi:

- za nove, idealno ravne asfaltne kolovoze $p = 5.0$
- za potpuno istrošene (uništene) kolovoze, na kojima odvijanje saobraćaja nije moguće $p = 0$.

Mjerenja upotrebljivosti površine kolovozne konstrukcije ili određivanje indeksa saobraćajne sposobnosti na osnovu rezultata dobijenih mjerenjem nije podržano u praksi. Kao projektovana granična vrijednost indeksa saobraćajne sposobnosti, po isteku doba trajanja kolovozne konstrukcije usvojena je vrijednost $p_k = 2.0$, koja i dalje označava da je kolovozna konstrukcija ispravna ali da se radi o graničnom stanju kolovozne površine.

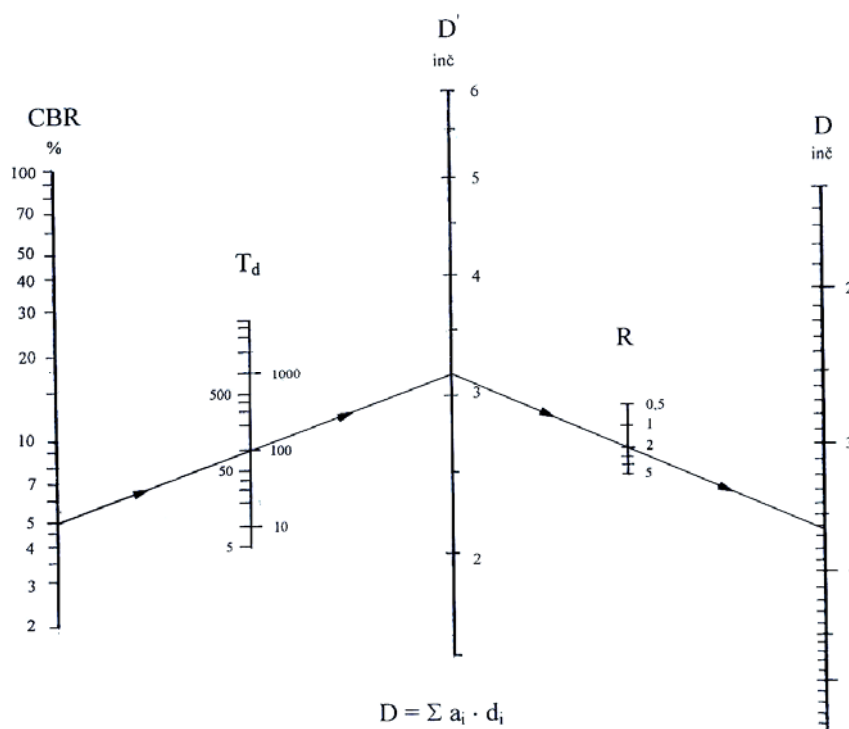
Odnos ostalih osnovnih parametara, u skladu sa AASHO, predstavljen je nomogramom na Crtežu 1.

2.5.4.2 Nosivost posteljice

2.5.4.2.1 Način određivanja

Nosivost posteljice određuje se na osnovu postupaka koji su navedeni i detaljno opisani u smernicama.

Za određivanje dimenzija kolovozne konstrukcije relevantan je kalifornijski indeks nosivosti (CBR). Informativne korelativne vrijednosti indeksa CBR_2 , modula deformacije E_{v2} , i modula stižljivosti M_E navedene su u tabeli 1.



Crtež 1: Nomogram za određivanje indeksa debljine kolovozne konstrukcije D ($p = 2.0$)

Tabela 1: Informativna korelacija vrijednosti nosivosti za karakteristične materijale posteljice

Klasifikacija materijala prema USCS	CBR ₂ vrijednost (%)	Modul stišljivosti M _E (MN/m ²)	Modul deformacije E _{v2} (MN/m ²)
ML, MH, CH	3	4	15
CL, SC	5	8	20
GC, SM	7	13	45
GC, SP	10	20	60
SW, GM	15	35	80
GP, GW	20	50	100

2.5.4.2.2 Kriterijum

Osnovni uslov koji osnova ispod kolovozne konstrukcije mora da ispuni su mehanička svojstva tla, koja treba da budu, što je moguće više, ujednačena, kako bi se na taj način postigla ujednačena nosivost.

Ukoliko odgovarajuću nosivost nije moguće postići pomoću prirodnih materijala, potrebno je uvesti odgovarajuće metode za poboljšanje, učvršćenje i/ili stabilizaciju. S obzirom da navedeni postupci ne zahtijevaju veća ulaganja, potrebno je postići maksimalnu moguću nosivost, koja u svakom slučaju ne smije biti manja od CBR = 7 %.

Dionice puta na kojima je nosivost ujednačena treba da budu što je moguće duže. Prema pravilu, nosivost osnove ispod kolovozne konstrukcije (posteljice) treba biti ujednačena na čitavoj dionici određenog novog puta, s tim da navedena dionica ne smije biti kraća od 500 m.

2.5.4.3 Mjerodavno saobraćajno opterećenje**2.5.4.3.1 Način određivanja**

Mjerodavno saobraćajno opterećenje T_n kolovozne konstrukcije u projektovanom dobu trajanja od *n* godina potrebno je odrediti u skladu sa postupkom koji je detaljno obrazložen u smjernicama 2.1.

Ukupan broj prolaza nominalnog osovinskog opterećenja od 82 kN određuje se za svaku saobraćajnu traku pojedinačno.

Projektovano doba trajanja kolovoznih konstrukcija sa asfaltnim zastorom treba, prema pravilu, da iznosi 20 godina. U određenim slučajevima navedeno razdoblje može biti i kraće, s tim da ne smije biti kraće od 5 godina.

2.5.4.3.2 Klasifikacija

Klasifikacija prosječnog dnevnog i mjerodavnog (ukupnog) saobraćajnog opterećenja u karakteristične grupe u okviru projektovanog razdoblja trajanja kolovozne konstrukcije (*n* = 20 godina) prikazana je u tabeli 2.

Tabela 2: Klasifikacija saobraćajnog opterećenja u grupe

Grupa saobraćajnog opterećenja	Broj prolaza nominalnog osovinskog opterećenja od 82 kN	
	po danu	po danu
- izuzetno teško	iznad 3,000	iznad 2×10^7
- veoma teško	iznad 800 do 3,000	iznad 6×10^6 do 2×10^7
- teško	iznad 300 do 800	iznad 2×10^6 do 6×10^6
- srednje	iznad 80 do 300	iznad 6×10^5 do 2×10^6
- lako	iznad 30 do 80	iznad 2×10^5 do 6×10^5
- veoma lako	do 30	do 2×10^5

2.5.4.4 Klimatski i hidrološki uslovi

2.5.4.4.1 Načini određivanja

Prilikom određivanja dimenzija novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija potrebno je u obzir uzeti klimatske i hidrološke uslove, na osnovu sljedećeg:

- usvojene vrijednosti regionalnog faktora $R = 2.0$ pri određivanju dimenzija za obezbjeđenje odgovarajuće otpornosti na zamor predviđenih materijala, i
- određene granične debljine $h_{\min}$ kolovozne konstrukcije za zaštitu od uticaja smrzavanja i otapanja.

2.5.4.4.2 Kriterijum

Vrijednosti regionalnog faktora iznose do $R = 0.5$ za najoštrije klimatske i hidrološke uslove, odnosno do $R = 5$ za najpovoljnije klimatske i hidrološke uslove. Za uslove koji preovlađuju u BiH, vrijednost $R = 2.0$ je utvrđena kao osnovna.

Relevantne uticaje klimatskih i hidroloških uslova na određivanje granične debljine kolovozne konstrukcije, u cilju zaštite od uticaja smrzavanja i otapanja, treba utvrditi na osnovu analize uslova zaštite, koji su detaljno navedeni u smjernicama 1.1.7.2.2.

2.5.4.5 Osnovni materijali

2.5.4.5.1 Opšte

Prilikom odabira materijala za kolovoznu konstrukciju, u obzir je potrebno uzeti sljedeće:

- ulogu pojedine vrste i sloja materijala,
- kvalitet materijala, i
- ekonomiju primjene.

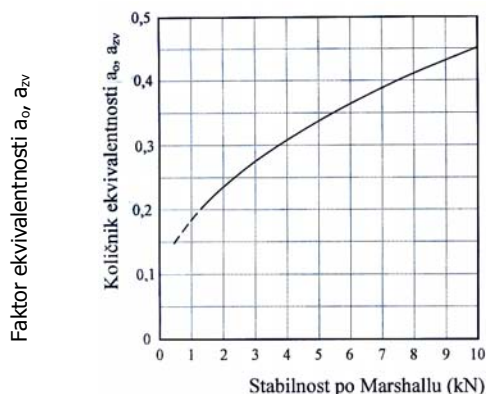
Kvalitet materijala predviđenih za izradu novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija treba da ispunjava zahtjeve koji su navedeni u važećim tehničkim propisima.

Međusobni odnosi materijala s obzirom na otpornost na zamor koji prouzrokuje saobraćajno i klimatsko opterećenje, tj. faktori ekvivalentnosti materijala ili faktori zamjene (a_i) omogućavaju potrebna poređenja pri određivanju vrste i dimenzija pojedinih slojeva kolovozne konstrukcije.

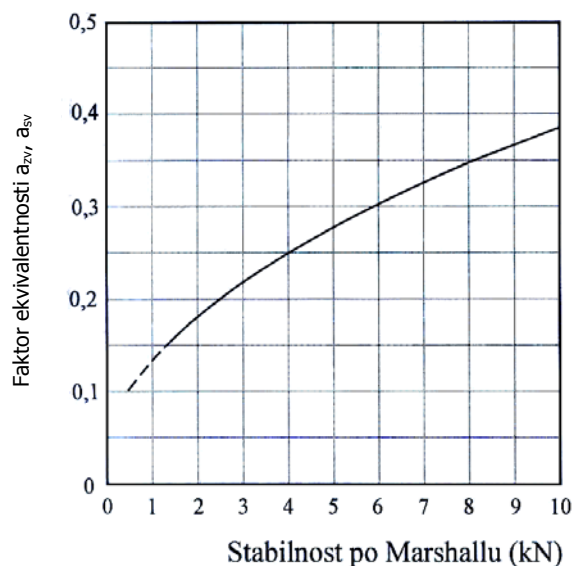
2.5.4.5.2 Određivanje kvaliteta

Prosječne (informativne) vrijednosti faktora ekvivalentnosti materijala koji se upotrebljavaju za nove asfaltne kolovozne konstrukcije navedene su u tabeli 3.

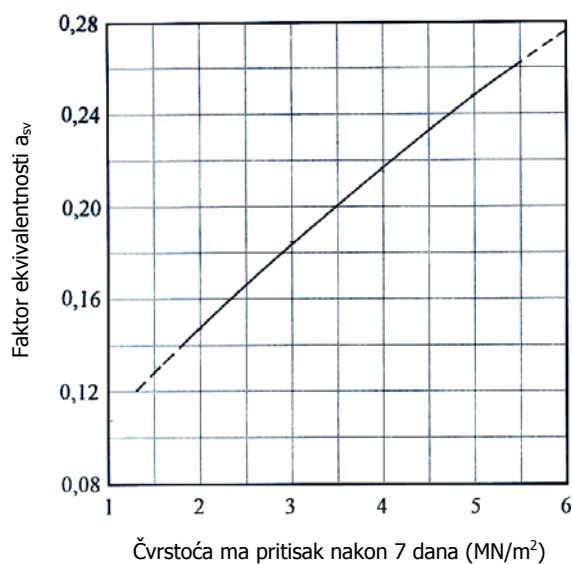
U slučaju da se kod asfaltnih mješavina za habajuće i nosive slojeve, cementom stabilizovanih kamenih agregata i nevezanih mineralnih agregata pojave značajnija odstupanja kvaliteta od prosječnih vrijednosti, potrebno je odrediti odgovarajuće faktore ekvivalentnosti materijala, primjenom dijagrama prikazanih na Crtežima 2 do 5.



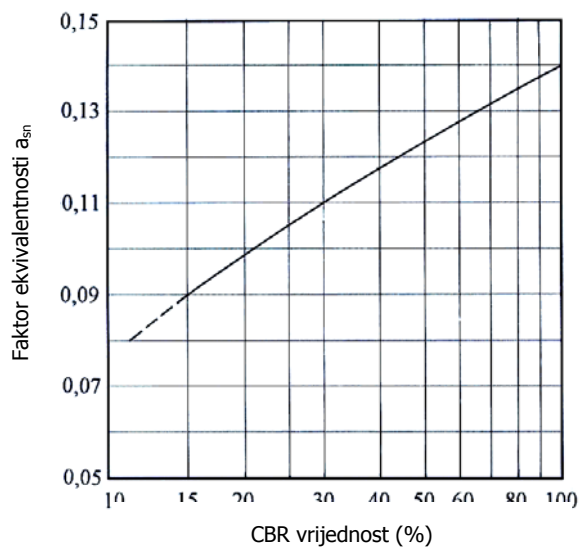
Crtež 2: Faktori ekvivalentnosti za bitumenski beton i bitumenizirani drobljeni kameni agregat



Crtež 3: Faktori ekvivalentnosti za bitumenizirani šljunak i kameni agregat stabilizovan bitumenom



Crtež 4: Faktori ekvivalentnosti za kameni agregat stabilizovan cementom



Crtež 5: Faktori ekvivalentnosti za nevezane kamene agregate (drobljeni agregat, šljunak)

Tabela 3: Prosječne vrijednosti faktora ekvivalentnosti osnovnih materijala za izgradnju puteva

Vrsta materijala	Faktor ekvivalentnosti a_i
- za habajući sloj:	
- bitumenski beton	$a_o = 0.42$
- sitnež sa bitumenskim mastiksom (SMA)	$a_o = 0.42$
- za gornji noseći sloj:	
- bitumenizirani drobljeni kameni agregat	$a_{zv} = 0.35$
- bitumenizirani šljunak	$a_{zv} = 0.28$
- za vezani donji noseći sloj:	
- kameni agregat stabilizovan	
- bitumenom	$a_{sv} = 0.24$
- cementom	$a_{sv} = 0.20$
- za nevezani donji noseći sloj:	
- drobljeni kameni agregat	$a_{sn} = 0.14$
- šljunak	$a_{sn} = 0.11^*$

* ograničen debljinom sloja od 40 cm

2.5.5 Osnovne vrste asfaltnih kolovoznih konstrukcija

Asfaltne kolovozne konstrukcije moguće je izvesti u vidu tri karakteristične strukture, koje se jedna od druge razlikuju u nosivim slojevima.

S obzirom na vrstu upotrebljenog materijala, nosivi slojevi mogu biti izvedeni od

- nevezanog kamenog agregata (Crtež 6),
- kamenog agregata stabilizovanog bitumenom ili cementom (Crtež 7), ili
- kamenog agregata stabilizovanog cementom ili bitumenom i nevezanog kamenog agregata (Crtež 8).



Crtež 6: Asfaltna kolovozna konstrukcija sa nosivim slojem od nevezanog kamenog agregata



Crtež 7: Asfaltna kolovozna konstrukcija sa nosivim slojem od kamenog agregata stabilizovanog bitumenom ili cementom



Crtež 8: Asfaltna kolovozna konstrukcija sa dva nosiva sloja: kameni agregat stabilizovan bitumenom ili cementom i nevezani kameni agregat

U određenim uslovima asfaltna kolovozna konstrukcija može biti izvedena tako da se izmijeni položaj nosivih slojeva.

2.5.6 Način određivanja dimenzija

2.5.6.1 Opšte

Način određivanja novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija obuhvata sljedeće:

- određivanje relevantnih osnova za dimenzionisanje, u skladu sa postupcima navedenim u poglavlju 1.1.7.2.5.4, i
- određivanje debljine i tipa pojedinačnih slojeva, uzimajući u obzir svojstva materijala.

Za određivanje dimenzija sloja novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija, koje se sastoje od asfaltnog zastora i nevezanog nosivog sloja (Crtež 6), usvojen je dijagram koji je predstavljen na Crtežu 9.

Za tipične nove asfaltne kolovozne konstrukcije, predstavljene na Crtežu 7 i Crtežu 8, određuju se dimenzije nosivih slojeva, i to uzimajući u obzir odgovarajuće faktore ekvivalentnosti za odabrane materijale (Tabela 3).

2.5.6.2 Određivanje debljine sloja

Potrebnu debljinu asfaltnog zastora i nevezanog sloja kamenog agregata za mjerodavno saobraćajno opterećenje T_n u toku doba trajanja kolovozne konstrukcije, i određenu vrijednost nosivosti posteljice – osnove CBR treba odrediti na osnovu dijagrama predstavljenog na Crtežu 9.

2.5.6.2.1 Asfaltni zastor

Ukupna potrebna debljina asfaltnog zastora d_k , tj. asfaltnog habajućeg sloja i asfaltnog gornjeg nosivog sloja, koja je predstavljena na dijagramu na crtežu 9, određuje se za prosječan kvalitet asfaltne mješavine čiji je projektovani faktor ekvivalentnosti $a_{rk} = 0.38$.

Izbor asfaltnih mješavina za habajući i gornji nosivi sloj zavisi od posebnih uslova primjene, uglavnom od predviđenog saobraćajnog opterećenja, klimatskih uslova i toka trase puta, kojima se prilagođava sastav kamenog agregata i tip bitumenskog veziva.

Kvalitet asfaltne mješavine treba da ispunjava zahtjeve koji su navedeni u važećim tehničkim propisima za proizvodnju i ugradnju asfaltnih mješavina.

Određivanje debljine habajućeg sloja d_o i gornjeg nosivog sloja d_{zv} , potrebno je izvršiti pomoću sljedeće jednačine, uzimajući u obzir faktore ekvivalentnosti a_o i a_{zv} navedene u tabeli 3, kao i granične vrijednosti koje zavise od tehnologije:

$$D_k = a_{rk} \cdot d_k = 0.38 \cdot d_k = a_o \cdot d_o + a_{zv} \cdot d_{zv}$$

Asfaltne mješavine za habajuće slojeve novih kolovoznih konstrukcija, koje treba da izdrže veoma teško i izuzetno teško saobraćajno opterećenje, treba da sadrže modifikovano bitumensko vezivo.

