

REPUBLIKA SRBIJA  
PROJEKAT REHABILITACIJE TRANSPORTA

**PRIRUČNIK ZA PROJEKTOVANJE  
PUTEVA U REPUBLICI SRBIJI**

**8 KONSTRUKTIVNI ELEMENTI PUTA**

**8.2 KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE**

**BEOGRAD, 20112**

---

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

**Izdanja:**

<b>Br.</b>	<b>Datum</b>	<b>Opis izmena i dopuna</b>
1	30.04.2012.	Početno izdanje

**SADRŽAJ**

<b>8.2.1</b>	<b>UVODNI DEO</b>	<b>1</b>
8.2.1.1	OPŠTE	1
8.2.1.2	TERMINOLOGIJA	1
8.2.1.3	KARAKTERISTIČNI PRESEK KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA	1
<b>8.2.2</b>	<b>SAOBRAĆAJNO OPTEREĆENJE</b>	<b>3</b>
8.2.2.1	UVODNI DEO	3
8.2.2.2	ANALIZA SAOBRAĆAJA	3
8.2.2.3	EKVIVALENTNO SAOBRAĆAJNO OPTEREĆENJE	4
8.2.2.4	SAOBRAĆAJNO OPTEREĆENJE	6
8.2.2.5	MERODAVNO SAOBRAĆAJNO OPTEREĆENJE	8
8.2.2.6	KATEGORIZACIJA SAOBRAĆAJNOG OPTEREĆENJA	8
<b>8.2.3</b>	<b>NOSIVOST</b>	<b>19</b>
8.2.3.1	UVODNI DEO	19
8.2.3.2	NOSIVOST PODLOGE	20
8.2.3.3	NOSIVOST KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE	22
PRILOG 1: OSNOVNI POSTUPCI ZA ODREĐIVANJE SLEGANJA TLA		24
PRILOG 2: OSNOVNI POSTUPCI ZA MERENJE UGIBA POVRŠINE KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE		30
<b>8.2.4</b>	<b>KLIMATSKI I HIDROLOŠKI USLOVI</b>	<b>41</b>
8.2.4.1	UVODNI DEO	41
8.2.4.1.1	Tehnička regulativa	41
8.2.4.1.2	Terminologija	41
8.2.4.2	ODREĐIVANJE USLOVA	41
8.2.4.2.1	Klimatski uslovi	41
8.2.4.2.2	Hidrološki uslovi	44
8.2.4.2.3	Uslovi za projektovanje	44
8.2.4.3	SMRZAVANJE I OTAPANJE	45
8.2.4.3.1	Osnovna karakteristika smrzavanja i otapanja	45
8.2.4.3.2	Oštećenje usled smrzavanja i otapanja	45
8.2.4.3.3	Mere za sprečavanje oštećenja	48
<b>8.2.5</b>	<b>MATERIJALI</b>	<b>50</b>
8.2.5.1	UVODNI DEO	50
8.2.5.2	IZBOR MATERIJALA	50
8.2.5.2.1	Materijali za nevezane noseće slojeve	50
8.2.5.2.2	Materijali za vezane slojeve	50
8.2.5.3	ODREĐIVANJE KVALITETA MATERIJALA	51
8.2.5.3.1	Nevezani noseći slojevi	51
8.2.5.3.2	Vezani noseći slojevi	51
8.2.5.3.3	Bitumenom vezani slojevi	52
8.2.5.3.4	Cementom vezani slojevi	52
<b>8.2.6</b>	<b>NOVE ASFALTNE KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE</b>	<b>55</b>
8.2.6.1	UVODNI DEO	55
8.2.6.1.1	Opšte	55
8.2.6.1.2	Tehnička regulativa	55
8.2.6.1.3	Terminologija	55
8.2.6.2	OSNOVE ZA PROJEKTOVANJE	56
8.2.6.2.1	Saobraćajno opterećenje	56
8.2.6.2.2	Nosivost podloge	56
8.2.6.2.3	Klimatski i hidrološki uslovi	56
8.2.6.2.4	Materijali	56
8.2.6.3	KARAKTERISTIČAN SASTAV	57
8.2.6.4	POSTUPAK PROJEKTOVANJA	57

8.2.6.4.1	Asfaltni slojevi	57
8.2.6.4.2	Nevezani noseći slojevi	58
8.2.6.4.3	Izgradnja u fazama	59
8.2.6.4.4	Provera uticaja smrzavanja	59
<b>8.2.7</b>	<b>NOVE CEMENTNO-BETONSKE KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE</b>	<b>60</b>
8.2.7.1	UVODNI DEO	60
8.2.7.1.1	Opšte	60
8.2.7.1.2	Tehnička regulativa	60
8.2.7.1.3	Terminologija	60
8.2.7.2	OSNOVE ZA PROJEKTOVANJE	61
8.2.7.2.1	Saobraćajno opterećenje	61
8.2.7.2.2	Nosivost podloge	61
8.2.7.2.3	Klimatski i hidrološki uslovi	61
8.2.7.2.4	Materijali	61
8.2.7.3	KARAKTERISTIČAN SASTAV	61
8.2.7.4	POSTUPAK PROJEKTOVANJA	62
<b>8.2.8</b>	<b>OJAČANJE ASFALTNIH KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA</b>	<b>64</b>
8.2.8.1	UVODNI DEO	64
8.2.8.1.1	Opšte	64
8.2.8.1.2	Tehnička regulativa	64
8.2.8.1.3	Terminologija	64
8.2.8.2	OPŠTE O IZBORU POSTUPKA	65
8.2.8.3	OSNOVE ZA PROJEKTOVANJE	67
8.2.8.3.1	Stanje postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije	67
8.2.8.3.2	Saobraćajno opterećenje	70
8.2.8.3.3	Svojstva novih materijala	70
8.2.8.3.4	Klimatski i hidrološki uslovi	70
8.2.8.4	POSTUPCI ZA PROJEKTOVANJE OJAČANJA	70
8.2.8.4.1	Projektovanje na osnovu ugiba	70
8.2.8.4.2	Projektovanje na osnovu procene stanja	72
8.2.8.4.3	Analitički postupak projektovanja	72
8.2.8.5	PROVERA UTICAJA SMRZAVANJA	72
<b>8.2.9</b>	<b>REKONSTRUKCIJA CEMENTNO-BETONSKIH KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA</b>	<b>74</b>
8.2.9.1	UVODNI DEO	74
8.2.9.1.1	Opšte	74
8.2.9.1.2	Terminologija	74
8.2.9.2	OPŠTE O IZBORU POSTUPKA	74
8.2.9.3	POSTUPCI ZA PROJEKTOVANJE REKONSTRUKCIJE	74
8.2.9.3.1	Nadgradnja	74
8.2.9.3.2	Zamena	75

## 8.2.1 UVODNI DEO

### 8.2.1.1 Opšte

Za projektovanje savremenih kolovoznih konstrukcija korišćeni su brojni različiti empirički i analitički postupci.

U priručniku je za projektovanje novih kolovoznih konstrukcija obrađen postupak, koji je najvećim delom zasnovan na rezultatima testa AASHO, već prihvaćen u domaćoj tehničkoj regulativi i u brojnim primerima proveren u praksi. Značajna karakteristika tog postupka je jednostavna primenljivost i dobra preglednost a postupak je određen sledećim elementima:

- saobraćajnim opterećenjem ( $T_i$ ),
- nosivošću podloge kolovozne konstrukcije – posteljice (CBR),
- klimatskim i hidrološkim uslovima za građenje ( $l_m$  ili  $h_m$ ),
- karakterističnim korišćenim materijalima ( $a_i$ ).

Za projektovanje ojačanja postojećih kolovoznih konstrukcija navedeni elementi su na prikladan način primenjeni u postupku vrednovanja postojećeg i projektovanog stanja.

Kao granična vrednost upotrebljivosti površine kolovozne konstrukcije (saobraćajne sposobnosti) po isteku doba trajanja usvojena je vrednost  $p_k = 2,0$ .

Projektovanje novih asfaltnih i cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija kao i ojačanja i rekonstrukcije, zasnovano je na pretpostavci da su na određenoj deonici puta slični svi uticaji, kao i da se neće bitno menjati u poređenju sa predviđenim. U tom slučaju osigurano je projektovano razdoblje trajanja i upotrebljivost saobraćajne površine, s tim da se upotrebljivost vremenom postepeno smanjuje.

### 8.2.1.2 Terminologija

Za projektovanje kolovoznih konstrukcija opšte važeći stručni termini primenjeni u ovom priručniku su sledeći:

**Kolovoz** (carriageway/pavement, Fahrbahn) je ravnomeran i kontinualan stabilizovan deo kolovozne konstrukcije, pogodan za kretanje vozila.

**Kolovozna traka** (traffic lane, Fahrstreifen) je deo kolovoza, odgovarajuće širok za kretanje jedne vrste vozila u jednom smeru.

**Novogradnja** (new construction, Neubau) je izgradnja novog puta.

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

**Presvlačenje** (overlay, Hocheinbau) znači ugrađivanje dodatnog sloja na (oštećenu) postojeću kolovoznu konstrukciju, prema potrebi delimično ostruganu, tako da je nova površina kolovoza viša od prvobitne.

**Sloj** (course, Schicht) predstavlja jedan ili više slojeva materijala sa sličnim osobinama.

**Struktura** (structure, Gefüge) je sastav u odnosu na veličinu, oblik i odnos sastojaka i njihovu međusobnu povezanost.

**Temeljno tlo** (underground/natural ground, Untergrund) su tla ili stene, po pravilu prirodne, koje su neposredno u dodiru sa nasipom, kolovoznom konstrukcijom ili temeljom građevinskog objekta, odnosno nalaze se neposredno ispod njega.

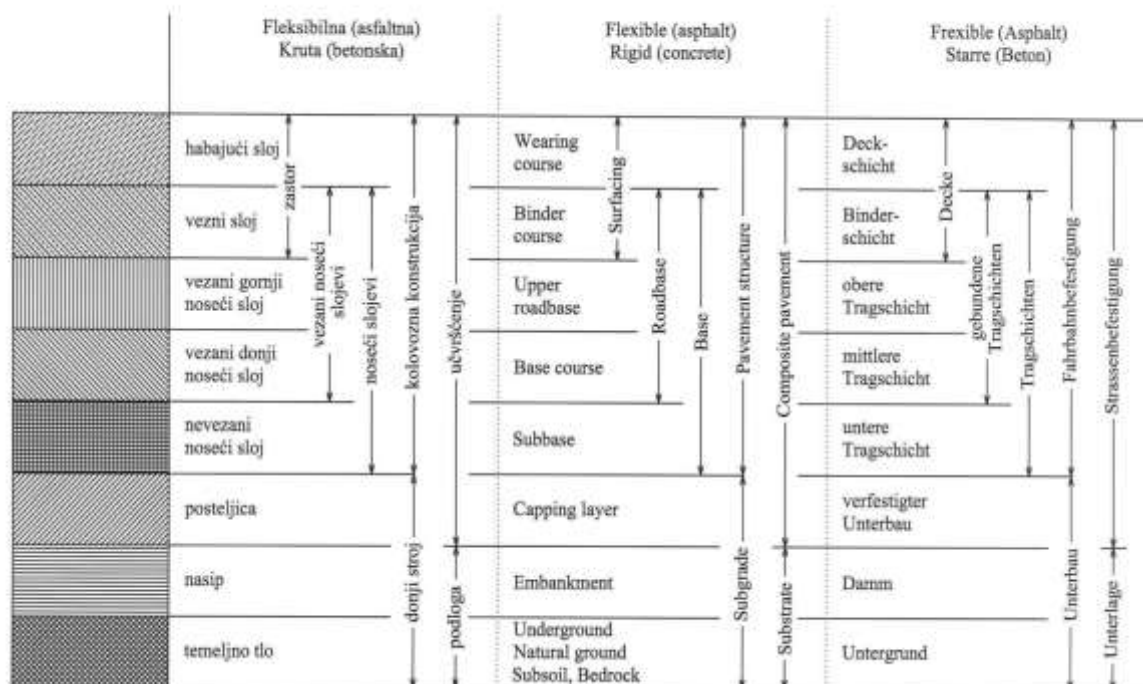
**Životni vek kolovozne konstrukcije** (pavement life time, Lebensdauer der Fahrbahnbefestigung) je projektno vreme odgovarajuće upotrebljivosti saobraćajne površine u odnosu na bezbednost, udobnost i ekonomičnost vožnje.