Za gornje nosive slojeve novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija, koje su izložene teškom, veoma teškom i izuzetno teškom saobraćajnom opterećenju, potrebno je upotrijebiti bitumenizirani drobljeni kameni agregat; pored toga, takođe se preporučuje i modifikovano bitumensko vezivo. Naročito za laka i veoma laka saobraćajna opterećenja, može se predvideti asfaltna mješavina sa bitumeniziranim šljunkom.

2.5.6.2.2 Nevezani nosivi sloj

Debljina nevezanog kamenog agregata u nosivom sloju, koja je prikazana u dijagramu na Crtežu 9, određena je za mješavinu zrna šljunka sa faktorom ekvivalentnosti $a_{rn} = 0.11$.

Za nove asfaltne kolovozne konstrukcije, projektovana debljina nevezanog nosivog sloja šljunka treba da iznosi:

- teško saobraćajno opterećenje min. 25 cm
- srednje ili lako saobraćajno opterećenje min. 20 cm

Ukoliko je, usljed slabe nosivosti donjeg stroja i teškog saobraćajnog opterećenja, potreban sloj nevezanog šljunka, deblji od 40 cm (vidjeti dijagram na Crtežu 9), prema pravilu, nosivost donjeg stroja treba povećati.

Dio ili ukupnu debljinu nevezanog nosivog sloja šljunka moguće je zamijeniti drobljenim kamenim agregatom, uzimajući u obzir projektovani faktor ekvivalentnosti $a_{sn} = 0.14$. S obzirom da je debljina nevezanog nosivog sloja drobljenog kamenog agregata takođe ograničena na 40 cm, može da zamijeni ekvivalentnu projektovanu debljinu sloja šljunka, koja iznosi do:

$$40 \times 0.14 / 0.11 \cong 50 \text{ cm.}$$

Vrstu kamenog agregata, koja je predviđena za nevezane nosive slojeve moguće je prilagoditi saobraćajnom opterećenju i ekonomskim uslovima. Pri izradi novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija koje su izložene teškom, veoma teškom i izuzetno teškom saobraćajnom opterećenju, potrebno je, prema pravilu, upotrijebiti drobljene kamene agregate za nevezani nosivi sloj.

Kvalitet kamenih agregata za izradu nevezanih nosivih slojeva mora da ispunjava zahtjeve važećih tehničkih propisa za proizvedene i ugrađene kamene agregate.

2.5.6.2.3 Donji vezani nosivi sloj

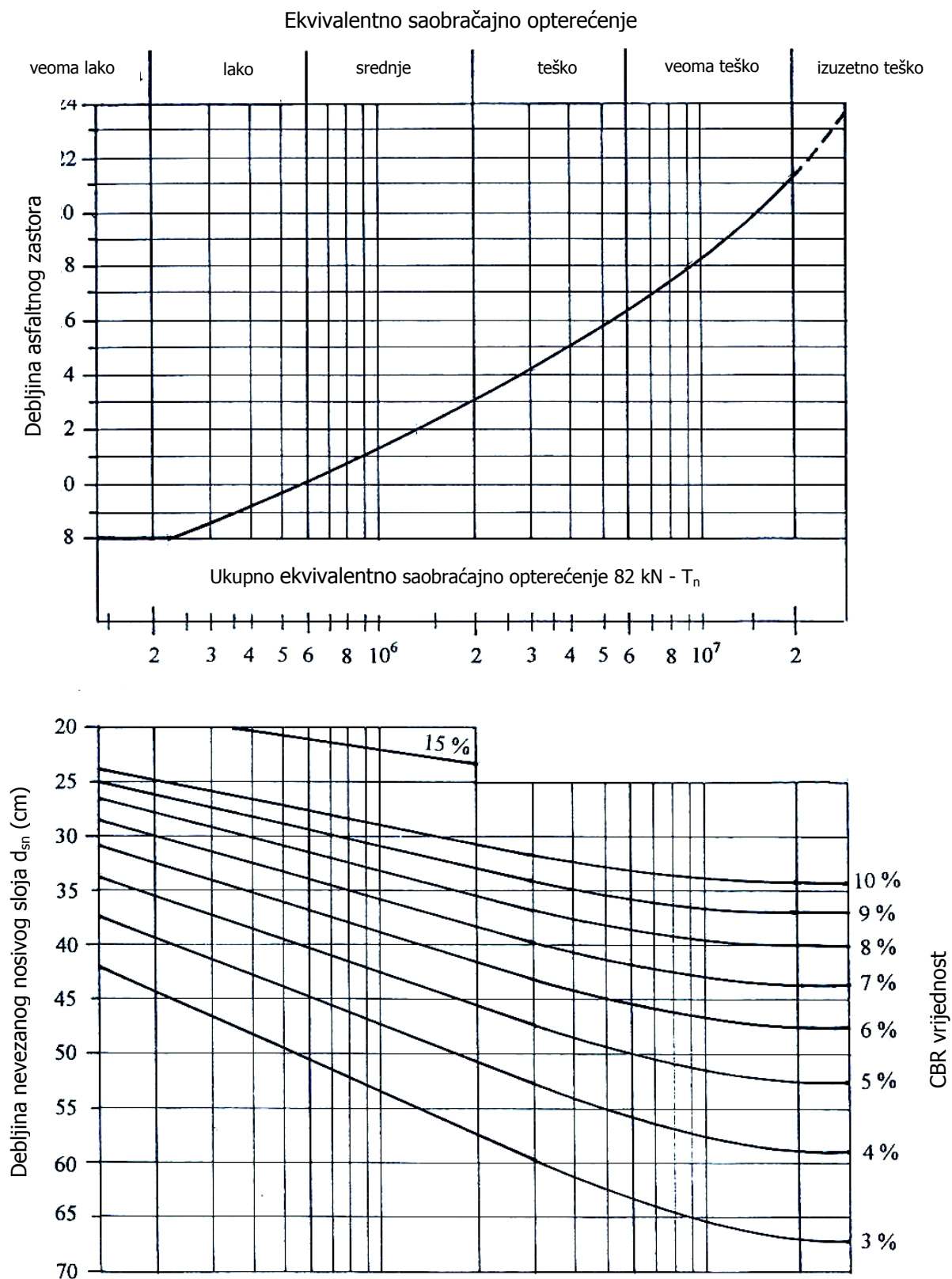
Nevezani nosivi sloj šljunka može djelomično ili potpuno biti zamijenjen donjim vezanim nosivim slojem, tj. mješavinom drobljenog kamenog agregata ili šljunka, koja je stabilizovana cementom, ili betonom. Odgovarajući faktor ekvivalentnosti naveden je u Tabeli 3.

Minimalna projektovana debljina donjeg vezanog nosivog sloja za nove asfaltne kolovozne konstrukcije iznosi:

- ukoliko su opterećeni teškim saobraćajem i stabilizovani
 - cementom min. 18 cm,
 - bitumenskim vezivom min. 14 cm,
- ukoliko su opterećeni srednjim ili lakim saobraćajem i stabilizovani
 - - cementom min. 15 cm,
 - - bitumenskim vezivom min. 12 cm.

Vrsta materijala donjeg vezanog nosivog sloja, tj. kameni agregat stabilizovan bitumenskim vezivom ili cementom mora biti prilagođena saobraćajnim i klimatskim uslovima, toku trase puta i ekonomskim okolnostima.

Kvalitet asfaltne mješavine ili kamenog agregata koji je stabilizovan cementom mora biti u skladu sa odredbama važećih tehničkih propisa za proizvedene i ugrađene mješavine.



Crtež 9: Dijagram za određivanje dimenzija osnovnih slojeva novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija

2.5.6.3 Izgradnja u fazama

Ukoliko je izgradnja nove asfaltne kolovozne konstrukcije predviđena u fazama, potrebno je voditi računa o tome da nosivi sloj (izrađen od nevezanog kamenog agregata ili od kamenog agregata stabilizovanog vezivom, ili od kombinacije jednog i drugog) mora biti izveden za čitavo projektovano razdoblje trajanja kolovozne konstrukcije, dok asfaltni zastor mora biti izveden tako da traje jedan dio projektovanog razdoblja trajanja.

Potrebna debljina asfaltnog zastora, koji se nanosi na postojeću kolovoznu konstrukciju, a koji traje samo jedan dio projektovanog razdoblja trajanja, za preostalo razdoblje trajanja mora biti određen na osnovu razlike između potrebne debljine sloja asfalta za cjelokupno razdoblje trajanja i debljine sloja asfalta za jedan dio projektovanog razdoblja trajanja.

Prije završetka izgradnje asfaltne kolovozne konstrukcije, tj. prije druge faze, nosivost postojeće kolovozne konstrukcije (iz prvog dijela projektovanog razdoblja trajanja) treba provjeriti ispitivanjem na ugib (npr. pomoću Benkelman-ove grede ili instrumenta za mjerenje ugiba), te odrediti potrebnu debljinu dodatnog asfaltnog zastora.

2.5.7 Provjera uticaja smrzavanja

Za nove asfaltne kolovozne konstrukcije, koje su određene na osnovu saobraćajnog opterećenja i nosivosti donjeg stroja (tč.2.5.6), potrebno je takođe provjeriti uticaje smrzavanja i otapanja.

S obzirom na otpornost osnove, tj. otpornost materijala ispod kolovozne konstrukcije, kao i s obzirom na hidrološke uslove, minimalne potrebne debljine kolovozne konstrukcije h_{min} navedene su u Tabeli 4.

U slučaju da je ukupna debljina nove asfaltne kolovozne konstrukcije, tj. d_k (zastor) + d_{sn} (nosivi slojevi) manja od određenog minimuma debljine kolovozne konstrukcije h_{min} , potrebno je izvršiti sljedeće:

- adekvatno povećati debljinu nevezanog nosivog sloja, ili
- obezbijediti odgovarajući kvalitet materijala posteljice u potrebnoj debljini.

Tabela 4: Minimalna potrebna debljina kolovozne konstrukcije h_{min}

Otpornost materijala koji se nalaze ispod kolovozne konstrukcije na uticaje smrzavanja i otapanja	Hidrološki uslovi	Debljina kolovozne konstrukcije h_{min}
otporan	povoljni	$\geq 0.6 h_m^{1)}$
	nepovoljni	$\geq 0.7 h_m$
neotporan	povoljni	$\geq 0.7 h_m$
	nepovoljni	$\geq 0.8 h_m$

Legenda:

¹⁾ h_m – dubina prodiranja mraza

2.5.8 Primjer

U prilogu 1 dat je primjer dimenzioniranja kolovozne konstrukcije sa asfaltnim zastorom.

Prilog 1

1. Osnove

1.1 Saobraćajno opterećenje

Podaci o prosječnom godišnjem dnevnom saobraćaju (PLDP), dobijeni brojanjem saobraćaja:

- osobni automobili i karavani	3974 vozila
- autobusi	27 vozila
- kamioni:	
- laki	245 vozila
- srednji	80 vozila
- teški	67 vozila
- teški sa prikolicom	72 vozila

1.2 Nosivost podloge

Na osnovu karakteristika materijala u podlozi, utvrđenih geotehničkim ispitivanjima, određena je minimalna nosivost podloge CBR = 8 %.

1.3 Karakteristike projektovanog puta

- širine saobraćajnih traka	3,25 m
- maksimalni uzdužni nagib nivelete	5,5 %
- trajanje kolovozne konstrukcije	20 godina
- stopa godišnjeg porasta saobraćaja	4 %
- dubina smržavanja tla h_m	85 cm
- hidrološki uslovi	nepovoljni

1.4 Izračun saobraćajnog opterećenja

Ekvivalentno dnevno saobraćajno opterećenje je određeno na osnovu smjernica 2.1. tabela 3.

Vrsta vozila	Broj vozila	Faktor ekvivalentnosti	Broj prolaza NOO
- osobni automobili i karavani	3974	0,00006	0,2
- autobusi	27	1,20	32,4
- kamioni			
- laki	245	0,01	2,5
- srednji	80	0,20	16,0
- teški	67	1,10	73,7
- teški sa prikolicom	72	2,00	144,0
Ukupno:	4465		268,8

Faktori uticaja na saobraćajno opterećenje:

- faktor raspodjele saobraćajnog opterećenja na saobraćajne trake (smjernica 1.1.7.2.1, tabela 5)	$f_{pp} = 0,5$
- faktor uticaja širine saobraćajnih traka (smjernica 2.1, tabela 6)	$f_{st} = 1,40$
- faktor uticaja uzdužnog nagiba nivelete (smjernica 2.1, tabela 7)	$f_{nn} = 1,09$
- faktor povećanja saobraćajnog opterećenja (smjernica 2.1, tabela 8)	$f_{po} = 31$

U predviđenom trajanju 20 godina kolovozna konstrukcija će biti opterećena sa

$$T_n = 365 \times T_d \times f_{pp} \times f_{st} \times f_{nn} \times f_{po} = 365 \times 268,8 \times 0,5 \times 1,40 \times 1,09 \times 31 = 2,3 \times 10^6 \text{ prolaza nominalnog osovinskog opterećenja (NOO) 82 kN}$$

što predstavlja teško saobraćajno opterećenje (smjernica 2.1, tabela 9).

2. Određivanje kolovozne konstrukcije

2.1 Faktori ekvivalentnosti materijala

Prosječne vrijednosti faktora ekvivalentnosti osnovnih materijala za kolovozne konstrukcije su date u smjernicama 2.5, tabela 3.

Kao prosječna vrijednost faktora ekvivalentnosti za asfaltane smjese u zastoru je određena vrijednost $a_{pz} = 0,38$.

2.2 Određivanje debljina osnovnih slojeva

Prema diagramu na crtežu 9 u smjernicama 2.5 za predviđeno saobraćajno opterećenje

$$T_n = 2,3 \times 10^6 \text{ NOO i nosivost podlage CBR} = 8 \% \text{ potrebna je kolovozna konstrukcija}$$

- sa asfaltnim zastorom debljine 13,5 cm
- i nevezanim mosivim slojem šljunka debljine 36,5 cm

Debljinski indeks ove kolovozne konstrukcije iznosi

$$D = 13,5 \times a_{pz} + 36,5 \times a_s = 13,5 \times 0,38 + 36,5 \times 0,11 = 9,15 \text{ cm}$$

2.3 Određivanje slojeva kolovozne konstrukcije

Za preuzimanje određenog saobraćajnog opterećenja T_n kolovozna konstrukcija bi mogla biti izgrađena iz slojeva

- bitumenskog betona BB 8s ili BB 11s (prema posebnim tehničkim uslovima 2.2.2.12.2, tabela 3.25) ili sitneži sa bitumenskim mastiksom SBM 8s ili SBM 11s (prema posebnim tehničkim uslovima 2.2.2.12.6, tabela 3.61) u debljini 3,5 cm,
- bituminiziranog drobljenca VGNS 22S ili VGN 32S (prema posebnim tehničkim uslovima 2.2.2.11.4, tabela 3.12) u debljini 10 cm i
- nevezanog sloja drobljenca s karakteristikama, određenim u posebnim tehničkim uslovima 2.2.2.11 u debljini

$$h_d = \frac{D - a_o \cdot h_o - a_{zv} \cdot h_{zv}}{a_d} = \frac{9,15 - 0,42 \cdot 3,5 - 0,35 \cdot 10}{0,14} = 30 \text{ cm}$$

Nepovoljni hidrološki uslovi uslovljavaju debljinu slojeva materijala otpornih protiv štetnih uticaja mraza (smjernica 1.1.7.2.2, tabela 1)

$$h_{min} = h_m \times 0,7 = 85 \times 0,7 = 60 \text{ cm}$$

Ukoliko materijal u podlozi do dubine

$$h = h_{min} - h_o - h_{zv} - h_d = 60 - 3,5 - 10 - 30 = 17 \text{ cm}$$

ne sadrži više od 8 m.-% zrna veličine do 0,063 mm, kolovozna konstrukcija bi mogla biti izgrađena iz slojeva

- 3,5 cm bitumenskog betona ili sitneži sa bitumenskim mastiksom
- 10 cm bituminiziranog drobljenca i
- 30 cm nevezanog sloja drobljenca.

Ukoliko je u podlozi na dejstvo mraza osjetljiv material, debljinu nevezanog nosećeg sloja drobljenca treba povećati za 17 cm, tj. na 47 cm.

2.6 NOVE BETONSKE KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE

2.6.1 Predmet smjernica

U ovim smjernicama navedene su dimenzije kolovoznih konstrukcija sa cementno-betonskim zastorom na svim saobraćajnim površinama predviđenim za odvijanje motornog saobraćaja, koje su izgrađene na posteljici.

Dimenzije cement-betonskog zastora na mostovima i u tunelima određuje se uzimajući u obzir posebne uslove.

Ove smjernice predviđene su za određivanje:

- ukupne debljine kolovozne konstrukcije, i
- debljine slojeva pojedinih materijala,

u zavisnosti od sljedećih faktora:

- uticaj saobraćajnog opterećenja na zamor materijala kolovozne konstrukcije,
- nosivost posteljice (donjeg stroja), i
- hidrološki i klimatski uslovi.

Projektovanje novih cement-betonskih kolovoznih konstrukcija, zasniva se na pretpostavci da su na određenoj dionici puta slični svi uticaji, te da se neće znatno mijenjati u poređenju sa predviđenim faktorima. U tom slučaju obezbjeđeno je projektovano razdoblje trajanja i upotrebljivost cement-betonske kolovozne konstrukcije; s tim da se upotrebljivost vremenom postepeno smanjuje.

Sadržaj ovih smjernica ne može se tumačiti i primjenjivati tako da spriječena ili uslovljena odgovarajuća primjena građevinskih proizvoda odobrenih za upotrebu, u skladu sa odredbama Zakona o građevinskim proizvodima.

2.6.2 Referentna dokumentacija

Ove smjernice se zasnivaju na sljedećoj referentnoj dokumentaciji:

- **AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures**, AASHTO, Washington, D.C., 1974
- **Dimensionierung des Strassen-oberbaues** (Vorträge 1972), VSS, Zürich, 1972 (*Road Pavement Design*)
- **Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen** – RStO 86, FGSV, Köln, 1989 (*Guidelines for Standardization of Pavements of Traffic Surfaces*)
- **Road Note 29: 1970** A guide to the structural design of pavements for new roads, Road Research Laboratory, London
- **RVS 3.63: 1997** Strassenplanung, Bautechnische Details, Oberbaube-messung (*Road Design; Constructive Technical Details; Pavement Design*)
- **SN 640 324: 1988** Dimensionierung, Strassenoberbau (*Design, Road Pavement*)
- **SNV 640 326: 1971** Dimensionierung, Oberbau mit Zementbetonbelag (*Design, Pavement with cement concrete surfacing*)

Smjernice sadrže datirane odredbe ostalih publikacija. Naknadne dopune ili izmjene potrebno je uzeti u obzir ukoliko su obuhvaćene dodatkom ili revizijom.

2.6.3 Objašnjenje pojmova

Tehnički pojmovi upotrebljeni u ovim smjernicama obrazloženi su Opštim tehničkim uslovima, poglavlje 2.1.3:

2.6.4 Osnove za projektovanje

2.6.4.1 Opšte

Smjernice se zasnivaju na rezultatima AASHO ispitivanja (Američko udruženje državnih zvaničnika za autoputeve) koji su dopunjeni provjerom relevantnih napona i deformacija na graničnim površinama pojedinih slojeva kolovozne konstrukcije.

Osnovni parametri u ovom empirijskom načinu određivanja dimenzija kolovozne konstrukcije su sljedeći:

- vek trajanja kolovozne konstrukcije,
- upotrebljivost površine kolovozne konstrukcije po isteku doba trajanja (p),
- nosivost posteljice (CBR),
- mjerodavno dnevno saobraćajno opterećenje (T_d),
- klimatski i hidrološki uslovi (R)
- karakteristike materijala.

2.6.4.2 Nosivost posteljice

2.6.4.2.1 Način određivanja

Za određivanje dimenzija kolovozne konstrukcije relevantan je kalifornijski indeks nosivosti (CBR). Informativne korelativne vrijednosti indeksa CBR_2 , modula deformacije E_{v2} , i modula stišljivosti M_E navedene su u tabeli 1.

Tabela 1: Informativna korelacija vrijednosti nosivosti za karakteristične materijale posteljice

Klasifikacija materijala prema USCS	CBR_2 vrijednost (%)	Modul stišljivosti M_E (MN/m^2)	Modul deformacije E_{v2} (MN/m^2)
ML, MH, CH	3	4	15
CL, SC	5	8	20
GC, SM	7	13	45
GC, SP	10	20	60
SW, GM	15	35	80
GP, GW	20	50	100

2.6.4.2.2 Kriterijum

Osnovni uslov koji osnova ispod cement-betonske kolovozne konstrukcije mora da ispuni su mehanička svojstva tla, koja treba da budu, što je moguće više, ujednačena, kako bi se na taj način postigla ujednačena nosivost.

Ukoliko odgovarajuću nosivost nije moguće postići pomoću prirodnih materijala, potrebno je uvesti odgovarajuće metode za poboljšanje, učvršćenje i/ili stabilizaciju. S obzirom da navedeni postupci ne zahtijevaju veća ulaganja, potrebno je postići maksimalnu moguću nosivost, koja u svakom slučaju ne smije biti manja od $CBR = 10 \%$.

Dionice puta na kojima je nosivost ujednačena treba da budu što je moguće duže. Prema pravilu, nosivost osnove ispod kolovozne konstrukcije (posteljice) treba biti ujednačena na čitavoj dionici određenog novog puta, s tim da navedena dionica ne smije biti kraća od 500 m.

2.6.4.3 Mjerodavno saobraćajno opterećenje

2.6.4.3.1 Način određivanja

Mjerodavno saobraćajno opterećenje T_n kolovozne konstrukcije u projektovanom dobu trajanja od n godina potrebno je odrediti u skladu sa postupkom koji je detaljno obrazložen u smjernicama 1.1.7.2.1.

Ukupan broj prolaza nominalnog osovinskog opterećenja od 82 kN određuje se za svaku saobraćajnu traku pojedinačno.

Projektovano doba trajanja kolovoznih konstrukcija sa cement-betonskim zastorom treba, prema pravilu, da iznosi 20 godina. U iznimnim slučajevima navedeno razdoblje može biti i kraće, s tim da ne smije biti kraće od 10 godina.

2.6.4.3.2 Klasifikacija

Klasifikacija prosječnog dnevnog i mjerodavnog (ukupnog) saobraćajnog opterećenja u karakteristične grupe u okviru projektovanog razdoblja trajanja kolovozne konstrukcije ($n = 20$ godina) prikazana je u tabeli 2.

Tabela 2: Klasifikacija saobraćajnog opterećenja u grupe

Grupa saobraćajnog opterećenja	Broj prolaza nominalnog osovinskog opterećenja od 82 kN	
	po danu	u periodu od 20 godina
- izuzetno teško	iznad 3,000	iznad 2×10^7
- veoma teško	iznad 800 do 3,000	iznad 6×10^6 do 2×10^7
- teško	iznad 300 do 800	iznad 2×10^6 do 6×10^6
- srednje	iznad 80 do 300	iznad 6×10^5 do 2×10^6
- lako	iznad 30 do 80	iznad 2×10^5 do 6×10^5
- veoma lako	do 30	do 2×10^5

2.6.4.4 Klimatski i hidrološki uslovi

2.6.4.4.1 Načini određivanja

Prilikom određivanja dimenzija novih cement-betonskih kolovoznih konstrukcija potrebno je u obzir uzeti klimatske i hidrološke uslove, na osnovu sljedećeg:

- usvojene vrijednosti regionalnog faktora $R = 2.0$ pri određivanju dimenzija za obezbjeđenje odgovarajuće otpornosti na zamor predviđenih materijala, i
- određene granične debljine $h_{\min}$ kolovozne konstrukcije za zaštitu od uticaja smrzavanja i otapanja.

2.6.4.4.2 Kriterijum

Vrijednosti regionalnog faktora iznose do $R = 0.5$ za najoštrije klimatske i hidrološke uslove, odnosno do $R = 5$ za najpovoljnije klimatske i hidrološke uslove. Za uslove koji preovlađuju u BiH, vrijednost $R = 2.0$ je utvrđena kao osnovna.

Relevantne uticaje klimatskih i hidroloških uslova na određivanje granične debljine kolovozne konstrukcije, u cilju zaštite od uticaja smrzavanja i otapanja, treba utvrditi na osnovu analize uslova zaštite, koji su detaljno navedeni u smjernicama 1.1.7.2.2.

2.6.4.5 Osnovni materijali

2.6.4.5.1 Opšte

Prilikom odabira materijala za kolovoznu konstrukciju, u obzir je potrebno uzeti sljedeće:

- ulogu pojedine vrste i sloja materijala,
- kvalitet materijala, i
- ekonomiju primjene.

Kvalitet materijala predviđenih za izradu novih cement-betonskih kolovoznih konstrukcija treba da ispunjava zahtjeve koji su navedeni u važećim tehničkim propisima.

Pri određivanju tipa i dimenzija nevezanog nosivog sloja, potrebno je u obzir uzeti faktore ekvivalentnosti materijala ili faktore zamjene (a_{sn}). Navedeni faktori omogućavaju

potrebno upoređivanje međusobnih odnosa materijala, s obzirom na otpornost na zamor koji prouzrokuju saobraćajno i klimatsko opterećenje.

2.6.4.5.2 Cement-beton

Za određivanje cement-betonskog zastora relevantna je čvrstoća na savijanje i istezanje. Potrebno je pretpostaviti karakterističnu čvrstoću 28-dnevnog cement-betona. Karakteristična čvrstoća na savijanje i zatezanje cement-betona se definiše kao 5 % fraktilna vrijednost.

Ukoliko je određena samo karakteristična čvrstoća na pritisak $f_{ck,cyl}$, procjenjenu srednju čvrstoću na savijanje i zatezanje f_{cfm} cement-betona moguće je izračunati na osnovu sljedeće jednačine:

$$f_{cfm} = 0,5(f_{ck,cyl})^{2/3} \quad (N/mm^2) \quad (1)$$

Karakterističnu čvrstoću na savijanje i zatezanje f_{cfk} moguće je izračunati na osnovu sljedeće jednačine:

$$f_{cfk} = 0,7f_{cfm} \quad (N/mm^2) \quad (2)$$

Karakterističnu čvrstoću na pritisak $f_{ck,cyl}$ moguće je odrediti na osnovu rezultata ispitivanja čvrstoće na pritisak na cilindrima promjera 15 cm i visine 30 cm. Međusobna povezanost razreda čvrstoće cement-betona (u skladu sa EN 206-1), marke betona MB (u skladu sa PBAB – Pravilnik o betonu i armiranom-betonu), i čvrstoće na pritisak cilindra $f_{ck,cyl}$ prikazana je u tabeli 3.

Tabela 3: Međusobna povezanost razreda čvrstoće, marke cement-betona MB, i karakteristične čvrstoće na pritisak cilindra $f_{ck,cyl}$

Razred čvrstoće u skladu sa EN 206-1	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
Marka betona MB u skladu sa PBAB*	MB 30	MB 35	MB 40	MB 45	MB 55	MB 60	-
$f_{ck,cyl}$	20	25	30	35	40	45	50

*Pravilnik o betonu i cement-betonu

Ukoliko se izvode ispitivanja na savijanje, za izračunavanje karakteristične čvrstoće f_{cfk} cement-betona na savijanje i zatezanje, moguće je primijeniti sljedeću jednačinu:

$$f_{cfk} = f_{cfms} - \frac{s_p t_{10}}{\sqrt{n}} - 1,645 s_p \left(1 + \frac{s_p t_{10}}{f_{cfms} \sqrt{n}} \right) \quad (3)$$

gdje je:

f_{cfk} karakteristična vrijednost (N/mm^2)

f_{cfms} srednja vrijednost serije ispitivanja (N/mm^2)

s_p standardno odstupanje (N/mm^2)

t_{10} vrijednost za raspodjelu po Student.-u; osnovne vrijednosti su navedene u tabeli 4)

n broj uzoraka

- srednja vrijednost f_{cfm} :

$$f_{cfm} = f_{cfms} - \frac{s_p t_{10}}{\sqrt{n}}$$

- standardno odstupanje s_p :

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum (f_{cfms} - f_{cfm})^2}{(n-1)}} \quad (4)$$

Vrijednosti t_{10} su navedene u Tabeli 4 u zavisnosti od broja uzoraka.

Tabela 4: Vrijednosti t_{10} u zavisnosti od broja n uzoraka

n	3	4	5	6	8	10	12	15
t_{10}	1,89	1,64	1,53	1,48	1,42	1,38	1,36	1,34

2.6.4.5.3 Asfaltna smjesa

Kao direktnu osnovu za cement-betonski zastor potrebno je postaviti sloj asfaltne smjese od bitumeniziranog drobljenog kamenog agregata ili bitumeniziranog šljunka.

Kvalitet asfaltne smjese treba da ispunjava zahtjeve navedene u smjernicama.

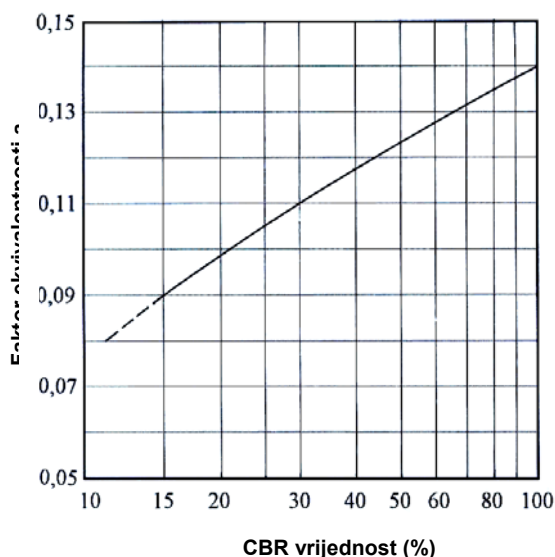
2.6.4.5.4 Kameni agregat

Nevezani nosivi sloj cement-betonske kolovozne konstrukcije mora biti izveden u skladu sa zahtjevima navedenim u smjernici.

Prosječne (informativne) vrijednosti faktora ekvivalentnosti materijala koji se upotrebljavaju za nevezani nosivi sloj su sljedeće:

- za drobljeni kameni agregat: $a_{sn} = 0.14$
- za šljunak: $a_{sn} = 0.11$; s tim da je ova vrijednost ograničena debljinom sloja od 40 cm.

U slučaju značajnijih odstupanja kvaliteta nevezanih kamenih agregata od prosječnih vrijednosti, potrebno je odrediti odgovarajuće faktore ekvivalentnosti i to upotrebom dijagrama predstavljenog na Crtežu 1.

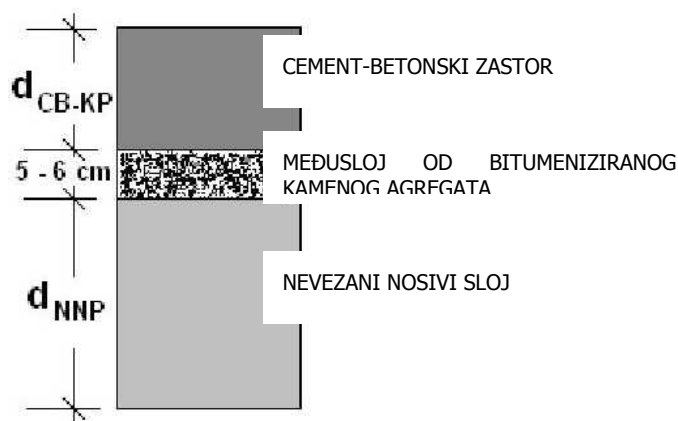


Crtež 1: Faktori ekvivalentnosti za nevezani mineralni agregat (drobljeni kamen, šljunak)

2.6.5 Sastav cement-betonske kolovozne konstrukcije

Cement-betonske kolovozne konstrukcije su sastavljene od sljedećih slojeva (Crtež 2):

- cement-betonski zastor
- medjusloj od bitumeniziranog drobljenog kamenog agregata ili šljunka, debljine 5 do 6 cm, i
- nevezani nosivi sloj



Crtež 2: Karakterističan sastav cement-betonskih kolovoznih konstrukcija

2.6.5.1 Način određivanja dimenzija

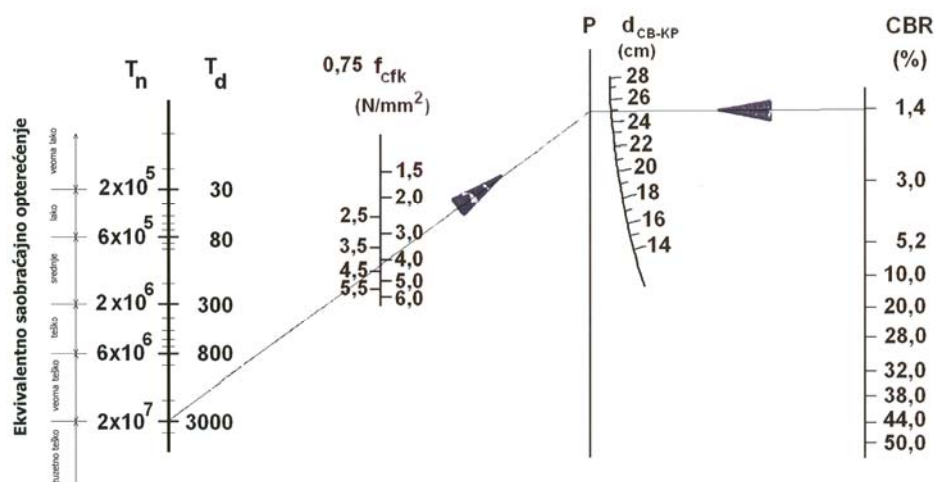
2.6.5.1.1 Opšte

Način određivanja novih cement-betonskih kolovoznih konstrukcija obuhvata sljedeće:

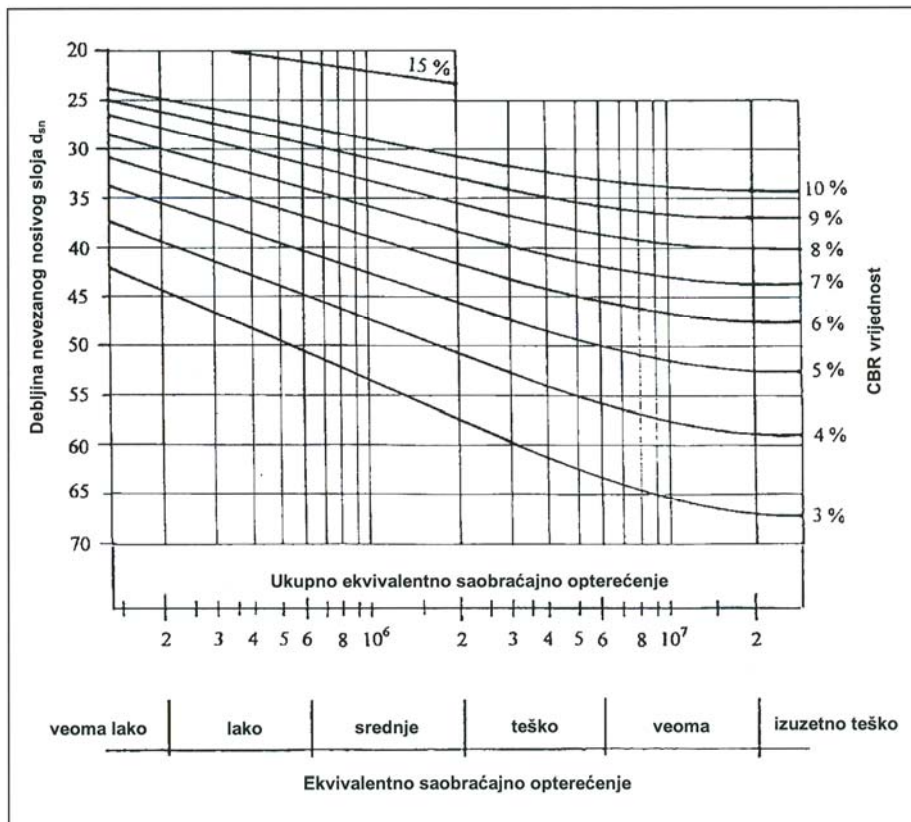
- određivanje relevantnih osnova za dimenzionisanje, u skladu sa postupcima navedenim u poglavlju 4, i
- određivanje debljine i tipa pojedinačnog sloja, uzimajući u obzir svojstva materijala.