### 8.2.1.3 Karakteristični presek kolovoznih konstrukcija

Opšta struktura kolovoznih konstrukcija za projektovanje u sklopu novogradnji je predstavljena na slici 8.2.1.1, a na slici 8.2.1.2 primeri karakterističnih fleksibilnih kolovoznih konstrukcija za grupe merodavnih saobraćajnih opterećenja.

U odnosu na različite uslove korišćenja svi prikazani slojevi su potrebni po pravilu pre svega u kolovoznim konstrukcijama za izuzetno teško saobraćajno opterećenje.

## Kolovozna konstrukcija - Pavement structure - Fahrbahnbefestigung



Slika 8.2.1.1: Karakterističan presek novih kolovoznih konstrukcija

Sloj kolovozne konstrukcije	Saobraćajno opterećenje $T_{20}$ (NOO 100 kN)					
	$5 \times 10^7$	$10^7$	$5 \times 10^8$	$10^8$	$5 \times 10^5$	$10^5$
	izuzetno teško	vrlo teško	teško	srednje	lako	vrlo lako
<b>Vezani:</b>						
- habajući AC surf	4	4	4	3	3	3
- vezni AC bin	8	7	6	-	-	-
- nosači AC base <sup>1)</sup>	19	11	9	10	8	6
<b>Nevezani:</b>						
- nosači <sup>3)</sup>	44	42	41	36	33	30
<b>Vezani:</b>						
- habajući AC surf	4	4	4			
- vezni AC bin	8	7	6			
- nosači AC base	16	11	9			
- nosači <sup>4)</sup>	20	15	15			
<b>Nevezani:</b>						
- nosači <sup>5)</sup>	23	21	20			

<sup>1)</sup> -  $E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$  - CBR = 30 %  
<sup>2)</sup> -  $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$  - CBR = 7 %  
<sup>3)</sup> - mešavina drobljenog kamenog materiala  
<sup>4)</sup> - mešavina cementom stabiliziranog kamenog materiala  
<sup>5)</sup> - mešavina drobljenog in prirodnog kamenog materiala

Slika 8.2.1.2: Primeri karakterističnih fleksibilnih kolovoznih konstrukcija za grupe merodavnih saobraćajnih opterećenja

## 8.2.2 SAOBRAĆAJNO OPTEREĆENJE

### 8.2.2.1 Uvodni deo

#### 8.2.2.1.1 Tehnička regulativa

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

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

**RStO 01: 2001**, Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen

**SNV 640 320: 1971**, Dimensionierung – Äquivalente Verkehrslast

**SNV 640 324: 1971**, Dimensionierung - Straßenoberbau

#### 8.2.2.1.2 Terminologija

U sklopu tematike o saobraćajnom opterećenju kolovoznih konstrukcija primenjeni su sledeći stručni termini:

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

**Brojanje saobraćaja** (traffic count, Verkehrszählung) je način utvrđivanja broja i vrste vozila ili osovinskih opterećenja, koja prolaze kroz odabrani poprečni presek puta u određenom vremenu.

**Dinamičko opterećenje kolovozne konstrukcije** (pavement dynamic loading, dynamische Belastung der Fahrbahnbefestigung) je dodatno opterećenje izazvano stanjem kolovozne površine i/ili saobraćajem motornih vozila, ili odnos između stvarnog saobraćajnog opterećenja, koje deluje na kolovoznu konstrukciju u toku vožnje vozila i njihovog statičkog opterećenja.

**Ekvivalentno saobraćajno opterećenje** (equivalent traffic load, äquivalente Verkehrslast) je opterećenje iskazano preko broja prelaza nazivnog (nominalnog) osovinskog opterećenja (po pravilu 100 kN).

**Faktor ekvivalencije** (equivalency faktor, Äquivalenzfaktor) je faktor koji označava jednakovredan uticaj na zamor materijala u

odnosu na nazivno (nominalno) osovinsko opterećenje.

**Merodavno saobraćajno opterećenje** (design traffic loading, massgebende Verkehrsbelastung) je karakteristična vrednost za saobraćajno opterećenje kolovozne konstrukcije jedne vozne trake u planiranom životnom veku; određena je na osnovu prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja (broja vozila) i njegovog porasta, kao i dodatnih faktora: broja i širine voznih traka, najvećeg podužnog nagiba kolovoza i mogućih dinamičkih uticaja; označava sumu broja prelaza nazivnog (nominalnog) osovinskog opterećenja od 100 kN.

**Nazivno (nominalno) osovinsko opterećenje (NOO)** (nominal axle load, nominelle Achslast) je (standardno, nominalno) opterećenje jednostruke osovine vozila od 100 kN, koje se prenosi točkovima na voznu površinu; određeno je kao osnova za upoređivanje uticaja različitih osovinskih opterećenja.

**Prognoza saobraćaja** (traffic forecast, Verkehrsprognose) je ocena stanja saobraćaja u budućnosti (u definisanom periodu).

**Saobraćajno opterećenje** (traffic loading, Verkehrsbelastung) je opterećenje izraženo preko broja vozila (PGDS-prosečan godišnji dnevni saobraćaj) ili preko broja prelaza nazivnog (nominalnog) osovinskog opterećenja od 100 kN (PGDO), koje će proći kroz izabrani poprečni presek puta u definisanom periodu trajanja.

### 8.2.2.2 Analiza saobraćaja

Za određenje saobraćajnog opterećenja kolovozne konstrukcije potrebna je analiza saobraćaja koja obuhvata

- određenje prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja, i
- određenje težina pojedinih osovina vozila, ili
- procenu stopa iskorišćenosti vozila.

#### 8.2.2.2.1 Prosečan godišnji dnevni saobraćaj (PGDS)

Podaci o prosečnom godišnjem dnevnom saobraćaju (PGDS) na postojećim državnim putevima, koji su utvrđeni na osnovu rezultata dobijenih brojanjem saobraćaja na određenim karakterističnim poprečnim presecima puteva, prikupljeni su, po pravilu, u publikacijama nadležnih stručnih organa.

Prosečan godišnji dnevni saobraćaj za izgradnju novih puteva se određuje na osnovu saobraćajnih prognoza. Za manje opterećene puteve moguće je izvršiti i samo procenu prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja.

Podaci o prosečnom godišnjem dnevnom saobraćaju treba, po pravilu, da obuhvataju sledeću kategorizaciju reprezentativnih motornih vozila:

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

#### 8.2.2.2.2 Određivanje težine vozila

Određivanje stvarne težine motornih vozila i pojedinačnih osovinskih opterećenja moguće je izvršiti samo odgovarajućom metodom vaganja. Vaganje može da bude:

- statičko vaganje pomoću fiksnih ili pokretnih uređaja 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 merenje pojedinačnih osovinskih opterećenja pogodni su samo oni postupci gde se važu sva vozila ili barem reprezentativni uzorci navedenih vozila.

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

Rezultati dobijeni vaganjem motornih vozila ili merenjem osovinskih opterećenja procenjuju se za pojedinačne, dvostruke i trostruke osovine, kako bi se direktno mogli upotrebiti za procenu saobraćajnog opterećenja na postojećim putevima, kao i za predviđanje saobraćajnog opterećenja na novim putevima.

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

#### 8.2.2.2.3 Procena stope iskorišćenosti vozila

Ukoliko težine motornih vozila nisu utvrđene vaganjem, određivanje osovinskog opterećenja reprezentativnih vozila treba da

se izvrši na osnovu određivanja stope njihove iskorišćenosti.

Karakteristična opterećenja izabranih reprezentativnih motornih vozila uključujući procenjenju stopu iskorišćenosti navedena su u prilogima 8.2.2.1 do 8.2.2.6 a merodavnih motornih vozila u prilogima 8.2.2.7 do 8.2.2.10.

#### 8.2.2.3 Ekvivalentno saobraćajno opterećenje

Zamor materijala kolovozne konstrukcije zavisi od sledećeg:

- karakteristika motornog vozila:
  - osovinskog opterećenja,
  - rasporeda osovina na vozilu,
  - rasporeda točkova na osovini vozila, i
- broja opterećenja motornim vozilima, tj. prelaza vozila kroz poprečni presek kolovoza.

##### 8.2.2.3.1 Ekvivalentno osovinsko opterećenje

Osovinsko opterećenje motornog vozila treba pretvoriti u ekvivalentno saobraćajno opterećenje.

Za kvantitativnu procenu uticaja različitih osovinskih opterećenja motornih vozila na zamor materijala kolovozne konstrukcije, primenjuje se dopunjena jednačina ASSHO testa:

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

gde je:

$FE_{nom}$  faktor ekvivalencije uticaja stvarnog osovinskog opterećenja motornog vozila na zamor u odnosu na uticaj nazivnog (nominalnog) osovinskog opterećenja (NOO) od 100 kN.

$f_o$  faktor rasporeda osovina na motornom vozilu:

za pojedinačnu osovinu  $f_{o11} = 1,00$

za dvostruku i trostruku osovinu

$$f_{o2} = 0,7156$$

$f_k$  faktor rasporeda točkova na osovini vozila:

za jednostruki točak  $f_{k1} = 1,0$

za dvostruki točak (par)  $f_{k2} = 0,9$

za široki točak  $f_{k3} = 0,97$

Na osnovu navedenog vrši se izračunavanje faktora ekvivalencije osovinskih opterećenja motornih vozila (tabela 8.2.2.1).