2.6.5.1.2 Određivanje debljine sloja

Potrebnu debljinu cement-betonskog zastora d_{CB-KP} , i nevezanog sloja kamenog agregata za mjerodavno saobraćajno opterećenje T_n u toku doba trajanja kolovozne konstrukcije, i određenu vrijednost CBR treba odrediti na osnovu nomograma predstavljenog na Crtežu 3 i dijagrama predstavljenog na Crtežu 4.



Crtež 3: Nomogram za određivanje debljine cement-betonskog zastora d_{CB-KP}



Crtež 4: Dijagram za određivanje debljine sloja mineralnog agregata nevezanog nosivog sloja

2.6.5.1.3 Cement-betonski zastor

Potrebna debljina cement-betonskog zastora d_{CB-KP} , koja je prikazana na nomogramu na Crtežu 3, određena je za prosječan kvalitet cement-betonske mješavine.

Izbor cement-betonskih mješavina za habajući i gornji vezani nosivi sloj, koji mogu da se međusobno razlikuju, ali se ugrađuju postupkom "svježe na svježe", zavisi od posebnih uslova, u glavnom od predviđenog saobraćajnog opterećenja, klimatskih uslova i toka trase puta, kojima se prilagođava sastav svježe cement-betonske mješavine. Kvalitet cement-betonske mješavine treba da ispunjava zahtjeve koji su navedeni u važećim tehničkim propisima za proizvodnju i ugradnju cement-betonske mješavine (EN 206-1).

U cement-betonske mješavine za habajuće slojeve potrebno je dodati dodatak za stvaranje vazdušnih mikropora, ili je njihov sastav potrebno izmijeniti kako bi se i u otežanim uslovima obezbijedio njihov propisan stepen otpornosti na smrzavanje i otapanje u prisustvu soli za sprečavanje stvaranja leda; pored toga, navedene mješavine moraju na odgovarajući način biti otporne na zagladjivanje kolovozne površine.

2.6.5.1.4 Nevezani nosivi sloj

Debljina sloja nevezanog kamenog agregata d_{NNP} kao osnovnog nosivog sloja, koja je prikazana u dijagramu na Crtežu 4, određena je za smjesu zrna prirodnog šljunka projektovanog faktora ekvivalentnosti $a_m = 0.11$.

Za nove cement-betonske kolovozne konstrukcije, debljina nevezanog nosivog sloja smjese zrna šljunka treba da iznosi:

- teško saobraćajno opterećenje min. 25 cm
- srednje ili lako saobraćajno opterećenje min. 20 cm

Ukoliko je, usljed slabe nosivosti donjeg stroja i teškog saobraćajnog opterećenja, potreban sloj nevezane smjese zrna šljunka, deblji od 40 cm (vidjeti dijagram na Crtežu 4), prema pravilu, nosivost donjeg stroja treba povećati.

Dio ili ukupnu debljinu nevezanog nosivog sloja šljunka moguće je zamijeniti drobljenim kamenim agregatom, uzimajući u obzir faktor ekvivalentnosti $a_{sn} = 0.14$. S obzirom da je debljina nevezanog nosivog sloja drobljenog kamenog agregata takođe ograničena na 40 cm, može da zamijeni ekvivalentnu projektovanu debljinu sloja šljunka, koja iznosi do:

$$40 \times 0.14 / 0.11 \cong 50 \text{ cm.}$$

Vrstu kamenog agregata, koji je predviđen za nevezane nosive slojeve moguće je prilagoditi saobraćajnom opterećenju i ekonomskim uslovima. Pri izradi novih cement-betonskih kolovoznih konstrukcija koje su izložene teškom, veoma teškom i izuzetno teškom saobraćajnom opterećenju, potrebno je, prema pravilu, upotrijebiti drobljene kamene agregate za nevezani nosivi sloj.

Način izvođenja nevezanog nosivog sloja, u okviru cement-betonske kolovozne konstrukcije, predstavljen je u smjernicama.

2.6.6 Provjera uticaja smrzavanja

Za nove cement-betonske kolovozne konstrukcije, koje su određene na osnovu saobraćajnog opterećenja i nosivosti donjeg stroja, potrebno je takođe provjeriti uticaje smrzavanja i otapanja.

S obzirom na otpornost osnove, tj. otpornost materijala ispod kolovozne konstrukcije, kao i s obzirom na hidrološke uslove, minimalne potrebne debljine kolovozne konstrukcije h_{min} navedene su u Tabeli 5.

U slučaju da je ukupna debljina nove cement-betonske kolovozne konstrukcije, tj. d_{CB-KP} (cement-betonski zastor) + sloj bitumeniziranog drobljenog kamenog agregata/šljunka (5 – 6 cm) + d_{NNP} (nevezani nosivi sloj) manja od određenog minimuma debljine kolovozne konstrukcije h_{min} , potrebno je izvršiti sljedeće:

- adekvatno povećati debljinu nevezanog nosivog sloja, ili
- obezbijediti odgovarajući kvalitet materijala posteljice u potrebnoj debljini.

Tabela 5: Minimalna potrebna debljina kolovozne konstrukcije h_{min}

Otpornost materijala koji se nalaze ispod kolovozne konstrukcije na uticaje smrzavanja i otapanja	Hidrološki uslovi	Debljina kolovozne konstrukcije - h_{min}
otporan	povoljni	$\geq 0.6 h_m$ ¹⁾
	nepovoljni	$\geq 0.7 h_m$
neotporan	povoljni	$\geq 0.7 h_m$
	nepovoljni	$\geq 0.8 h_m$

Legenda:

¹⁾ h_m – dubina mraza (dubina prodiranja mraza)

2.7 OJAČANJE ASFALTNIH KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA

2.7.1 Predmet smjernica

U smjernicama navedene su dimenzije predviđenog ojačanja postojećih kolovoznih konstrukcija na svim saobraćajnim površinama koje su predviđene za odvijanje motornog saobraćaja.

Dimenzije ojačanja postojećih kolovoznih konstrukcija na mostovima i u tunelima određuje se uzimajući u obzir posebne uslove.

Smjernice su predviđene za određivanje

- ukupne debljine ojačanja, i
- debljine pojedinih slojeva,

za predviđeno ojačanje postojeće kolovozne konstrukcije. Kolovozna konstrukcija, određena na ovaj način, u zavisnosti od

- predviđenog saobraćajnog opterećenja u toku razdoblja trajanja,
- postojeće kolovozne konstrukcije,
- kvaliteta upotrebljenih materijala, i
- hidroloških i klimatskih uslova,

treba da spriječi prevelik zamor (razaranje) strukture materijala postojeće kolovozne konstrukcije, kao i da održava upotrebljivost površine kolovozne konstrukcije na odgovarajućem nivou, u cilju obezbjeđenja bezbjednog, udobnog i ekonomičnog putovanja pri optimalnoj potrošnji sredstava.

Projektovanje ojačanja postojećih kolovoznih konstrukcija, se zasniva na pretpostavci da su na određenoj dionici puta slični svi faktori, te da se neće znatno mijenjati u poređenju sa predviđenim faktorima. U tom slučaju obezbjeđeno je projektovano razdoblje trajanja i ispravnost ojačane kolovozne konstrukcije; s tim da se upotrebljivost vremenom postepeno smanjuje.

Sadržaj ovih smjernica ne može se tumačiti i primjenjivati tako da se spriječi ili uslovi odgovarajuća primjena građevinskih proizvoda odobrenih za upotrebu, u skladu sa odredbama Zakona o građevinskim proizvodima.

2.7.2 Referentna dokumentacija

Ove smjernice se zasnivaju na sljedećoj referentnoj dokumentaciji:

- **AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures**, AASHTO, Washington, D.C., 1974
- **Asphalt Overlays and Pavement Rehabilitation**, MS-17, The Asphalt Institute, College Park, Maryland, 1977
- **Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen – RStO 86**, FGSV, Köln, 1989 (*Guidelines for Standardization of Pavements of Traffic Surfaces*)
- **Evaluation of AASHO Interim Guides for Design of Pavement Structures**, NCHRP Report 128, HRB, National Academy of Science, Washington D.C., 1972
- **Fahrbahnverstärkungen OECD**, Bundes-amt für Strassenbau, Bern, 1982 (*Pavement Strengthening*)
- Haas R., Hudson W.R., **Pavement Management Systems**, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1978
- **Rational Pavement Management**, Studie Centrum Wegebouw, SCW Record 1, Arnhem, 1975
- **Road Note 29**, A guide to the structural design of pavements for new roads, Road Research Laboratory, London, 1970

- **RVS 3.54: 1992** Strassenplanung, Bautechnische Details, Oberbau-verstärkung von Asphaltstrassen (*Road Design, Constructive Details, Asphalt Road Pavement Strengthening*)
- **SNV 640 738: 1977** Reparatur und Erneuerung von Fahrbahnen, Oberbau-verstärkung in bituminöser Bauweise (*Repair and Restoration of Carriageways, Pavement Strengthening with Bitumen*)
- **TGL 22 853: 1969** Anlagen des Strassen-verkehrs, Bemessung flexibler Befestigungen, Kriterium der zulässigen Durchbiegung (*Road Traffic Equipment, Design of Flexible Pavements, Criterion of Admissible Deflection*)

Smjernice obuhvataju odredbe drugih publikacija, preko datiranih ili nedatiranih referenci. Ukoliko se radi o datiranim referencama u obzir je potrebno uzeti posljednje dopune ili izmjene, ukoliko su navedene u dopuni ili reviziji. Ukoliko se radi o nedatiranim referencama, važeće je posljednje izdanje publikacije reference.

2.7.3 Objašnjenje pojmova

Pojmovi upotrebljeni u ovim smjernicama objašnjeni su u Opštim tehničkim uslovima:

2.7.4 Ojačavanje uopšte

Ojačanje postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije moguće je izvršiti:

- prekritjem,
- djelimičnom zamjenom, ili
- potpunom zamjenom.

Ukoliko je odabran postupak prekritja to podrazumijeva ugradnju jednog ili više novih slojeva asfaltne mješavine na postojeću kolovoznu konstrukciju.

Metod djelimične zamjene obuhvata:

- zamjenu dijela oštećene kolovozne konstrukcije (npr. veoma napukli, zdrobljeni ili deformisani asfaltni slojevi) novim slojevima odgovarajućih materijala, ili
- obradu dijela postojeće kolovozne konstrukcije primjenom odgovarajućeg postupka za uspostavljanje specifičnih svojstava materijala (npr. stabilizacija nevezanog agregata, remix, itd.).

U slučaju potpune zamjene, uklanja se cjelokupna oštećena kolovozna konstrukcija, a na novo-uređenom donjem stroju se izgrađuje nova kolovozna konstrukcija. Materijale uklonjene kolovozne konstrukcije moguće je ponovno upotrijebiti uz uslov da se na odgovarajući način prerade.

Odluka o tome da li da se izvrši samo prekritje ili da se predvidi ojačavanje zavisi od sljedećeg:

- prikladnosti postojećih slojeva za dio nove kolovozne konstrukcije,
- unaprijed postavljenih ograničenja (npr. ograničena visina kolovoza, nosivost mosta, itd.),
- uticaj na okolinu, i
- ekonomija.

U ovim smjernicama uglavnom je razrađeno ojačavanje asfaltne kolovozne konstrukcije primjenom zastora. Osnovni uslov je dobro i detaljno utvrditi sve pojedinosti koje se odnose na postojeće stanje kolovozne konstrukcije i obezbijediti optimalne uslove za odvodnju.

Prema pravilu, materijale sklone deformaciji treba ukloniti iz postojeće kolovozne konstrukcije. Moguće ih je upotrijebiti samo pod uslovom da su na odgovarajući način prerađeni ili da su presvučeni slojevima odgovarajuće stabilnosti.

Na dionicama puta na kojima je kretanje teških kamiona usporeno ili usmjereno ili gdje je uticaj horizontalnih sila na kolovoznu konstrukciju velik (usljed kočenja i ubrzavanja), sve

navedene uticaje je potrebno uzeti u obzir prilikom odabira odgovarajućeg materijala za ojačavanje.

Osnovni uslov za potrebne analize uzroka oštećenja kao i za donošenje odluke o neophodnosti i izvodljivosti odgovarajućeg ojačanja postojeće kolovozne konstrukcije predstavlja ispitivanje i procjena stvarnog stanja cjelokupne postojeće kolovozne konstrukcije, kao i pojedinih materijala koji su na nju postavljeni.

Sljedeće aktivnosti su izuzetno važne:

- vizuelno odrediti veličinu i obim oštećenja,
- utvrditi deformacije i jednolikost kolovozne konstrukcije mjerenjem uzdužne i poprečne ravnosti,
- utvrditi, na osnovu mjerenja ugiba postojeće kolovozne konstrukcije, njenu nosivost i jednolikost, te u određenim slučajevima i vrijednosti E-modula ugrađenih materijala (mjerenja se izvode pomoću opreme za mjerenje ugiba FWD),

i/ili, na odgovarajući način (npr. sondažna jama)

- utvrditi prionljivost ugrađenih asfaltnih slojeva,
- ispitati ispravnost postojećih materijala (asfaltne mješavine, nevezanog kamenog agregata) za nove kolovozne konstrukcije, ili ispravnost materijala za prekrivanje,
- sprovesti mjerenja nosivosti sloja nevezanog materijala.

2.7.5 Osnovne metode projekta ojačavanja

U cilju određivanja potrebnih dimenzija slojeva za ojačavanje postojećih asfaltnih kolovoznih konstrukcija, potrebno je usvojiti odgovarajuće metode. Navedene metode se zasnivaju na:

- ugibu, ili u izuzetnim slučajevima
- na stanju

postojeće kolovozne konstrukcije.

Za određivanje potrebnog ojačanja neophodno je usvojiti analitičke metode upoređivanja ili provjere.

Osnovni parametri koje je prilikom određivanja potrebnih dimenzija ojačavanja potrebno uzeti u obzir su:

- svojstva materijala kolovozne konstrukcije,
- ugib postojeće kolovozne konstrukcije,
- saobraćajno opterećenje,
- razdoblje trajanja kolovozne konstrukcije,
- upotrebljivost površine kolovozne konstrukcije po isteku razdoblja trajanja,
- klimatski i hidrološki uslovi.

2.7.5.1 Svojstva materijala

Prilikom odabira materijala za ojačavanje postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije, u obzir je potrebno uzeti sljedeće:

- kvalitet materijala,
- ulogu pojedinih vrsta materijala i slojeva u kolovoznoj konstrukciji, i
- ekonomiju upotrebe.

Kvalitet materijala predviđenih za ojačavanje postojećih asfaltnih kolovoznih konstrukcija mora da bude u skladu sa zahtjevima postavljenim u važećim tehničkim propisima.

Međusobni odnos otpornosti ovih materijala na zamor, koji je uslovljen saobraćajnim i klimatskim opterećenjem, tj. faktori ekvivalentnosti za materijal (a_i) koji se određuju na osnovu rezultata testa AASHO, omogućavaju potrebna poređenja prilikom određivanja vrsta i dimenzija pojedinačnih slojeva za ojačavanje postojećih asfaltnih kolovoznih

konstrukcija, kao i prilikom određivanja njihove sposobnosti da podnesu saobraćajno opterećenje (tj. preostale vrijednosti indeksa debljine).

Prosječne (informativne) vrijednosti faktora ekvivalentnosti novo-proizvedenih materijala navedene su u Tabeli 1.