Tabela 8.2.2.1: Faktori ekvivalencije osovinskog opterećenja motornih vozila u odnosu na nominalno osovinsko opterećenje 100 kN

Osovinsko opterećenje kN	Faktor ekvivalencije					
	pojedinačna/jednostruka osovina			dvostruka/trostruka osovina		
	jednostruki točak	dvostruki točak	široki točak	jednostruki točak	dvostruki točak	široki točak
4	0,000003	0,000002	0,000002	0,000002	0,000001	0,000002
6	0,000013	0,000009	0,000012	0,000009	0,000006	0,000009
8	0,000041	0,000027	0,000038	0,000029	0,000019	0,000027
10	0,000100	0,000066	0,000092	0,000072	0,000047	0,000066
15	0,00051	0,00033	0,00047	0,00036	0,00024	0,00033
20	0,00160	0,00105	0,00148	0,00114	0,00075	0,00106
25	0,00391	0,00256	0,00360	0,00280	0,00183	0,00258
30	0,00810	0,00531	0,00747	0,00580	0,00380	0,00535
35	0,01501	0,00985	0,01384	0,01074	0,00705	0,00990
40	0,02560	0,01680	0,02361	0,01832	0,01202	0,01690
45	0,04101	0,02690	0,03782	0,02934	0,01925	0,02707
50	0,06250	0,04101	0,05765	0,04473	0,02934	0,04125
55	0,09151	0,06004	0,08440	0,06548	0,04296	0,06040
60	0,12960	0,08503	0,11954	0,09274	0,06085	0,08554
65	0,17851	0,11712	0,16465	0,12774	0,08381	0,11782
70	0,24010	0,15753	0,22146	0,17182	0,11273	0,15848
75	0,31641	0,20759	0,29184	0,22642	0,14855	0,20884
80	0,40960	0,26874	0,37780	0,29311	0,19231	0,27036
82	0,45212	0,29664	0,41702	0,32354	0,21227	0,29842
85	0,52201	0,34249	0,48148	0,37355	0,24508	0,34455
90	0,65610	0,43047	0,60517	0,46951	0,30804	0,43306
95	0,81451	0,53440	0,75127	0,58286	0,38241	0,53761
100	1,00000	0,65610	0,92237	0,71560	0,46951	0,66005
105	1,21551	0,79749	1,12114	0,86982	0,57069	0,80229
110	1,46410	0,96060	1,35044	1,04771	0,68740	0,96637
115	1,74901	1,14752	1,61323	1,25159	0,82117	1,15443
120	2,07360	1,36049	1,91262	1,48387	0,97357	1,36867
125	2,44141	1,60181	2,25188	1,74707	1,14625	1,61144
130	2,85610	1,87389	2,63438	2,04383	1,34095	1,88516
135	3,32151	2,17924	3,06365	2,37687	1,55946	2,19235
140	3,84160	2,52047	3,54337	2,74905	1,80365	2,53564
145	4,42051	2,90029	4,07733	3,16331	2,07545	2,91774
150	5,06250	3,32151	4,66949	3,62273	2,37687	3,34149

## 8.2.2.3.2 Ekvivalentno opterećenje vozila

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

Izračunavanje faktora ekvivalencije  $FE_v$  reprezentativnog motornog vozila vrši se pomoću sledeće jednačine:

Prosečne vrednosti faktora ekvivalencije za reprezentativna motorna vozila (sa merodavnim osovinskim opterećenjima)

prema tehničkoj regulativi za brojanje saobraćaja, proračunate u prilogima 8.2.2.1 do 8.2.2.6, navedene su u tabeli 8.2.2.2.

Za merodavna motorna vozila na vangradskoj putnoj mreži proračun faktora ekvivalencije je u prilogima 8.2.2.7 do 8.2.2.10.

U slučajevima gde je poznata vrsta motornih vozila koji prevladavaju na određenom putu,

pa se ne vrši vaganje vozila, na osnovu navedenih jednačina moguće je odrediti odgovarajući faktor ekvivalencije  $FE_v$ .

Ukoliko sastav teških kamiona nije poznat, informativne vrednosti navedene u tabeli 8.2.2.3 moguće je uzeti za prosečne vrednosti faktora ekvivalencije  $FE_v$  za takva vozila.

Tabela 8.2.2.2: Prosečne vrednosti faktora ekvivalencije za reprezentativna vozila

Reprezentativno vozilo	Prosečan faktor ekvivalencije
- putničko	0,00003
- autobus	0,55
- kamion:	
- laki	0,004
- srednji	0,10
- teški	0,50
- teški sa prikolicom	0,90

Tabela 8.2.2.3: Prosečne informativne vrednosti faktora ekvivalencije za kamione

Prosečan broj teških kamiona po danu	Prosečan faktor ekvivalencije
< 200	0,4
> 200 - 1,000	0,6
> 1000	0,8

#### 8.2.2.4 Saobraćajno opterećenje

##### 8.2.2.4.1 Dnevno saobraćajno opterećenje $T_d$

Izračunavanje dnevnog saobraćajnog opterećenja je definisano načinom procenjivanja saobraćajnog opterećenja na kolovozu pomoć sledeće jednačine:

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

gde je:

$FE_v$  faktor ekvivalencije reprezentativnog vozila

$n_v$  broj reprezentativnih motornih vozila po danu

##### 8.2.2.4.2 Dodatni faktori koji utiču na saobraćajno opterećenje

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

- brojem saobraćajnih traka,
- širinom saobraćajnih traka,
- podužnim nagibom nivelete kolovoza, i
- dinamičkim uticajima.

##### 8.2.2.4.2.1 Broj saobraćajnih traka

Uticaj raspodele saobraćajnog opterećenja na saobraćajne trake na kolovozu treba odrediti faktorima poprečnog preseka  $f_{pp}$ , koji su navedeni u tabeli 8.2.2.4.

## 8.2.2.4.2.2 Širina saobraćajne trake

Uticaj širine saobraćajne trake kolovoza na saobraćajno opterećenje treba odrediti faktorima  $f_{st}$  koji su navedeni u tabeli 8.2.2.5.

## 8.2.2.4.2.3 Podužni nagib nivelete kolovoza

Uticaj (najvećeg) uzdužnog nagiba nivelete kolovoza na saobraćaj treba odrediti faktorima  $f_{nn}$ , koji su navedeni u tabeli 8.2.2.6.

## 8.2.2.4.2.4 Dinamički uticaji

Njihanje motornog vozila koje nastaje kao posledica neravnosti kolovoza stvara dodatno dinamičko opterećenje, koje se može odrediti faktorom  $f_{du}$ , koji iznosi:

- u dobrim uslovima vožnje  $f_{du} = 1,03$
- u srednjim uslovima vožnje  $f_{du} = 1,08$ .

Vrednosti faktora  $f_{du}$  uglavnom zavise od procene kvaliteta izvedenih radova.

Tabela 8.2.2.4: Faktori raspodele saobraćajnog opterećenja  $f_{pp}$  na saobraćajne trake

Broj saobraćajnih traka	Faktor $f_{pp}$ raspodele 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

Tabela: 8.2.2.5: Faktori uticaja širine saobraćajne trake  $f_{st}$  na saobraćajno opterećenje

Širina saobraćajne trake (m)	Faktor $f_{st}$ širine saobraćajne trake
< 2,50	2,00
2,50 – 2,74	1,80
2,75 – 3,24	1,40
3,25 – 3,74	1,10
≥ 3,75	1,00

Tabela 8.2.2.6: Faktori uticaja podužnog nagiba nivelete kolovoza  $f_{nn}$  na saobraćajno opterećenje

Uzdužni nagib nivelete (%)	Faktor $f_{nn}$ podužnog 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

### 8.2.2.5 Merodavno saobraćajno opterećenje

Merodavno saobraćajno opterećenje se definiše na osnovu:

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

Osnove za određivanje ekvivalentnog dnevnog saobraćajnog opterećenja  $T_d$  definisane su u tački 8.2.2.4.1.

#### 8.2.2.5.1 Trajanje i povećanje saobraćajnog opterećenja

Predviđeno trajanje i povećanje saobraćajnog opterećenja zbog porasta saobraćaja u ovom periodu treba odrediti faktorom  $f_{po}$ , koji je naveden u tabeli 8.2.2.7.

Tabela 8.2.2.7: Faktori povećanja saobraćajnog opterećenja  $f_{po}$  u zavisnosti od projektovanog godišnjeg porasta saobraćaja i predviđenog trajanja kolovozne konstrukcije

Predviđeno trajanje (godina)	Stopa godišnjeg porasta saobraćaja (%)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Faktor povećanja saobraćajnog opterećenja $f_{po}$									
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

#### 8.2.2.5.2 Određivanje merodavnog saobraćajnog opterećenja

Određivanje merodavnog saobraćajnog opterećenja  $T_n$  se izvodi na osnovu sledeće jednačine:

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

gde je:

$T_n$  merodavno saobraćajno opterećenje za period od  $n$  godina

$T_d$  ekvivalentno dnevno saobraćajno opterećenje

$f_{pp}$  faktor poprečnog preseka kolovoza

$f_{st}$  faktor širine saobraćajne trake

$f_{nn}$  faktor podužnog nagiba nivelete kolovoza

$f_{du}$  faktor dodatnih dinamičkih uticaja

$f_{po}$  faktor povećanja saobraćajnog opterećenja zbog porasta saobraćaja u projektovanom periodu

#### 8.2.2.6 Kategorizacija saobraćajnog opterećenja

U zavisnosti od broja prelaza nominalnog osovinskog opterećenja po danu  $i$  u periodu od 20 godina, saobraćajno opterećenje kolovoza (po saobraćajnoj traci), koje je relevantno za određivanje karakteristika materijala, razvrstano je u 6 grupa saobraćajnog opterećenja.

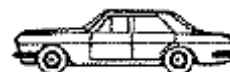
Kategorizacija saobraćajnog opterećenja navedena je u tabeli 8.2.2.8.

Tabela 8.2.2.8: Kategorizacija saobraćajnog opterećenja u grupe saobraćajnog opterećenja

Grupa saobraćajnog opterećenja	Broj prelaza nominalnog osovinskog opterećenja od 100 kN po danu	
		za 20 godina
Izuzetno teško	preko 3.000	preko $2 \times 10^7$
Vrlo teško	preko 800 do 3.000	preko $6 \times 10^6$ do $2 \times 10^7$
Teško	preko 300 do 800	preko $2 \times 10^6$ do $6 \times 10^6$
Srednje	preko 80 do 300	preko $6 \times 10^5$ do $2 \times 10^6$
Lako	preko 30 do 80	preko $2 \times 10^5$ do $6 \times 10^5$
Vrlo lako	do 30	do $2 \times 10^5$

**PRORAČUN FAKTORA EKVIVALENCIJE  
REPREZENTATIVNOG PUTNIČKOG AUTOMOBILA**

Nosivost vozila: 4 kN



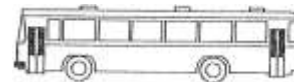
Kapacitet vozila: 4 osobe sa prtljagom

Opterećenje vozila	Prednja osovina		Zadnja osovina	
	L <sub>1</sub> (kN)	FE <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> (kN)	FE <sub>2</sub>
prazno	5,5	0,000009	5,5	0,000009
polu natovareno	6,0	0,000013	6,0	0,000013
potpuno natovareno	7,5	0,000032	7,5	0,000032
	Deo %			
prazno	60	0,000005	0,000005	
polu natovareno	30	0,000004	0,000004	
potpuno natovareno	10	0,000003	0,000003	
Ukupno:	0,000012		0,000012	
			FE <sub>v</sub> =	0,000024