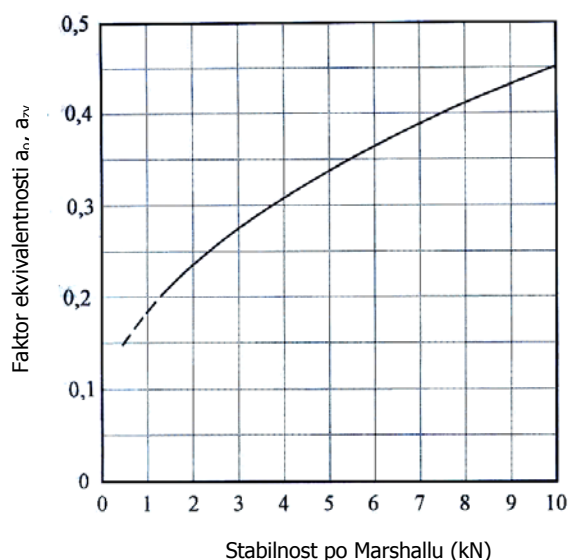
U slučaju znatnih odstupanja kvaliteta novo-proizvedenih materijala od prosječnih vrijednosti, potrebno je odrediti odgovarajuće faktore ekvivalentnosti primjenom dijagrama koji su predstavljeni na Crtežima 1 do 4. dst

Tabela 1: Prosječne vrijednosti faktora ekvivalentnosti osnovnih materijala za izgradnju puteva

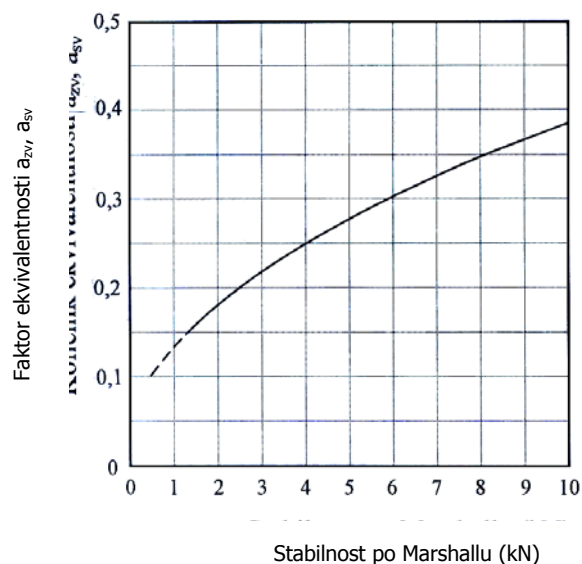
Vrsta materijala	Faktor ekvivalentnosti - a_i
- za habajući sloj:	
- bitumenski beton	$a_o = 0.42$
- drobljeni kamen sa bitumenskim mastiksom	$a_o = 0.42$
- za gornji noseći sloj:	
- bitumenski drobljeni kamen	$a_{zv} = 0.35$
- bitumenski šljunak	$a_{zv} = 0.28$
- za vezni sloj:	
- stabilizovani mineralni agregat	
- sa bitumenom	$a_{sv} = 0.24$
- sa cementom	$a_{sv} = 0.20$
- za donji noseći sloj:	
- drobljeni kamen	$a_{sn} = 0.14$
- šljunak	$a_{sn} = 0.11^{1)}$

Legenda:

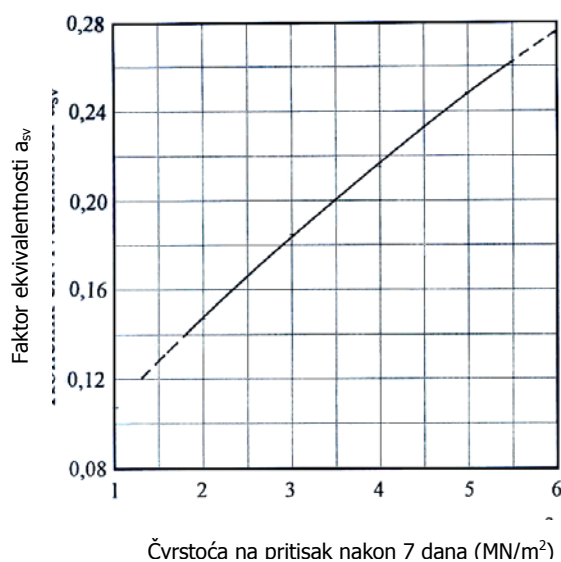
¹⁾ ograničeno debljinom sloja od 40 cm



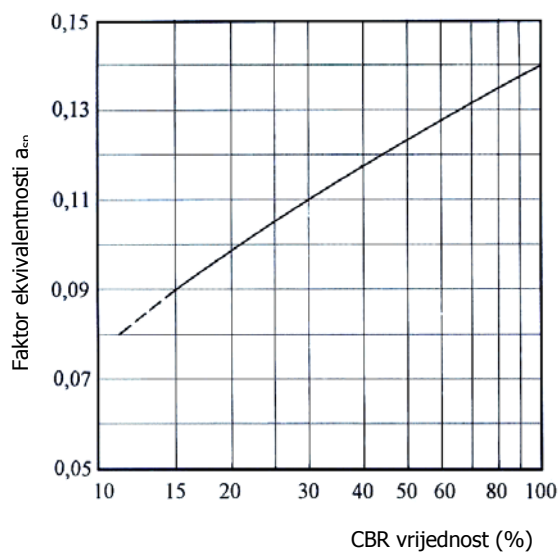
Crtež 1: Faktori ekvivalentnosti za bitumenski beton a_o i bitumenizirani drobljeni kameni agregat a_{zv}



Crtež 2: Faktori ekvivalentnosti za bitumenizirani šljunak a_{zv} i kameni agregat stabilizovan bitumenom a_{sv}



Crtež 3: Faktori ekvivalentnosti za kameni agregat stabilizovan cementom



Crtež 4: Faktori ekvivalentnosti za nevezani kameni agregat (drobljeni kameni agregat, šljunak)

Udeo preostale sposobnosti postojećih materijala da podnesu saobraćajno opterećenje, moguće je utvrditi na osnovu procjene postojećeg stanja asfaltne kolovozne konstrukcije, a na osnovu informativnih faktora koji su navedeni u Tabeli 2, te primjenom jednačine:

$$D_{ob} = \sum a_i \cdot d_i \cdot u_i \quad [cm]$$

gdje je:

- D_{ob} - indeks debljine postojeće kolovozne konstrukcije
 a_i - faktor ekvivalentnosti novog materijala (Tabela 1)
 d_i - debljina sloja
 u_i - faktor ispravnosti postojećih materijala (Tabela 2)

Tabela 2: Informativni faktori ispravnosti preostalih materijala u postojećim slojevima

Klasifikacija materijala	Opis stanja asfaltne kolovozne konstrukcije (na osnovu vizuelne procjene)	Faktor u
IV	Nevezani nosivi sloj: - mješavina šljunka ($a_{sn} = 0.11$): - neotporan na smrzavanje – CBR ≥ 10 % - otporan na smrzavanje – CBR ≥ 40 % - mješavina drobljenog kamenog agregata ($a_{sn} = 0.14$): - neotporan na smrzavanje – CBR ≥ 10 % - otporan na smrzavanje – CBR ≥ 40 %	0.5 0.9 0.6 0.9
III	Vezani donji nosivi sloj: - stabilizovan cementom ($a_{sv} = 0.20$): - veoma ispucao - malo ispucao - stabilizovan bitumenom ($a_{sv} = 0.24$): - veoma ispucao - malo ispucao	0.7 0.9 0.6 0.9
II	Vezani gornji nosivi sloj: - bitumenizirani šljunak ($a_{zv} = 0.28$): - veoma ispucao i deformisan - veoma ispucao - veoma deformisan - malo ispucao i/ili deformisan - neoštećen - bitumenizirani drobljeni kameni agregat ($a_{zv} = 0.35$): - veoma ispucao i deformisan - veoma ispucao - veoma deformisan - malo ispucao i/ili deformisan - neoštećen	0.4 0.5 0.65 0.8 0.9 0.4 0.5 0.65 0.8 0.9
I	Habajući i zatvarajući sloj ($a_o = 0.42$): - veoma ispucao, drobi se i/ili ljušti - veoma ispucao i deformisan - veoma ispucao - veoma deformisan - malo ispucao i/ili deformisan - neoštećen	0.3 0.4 0.5 0.65 0.8 0.9

Indeks debljine postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije D_{ob} moguće je takođe odrediti primjenom modifikovanog švicarskog indeksa (MSI), koji obuhvata veličinu i obim karakterističnih oštećenja asfaltnog kolovoza (pukotine, habanje, udarne rupe i krpljenje), u skladu sa jednačinom:

$$D_{ob} = D_{no} \cdot k_{\xi} \quad [cm]$$

gdje je:

D_{no} - indeks debljine nove kolovozne konstrukcije

k_{ξ} - faktor oštećenja

Faktori oštećenja k_{ξ} se određuju u zavisnosti od vrijednosti MSI i gustine saobraćaja na državnim putevima (Tabela 3).

Tabela 3: Faktori oštećenja k_{ξ} postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije

Opis	Gustina saobraćaja	MSI vrijednosti		
	PDP granične vrijednosti			
Izuzetno velika	> 20,000	< 2.2	2.2 to 2.8	> 2.8
Veoma velika	> 10,000 to 20,000	< 2.3	2.3 to 2.9	> 2.9
Velika	> 5,000 to 10,000	< 2.4	2.4 to 3.0	> 3.0
Srednja	> 2,000 to 5,000	< 2.5	2.5 to 3.1	> 3.1
Niska	> 1,000 to 2,000	< 2.6	2.6 to 3.2	> 3.2
Veoma niska	< 1,000	< 2.7	2.7 to 3.3	> 3.3
faktor oštećenja - k_{ξ}		0.7	0.7 to 0.4	0.4

2.7.5.2 Ugib

Ugib postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije se uglavnom određuje pomoću Lacroix deflektografa (oprema za mjerenje ugiba), što je detaljno opisano u smjernicama 1.1.7.2.4. Ostale metode su takođe izvodljive, npr. FWD ili Benkelman-ova greda, na osnovu kojih se utvrđuje odgovarajuća korelacija a koje su navedene u relevantnim smjernicama.

Mjerenja ugiba treba izvesti u periodu kada je najmanja nosivost kolovozne konstrukcije, tj. u proljeće, u periodu otapanja snijega. Ukoliko se navedena mjerenja ne izvode u periodu otapanja snijega, dobijene rezultate treba korigovati primjenom faktora c , čije informativne vrijednosti iznose:

- $c = 1.2 \dots 1.6$ habajući sloj nije napukao; kameni agregat, koji je malo do srednje osjetljiv na smrzavanje (F2) je upotrebljen za donji nosivi sloj (nevezani nosivi sloj)
- $c = 1.6 \dots 2.0$ habajući sloj je napukao; kameni agregat, koji je srednje osjetljiv na smrzavanje je upotrebljen za donji nosivi sloj (nevezani nosivi sloj)

Prilikom odabira faktora za korekciju c , potrebno je takođe razmotriti klimatske kao i hidrološke uslove.

Ukoliko je habajući sloj znatno napukao, te ukoliko su klimatski i hidrološki uslovi nepovoljni, vrijednost faktora za korekciju treba utvrditi na osnovu mjerenja.

Mjerenje ugiba nije dozvoljeno ukoliko je smrznut sloj postojeće kolovozne konstrukcije ili ukoliko temperatura habajućeg sloja prelazi 25 °C.

Dionice kolovozne konstrukcije sa homogenim ugibima treba odrediti na osnovu uslova da faktor varijacije iznosi:

$$k_V = \frac{s}{\bar{d}} < 0,35$$

gdje je:

$$\text{standardno odstupanje } s = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} \quad (\text{mm}/100)$$

$$\text{prosječni ugib } \bar{d} = \frac{\sum d_i}{n} \quad (\text{mm}/100)$$

Mjerodavan ugib postojeće kolovozne konstrukcije d_m treba izračunati na osnovu jednačine:

$$d_m = c \cdot (\bar{d} + k_{pr} \cdot s) \quad (\text{mm}/100)$$

gdje je:

k_{pr} – faktor uticaja saobraćajnog opterećenja, koji iznosi:

- $k_{pr} = 2.0$ za puteve sa teškim saobraćajem
- $k_{pr} = 1.6$ za puteve sa srednjim saobraćajem
- $k_{pr} = 1.3$ za puteve sa lakim saobraćajem

2.7.5.3 Saobraćajno opterećenje

Mjerodavno saobraćajno opterećenje T_n za određivanje potrebnog ojačanja postojeće kolovozne konstrukcije za predviđeno razdoblje trajanja od n godina treba odrediti u skladu sa ovim smjernicama.

Klasifikacija prosječnog dnevnog i mjerodavnog (ukupnog) saobraćajnog opterećenja na karakteristične grupe u razdoblju trajanja od 20 godina, prikazana je u Tabeli 4.

Tabela 4: Klasifikacija saobraćajnog opterećenja po grupama

Grupa saobraćajnog opterećenja	Broj prolaza nominalnog osovinskog opterećenja od 82 kN	
	dnevno	za 20 godina
- izuzetno teško	preko 3,000	preko 2×10^7
- veoma teško	preko 800 do 3,000	preko 6×10^6 do 2×10^7
- teško	preko 300 do 800	preko 2×10^6 do 6×10^6
- srednje	preko 80 do 300	preko 6×10^5 do 2×10^6
- lako	preko 30 do 80	preko 2×10^5 do 6×10^5
- veoma lako	do 30	do 2×10^5

2.7.5.4 Upotrebljivost površine kolovozne konstrukcije

Kao ciljna vrijednost određuje se upotrebljivost površine kolovozne konstrukcije, sa indeksom mogućnosti za vožnju p , koji iznosi:

- za nove, idealno ravne asfaltne kolovoze $p = 5.0$
- za potpuno ishabane (uništene) kolovoze na kojima odvijanje saobraćaja više nije moguće $p = 0$.

Kao projektovana granična vrijednost indeksa mogućnosti za vožnju, na kraju razdoblja trajanja kolovozne konstrukcije, usvaja se vrijednost $p_k = 2.0$. Ona označava granični nivo ispravnosti površine određene kolovozne konstrukcije.

2.7.5.5 Klimatski i hidrološki uslovi

Mjerodavne uticaje klimatskih i hidroloških djelovanja na određivanje granične debljine kolovozne konstrukcije treba odrediti na osnovu analiziranja uslova i direktiva za zaštitu, kako je detaljno navedeno u smjernicama 1.1.7.2.2.

2.7.6 Projektovane metode ojačavanja

U cilju određivanja ojačavanja postojećih asfaltnih kolovoznih konstrukcija, potrebno je naročito razmotriti metode koje se zasnivaju na

- rezultatima mjerenja ugiba, i
- vizuelnoj procjeni stvarnog stanja

Analitičke metode su namijenjene posebno za ojačavanje u posebnim uslovima.

2.7.6.1 Određivanje koje se zasniva na ugibu

Cjelokupna potrebna debljina ojačanja postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije h_{oj} , se određuje na osnovu

- procenjenog mjerodavnog ugiba postojeće kolovozne konstrukcije d_m ,
- određene granične vrijednosti ugiba kao funkcije saobraćajnog opterećenja d_{do} , i
- mjerodavnog saobraćajnog opterećenja T_n ,

ili

- na osnovu odgovarajućeg dijagrama, ili
- numeričkom metodom.

2.7.6.1.1 Određivanje koje se zasniva na dijagramu

Na osnovu međusobne zavisnosti

- karakteristika kvaliteta materijala kolovozne konstrukcije,
- saobraćajnog opterećenja, i
- ugibanja kolovozne konstrukcije koje se mjeri Benkelman-ovom gredom,

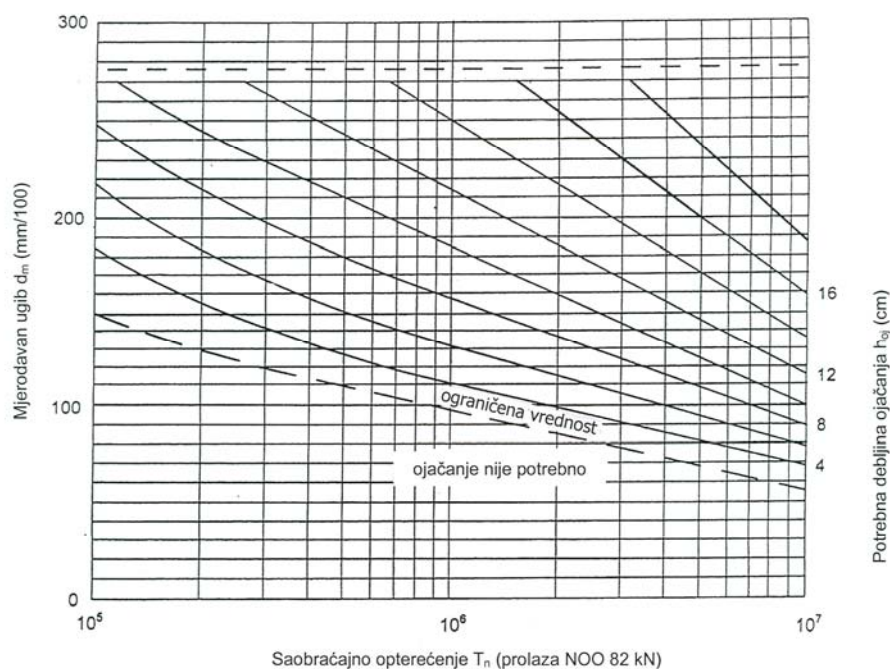
a utvrđuje na osnovu AASHO testa, urađen je dijagram u cilju određivanja potrebne debljine ojačanja postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije, a na osnovu projektovanih vrijednosti ugiba koje su određene primjenom rezultata dobijenih mjerenjem ugiba pomoću Lacroix deflektografa (Crtež 5).

Potreban indeks debljine ojačanja sloja D_{oj} treba odrediti na osnovu jednačine:

$$D_{oj} = 0,42 \cdot h_{oj} = a_o \cdot h_o + a_{zv} \cdot h_{zv}$$

gdje je

- | | | |
|----------|---|--|
| a_o | - | faktor ekvivalentnosti asfaltne mješavine za habajući sloj (Tabela 1) |
| h_o | - | debljina asfaltnog habajućeg sloja |
| a_{zv} | - | faktor ekvivalentnosti asfaltne mješavine za gornji vezani noseći sloj |
| h_{zv} | - | debljina asfaltnog gornjeg vezanog nosećeg sloja |



Crtež 5: Dijagram za određivanje potrebne debljine ojačanja postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije h_{od}

Na osnovu predstavljenog dijagrama moguće je odrediti potrebno ojačavanje samo onih asfaltnih kolovoznih konstrukcija čiji se donji noseći sloj sastoji od kamenog agregata koji je otporan na smrzavanje.

Vrijednost ugiba ojačane asfaltne kolovozne konstrukcije u periodu najniže nosivosti označena je na dijagramu kao granična vrijednost.

Minimalna debljina sloja ojačanja iznosi 4 cm.

Kao potrebna debljina ojačanja h_{oj} navedena je srednja vrijednost. Međutim, navedena vrijednost ne smije biti niža za više od 20% na bilo kojoj lokaciji.

2.7.6.1.2 Numerička procjena

Ukoliko mjerodavan ugib d_m pod opterećenjem točkova od 50 kN iznosi manje od 2.5 mm, logaritamska vrijednost ugiba se mijenja proporcionalno sa debljinom ojačanja. Stoga je potrebnu debljinu ojačanja asfaltne kolovozne konstrukcije moguće izračunati na osnovu sljedeće jednačine:

$$h_{oj} = 50 \cdot \frac{\log d_m}{\log d_{do}}$$

gdje je:

d_m – projektovana vrijednost ugiba postojeće kolovozne konstrukcije,

d_{do} – dozvoljeni ugib definisan u Tabeli 5 u zavisnosti od grupe saobraćajnog opterećenja i projektovanog razdoblja trajanja.

Numerička procjena potrebne debljine ojačanja asfaltne kolovozne konstrukcije je naročito pogodna za informativnu provjeru debljine koja je određena na osnovu mjerodavnog ugiba.