**Putničko vozilo:****FE<sub>v</sub> ≈ 0,00003**

**PRORAČUN FAKTORA EKVIVALENCIJE REPREZENTATIVNOG AUTOBUSA**

Nosivost vozila: 40 kN



Kapacitet vozila: 50 putnika

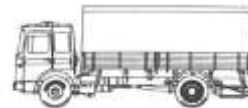
Opterećenje vozila		Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L <sub>1</sub> (kN)	FE <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> (kN)	FE <sub>2</sub>
prazno		50	0,06250	70	0,15753
polu natovareno		55	0,09151	85	0,34249
potpuno natovareno		60	0,12960	100	1,65610
	Deo %				
prazno	5	0,00313		0,00788	
polu natovareno	60	0,05491		0,20549	
potpuno natovareno	35	0,04536		0,22963	
Ukupno:		0,10340		0,44300	
		FE <sub>v</sub> =		0,54640	

**Autobus:****FE<sub>v</sub> ≈ 0,55**

**PRORAČUN FAKTORA EKVIVALENCIJE  
REPREZENTATIVNOG LAKOG TERETNOG VOZILA**

Nosivost vozila: do 30 kN

Kapacitet vozila: 25 kN



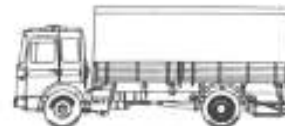
Opterećenje vozila		Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L <sub>1</sub> (kN)	FE <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> (kN)	FE <sub>2</sub>
prazno		15,0	0,00051	10	0,00007
polu natovareno		17,5	0,00099	20	0,00105
potpuno natovareno		20,0	0,00160	30	0,00531
	Deo %				
prazno	25	0,00013		0,00002	
polu natovareno	25	0,00025		0,00026	
potpuno natovareno	50	0,00080		0,00266	
Ukupno:		0,00118		0,00294	
		FE <sub>v</sub> =		0,00412	

**Lako teretno vozilo:****FE<sub>v</sub> ≈ 0,004**

### PRORAČUN FAKTORA EKVIVALENCIJE REPREZENTATIVNOG SREDNJEG TERETNOG VOZILA

Nosivost vozila: 30 - 50 kN

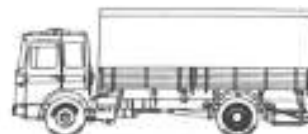
Kapacitet vozila: 40 kN



Opterećenje vozila	Prednja osovina		Zadnja osovina	
	L <sub>1</sub> (kN)	FE <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> (kN)	FE <sub>2</sub>
prazno	20	0,00160	20	0,00105
polu natovareno	25	0,00391	35	0,00985
potpuno natovareno	30	0,00810	50	0,04101
	Deo %			
prazno	25	0,00040	0,00026	
polu natovareno	25	0,00098	0,00246	
potpuno natovareno	50	0,00405	0,02051	
Ukupno:		0,00543	0,02323	
		FE <sub>v1</sub> =	0,02866	

Nosivost vozila: 50 - 70 kN

Kapacitet vozila: 60 kN



Opterećenje vozila	Prednja osovina		Zadnja osovina	
	L <sub>1</sub> (kN)	FE <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> (kN)	FE <sub>2</sub>
prazno	30	0,00810	30	0,00531
polu natovareno	35	0,01501	55	0,06004
potpuno natovareno	40	0,02560	80	0,26874
	Deo %			
prazno	25	0,00203	0,00133	
polu natovareno	25	0,00375	0,01501	
potpuno natovareno	50	0,01280	0,13437	
Ukupno:		0,01858	0,15071	
		FE <sub>v2</sub> =	0,16929	

$$FE_{v1} : 0,02866 \times 50\% = 0,01433$$

$$FE_{v2} : 0,16929 \times 50\% = 0,08465$$

---


$$0,09898$$

**Srednje teretno vozilo: FE<sub>v</sub> ≈ 0,10**



### PRORAČUN FAKTORA EKIVALENCIJE REPREZENTATIVNOG TEŠKOG TERETNOG VOZILA

Nosivost vozila: &gt; 70 kN

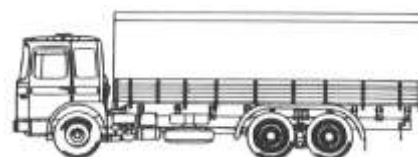
Kapacitet vozila: 100 kN



Opterećenje vozila	Prednja osovina		Zadnja osovina	
	L <sub>1</sub> (kN)	FE <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> (kN)	FE <sub>2</sub>
prazno	40	0,02560	40	0,01680
polu natovareno	55	0,09151	75	0,15753
potpuno natovareno	70	0,24010	110	0,96060
	Deo %			
prazno	25	0,00640	0,00420	
polu natovareno	25	0,02288	0,03938	
potpuno natovareno	50	0,12005	0,48030	
Ukupno:		0,14933	0,52388	
		FE <sub>v1</sub> =	0,67321	

Nosivost vozila: &gt; 70 kN

Kapacitet vozila: 140 kN (dvostruka osovina)



Opterećenje vozila	Prednja osovina		Zadnja osovina (dvostruka)	
	L <sub>1</sub> (kN)	FE <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> (kN)	FE <sub>2</sub>
prazno	40	0,02560	2 x 20	2 x 0,00075
polu natovareno	55	0,09151	2 x 45	2 x 0,01925
potpuno natovareno	70	0,24010	2 x 75	2 x 0,14855
	Deo %			
prazno	25	0,00640	0,00038	
polu natovareno	25	0,02288	0,00963	
potpuno natovareno	50	0,12005	0,14855	
Ukupno:		0,14933	0,15856	
		FE <sub>v2</sub> =	0,30789	

$$FE_{v1} : 0,67321 \times 50\% = 0,33661$$

$$FE_{v2} : 0,30789 \times 50\% = 0,15395$$

---


$$0,49056$$

**Teško teretno vozilo: FE<sub>v</sub> ≈ 0,50**

### PRORAČUN FAKTORA EKVIVALENCIJE REPREZENTATIVNOG TEŠKOG TERETNOG VOZILA SA PRIKOLICOM

Nosivost vozila: 50 – 70 kN  
 Nosivost prikolice: 60 kN  
 Kapacitet vozila: 60 kN  
 Kapacitet prikolice: 60 kN



Opterećenje prikolice	Prednja osovina		Zadnja osovina	
	L <sub>1</sub> (kN)	FE <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> (kN)	FE <sub>2</sub>
prazna	10	0,00010	10	0,00010
polu natovarena	25	0,00391	25	0,00391
potpuno natovarena	40	0,02560	40	0,02560
	Deo %			
prazna	25	0,00003	0,00003	
polu natovarena	25	0,00098	0,00098	
potpuno natovarena	50	0,01280	0,01280	
Ukupno:		0,01381	0,01381	
		FE <sub>p1</sub> =		0,02762

FE<sub>v</sub> : 0,09898  
 FE<sub>p1</sub> : 0,02762  
 0,12660

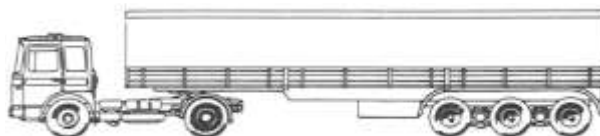
Nosivost vozila: > 70 kN  
 Nosivost prikolice: 120 kN  
 Kapacitet vozila: 100 kN  
 Kapacitet prikolice: 120 kN



Opterećenje prikolice	Prednja osovina		Zadnja osovina	
	L <sub>1</sub> (kN)	FE <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> (kN)	FE <sub>2</sub>
prazna	30	0,00531	30	0,00531
polu natovarena	60	0,08503	60	0,08503
potpuno natovarena	90	0,43047	90	0,43047
	Deo %			
prazna	25	0,00133	0,00133	
polu natovarena	25	0,02126	0,02126	
potpuno natovarena	50	0,21524	0,21524	
Ukupno:		0,23783	0,23783	
		FE <sub>p2</sub> =		0,47566

FE<sub>v1</sub> : 0,67321  
 FE<sub>p2</sub> : 0,47566  
 1,14887

Nosivost vozila: > 70 kN  
 Nosivost prikolice: 160 kN  
 Kapacitet vozila: 140 kN  
 Kapacitet prikolice: 160 kN



Opterećenje prikolice		Prednja osovina		Zadnje osovine (dvostruke)	
		L <sub>1</sub> (kN)	FE <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> (kN)	FE <sub>2</sub>
prazna		40	0,01680	40 + 20	0,01202+0,00114
polu natovarena		70	0,15753	70 + 35	0,11273+0,01074
potpuno natovarena		100	0,65610	100 + 50	0,46951+0,04473
	Deo %				
prazna	25	0,00420		0,00301 + 0,00029	
polu natovarena	25	0,03938		0,02818 + 0,00269	
potpuno natovarena	50	0,32805		0,23476 + 0,02237	
Ukupno:		0,37163		0,29130	
		FE <sub>p3</sub> =		0,66293	

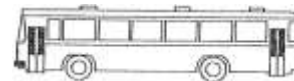
FE<sub>v2</sub> : 0,30789  
 FE<sub>p3</sub> : 0,66293  
 -----  
 0,97082

FE<sub>v</sub> + FE<sub>p1</sub> : (0,09898 + 0,02762) x 15% = 0,01899  
 FE<sub>v1</sub> + FE<sub>p2</sub> : (0,67321 + 0,47566) x 40% = 0,45955  
 FE<sub>v2</sub> + FE<sub>p3</sub> : 0,97082 x 45% = 0,43687  
 -----  
 0,91541

**Teško teretno vozilo sa prikolicom: FE<sub>v+P</sub> ≈ 0,90**

**PRORAČUN FAKTORA EKIVALENCIJE  
MERODAVNOG AUTOBUSA - BUS**

Nosivost vozila: 60 kN

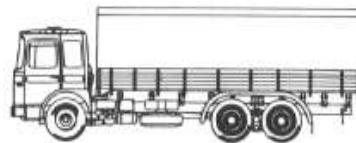


Opterećenje vozila	Prednja osovina		Zadnja osovina	
	L <sub>1</sub> (kN)	FE <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> (kN)	FE <sub>2</sub>
prazno	40	0,02560	80	0,26874
polu natovareno	52,5	0,07597	97,5	0,59291
potpuno natovareno	65	0,17851	115	1,14752
	Deo %			
prazno	5	0,00128	0,01344	
polu natovareno	60	0,04558	0,35575	
potpuno natovareno	35	0,06248	0,40163	
Ukupno:		0,10934	0,77082	
		FE <sub>v</sub> =	0,88016	

**Autobus:****FE<sub>BUS</sub> ≈ 0,90**

**PRORAČUN FAKTORA EKVIVALENCIJE  
MERODAVNOG TERETNOG VOZILA - TV**

Nosivost vozila: 165 kN



Opterećenje vozila	Prednja osovina		Zadnja osovina (dvostruka)	
	L <sub>1</sub> (kN)	FE <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> (kN)	FE <sub>2</sub>
prazno	40	0,02560	2 x 17,5	2 x 0,00044
polu natovareno	52,5	0,07597	2 x 52,5	2 x 0,03567
potpuno natovareno	65	0,17851	2 x 87,5	2 x 0,27522
	Deo %			
prazno	25	0,00640	0,00022	
polu natovareno	25	0,01899	0,01784	
potpuno natovareno	50	0,08926	0,27522	
Ukupno:		0,10825	0,29328	
		FE <sub>v</sub> =	0,40153	

Teretno vozilo:

FE<sub>TV</sub> ≈ 0,40
**PRORAČUN FAKTORA EKVIVALENCIJE  
MERODAVNOG VUČNOG VOZILA SA PRIKOLICOM - VVP**

Nosivost prikolice: 120 kN

Nosivost vozila: 165 kN



Opterećenje Prikolice	Prednja osovina		Zadnja osovina	
	L <sub>1</sub> (kN)	FE <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> (kN)	FE <sub>2</sub>
Prazna	20	0,00160	20	0,00160
polu natovarena	50	0,06250	50	0,06250
potpuno natovarena	80	0,40960	80	0,40960
	Deo %			
prazna	25	0,00040	0,00040	
polu natovarena	25	0,01563	0,01563	
potpuno natovarena	50	0,20480	0,20480	
Ukupno:		0,22083	0,22083	
		FE <sub>v</sub> =	0,44166	

FE<sub>v</sub> : 0,40153FE<sub>pr</sub> : 0,44166

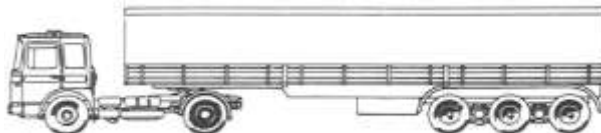
0,84319

Teretno vozilo sa prikolicom:

FE<sub>VVP</sub> ≈ 0,85

**PRORAČUN FAKTORA EKVIVALENCIJE  
MERODAVNOG VUČNOG VOZILA SA POLUPRIKOLICOM - TPP**

Nosivost vozila: 260 kN



Opterećenje prikolice	Prednja osovina		Srednja osovina		Zadnja osovina (trostruka)	
	L <sub>1</sub> (kN)	FE <sub>1</sub>	L <sub>2</sub> (kN)	FE <sub>2</sub>	L <sub>3</sub> (kN)	FE <sub>3</sub>
prazna	45	0,04101	45	0,02690	3 x 16,7	3 x 0,00049
polu natovarena	55	0,09151	80	0,26874	3 x 45	3 x 0,02707
potpuno natovarena	65	0,17851	115	1,14752	3 x 73,3	3 x 0,18318
	Deo %					
prazna	25	0,01025	0,00673		0,00037	
polu natovarena	25	0,02288	0,06719		0,02030	
potpuno natovarena	50	0,08926	0,57376		0,27477	
Ukupno:		0,12239	0,64768		0,29544	
		FE <sub>TPP</sub> =			1,06551	

**Vučno vozilo sa poluprikolicom:**

**FE<sub>TPP</sub> ≈ 1,05**

## 8.2.3 NOSIVOST

### 8.2.3.1 Uvodni deo

#### 8.2.3.1.1 Tehnička regulativa

**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)

**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

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

**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

**Merkblatt über flächendeckende dynamische Verfahren zur Prüfung der Verdichtung im Erdbau**, FGSV, Köln 1993

**RVS 8S.02.6 Erdarbeiten, Kontinuierlicher walzenintegrierter Verdichtungsnachweis**, ÖFSV, Wien 1999

**SNV 640 330: 1974** Deflektionen, Allgemeines, VSS, Zürich

**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))

**TP BF-StB Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Strassenbau**, Teil E2, Flächendeckende dynamische Prüfung der Verdichtung, FGSV, Köln 1994

#### 8.2.3.1.2 Terminologija

U priručniku za određivanje nosivosti podloge (posteljice) za novogradnje kolovoznih konstrukcija i defleksije (ugiba) saobraćajnih površina postojećih kolovoznih konstrukcija primenjeni su stručni termini koji imaju sledeće značenje:

**Benkelmanova greda** (Benkelman-beam, Benkelman-Balken) je sprava za određivanje elastičnog ili celokupnog ugiba saobraćajne površine ispod točka vozila sa određenim statičkim opterećenjem (po pravilu 50 kN).

**CBR vrednost** (California Bearing Ratio, CBR-Wert) je karakteristična vrednost deformabilnosti materijala pri ugibu pritisnutog cilindra.

**Deflektograf** (deflectograph, Deflektograph) je sprava za kontinualno automatsko određivanje (merenje i zapisivanje) ukupnog ugiba saobraćajne površine pod određenim opterećenjem točkova vozila u toku vožnje.

**Deflektometar** (deflectometer, Deflektometer) je sprava za automatsko određivanje (merenje i zapisivanje) ugiba saobraćajne površine pod određenim dinamičkim opterećenjem.

**Dinamički deformacioni modul  $E_{vd}$**  (dynamic modulus of deformation, dynamischer Verformungsmodul) je karakteristična vrednost za deformabilnost materijala pri udarnom opterećenju kružne ploče s padajućim lakim tegom; utvrđuje se

na osnovu izmerene amplitude "s" sleganja ploče.

**Homogeni odsek** (homogenous section, homogener Abschnitt) je određen pomoću odabranog koeficijenta varijacije, tj. odnosom između standardnog otklona izmerenih ugiba i njihove srednje vrednosti.

**Merodavan ugib/defleksija** (design deflection, massgebende Durchbiegung) je sleganje saobraćajne površine pod određenim opterećenjem sa uticajima na rezultat merenja (korekcijama) uzetim u obzir.

**Modul elastičnosti (dinamički)** (modulus of elasticity (dynamic), Elastizitätsmodul (dynamischer)) je odnos normalnog napona i elastične deformacije pod dinamičkim opterećenjem.

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

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

**Statički deformacioni modul  $E_{vs}$**  (static modulus of deformation  $E_{vs}$ , statischer Verformungsmodul  $E_{vs}$ ) je karakteristična vrednost za deformabilnost materijala kod postupnog višestrukog opterećenja kružne ploče.; određuje se na osnovu nagiba sekante krive sleganja za određeni opseg prvog, drugog ili trećeg ciklusa opterećivanja.

**Ugib** (deflection, Durchbiegung) je sleganje površine pod određenim opterećenjem kao merilo stanja (raspoložive nosivosti) konstrukcije za vreme merenja; sastoji se iz elastične i plastične komponente.

### 8.2.3.2 Nosivost podloge

Nosivost podloge u sklopu projektovanja kolovoznih konstrukcija za novogradnje po pravilu se određuje pomoću vrednosti kalifornijskog indeksa nosivosti CBR.

Vrednost CBR se može odrediti:

- neposredno merenjem u laboratoriji i/ili na terenu, ili

- posredno pomoću korelacije sa vrednostima merenja deformacionog modula; izuzetno za informativnu brzu ocenu u vanrednim slučajevima mogu da se koriste uvažene opšte (procenjene) vrednosti CBR za karakteristične materijale.

Za projektovanje (dimenzionisanje) kolovoznih konstrukcija za novogradnje služe po pravilu vrednosti CBR dobijene laboratorijskim ispitivanjem. Određivanje vrednosti CBR na terenu može da služi kao kontrolni test za proveravanje vrednosti određenih u laboratoriji.

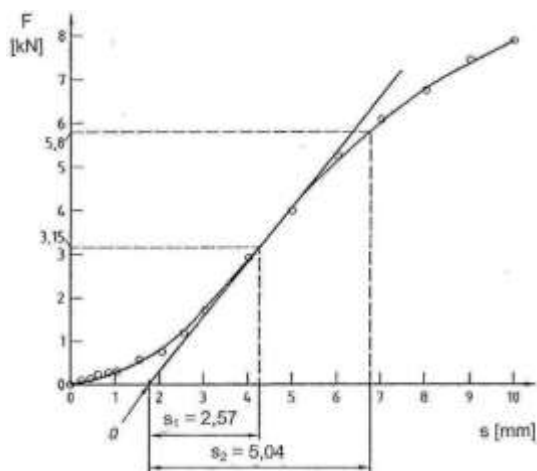
#### 8.2.3.2.1 Neposredno određivanje vrednosti CBR

Vrednost CBR predstavlja odnos između opterećenja  $F$  potrebnog da se cilindrični klip sa određenim kružnim presekom ( $20 \text{ cm}^2$ ) utisne konstantnom brzinom ( $1,27 \text{ mm/min}$ ) u zemljani materijal do dubine  $s_1$  ( $2,54 \text{ mm}$ ) odnosno dubine  $s_2$  ( $5,08 \text{ mm}$ ), i standardnog opterećenja  $F_s$  koje je potrebno da se isti klip utisne istom brzinom do iste dubine u standardni materijal, tj. mehanički sabijen u mešavinu tucanika.

Rezultati ispitivanja prikazuju se dijagramom. Primer određivanja vrednosti CBR je na slici 8.2.3.1, a proračun rezultata prema jednačini

$$CBR = \frac{F}{F_s} [\%]$$

u tabeli 8.2.3.1.



Slika 8.2.3.1: Dijagram za određivanje vrednosti CBR



Tabela 8.2.3.1: Izračunavanje vrednosti CBR

Dubine utiskivanja mm	Opterećenje standardizovano		Vrednost CBR %
	kod testa kN	kN	
2,5	3,15	13,2	23,8
5,04	5,8	20	29,1

Detaljni popis sprava za određivanje vrednosti CBR, opis pripreme i čuvanja uzorka za ispitivanje kao i postupak ispitivanja uzorka, i izračunavanje rezultata ispitivanja vrednosti CBR određeno je u EN 13286-47: 2004.

#### 8.2.3.2.2 Posredno određivanje vrednosti nosivosti

Posredno određivanje vrednosti CBR zasniva se na sleganju ispitivanog materijala pod dejstvom opterećenja pod utvrđenim uslovima.

Za posredno određivanje vrednosti CBR mogu da se koriste statički i dinamički deformacioni moduli ( $E_{vs}$  i  $E_{vd}$ ) kao i moduli stišljivosti ( $M_E$ ). Oni su u postupku izgradnje novih puteva sastavni deo kontrole kvaliteta izvedenih zemljanih radova i slojeva nevezanih materijala u kolovoznim konstrukcijama ali mogu da budu u odnosu na fizikalne osnove korišćeni za određivanje i kod projektovanja kolovoznih konstrukcija. Karakteristike sleganja opterećenog tla omogućavaju procenu nosivosti kao i proveru zbijenosti i stišljivosti ugrađenog materijala.

Fizičke osnove sleganja homogenog elastičnog izotropnog poluprostora (tla) ispod kružne ploče se definišu jednačinom:

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

gde je:

- $\mu$  Poason-ov količnik ( $\mu = 0,5$ )
- F ravnomerno vertikalno opterećenje (normalni napon  $\sigma$ )
- r poluprečnik kružne ploče
- E modul elastičnosti materijala

U homogenom tlu modul elastičnosti materijala E definisan je sa jednačinom:

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

Jednačina za deformacioni modul  $E_v$  ima osnovni oblik:

$$E_v = \frac{3}{2} \cdot \frac{F \cdot r}{s} = 0,75 \cdot \frac{F}{s} \cdot D$$

gde je:

D prečnik kružne ploče.