2.7.6.2 Određivanje na osnovu procjene stvarnog stanja

Potrebnu debljinu ojačanja postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije moguće je odrediti na osnovu procjene stvarnog stanja uzimajući u obzir sljedeće:

- potrebnu debljinu kolovozne konstrukcije (D_{po}) i ispravnost postojeće kolovozne konstrukcije (D_{ob}), ili
- mjerodavno saobraćajno opterećenje (T_{po}), i postojeće saobraćajno opterećenje (T_{ob}).

Tabela 5: Granične vrijednosti ugiba asfaltne kolovozne konstrukcije d_{do}

Grupa saobraćajnog opterećenja	Projektovano razdoblje trajanja			
	5 godina	10 godina	15 godina	20 godina
	Dozvoljen ugib d_{do} (mm)			
izuzetno teško	0.8	0.7	0.6	0.5
veoma teško	0.9	0.8	0.75	0.7
teško	1.2	1.0	0.9	0.8
srednje	1.5	1.2	1.1	1.0
lako	1.7	1.4	1.2	1.1
veoma lako	1.8	1.6	1.4	1.2

2.7.6.2.1 Stanje kolovozne konstrukcije

Sposobnost postojeće kolovozne konstrukcije da podnese saobraćajno opterećenje treba biti definisana kroz indeks debljine D_{ob} , kako je navedeno pod tačkom 5.1.

Potrebna debljina kolovozne konstrukcije, koja može da podnese mjerodavno saobraćajno opterećenje, a koja se iskazuje indeksom debljine D_{po} , treba biti određena u skladu sa metodom koja se primjenjuje za novo-gradnju, kako je navedeno u smjernicama 5.1

Nosivost postojeće kolovozne konstrukcije može se ocjeniti na vrijednost CBR = 15%.

Potreban indeks debljine ojačanja iznosi:

$$D_{oj1} = D_{po} - D_{ob} \quad (\text{cm})$$

Ukoliko debljina nevezanog donjeg nosivog sloja, koji je izveden od odgovarajućeg kamenog agregata u postojećoj kolovoznoj konstrukciji h_{snob} , s obzirom na nosivost donjeg stroja, ne ispunjava zahtjeve povećanog saobraćajnog opterećenja T_{po} , treba razmotriti mogućnost veće debljine donjeg nosećeg sloja (nevezani noseći sloj) h_{snpo} pomoću dodatnog indeksa debljine:

$$D_{oj2} = 0,11 \cdot (h_{snpo} - h_{snob}) \quad (\text{cm})$$

Za ukupan potrebni indeks debljine

$$D_{oj} = D_{oj1} + D_{oj2} \quad (\text{cm})$$

debljinu dodatnog zastora za ojačanje postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije treba odrediti primjenom jednačine:

$$D_{oj} = a_o \cdot h_o + a_{zv} \cdot h_{zv}$$

2.7.6.2.2 Stanje saobraćajnog opterećenja

Metod određivanja potrebnog ojačanja postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije na osnovu saobraćajnog opterećenja je prikladan samo ukoliko na površini kolovozne konstrukcije nije uočeno nikakvo oštećenje usljed istrošenosti ugrađenih materijala.

S obzirom da je postojeća asfaltna kolovozna konstrukcija već preuzela dio T_{n1} projektovanog saobraćajnog opterećenja, T_n , takođe može da preuzme i preostali dio, tj:

$$T_{n2} = T_n - T_{n1}$$

Navedeni kapacitet kolovozne konstrukcije moguće je odrediti na osnovu odgovarajućeg indeksa debljine D_{ob} .

Dalji postupak određivanja debljine ojačanja postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije je isti kao što je opisano za novi asfaltni zastor.

2.7.6.3 Analitički metod određivanja

Pored metoda određivanja potrebnog ojačanja postojećih asfaltnih kolovoznih konstrukcija na osnovu njihovog ugiba i na osnovu njihovog stvarnog stanja, moguće je takođe usvojiti i analitičke metode koji se zasnivaju na kompjuterskim programima.

Osnovni potrebni podaci za analitički metod određivanja predviđenog ojačanja su sljedeći:

- svojstva postojeće kolovozne konstrukcije:
- debljine slojeva
- E-moduli materijala
- nosivost osnove (donjeg nosivog sloja)
- mjerodavno saobraćajno opterećenje u predviđenom razdoblju trajanja
- upotrebljivost puta na kraju predviđenog razdoblja trajanja uzimajući u obzir lokalne uslove.

Analitičke metode određivanja potrebnog ojačanja postojećih kolovoznih konstrukcija su uglavnom prikladne za provjeravanje napona koji se javljaju usljed opterećenja koje stvara savijanje (zatezanje) ojačane asfaltne kolovozne konstrukcije.

2.7.7 Provjera uticaja smrzavanja

Za ojačane asfaltne kolovozne konstrukcije potrebno je takođe provjeriti uticaje smrzavanja i otapanja.

S obzirom na otpornost postojeće kolovozne konstrukcije i otpornost materijala koji se ispod nje nalazi, kao i s obzirom na hidrološke uslove, minimalne potrebne debljine kolovozne konstrukcije h_{min} navedene su u Tabeli 6.

Tabela 6: Minimalne potrebne debljine ojačanih kolovoznih konstrukcija h_{min}

Otpornost materijala koji se nalaze ispod kolovozne konstrukcije na uticaje smrzavanja i otapanja	Hidrološki uslovi	Debljina kolovozne konstrukcije - h_{min}
otporan	povoljni	$\geq 0.6 h_m$ *
	nepovoljni	$\geq 0.7 h_m$
neotporan	povoljni	$\geq 0.7 h_m$
	nepovoljni	$\geq 0.8 h_m$

* h_m – dubina mraza (dubina prodiranja mraza)

U slučaju da je ukupna debljina materijala koji su otporni na mraz u ojačanoj asfaltnoj kolovoznoj konstrukciji manja od minimalne potrebne debljine h_{min} koja je navedena u Tabeli 6, debljinu ojačanja je potrebno povećati u skladu sa tim. Ukoliko ojačanje sa debljim asfaltnim zastorom nije ekonomično, na postojeću kolovoznu konstrukciju je potrebno prvo postaviti nevezani noseći sloj (donji noseći sloj) od kamenih agregata, a zatim (s obzirom na potreban indeks debljine ojačanja) odgovarajući zastor (sendvič). Minimalna debljina navedenog nevezanog sloja kamenog agregata (donji noseći sloj) treba da iznosi 10 cm.

SMJERNICE ZA PROJEKTOVANJE, GRAĐENJE, ODRŽAVANJE I NADZOR NA PUTEVIMA

Knjiga I: PROJEKTOVANJE

Dio 1: PROJEKTOVANJE PUTEVA

Poglavlje 7: KONSTRUKTIVNI ELEMENTI PUTA

Smjernica 3: SISTEM ZA ODVODNJAVANJE

Sarajevo/Banja Luka
2005

3. SISTEM ZA ODVODNJAVANJE

3.1 ODVODNJAVANJE ATMOSFERSKIH VODA

3.1.1 Opšte

Odgovarajućim sistemom odvodnjavanja postiže se efikasno i brzo uklanjanje atmosferskih voda:

- sa kolovoza, tj. učvršćenih kolovoznih površina (konkretno, voda sa kolovoza), i
- sa okolnih površina sa kojih voda teče prema putu (voda sa drugih površina).

Stoga se razlikuje dva načina odvodnjavanja:

- razpršteno (na šire područje), i
- točkama (na određenom mjestu).

Razpršteno odvodnjavanje atmosferskih voda (na šire područje kolovoza) moguće je izvesti prelivanjem vode preko bankine, dok se odvodnjavanje točkama (na određenom mjestu) izvodi pomoću slivnika ili naprava za odvodnjavanje, koje prikupljaju vodu, a zatim je odvede na zajedničko mjesto sa kojeg se vrši odvodnjavanje dalje od područja puta.

Sve atmosferske vode se prikupljaju u tlu, kao i u tekućim i stajaćim vodama, ili na kontrolisan način u kanalizacionom sistemu.

Ukoliko se odvodnjavanje atmosferskih voda sa kolovoza izvodi na određenom mjestu, vodu nije dozvoljeno sprovesti direktno u stajaću površinsku vodu, u vodu predviđenu za pripremu vode za piće, niti u podzemne vode.

Ukoliko su prekoračeni kriterijumi koji se odnose na dozvoljeni stepen zagađenosti vode, potrebno je preduzeti odgovarajuće mjere predostrožnosti u cilju zadržavanja vode na kolovozu, a njeno odvođenje sa kolovoza izvesti u vidu odvodnjavanja na određenom mjestu. Navedene mjere predostrožnosti zavise od vrste zagađenja, koje može biti trajno ili izvanredno. Trajno zagađenje se prije svega odnosi na periodično spiranje naftnih derivata, kao i ostataka guma, obloga kočnica i soli za posipanje, koje prouzrokuje kiša. Navedeno zagađenje je moguće kontrolisati odvođenjem vode u odgovarajuće retencione konstrukcije. Izvanredno zagađenje, do kojeg može doći usljed prosipanja opasnih supstanci može da ima katastrofalne posljedice po podzemne vode i šire područje.

Za izvođenje razprštenog odvodnjavanja relevantni su sljedeći uslovi:

- na putevima koji presjecaju područja koja se karakterišu zrnastom i pukotinskom strukturom, ukoliko dnevni prosjek jedinica putničkih vozila u toku godine ne prelazi 12,000;
- na putevima koji presjecaju područja krečnjačkih karakteristika, ukoliko dnevni prosjek jedinica putničkih vozila u toku godine ne prelazi 6,000;
- na putevima koji presjecaju područja na kojima se nalaze materijali čija propusnost iznosi do $k \leq 10^{-6}$ m/s, ukoliko dnevni prosjek jedinica putničkih vozila u toku godine ne prelazi 40.000;
- na putevima gdje se atmosferske vode odvede direktno u tekuće ili stajaće vode, ukoliko dnevni prosjek jedinica putničkih vozila u toku godine ne prelazi 12,000;

U svim ostalim slučajevima potrebno je predvidjeti način odvodnjavanja na određenom mjestu, u cilju odvodnjavanja atmosferskih voda.

Prilikom projektovanja sistema odvodnjavanja kolovoza i pojasa puta, potrebno je razmotriti stvarno stanje na lokaciji na kojoj se izgradnja izvodi: izvor, kvalitet i vrsta vode u svim oblicima. Potrebno je provjeriti sve vodene tokove, kao i naprave i instalacije za navodnjavanje i odvodnjavanje (jarkovi, propusti, naprave koje omogućavaju poniranje vode).

Opštu procjenu podzemnih voda je često moguće izvršiti na osnovu oblika terena. Teren koji je sklon klizanju moguće je utvrditi na osnovu tipičnog grbavog i talasastog oblika kosina, kao i na osnovu srpastog oblika rasti stabla drveća. Postojanje određenih vrsta biljaka takođe predstavlja kriterijum za određivanje hidrološkog stanja terena: prirodna vegetacija u vlažnom području se razlikuje od vegetacije na suvom području. Potopljena mjesta ili izvori na kosinama ukazuju da voda ističe između slojeva, što je međutim, nemoguće utvrditi u toku sušnih razdoblja.

Ukoliko je predviđeno izvođenje ponora, potrebno je izvesti ispitivanja poniranja vode, na osnovu čega se vrši procjena da li su neophodne naprave za odvodnjavanje, te ukoliko jesu, koje vrste.

Nivo podzemnih voda se obično razlikuje po razdobljima. Neophodno je utvrditi najniži i najviši očekivani nivo vode. Potrebno je provjeriti da li se nivoi podzemnih voda podudaraju na različitim lokacijama.

3.1.2 Osnove za projektovanje

Ukoliko su za odvodnjavanje puta projektovana rješenja koja bi mogla imati negativan uticaj na vodu, potrebno je predvidjeti odgovarajuću zaštitu voda od zagađenja ili drugih negativnih izmjena njenih svojstava. Ukoliko atmosferske vode koje padaju na put ili njegovo okolinu ili ukoliko podzemne vode utiču na ispravno stanje ili trajnost puta, potrebno je izvršiti kaptažu navedenih voda i odvesti ih u sabirni jarak ili ponor.

Na Crtežu 1 predstavljen je blok dijagram izbora mjera za odvodnjavanje puta.

S obzirom da voda koja se prikuplja na kolovozu ometa odvijanje saobraćaja, potrebno je obezbijediti odgovarajuće odvodnjavanje puta. Takođe, potrebno je spriječiti isticanje vode koja se prikuplja izvan kolovoza na sam kolovoz.

Osovina puta i niveleta moraju biti projektovani tako da su što je moguće više odvojeni od podzemne vode, naročito u područjima gdje je učestalo prikupljanje vode. Zaštita podzemnih voda je detaljno obrađena u Smjernicama za određivanje načina zaštite voda u području autoputa.

Prema pravilu, položaj puta, s obzirom na visinu, treba da omogućava odvođenje vode pod uticajem gravitacije, najkraćim mogućim putem izvan područja puta. U najvećoj mogućoj mjeri treba zadržati postojeće prirodne uslove za odvodnjavanje.

Sve naprave i instalacije za odvodnjavanje puta treba da budu odabrane i projektovane tako da su lako dostupne i da ih je lako održavati. Stoga su prihvatljiviji načini odvodnjavanja puta iznad površine terena. U načelu, potrebno je omogućiti da se najveći mogući procenat odvodnjavanja površinskih voda izvodi prelijevanjem preko kosina ili pomoću travnatih segmentnih kanala. Ukoliko iz geoloških, pedoloških, hidroloških, ekoloških ili građevinskih razloga to nije moguće, atmosferske vode je potrebno odvoditi u ponore – bunare. Površinsku vodu koja se ne može izgubiti u tlo treba odvoditi pomoću jaraka. Ukoliko za direktno odvođenje vode u vodene tokove postoje neke ekološke prepreke ili prepreke u vezi sa upravljanjem vodama, potrebno je izgraditi odgovarajuće objekte za kaptažu, zadržavanje i poniranje atmosferskih voda sa površine kolovoza, te je, ukoliko to zahtijevaju okolnosti, neophodno izvesti odgovarajuće biološko čišćenje.

Naprave za odvodnjavanje puta i samo uređenje odvodnjavanja moraju biti projektovane tako da u najvećoj mogućoj mjeri odgovaraju prirodni okolini, te da se nalaze što je moguće bliže putu.

Stoga, projektom odvodnjavanja puta treba obuhvatiti dva nivoa zaštite:

- hidraulički i saobraćajni nivo zaštite zbog količine vode na kolovozu koja se stvara usljed jakih kiša, i zbog položaja trase puta, i
- hidro-tehnički nivo zaštite zbog recipijenta u koji se ulijeva kaptirana voda, zbog zaštite podzemnih voda i uticaja recipijenta vode na niveletu puta (u cilju sprečavanja poplave).

3.1.3 Osnove za dimenzionisanje

3.1.3.1 Opšte

Naprave za odvodnjavanje vode treba da private vodu, koja se u njih ulijeva pod normalnim uslovima, te da je odvedu dalje od puta bez stvaranja negativnih uticaja. U cilju određivanja dimenzija navedenih naprava neophodan je podatak o količini vode koja se slijeva sa površine puta i koju je potrebno odvesti.

Dimenzije, način i dio površine obrastao rastinjem određuju različite količine oticanja vode. Navedene količine takođe zavise od stanja terena, visine rastinja, nagiba površine, kao i od trajanja i intenziteta padavina.

3.1.3.2 Načela za odvodnjavanje puta

Projektom je potrebno odrediti sljedeće osnovne pretpostavke za proračunavanje odvodnjavanja puta:

- veličina učvršćenih i neučvršćenih površina sa kojih dolazi voda,
- razlike u položaju puta (dionice puta na nasipima ili u usjecima),
- razmaci i periodi oticanja vode, i
- raspored jaraka za atmosferske vode.

3.1.3.2.1 Opšte

Sljedeće osnove se primjenjuju za proračunavanje odvodnjavanja atmosferskih voda sa puta:

- količina (intenzitet) atmosferskih voda,
- učestalost pojave atmosferskih voda, i
- koeficijent rapavosti površine.

Proračun odvodnjavanja atmosferskih voda sa puta se zasniva na iskustvu da jaki pljuskovi obično traju kratko, i obrnuto, padavine manjeg intenziteta obično traju duže.

Količina padavina r [l/s · ha], ili intenzitet atmosferskih voda i [mm/min] se smanjuju pojačanim trajanjem atmosferskih padavina pri istoj statističkoj učestalosti n . Međusobnu zavisnost količine padavina r , učestalost padavina n , i trajanje padavina T moguće je odrediti procjenom odgovarajućeg zapisa. Osnovu za proračunavanje količine padavina određenog trajanja i učestalosti predstavlja kiša koja pada u trajanju od 15 minuta, pri učestalosti $n = 1$ ($r_{15(n=1)}$), što se dostiže ili prevazilazi jednom godišnje (jednogodišnji povratni period). Ukoliko nisu dostupni navedeni podaci o kiši, potrebno je u obzir uzeti podatke relevantne stručne ustanove, koji se odnose na obližnju lokaciju.

U Tabeli 1 navedeni su povratni periodi kiše za kategorisane puteve, s obzirom na karakteristike odvodnjavanja puta.