Jednačine za određivanje karakterističnih vrednosti deformacija ugrađenih materijala za osnovne metode merenja imaju sledeći oblik:

- za statički deformacioni modul  $E_{vs}$

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

gde je:

- $\Delta F$  razlika između dva predviđena nivoa vertikalnog opterećenja (ev. $\Delta p$ )  $[\text{MN/m}^2]$
- $\Delta s$  razlika između dva sleganja kružne ploče pri promeni opterećenja za  $\Delta F$  (ev.  $\Delta p$ )  $[\text{mm}]$
- D prečnik kružne ploče  $[\text{mm}]$

- za dinamički deformacioni modul  $E_{vd}$ :

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

gde je:

- $\sigma$  normalni napon ispod kružne ploče koja je opterećena maksimalnom silom  $F_s$

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

- za modul stišljivosti  $M_E$ :

$$M_E = \frac{\Delta F}{\Delta s} \cdot D \quad [\text{MN/m}^2]$$

Osnovne komponente merne sprave za određivanje sleganja tla pomoću opterećene kružne ploče su:

- sprava za opterećenje:
  - kruta kružna ploča
  - uređaji za opterećenje
- sprava za merenje i vrednovanje sleganja. Detaljni opis sprave za određivanje sleganja tla, izvođenje merenja i vrednovanje je u prilogu 1.

Utvrđene korelacije vrednosti statičkog deformacionog modula  $E_{vs}$  i modula stišljivosti  $M_E$  i vrednosti CBR, koje se mogu koristiti za određivanje merodavne vrednosti

nosivosti podloge kolovozne konstrukcije navedene su u tabeli 8.2.3.2. Informativna procena vrednosti CBR, u zavisnosti od vrste materijala, zapreminske

mase i hidroloških uslova, navedena je u tabeli 8.2.3.3.

Tabela 8.2.3.2: Korelacije vrednosti nosivosti podloge

Vrednost CBR %	Statički deformacioni modul $E_{vs2}$		Dinamički Deformacioni modul $E_{vd}$ MN/m <sup>2</sup>	Modul stišljivosti $M_E$ MN/m <sup>2</sup>
	koherentno tlo MN/m <sup>2</sup>	nekoherentno tlo MN/m <sup>2</sup>		
3	15	-	-	4
5	20	-	10	8
7	(30)	45	20	13
10	-	60	25	20
15	-	80	35	35
20	-	100	45	50

Tabela 8.2.3.3: Procena vrednosti CBR

Klasifikacija materijala (po USCS)	Opis materijala	Zapreminska Masa t/m <sup>3</sup>	Vrednost CBR Hidrološki uslovi	
			povoljni %	nepovoljni %
GW	dobro granuliran šljunak	2,00 do 2,25	30	30
GP	slabo granuliran šljunak	1,75 do 2,10	20	20
SW	dobro granuliran pesak	1,75 do 2,10	15	15
SP	slabo granuliran pesak	1,65 do 1,90	10	10
GM	prašinski šljunak	2,10 do 2,30	20	15
GC	glinoviti šljunak	1,90 do 2,25	7	5
SM	prašinski pesak	1,90 do 2,15	10	7
SC	glinoviti pesak	1,70 do 2,10	5	3
CL	prašinstva glina	1,60 do 1,80	5	3
ML	Prašina	1,60 do 1,80	3	2

### 8.2.3.3 Nosivost kolovozne konstrukcije

Nosivost postojeće kolovozne konstrukcije se određuje merenjem ugiba (defleksije) njene površine.

Cilj merenja ugiba je utvrđivanje stanja postojeće kolovozne konstrukcije za

- praćenje stanja u okviru upravljanja putevima, i
- projektovanje odgovarajućeg ojačanja postojećih kolovoznih konstrukcija za određeno razdoblje trajanja.

Kod novih kolovoznih konstrukcija merenjem ugiba površine se proverava jednodolnost kao i kvalitet izvedenih radova.

#### 8.2.3.3.1 Osnovni postupci merenja ugiba

Prihvaćeni postupci za merenje ugiba postojećih kolovoznih konstrukcija zasnivaju se na statičkom ili dinamičkom opterećenju mernog mesta.

Osnovni postupci merenja ugiba površine kolovozne konstrukcije se izvode pomoću

- Benkelmanove grede (pod statičkim opterećenjem),
- Lakroa-deflektografa (pod pokretnim opterećenjem), i
- Dynatest 8000 FWD deflektometra (sa padajućim tegom – pod dinamičkim opterećenjem).

Za posebne namene i pod posebnim uslovima, ugib površine kolovozne konstrukcije je moguće odrediti i upotrebom

drugog postupka, npr. pomoću optičkog deflektometra, merne sonde (koja se ugrađuje u kolovoznu konstrukciju), vibratora (za merenje amplituda oscilacije), itd.

Različita opterećenja koja su određena za gore navedene osnovne postupke merenja imaju za rezultat različite vrednosti ugiba, koje nisu međusobno direktno uporedive.

U cilju utvrđivanja stanja postojeće kolovozne konstrukcije i određivanja odgovarajućih mera, prihvaćenim postupcima za merenje ugiba treba odrediti sledeće:

- merodavan ugib na površini kolovozne konstrukcije na homogenoj deonici puta  $d_{m, i}$
- razdoblje trajanja kolovozne konstrukcije.

#### 8.2.3.3.2 Sprave za merenje ugiba

Sprave za merenje ugiba površine kolovozne konstrukcije mora da budu takve da omogućavaju:

- ponavljanje,
- tačnost merenja ugiba i beleženje dobijenih rezultata, u grafičkom ili digitalnom obliku, i
- trajnost zabeleške.

Celokupna sprava za merenje ugiba mora da poseduje određene tehničke karakteristike i mora da bude kalibrisana u skladu sa odgovarajućim postupkom, koji uglavnom određuje proizvođač sprave; štaviše, sprava mora da ima važeći sertifikat.

Detaljni opisi pomenutih osnovnih sprava za merenje ugiba površina kolovoznih konstrukcija, izvođenje merenja ugiba i kriterijumi za određivanje stvarnog stanja kolovoznih konstrukcija nalaze se u prilogu 2.

## Prilog 1: Osnovni postupci za određivanje sleganja tla

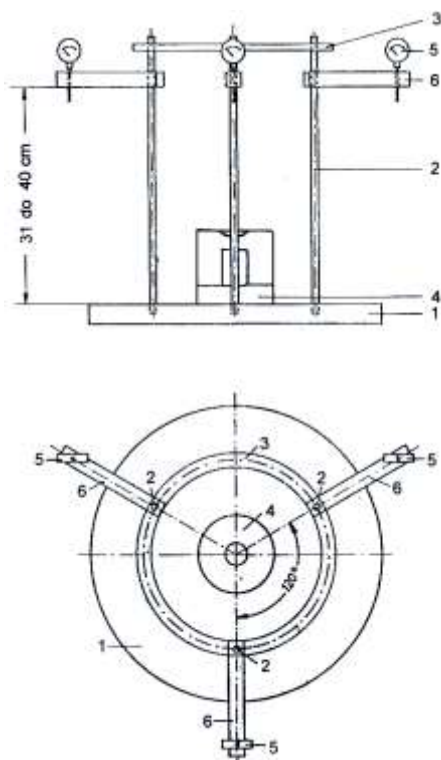
### 1.1 Statički deformacioni modul $E_{vs}$

Određivanje statičkog deformacionog modula ( $E_{vs1}$  i  $E_{vs2}$ ) iziskuje srazmerno velike troškove ali omogućuje detaljno upoznavanje nosivih karakteristika tla.

#### 1.1.1 Sprava za određivanje sleganja tla

##### 1.1.1.1 Sprava za opterećenje

Schema dela osnovne sprave za određivanje statičkog deformacionog modula  $E_{vs}$  predstavljena je na slici 1.1.1.



Slika 1.1.1: Shema kružne ploče uključujući spravu za merenje sleganja

##### 1.1.1.1.1 Kružna ploča

Debljina krute kružne ploče prečnika 300 mm treba da iznosi najmanje 25 mm. Na ploči se moraju nalaziti tri nosača za postavljanje mernih satova (2), prsten za povezivanje (3), i dodatne pomoćne ploče (4). Na donjoj strani navedene pomoćne ploče treba da postoji otvor kako bi se omogućilo i merenje pomoću jednog mernog sata (sprave za merenje pokreta). Kako bi dodatnu pomoćnu ploču

bilo moguće postaviti stabilno i na centar, na nosivoj ploči je potrebno predvideti odgovarajući žleb.

##### 1.1.1.1.2 Sprava za opterećenje

Spravi za opterećenje treba obezbediti opterećenje i rasterećenje kružne ploče po stepenima. Navedene sprave se sastoje od sledećih komponenti:

- prese za ulje sa ventilom za regulaciju pritiska,
- pritisknog creva, i
- hidrauličkog klipa.

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

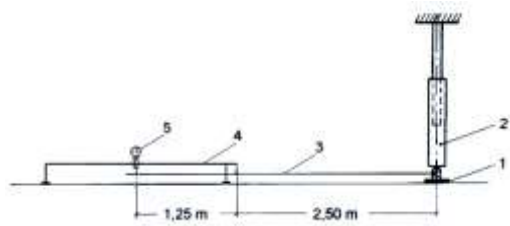
Merni instrumenti koji služe za mehaničko i/ili elektronsko merenje opterećenja takođe predstavljaju sastavni deo sprava za opterećenje (tačnost merenja sa najviše 1%-nim odstupanjem).

U sklop sprave za opterećenje ubraja se i protivteg (obično teško teretno vozilo ili valjak).

##### 1.1.1.2 Sprava za merenje sleganja

Sprava za merenje sleganja zavisi od načina merenja:

- za merenja koja se izvode na tri tačke preporučuju se tri merna sata (5) čiji domet iznosi najmanje 10 mm (20 mm je preporučljivo), sa tačnošću očitavanja od 0,01 mm; merni satovi moraju da budu pričvršćeni na kružnoj ploči (2), a pričvršćivanje se vrši odgovarajućim ručkama (6) (slika 1.1.1); navedeni satovi moraju da budu postavljeni na nosače koji su pričvršćeni za stabilan oslonac (tronožac),
- za merenja sleganja koja se izvode na jednom mestu, tj. u otvoru koji se nalazi u sredini pomoćne ploče (4) (slika 1.1.1), pored mernih satova ili elektronskih mernih instrumenata za merenje pomeranja, potreban je odgovarajući nosivi okvir za postavljanje i učvršćivanje sprava za merenje (slika 1.1.2).



Legenda:

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

Slika 1.1.2: Shema merenja sleganja upotrebom jednog mernog sata (Benkelmanova greda)

## 1.1.2 Izvođenje merenja sleganja tla

### 1.1.2.1 Uslovi za izvođenje merenja

Sleganje je moguće izmeriti pomoću krute kružne ploče na sledećim materijalima:

- krupnozrnim materijalima,
- mešanim materijalima, i
- koherentnom tlu u teško gnječivoj do tvrdoj konzistenciji.

U materijalu može da se nalazi neznatan deo zrna čija veličina prelazi 63 mm ili više od  $\frac{1}{4}$  prečnika ploče.