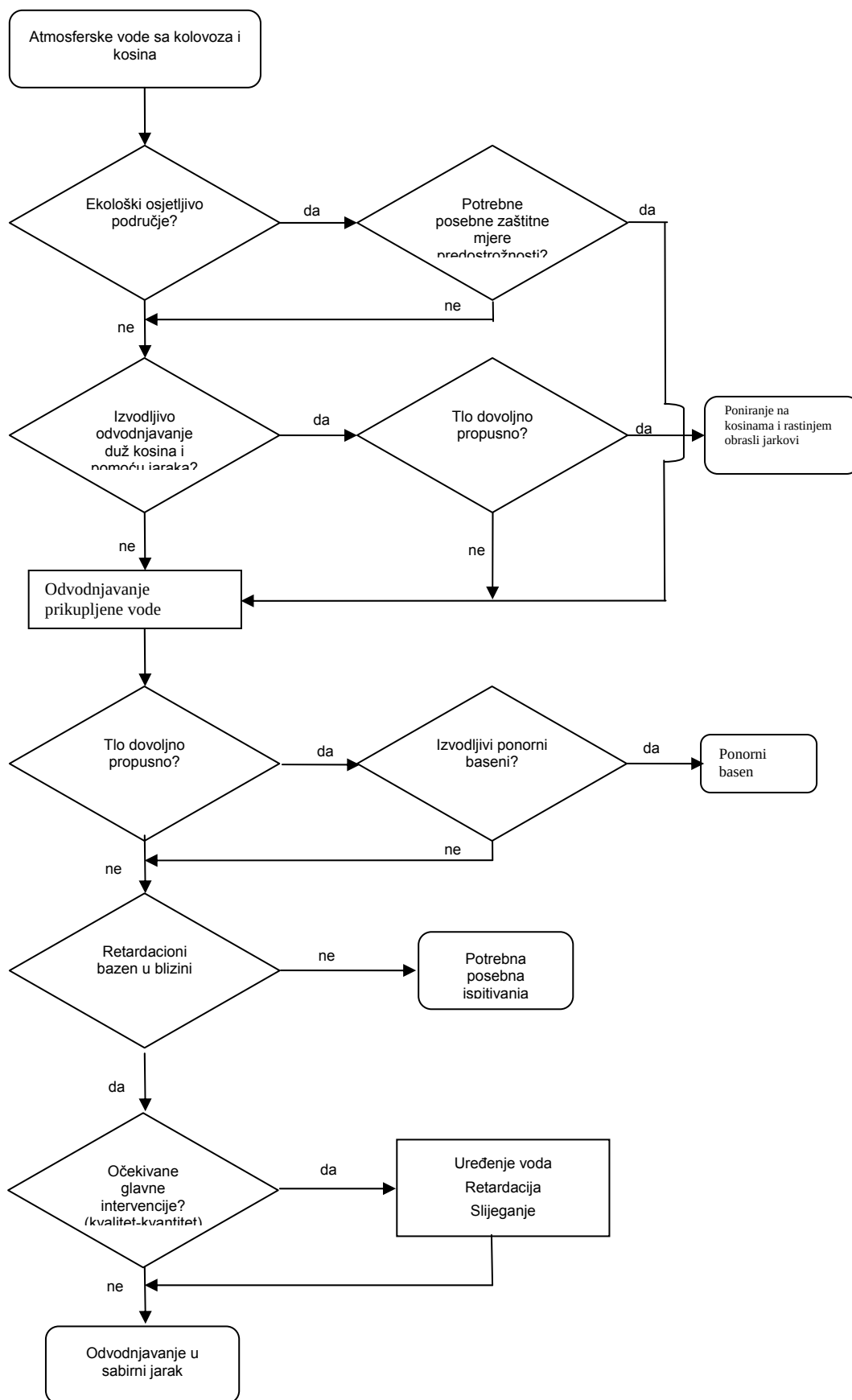
Tabela 1: Povratni periodi kiše

Položaj puta	Kategorija puta/staze				
	AP, BP, M1	M2, R1, R2	LP	R3, TP	JS
	Povratni period (godina)				
- na nasipu	5	2	1	0.2	0.2
- u usjeku	20	10	5	2	1
- u sinklinali	50	20	5	2	1
- u koritu	100	20	5	2	1

Za odabrani/zahtijevani povratni period T relevantnu količinu padavina $r_{T(n)}$ moguće je odrediti na osnovu Reinholdove jednačine:

$$r_{T(n)} = r_{15(n=1)} \cdot \varphi_{T(n)}$$

Koeficijenti $\varphi_{T(n)}$ navedeni su u Tabeli 2.

**Crtež 1: Blok-dijagram izbora mjera za odvodnjavanje puteva**

Količina vode koja se slijeva sa površine zavisi od gubitaka, do kojih može doći usljed:

- vlaženja,
- ispunjavanja depresija,
- poniranja, ili
- isparavanja.

Kapacitet odvodnjavanja površinskih voda se definiše koeficijentom oticanja vode ψ_s koji se izračunava na osnovu sljedeće jednačine:

$$\psi_s = \frac{\text{količina oticanja}}{\text{količina padavina}}$$

Informativne vrijednosti koeficijenta oticanja ψ_s navedene su u Tabeli 3.

Tabela 2: Koeficijenti φ_T uticaja promijenjenog trajanja padavina u zavisnosti od učestalosti n

Trajanje padavina [mm]	Koeficijenti φ_T za $n =$					
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0
5	4.740	3.827	3.059	2.666	2.228	1.714
6	4.424	3.572	2.855	2.488	2.079	1.600
7	4.148	3.348	2.676	2.333	1.949	1.500
8	3.904	3.151	2.519	2.196	1.835	1.412
9	3.687	2.976	2.379	2.074	1.733	1.333
10	3.493	2.820	2.254	1.964	1.642	1.263
11	3.318	2.679	2.141	1.866	1.559	1.200
12	3.160	2.551	2.039	1.777	1.485	1.143
13	3.016	2.435	1.947	1.697	1.418	1.091
14	2.885	2.329	1.862	1.623	1.356	1.043
15	2.765	2.232	1.784	1.555	1.300	1.000
16	2.654	2.143	1.713	1.493	1.248	0.960
17	2.552	2.061	1.647	1.436	1.200	0.923
18	2.458	1.984	1.586	1.382	1.155	0.889
19	2.370	1.913	1.529	1.333	1.114	0.857
20	2.288	1.847	1.477	1.287	1.076	0.828
22	2.141	1.728	1.381	1.204	1.006	0.774
24	2.011	1.623	1.298	1.131	0.945	0.727
26	1.896	1.531	1.224	1.066	0.891	0.686
28	1.794	1.448	1.157	1.009	0.843	0.649
30	1.702	1.374	1.098	0.957	0.800	0.615
32	1.619	1.307	1.044	0.910	0.761	0.585
34	1.543	1.246	0.996	0.868	0.725	0.558
36	1.475	1.191	0.952	0.829	0.693	0.533
38	1.412	1.140	0.911	0.794	0.664	0.511
40	1.354	1.093	0.874	0.762	0.637	0.490
42	1.301	1.050	0.840	0.732	0.612	0.471
44	1.252	1.011	0.808	0.704	0.588	0.453
46	1.207	0.974	0.779	0.679	0.567	0.436
48	1.164	0.940	0.751	0.655	0.547	0.421
50	1.125	0.908	0.726	0.633	0.529	0.407
60	0.962	0.776	0.621	0.541	0.452	0.348
70	0.840	0.678	0.542	0.472	0.395	0.304
80	0.746	0.602	0.481	0.419	0.350	0.270

Trajanje padavina [mm]	Koeficijenti φ_T za $n =$					
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0
90	0.670	0.541	0.433	0.377	0.315	0.242
100	0.609	0.492	0.393	0.342	0.286	0.220
110	0.558	0.450	0.360	0.314	0.262	0.202
120	0.514	0.415	0.332	0.289	0.242	0.186
130	0.477	0.385	0.308	0.269	0.224	0.173
140	0.445	0.360	0.287	0.250	0.209	0.161
150	0.417	0.337	0.269	0.235	0.196	0.151

Tabela 3: Informativne vrijednosti koeficijenta oticanja ψ_s

Vrsta terena	Koeficijent ψ_s
- savremeni kolovoz	0.9 do 1.0
- teren slabe propusnosti	0.5 do 0.8
- kosina nasipa	0.3
- kosina usjeka	0.3 do 0.5
- neučvršćena horizontalna površina	0.05 do 0.1

3.1.3.2.2 Proračunavanje oticanja

Količinu oticanja atmosferskih voda sa površine se određuje na osnovu sljedeće jednačine:

$$Q = r \cdot \varphi \cdot \sum_{i=1}^n A_E \cdot \psi_s$$

gdje je:

Q - oticanje sa površine [l/s]

r - količina padavina [l/(s·ha)]

φ - koeficijent trajanja padavina [-]

A_E - područje na kojem je izvršeno odvodnjavanje [ha]

ψ_s - koeficijent maksimalnog oticanja koji se odnosi na A_E

Trajanjem padavina treba smatrati vrijeme za koje voda koju je potrebno odvesti dođe do tačke koja je relevantna za proračun. Ukoliko vrijeme doticanja vode iznosi do 15 minuta, smatra se da trajanje padavina iznosi 15 minuta za blago kosa područja sa kojih se slijeva voda. Kod strmih površina, pretpostavlja se kraće trajanje padavina (10 minuta) jer je zadržavanje vode manje.

3.1.4 Dimenzionisanje naprava za odvodnjavanje

3.1.4.1 Otvoreni jarak

3.1.4.1.1 Jarak i kanal

Količinu protoka vode u otvorenom jarku ili kanalu određuje se na osnovu Manning-Stickler-ove jednačine kontinuiteta (protok sa slobodnim nivoom vode):

$$Q = v \cdot A$$

$$v = k_{st} \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}$$

$$Q = k_{st} \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \cdot A$$

$$R = A / O$$

gdje je:

- Q - količina protoka vode [m^3/s]
 v - srednja brzina protoka vode [m/s]
 A - površina poprečnog presjeka jarka [m^2]
 k_{st} - koeficijent rapavosti površine jarka (po Strickler-u) [$m^{1/3}/s$]
 R - hidraulički radijus [m]
 J - nagib nivelete jarka [‰]
 O - vlažni obim poprečnog presjeka jarka [m]

Vrijednosti koeficijenata rapavosti k_{st} po Strickler-u navedene su u Tabeli 4.

Tabela 4: Koeficijenti rapavosti k_{st} po Strickler-u

Vrsta jarka/kanala	Obrada zidova	Koeficijent k_{st}
- prirodni jarak	čvrsto dno	40
	umjereni nanosi ili rastinje	30 – 35
	veliki kapacitet za prihvatanje vodenih tokova	28
- bujični tok	grubi drobljeni kamen/šljunak	25 – 28
	grubi pokretni drobljeni kamen/šljunak	19 – 22
- zemljani jarak	čvrsti pijesak sa glinom ili šljunkom	50
	dno od pijeska i šljunka, popločane kosine	45 – 50
	grubi šljunak/grumenje ($\phi > 50$ mm)	35
	grumenasta glina	30
	pijesak, glina ili šljunak, jako obrasli	20 – 25
- obložen jarak	zid od opeke/šljake, spojnice savršeno ispunjene	75
	standardan zid	60
	grubi zid od lomljenog kamena (sa popločavanjem)	50
- jarak obrađen cement betonom	čelična oplata ili glatki podni malter	90
	drvena oplata bez maltera	65 – 70
	stari cement-beton, čista površina	60
- jarak obrađen asfaltom	nejednaka površina	50
	nabijena sitno-zrna površina	80
- segmentni jarak	dno od aluvijalnog materijala	30 – 50
	obrastao travom	20 – 30
	od šljunka	25 – 30
	popločan	40 – 50

Površina poprečnog profila A vodenog toka, vlažni obim O vodenog toka i hidraulički radijus R navedeni su u Tabeli 5 za najučestalije poprečne profile jaraka i kanala.

Tabela 5: Karakteristike profila jaraka i kanala za odvodnjavanje puta

Poprečni profil jarka/kanala	Površina poprečnog profila vodenog toka	Vlažni obim vodenog toka	Hidraulički radijus
	A	O	R
- pravougaoni	$b \cdot h$	$b + 2h$	$\frac{b \cdot h}{b + 2h}$

- trouglasti	$m \cdot h^2$	$2h \cdot \sqrt{1+m^2}$	$\frac{m \cdot h}{2\sqrt{1+m^2}}$
- u obliku trapeza	$h \cdot (b + m \cdot h)$	$b + 2h \cdot \sqrt{1+m^2}$	$\frac{h \cdot (b + m \cdot h)}{b + 2\sqrt{1+m^2}}$
- segmentan	$\frac{2}{3} \cdot b \cdot h$	$b \cdot \left(1 + \frac{2}{3}a^2 - \frac{2}{5}a^4\right)$	$\frac{2h}{3 \cdot \left(1 + \frac{2}{3}a^2 - \frac{2}{5}a^4\right)}$

Oznake u gore navedenoj tabeli označavaju sljedeće:

- h - dubinu jarka ili kanala [m]
 b - širinu dna jarka ili kanala [m]
 m - nagib kosine (1 : m) [-]
 $a = 2h/b$

3.1.4.1.2 Rigoli

Količinu protoka vode u rigolima može se odrediti na osnovu pojednostavljene Manning-Strickler-ove jednačine, kako slijedi:

$$Q = k_{st} \cdot h^{8/3} \cdot J^{1/2} \cdot \frac{0,315}{q} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

gdje je:

- h - dubina vodenog toka uz ivičnjak [m]
 J - nagib nivelete kanala/jarka [m/m]
 q - poprečni nagib kanala/jarka [m/m]

3.1.4.1.3 Segmentni jarkovi

Količinu protoka vode u segmentnim jarkovima određuje se na osnovu sljedeće jednačine:

$$Q = k_{st} \cdot h^{8/3} \cdot J^{1/2} \cdot \frac{b}{2h} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

gdje je:

- h - dubina vode u sredini korita (depresije) [m]
 b - širina korita (depresije) [m]

Pojednostavljanje proračunavanja vodenog toka je izvodljivo uvođenjem odgovarajućih tabela i dijagrama.

3.1.4.2 Cjevovodi

U cilju dimenzionisanja sistema cjevovoda/kanalizacije, količinu protoka vode moguće je odrediti na osnovu jednačine po Prandtl-u i Colebrook-u, uzimajući u obzir kapacitet zadržavanja (ispunjene) cijevi:

$$Q = \frac{\Pi \cdot d^2}{4} \cdot \left[-2 \lg \left(\frac{2,51 \cdot \nu}{d \cdot \sqrt{2g \cdot J \cdot d}} + \frac{k_b}{3,71 \cdot d} \right) \right] \cdot \sqrt{2g \cdot J \cdot d}$$

gdje je:

- Q - vodeni tok (ispuštanje) [m³/s]
 d - unutrašnji promjer cijevi [m]
 J - nagib cijevi [m/m]
 g - gravitaciono ubrzanje [m/s²]
 ν - kinematski viskozitet vode [m²/s]
 k_b - koeficijent rapavosti [mm]

Koeficijent rapavosti k_b ne zavisi samo od gubitaka usljed prisustva materijala u ravnoj cijevi, već i od gubitaka na spojevima, od nepravilnosti prilikom izrade i postavljanja, kao i od gubitaka usljed šahtova i priključaka. Koeficijent rapavosti kod cement-betonskih cijevi uglavnom iznosi do $k_b = 1.5$, dok je kod plastičnih cijevi $k_b = 0.4$ mm.

3.1.5 Naprave za odvodnjavanje puta

Površinsko odvodnjavanje duž puteva omogućavaju sljedeće naprave:

- segmentni jarak,
- jarak u obliku trapeza i trougla, i
- kanali i rigole.

Vodu koja dolazi sa strana brda na kosinu usjeka puta potrebno je odvesti pomoću zaštitnih kanala koji se nalaze iznad kosine usjeka.

3.1.5.1 Segmentni jarkovi

S obzirom na bezbjednost saobraćaja, segmentni jarak predstavlja najbolje rješenje. Najprikladniji segmentni jarkovi su oni koji su obrasli travom, ukoliko hidraulički uslovi omogućavaju takav način učvršćenja.

Segmentni jarak treba da prikuplja vodu koja se odvodi sa učvršćenih i neučvršćenih površina puta. Ukoliko navedena voda ne ponire u podzemne vode, istu je potrebno odvesti u sabirne jarkove (glavne kolektore).

Prema pravilu, segmentni jarak treba izvesti pored nožice nasipa ili usjeka, i isti treba da predstavlja prelaz u okolinu.

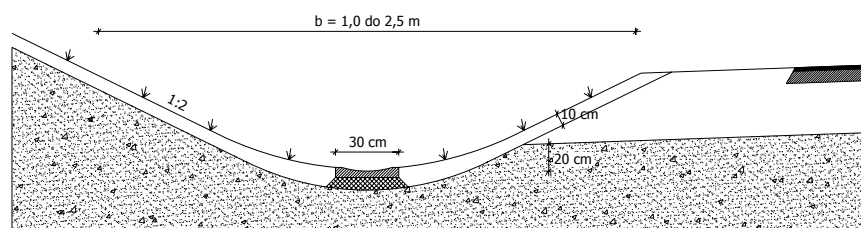
Širina segmentnih jaraka treba da iznosi 1.0 – 2.5 m (b), a dubina najmanje 0.2 m (h), s tim da dubina ne smije da prelazi b/5.

Uzdužni nagib dna segmentnog jarka na putu (J) treba da prati nagib terena ili uzdužni nagib ruba kolovoza. Ukoliko navedeni nagib nije dovoljan za odvođenje vode, hidraulički kapacitet jarka treba poboljšati povećanjem nagiba dna jarka ili poprečnog profila, i to izvođenjem glatkog dna ili izgradnjom ponornih šahtova.

U cilju obezbjeđenja oticanja vode i u cilju zaštite jarka od erozije, segmentni jarak na putu mora biti na odgovarajući način učvršćen. Informativni načini učvršćenja površina segmentnih jaraka na putu predstavljeni su u Tabeli 6 i prikazani na Crtežima 2 – 5.

Tabela 6: Informativni načini učvršćenja segmentnih jaraka na putu u zavisnosti od uzdužnog nagiba dna

Uzdužni nagib J dna jarka (%)	Način stabilizacije dna jarka
< 1	glatko učvršćenje, ukoliko je potrebno iz hidrauličkih razloga (npr. ispunjavanje dna)
1 do 3	ozelenjavanje
3 do 10	grubo dno
> 10	grubo oblaganje korita (depresija)

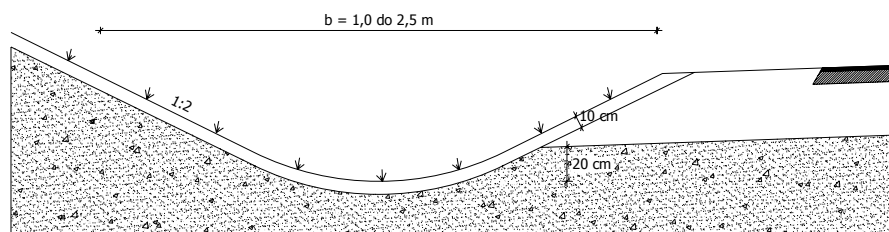


Crtež 2: Segmentni jarak sa glatkim dnom za uzdužni nagib od J < 1 %

Glatko dno treba izvesti na minimalnoj širini od 30 cm, s tim da se ne smije preći polovina širine segmentnog jarka ($b/2$). U cilju učvršćenja dna dozvoljena je upotreba montažnih cement-betonskih elemenata, asfaltnih smjesa ili kamena za popločavanje, koje je potrebno postaviti na odgovarajuću osnovu, kao što je sloj pijeska minimalne debljine 10 cm.