U slučaju da se radi o materijalima koji se brzo suše, pesku sa jednakom veličinom zrna, tlu sa korom, tlu koje brzo omekša ili koje se brzo natopi ili o materijalima čiji se gornji deo izmenio iz bilo kojeg razloga, merenje treba izvršiti pomoću ploče na planumu ispod izmenjenog dela. Gustina ispitanih materijala treba da ostane nepromenjena u najvećoj mogućoj meri.

Ukoliko se radi o sitnozrnim tlu (prašina, glina), merenje gredom je moguće savršeno izvesti i oceniti, ukoliko se materijali kreću od teško gnječive do tvrde konzistencije. U dubioznim slučajevima potrebno je proceniti sadržaj vode u tlu, budući da voda ima presudan uticaj na rezultate merenja. Procenu je potrebno izvršiti na različitim dubinama (do 3 poluprečnika ploče) ispod površine mernog mesta.

Rezultati merenja, koje je izvedeno pomoću ploče, uglavnom nisu realistični ili primenljivi, ukoliko su merenja izvedena na smrznutom materijalu.

### 1.1.2.2 Postupci kod merenja

Merenje sleganja pomoću krute kružne ploče sastoji se od tri karakteristične faze:

- pripreme površine za merenje,
- postavljanja sprave, i
- samog merenja.

#### 1.1.2.2.1 Priprema površine za izvođenje merenja

Površinu na kojoj će se vršiti merenje treba prilagoditi veličini kružne ploče.

Odgovarajuću ravnost površine na kojoj će se vršiti merenje treba postići primenom odgovarajućih alata (čelično ravvalo, mistrija). Sitne čestice materijala treba ukloniti metlom.

Ukoliko je nagib osnove veći od  $5^\circ$ , horizontalnu površinu za merenje treba obezbediti na sledeći način:

- ukoliko se radi o koherentnom terenu, uklanjanjem sloja u gornjem delu, uklanjanjem izloženih krupnih čestica, i ispunjavanjem lokalnih šupljina peskom ili gipsom,
- ukoliko se radi o nekoherentnim materijalima, polaganjem sloja peska ili gipsa do nivoa horizontalne osnove.

Središte površine na kojoj će se vršiti merenje treba prethodno odrediti na osnovu vertikalne linije ispod tačke delovanja sile hidrauličnog klipa.

#### 1.1.2.2.2 Postavljanje sprave

Na celokupnoj kontaktnoj površini, kružna ploča mora da bude čvrsto postavljena na pripremljenoj osnovi. Moguće šupljine moraju da budu ispunjene slojem suvog, srednjeznog peska ili gipsa debljine nekoliko milimetara.

Ukoliko se koristi mešavina gipsa, koja se primenjuje samo za merenja nekoherentnih materijala, kontaktnu površinu kružne ploče treba podmazati uljem.

Ploča mora da bude postavljena horizontalno na pripremljenu osnovu. Okretanjem oko vertikalne osovine i udaranjem ploča mora da se utisne u pesak ili gips kako bi se sprečila moguća pojava šupljina između ploče i osnove.

Mešavinu gipsa, koja je istisnuta na ivicama ploče, treba otkloniti mistrijom pre stvrđivanja.

Mešavina gipsa se mora stvrdnuti pre početka merenja.

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 okvir za merenje sleganja pomoću kružne ploče treba postaviti tako da lokacija nosača bude izvan uticaja kontratega, kao i izvan uticaja na kružnu ploču i pored nje (na najmanjoj udaljenosti od 50 cm).

Merne satove treba postaviti vertikalno na površinu na kojoj se merenje vrši, kao i tako da se omogući očitavanje.

U postavljanje merne sprave takođe spada i kratkoročno prethodno opterećenje kružne ploče (oko 30 sekundi sa  $0,01 \text{ MN/m}^2$ ). Nakon ovog perioda, merne satove ili uređaje za merenje sleganja treba postaviti na nulu.

Ukoliko je izvodljivo, mernu spravu treba zaštititi od vremenskih uticaja, kao što su sunčeva zračenja i vetar.

Postavljena merna sprava kao i kontrategovi ne smeju da budu izloženi vibracijama u toku merenja.

#### 1.1.2.2.3 Merenje

Maksimalno opterećenje u toku merenja, i/ili maksimalno sleganje koje treba postići zavisi od cilja ispitivanja, kao i od svojstava materijala i veličine kružne ploče.

Ukoliko su uočena neka neobična sleganja, npr. 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.

Prilikom merenja statičkog deformacionog modula pomoću krute kružne ploče, opterećenje je potrebno povećati sve dok se ne postigne:

- sleganje od 2 mm, ili
- normalan napon ispod ploče do  $0,5 \text{ MN/m}^2$ .

Međutim, merenje treba prekinuti pri manjem naponu ili manjem sleganju, ukoliko se pri povećanju opterećenja uočavaju prevelike promene koje ukazuju na oštećenje ugrađenih materijala.

Opterećenje treba izvršiti na najmanje šest stepena, s tim da razlika između dva uzastopna stepena bude ista za celokupan 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 izmeniti.

Prelaz sa jednog stepena opterećenja na drugi treba da se izvede u minuti.

Prilikom opterećivanja i rasterećivanja, sledeći stepen opterećenja je moguće primeniti samo ukoliko razlika u sleganju, koja se očitava na pojedinim mernim satovima, nije veća od 0,02 mm. Na jednom stepenu opterećenja, opterećenje mora da bude konstantno.

Ukoliko se merenja izvode pomoću tri merna satova, prvo očitavanje treba da se izvrši 10 sekundi pre 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 sme smanjivati. Međutim, navedeno preopterećenje je potrebno evidentirati.

Po pravilu, stepeni opterećenja moraju da budu sledeći:

- za koherentno tlo  $0,02$  do  $0,03 \text{ MN/m}^2$
- za mešani materijal  $0,03$  do  $0,04 \text{ MN/m}^2$
- za šljunak  $0,05$  do  $0,06 \text{ MN/m}^2$
- za kamenu sitnež  $0,06$  do  $0,07 \text{ MN/m}^2$

Rasterećenje kružne ploče treba da se izvede 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 poslednjeg već samo do jednog nivoa opterećenja pre poslednjeg u prvom krugu.

U cilju obezbeđenja potrebnih karakterističnih podataka o izvedenim merenjima potrebno je voditi zapisnik, koji treba da sadrži sledeće detaljne podatke:

- podatke o mestu na kojem se merenje izvodi, i

- podatke o međusobnoj zavisnosti povećanja opterećenja i sleganja koje se javlja ispod krute kružne ploče.

Potrebni podaci o mestu na kojem se merenje izvodi su uglavnom sledeći:

- tačna lokacija,
- vrsta materijala u osnovi,
- vremenske prilike, temperatura,
- datum i vreme kao i druge pojedinosti koje se odnose na izvedeno merenje.

Pored gore navedenih podataka zapisnik treba takođe da sadrži karakteristike postupka merenja.

Za svaki stepen opterećenja potrebno je zabeležiti sva sleganja, tj. svako očitavanje na mernoj spravi ili drugoj mernoj spravi. Štaviše, potrebno je proceniti prosečne vrednosti sleganja na određenim stepenima opterećenja.

Po pravilu, sleganja na pojedinim stepenima opterećenja kao i tok sleganja moraju da budu jasno predstavljeni u grafičkom obliku.

### 1.1.3 Izračunavanje statičkog deformacionog modula $E_{vs}$

Osnovu za izračunavanje statičkog deformacionog modula  $E_{vs}$  predstavlja jednačina navedena pod tačkom 8.2.3.2.2:

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

U cilju određivanja nosivosti tla, statički deformacioni modul  $E_{vs2}$  treba da se izračuna na osnovu ove jednačine; za procenu zbijenosti materijala, takođe treba izračunati statički deformacioni modul  $E_{vs1}$  i odnos  $E_{vs2}/E_{vs1}$ .

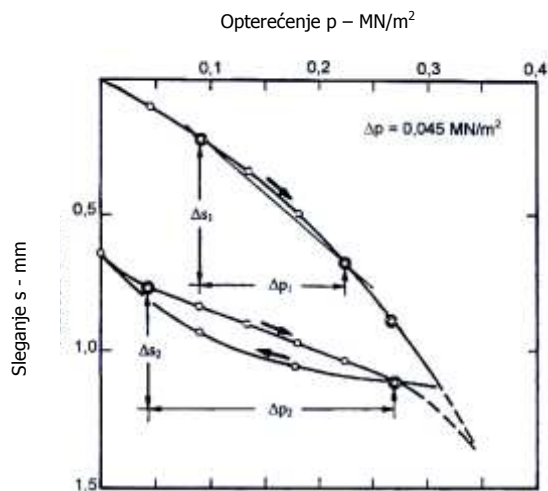
Vrednost  $\Delta s$  se uglavnom određuje u području ujednačenog toka sleganja tla pri opterećenju u stepenima. Navedeno područje je uglavnom sledeće:

- za prvo opterećenje između drugog i petog stepena, i
- za drugo opterećenje između drugog i šestog stepena.

Na slici 1.1.3 prikazane su vrednosti za izračunavanje deformacionog modula:

$$E_{vs1} = 0,75 \cdot \frac{\Delta p_1}{\Delta s_1} \cdot D \quad [\text{MN/m}^2]$$

$$E_{vs2} = 0,75 \cdot \frac{\Delta p_2}{\Delta s_2} \cdot D \quad [\text{MN/m}^2]$$



Slika 1.1.3: Dijagram sleganja kružne ploče „s“ u zavisnosti od opterećenja „p“

Navedene granične vrednosti sleganja „s“ i opterećenja „p“ moguće je razabrati iz zapisnika o merenju.

## 1.2 DINAMIČKI DEFORMACIONI MODUL $E_{vd}$

Određivanje dinamičkog deformacionog modula  $E_{vd}$  je u odnosu na određivanje statičkog deformacionog modula  $E_{vs}$  pre svega brže i jednostavnije ali ipak manje toga kazuje.

### 1.2.1 Sprava za određivanje sleganja tla

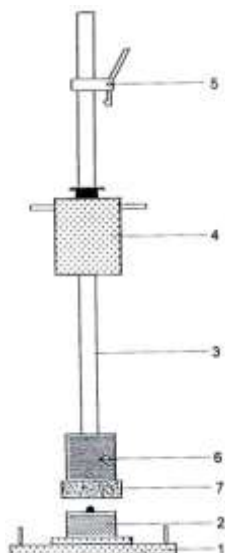
#### 1.2.1.1 Sprava za opterećenje

Shema sprave za određivanje dinamičkog deformacionog modula  $E_{vd}$  prikazana je na slici 1.2.1.

##### 1.2.1.1.1 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 da bude 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 merenje sleganja, treba da iznosi  $15 \text{ kg} \pm 0,25 \text{ kg}$ .



Slika 1.2.1: Shema kružne ploče sa spravom za dinamičko opterećenje kao i za merenje sleganja

#### 1.2.1.1.2 Sprave za opterećenje

Sprave za opterećenje kružne ploče moraju da obezbede impulsivno (dinamičko) opterećenje.

Sastavljeni su od sledećih komponenti:

- vođice (3) preko koje može da klizi slobodno padajući teg sa ručkom u obliku prstena (4); na vođicu su pričvršćene sledeće komponente:
- sa donje strane čelična kružna opruga sa oblogom (6), i uređaj za sprečavanje prevrtanja (7),
- sa gornje strane uređaj za zaključavanje (5).