Dno segmentnog jarka na putu mora biti ukopano najmanje 20 cm u čvrsto tlo. Navedeni jarak takođe može biti izveden tako da se njegovo dno nalazi iznad nivoa nasipa. U tom slučaju jarak služi samo za odvođenje površinske vode sa kolovoza i kosina, dok je odgovarajuće duboko odvodnjavanje (npr. odvodnjavanjem ispod segmentnog jarka) potrebno obezbijediti u cilju odvodnjavanja vode sa nasipa.

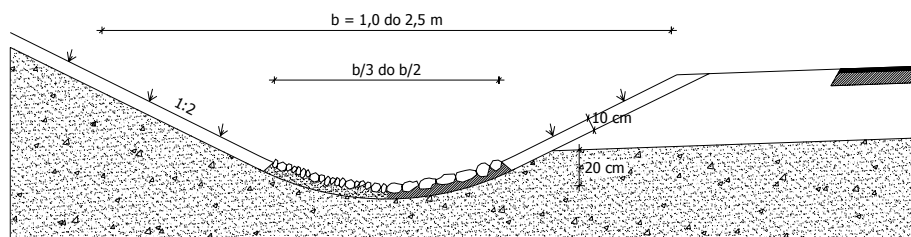
Nagib kosina segmentnog jarka ne smije biti veći od 1:2. Prema pravilu, kosine moraju biti ozelenjene, te je stoga neophodan sloj humusa debljine oko 10 cm.



Crtež 3: Travnati segmentni jarak za uzdužni nagib od $J = 1 \%$ do 3%

Ukoliko postoji opasnost od erozije, površinu jarka je potrebno učvrstiti busenjem ili travom.

Ukoliko veća količina vode treba da ponire ispod travnatog segmentnog jarka na putu, isti može biti projektovan kao ponorna depresija.

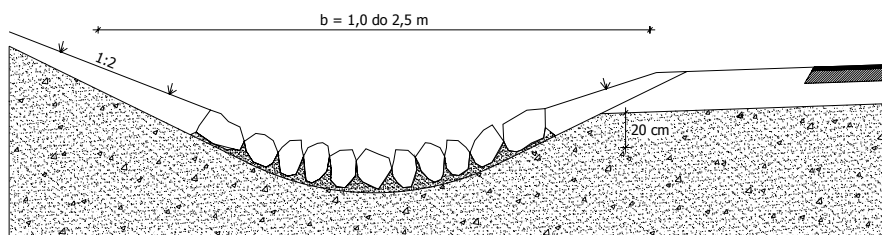


Crtež 4: Segmentni jarak sa grubim dnom za uzdužni nagib od $J = 3 \%$ do 10%

Kod segmentnog jarka sa grubim dnom, potrebno je smanjiti brzinu proticanja vode i opasnost od erozije.

Za postizanje uzdužnog nagiba jarka od $J = 3 \%$ do 5% pogodno je postavljanje grubog drobljenog kamena na dno jarka, u širini koja je jednaka trećini maksimalne do polovini širine jarka. Debljina podloge od šljunka ili drobljenog kamena treba da iznosi oko 10 cm.

Za postizanje uzdužnog nagiba jarka od $J = 5 \%$ do 10% , na dno jarka, odnosno na podlogu od šljunka ili drobljenog kamena, debljine oko 10 cm, postavlja se lomljeni kamen, kamen za popločavanje ili busenje. U izuzetnim slučajevima se u svojstvu podloge koristi cement-beton.



Crtež 5: Segmentni jarak sa grubom oblogom za uzdužni nagib od $J > 10 \%$

Gruba obloga segmentnog jarka na putu treba biti izvedena u cilju smanjenja snage proticanja vode na bezopasan nivo.

Segmentni jarak sa grubom oblogom treba biti izveden duž puta, i to na nožici kosine ili na samoj kosini.

Komade lomljenog kamena, dimenzija 20 do 30 cm, treba postaviti blizu jedan drugom na podlogu od šljunka ili drobljenog kamena, čija debljina treba da iznosi oko 15 cm. U slučaju da se radi o nekoherentnom tlu navedene komade lomljenog kamena treba postaviti takođe i na osnovu iskopa. U određenim slučajevima, lomljeni kamen treba postaviti i na cement-betonski sloj.

Između komada lomljenog kamena potrebno je ugraditi kamenu sitnežu, i to do polovine njihove visine.

Kod većih uzdužnih nagiba segmentnih jaraka sa grubom oblogom, u cilju postizanja stabilnosti neophodni su drveni stubovi (ϕ 8 do 10 cm, l = 80 do 120 cm) ili čelične šipke (ϕ 28 cm, l = 80 cm) pobijeni u osnovu.

Eroziju grube obloge je moguće spriječiti postavljanjem većih komada lomljenog kamena na rubove jarka, i dodatnim popletima koji omogućavaju rast vegetacije.

U cilju smanjenja brzine protoka vode, umjesto lomljenog kamena moguće je postaviti pragove ili kaskade.

3.1.5.2 Trapezni jarkovi

Jarak na putu u obliku trapeza ima istu ulogu kao i segmentni jarak, s tim da je njegov hidraulički kapacitet veći.

Širina dna trapeznog jarka treba da iznosi do 50 cm. Samo u izuzetnim slučajevima može da iznosi 40 cm.

Dubina trapeznog jarka na kolovozu treba da bude tolika da se dno jarka nalazi najmanje 20 cm ispod nivoa čvrstog terena ili nivoa nasipa.

Ukoliko ga određuju hidraulički uslovi, dimenzije i oblik trapeznog jarka mogu takođe da se razlikuju.

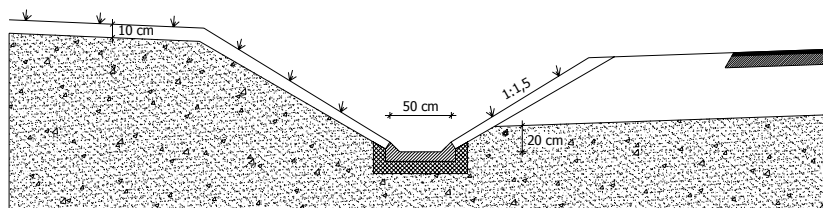
Odgovarajući nagib kosina trapeznog jarka treba da iznosi 1 : 1.5. Ukoliko to dozvoljavaju uslovi na terenu, nagib može biti veći. Potrebno je izvršiti ozelenjavanje kosina, a njihove gornje rubove je potrebno zaokružiti.

Uzdužni nagib J trapeznog jarka ne treba biti manji od 0.3%. Kod manjih uzdužnih nagiba isticanje vode je potrebno poboljšati glatkim učvršćenjem dna jarka, npr. prefabrikovanim cement-betonskim elementima, ili popločavanjem lomljenim kamenom ili kamenom za popločavanje.

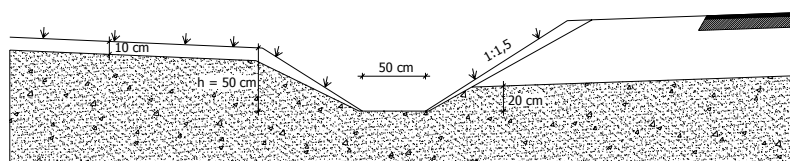
Prilikom projektovanja trapeznih jaraka potrebno je provjeriti da li je dno kosina jarka potrebno zaštititi od erozije, uzimajući u obzir vrstu tla, uzdužni nagib jarka i količinu vode koju je potrebno odvesti.

U cilju zaštite poprečnog profila trapeznog jarka (dno i/ili kosine), moguće je upotrebljavati prirodni kamen, prefabrikovane cement-betonske elemente, drvene poplete i slične materijale. Na pjeskovitom terenu, potreban je filtarski sloj ili geotekstil.

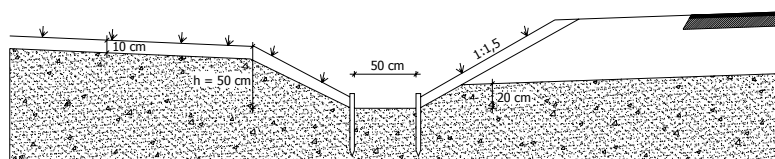
Primjeri učvršćenja trapeznih jaraka shematski su predstavljeni na Crtežima 6 – 10.



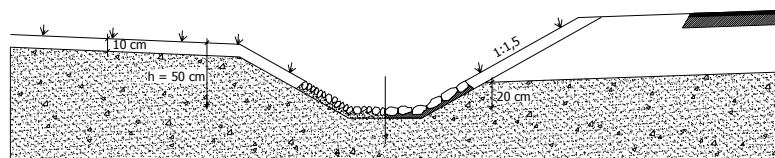
Crtež 6: Trapezni jark sa glatkim dnom (prefabrikovani betonski element) za uzdužne nagibe od $J < 0.3\%$



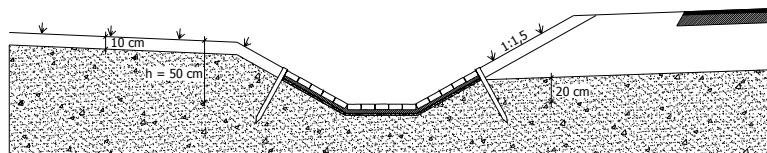
Crtež 7: Trapezni jark bez učvršćenog dna, ali sa ozelenjenim kosinama (busenje, ukoliko je potrebno) za uzdužne nagibe od $J = 0.3\%$ do 3%



Crtež 8: Zaštita poprečnog profila trapeznog jarka drvenim kočićima i uzdužnim drvenim popletom



Crtež 9: Zaštita poprečnog profila trapeznog jarka busenjem ili lomljenim kamenom (koji se postavljaju na sloj pijeska ili cement-betonske posteljice) za uzdužne kosine od $J = 3\%$ do 10%



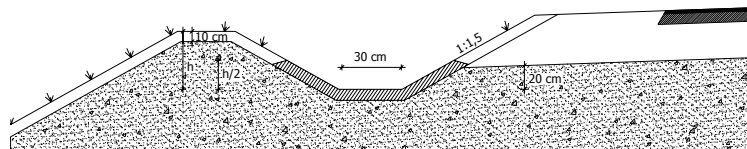
Crtež 10: Zaštita poprečnog profila trapeznog jarka kamenom za popločavanje koji se postavlja na slojeve cementnog maltera i pijeska i kočićima za uzdužne nagibe $J > 10\%$

3.1.5.3 Zaštitni jarak

Poprečni profil zaštitnog jarka, koji se nalazi na kosinama iznad usjeka, može biti u obliku segmenta kruga ili u obliku trapeza. Zaštitni jarak je predviđen za kaptažu i odvodnjavanje vode sa kosina iznad usjekau sabirni jarak.

Širina dna zaštitnog jarka treba da iznosi najmanje 0.3 m, dok dubina istog treba da iznosi od 0.2 do 0.5 m.

Ukoliko voda koja ističe iz zaštitnog jarka ugrožava stabilnost kosina, jarak je potrebno zatvoriti najmanje do polovine njegove visine, npr. slojem koherentnog tla debljine 20 cm ili hidroizolacionim slojem od sintetičkog materijala koji je prekriven humusom (Crtež 11).

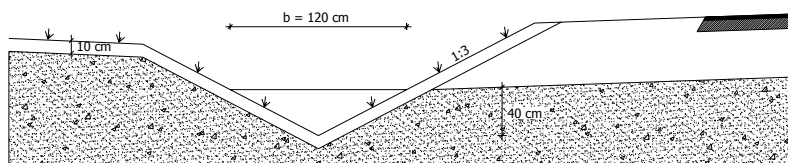


Crtež 11: Zaštitni jarak na kosini iznad usjeka, zatvoren koherentnim tлом

3.1.5.4 Jarak u obliku trougla

Jarak u obliku trougla prikladan je za odvođenje samo manjih količina vode, dok je s obzirom na svoju konstrukciju prikladan za ograničen prostor.

Nagib kosina jarka u obliku trougla ne smije biti veći od 1:3. Dno jarka mora biti ukopano na dubini od najmanje 0.4 m u čvrsti teren ili 20 cm ispod donjeg sloja kolovozne konstrukcije (Crtež 12). U načelu, jarak u obliku trougla potrebno je ozeleniti.



Crtež 12: Ozelenjen jarak u obliku trougla

3.1.5.5 Rigoli i žljebovi

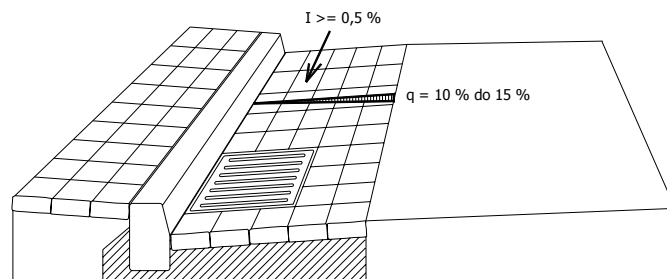
Rigoli i žljebovi služe za odvođenje vode koja dotiče sa obe strane ili samo sa jedne strane duž puta, u izlaze projektovane na odgovarajući način ili direktno u sabirne drenažne jarke.

Širina rigola treba da iznosi 0.5 do 0.9 m.

Uzdužni nagib rigola i žljeba treba, u načelu, da bude jednak uzdužnom nagibu ruba susjednog kolovoza čije se odvodnjavanje vrši, s tim da treba da iznosi najmanje 0.5 %. Ukoliko je uzdužni nagib ruba kolovoza manji od 0.5 %, potreban uzdužni nagib dna rigola treba obezbijediti alternativnim izmjenama dna rigola.

Poprečni nagib površine rigola prema ivičnjaku treba da iznosi 10 % - 15 %. U slučaju promjenljivog dna treba da iznosi 5 % do 15 %, s tim da ne smije biti manji od vrijednosti poprečnog nagiba susjednog kolovoza (Crtež 13).

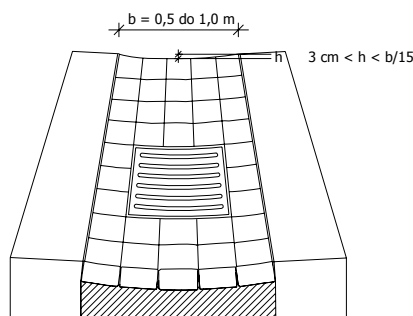
Gornji sloj rigola izrađene od cement-betona, asfaltne mješavine ili kamena za popločavanje treba postaviti na odgovarajuću nosivu podlogu, npr. od nestabilizovane mješavine kamenih zrna.



Crtež 13: Rigol uz kolovoz i pješačku stazu

Žljebovi za odvodnjavanje površinskih voda mogu biti segmentnog presjeka ili mogu biti izrađeni od odgovarajuće oblikovanih prefabrikovanih elemenata pokrivenih mrežom, ili samo sa zarezom kako bi se omogućilo ulijevanje vode.

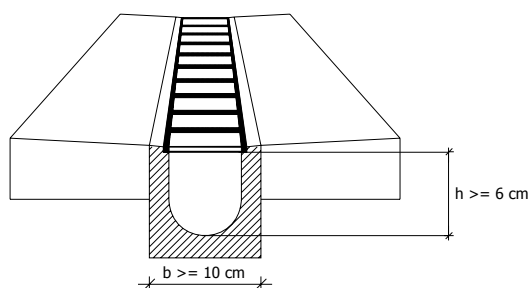
Segmentni žljeb treba da omogući prolazak vozila, stoga ne smije biti dublji od 1/15 svoje širine, ali ne manje od 3 cm. Širina segmentnog žljeba može da iznosi od 0.5 do 1.0 m. Gornji sloj može biti popločan ili izrađen od asfaltne smjese; nosiva osnova treba biti prilagođena strukturi susjednih saobraćajnih površina (Crtež 14).



Crtež 14: Popločani žljeb koji omogućava prolazak vozila

Segmentni žljeb pokriven čeličnom mrežom treba da omogućava prolazak vozila; stoga navedeni žljeb treba biti ugrađen u osnovu odgovarajuće nosivosti.

U cilju obezbjeđenja odvođenja vode, čisti poprečni profil montažnih elemenata treba da iznosi $b/h \geq 10 \text{ cm}/6 \text{ cm}$ (Crtež 15). Montažni elementi treba da budu izrađeni od cement–betona sa aditivima ili od sintetičkih materijala.

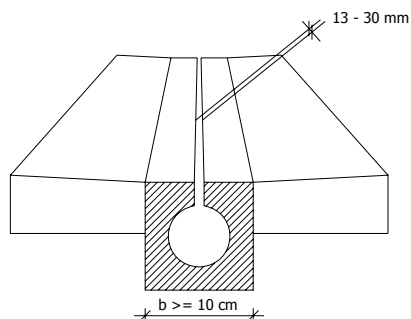


Crtež 15: Montažni žljeb sa čeličnom mrežom

Žljeb sa zarezom omogućava ulijevanje vode u kružno središte montažnog elementa i kontinuirano odvodnjavanje saobraćajnih površina.

Promjer kružnog otvora elementa treba da iznosi najmanje 10 cm, dok širina zareza treba da iznosi od 13 mm do 30 mm (Crtež 16).

Montažni elementi treba da budu izrađeni od cement-betona sa aditivima, te da budu u skladu sa predviđenim statičkim i dinamičkim opterećenjem.



Crtež 16: Montažni žljeb sa zarezom