Sprave za opterećenje moraju da ispunjavaju sledeće zahteve:

- masa padajućeg tega (4)  $10 \text{ kg} \pm 0,1 \text{ kg}$
- ukupna masa vođice uključujući čeličnu oprugu sa oblogom, uređaj za sprečavanje prevrtanja i uređaj za zaključavanje  $5 \text{ kg} \pm 0,25 \text{ kg}$
- maksimalna snaga impulsa  $F_s$   $7,07 \text{ kN}$
- trajanje impulsa  $t_s$   $18 \text{ ms} \pm 2 \text{ ms}$ .

Elementi opruge kao i visina padajućeg tega moraju da budu prilagođeni tako da obezbede potrebnu snagu impulsa  $F_s$  tačnosti  $\pm 1\%$  u temperaturnom području između  $0^\circ\text{C}$  i  $40^\circ\text{C}$ .

Padajući teg (izrađen od čelika) mora da bude projektovan tako da se može zaustaviti

nakon udara. Minimalno trenje između padajućeg tega i vođice koja mora biti izrađena od ugljačanog nerđajućeg čelika mora da bude dugotrajno osigurano.

#### 1.2.1.2 Sprave za merenje sleganja

Sprava za merenje sleganja se sastoji od sledećih komponenti:

- senzora sa ulazom za priključak, koji je pričvršćen za krutu kružnu ploču, i
- elektronskog mernog instrumenta.

Senzorom ili uređajem za merenje ubrzanja potrebno je obezbediti tačnost rezultata dobijenih merenjem, sa maksimalnom greškom od  $2\%$  u temperaturnom području između  $0^\circ\text{C}$  i  $40^\circ\text{C}$ , i u području frekvencije između  $8 \text{ Hz}$  i  $100 \text{ Hz}$ . Tačnost merenja zavisi od sleganja i iznosi:

- u području između  $0,2 \text{ mm}$  i  $1 \text{ mm}$  minimalno  $\pm 0,02 \text{ mm}$ ,
- u području između  $1 \text{ mm}$  i  $2 \text{ mm}$  minimalno  $\pm 2\%$ .

Napajanje elektronskog mernog instrumenta za prikupljanje podataka treba vršiti uglavnom putem akumulatora (NC blok), koji mora da se puni automatski. Napon i druge karakteristike elektronske sprave za merenje sleganja treba uskladiti na odgovarajući način.

### 1.2.2 Izvođenje merenja sleganja tla

#### 1.2.2.1 Uslovi za izvođenje merenja

Uslovi za izvođenje merenja dinamičkog deformacionog modula su u principu isti kao za merenja statičkog deformacionog modula opisani u tč. 1.1.2.1 ovog priloga.

#### 1.2.2.2 Postupci kod merenja

Postupak pripreme površine za merenje dinamičkog deformacionog modula je isti kao postupak opisan pod tačkom 1.1.2.2.1 ovog priloga, ukoliko se za ispunu šupljina upotrebljava suv, srednjezrni pesak.

Na središte postavljene kružne ploče vertikalno treba postaviti vođicu, uključujući sve komponente neophodne za izvođenje merenja.

U cilju obezbeđenja kontakta između kružne ploče i osnove, potrebno je na mernom mestu izvesti predopterećenje sa tri udara (impulsa) slobodno padajućeg tega sa određene (kalibrisane) visine. Nakon svakog udara (odskoka) teg treba zadržati, a zatim uvesti spravu za merenje sleganja.



Nakon uključivanja sprave za merenje sleganja potrebno je izvršiti opterećenje sa tri udara padajućeg tega. Amplituda sleganja mora da bude izmerena sa tačnošću najmanje  $\pm 0,02$  mm. Kalibrisana visina pada tega mora da je osigurana, a teg posle svakog odboja uhvaćen.

### 1.2.3 Izračunavanje dinamičkog deformacionog modula $E_{vd}$

Sa dinamičkom snagom impulsa  $F_s \cong 7$  kN je opterećena kružna ploča prečnika 300 mm, normalnim naponom od  $\sigma = 0,1$  MN/m<sup>2</sup>.

U skladu sa osnovnom jednačinom za dinamički deformacioni modul (tč. 8.2.3.2.2)

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

ili

$$E_{vd} = 22,5/s \quad [\text{MN/m}^2]$$

moгуće je, pomoću elektronskog mernog instrumenta, koji određuje maksimalno sleganje dvostrukom integracijom merenog ubrzanja, neposredno odrediti vrednost dinamičkog deformacionog modula  $E_{vd}$ . Za određivanje, relevantna je prosečna srednja vrednost dobijena na osnovu tri izvedena merenja.

## 1.3 MODUL STIŠLIVOSTI $M_E$

### 1.3.1 Sprava za određivanje sleganja tla

Sprava za određivanje modula stišljivosti  $M_E$  na osnovu sleganja tla je jednaka detaljno opisanoj u tč. 1.1.1 ovog priloga.

### 1.3.2 Izvođenje merenja sleganja tla

Za izvođenje merenja modula stišljivosti važe uslovi navedeni u tč. 1.1.2.1 ovog priloga.

Priprema površine i postupak postavljanja sprave za merenje modula stišljivosti je isti kao postupak opisan pod tačkom 1.1.2.2.1 i 1.1.2.2.2.

U cilju obezbeđenja kontakta između kružne ploče i površine na kojoj se izvodi merenje, potrebno je izvesti predopterećenje ploče sa  $0,02$  MN/m<sup>2</sup>. U navedenu vrednost uključena je težina konstrukcije hidrauličnog klipa i ploče.

Ravnomernim porastom opterećenja kružne ploče potrebno je stvoriti pritisak za prvi

stepen, tj.  $0,05$  MN/m<sup>2</sup> (vrednost koja se očitava na meraču pritiska treba da iznosi  $0,05$  MN/m<sup>2</sup> – pritisak usled sopstvene težine konstrukcije).

Čim se postigne napon za ovaj stepen, sleganja je moguće očitati na mernim satovima na sledeći način:

- za koherentno tlo nakon 3, 6, 9 minuta, itd.
- za nekoherentne materijale nakon 2, 4, 6, 8 minuta, itd.

Očitano sleganje je potrebno evidentirati na odgovarajući način.

Opterećenje za naredni stepen može početi čim sleganje nakon 2 ili 3 minuta iznosi manje od  $0,05$  mm.

Vreme opterećenja, potrebno na prvom stepenu opterećenja (npr. 2 minuta) treba takođe zadržati za svaki naredni stepen.

Primenjuju se sledeći stepeni opterećenja:

- na temeljnom tlu stepen od  $0,05$  MN/m<sup>2</sup> do konačnog opterećenja od  $0,25$  MN/m<sup>2</sup>,
- na posteljici stepen od  $0,1$  MN/m<sup>2</sup>, od  $0,05$  MN/m<sup>2</sup> do konačnog opterećenja od  $0,45$  MN/m<sup>2</sup>
- na nevezanom nosivom sloju stepen od  $0,1$  MN/m<sup>2</sup>, od  $0,05$  MN/m<sup>2</sup> do konačnog opterećenja od  $0,55$  MN/m<sup>2</sup>.

### 1.3.3 Izračunavanje modula stišljivosti $M_E$

U osnovnoj jednačini za izračunavanje modula stišljivosti (tč. 8.2.3.2.2)

$$M_E = \frac{\Delta F}{\Delta s} \cdot D \quad [\text{MN/m}^2]$$

potrebno je uzeti u obzir vrednost  $\Delta s$  koja je utvrđena u sledećim rasponima opterećenja:

- za temeljno tlo i nasipe između  $0,05$  i  $0,15$  MN/m<sup>2</sup>,
- za posteljicu između  $0,15$  i  $0,25$  MN/m<sup>2</sup>,
- za nevezani noseći sloj između  $0,25$  i  $0,35$  MN/m<sup>2</sup>.

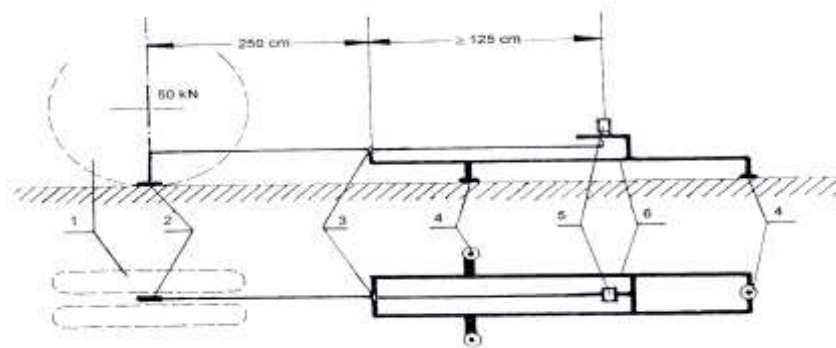
## Prilog 2: Osnovni postupci za merenje ugiba površine kolovozne konstrukcije

### 2.1 BENKELMENOVA GREDA

#### 2.1.1 Sprava za merenje ugiba

Benkelmanova greda predstavlja mehanički merni uređaj koji prenosi vertikalne pokrete (ugib) površine kolovozne konstrukcije na merni sat (slika 2.1.1). Sastoji se od sledećih komponenti:

- prenosnog ili pokretnog držača sa tri oslonca; visinu oslonaca je moguće prilagođavati,
- vertikalnog pokretnog kraka senzora, koji je moguće blokirati,
- mernog sata (prečnika 100 mm), opsega merenja od 30 mm, sa podelom skale od 0,01 mm,
- vibratora koji je moguće podesiti u cilju uklanjanja trenja kraka senzora kao i trenja na mestu mernog sata.



Legenda:

- 1 – položaj točkova
- 2 – vrh kraka senzora
- 3 – potporna šarka
- 4 – podesivi oslonac
- 5 – merni sat
- 6 – držač

Slika 2.1.1: Benkelmanova greda

Dužina kraka senzora od vrha senzora do ležaja (250 cm), i od ležaja do mernog sata (125 cm) mora da bude u razmeri 2 : 1 (ili 1 : 1). Razmak vrha senzora od susednih nosača treba najmanje da iznosi 270 cm.

Ukoliko se uređaj za merenje ugiba pokreće, krak senzora Benkelmanove grede mora da bude blokirani.

Umesto mernog sata moguće je upotrebljavati odgovarajuće tačan elektronski merni uređaj, npr. induktivni merač pokreta.

Za opterećenje mernog mesta potrebno je dvo-osovinsko teretno vozilo koje ima dva dupla točka na mernoj zadnjoj osovini. Razmak između unutrašnjih ivica pneumatskih guma treba da iznosi 90 do 140

mm. Osovinsko opterećenje treba da je 100 kN. Pre i nakon merenja potrebno je pomoću odgovarajućeg mernog uređaja proveriti osovinsko opterećenje. Ukoliko opterećenje točkova odstupa od 50 kN, vrednosti merenog ugiba treba u skladu sa tim ispraviti. Pritisak vazduha u gumama mora da bude isti i mora da iznosi oko 0,7 MPa, ali ne manje od 0,45 MPa.

Za merenje temperature asfaltnog zastora (po pravilu, u dubini od 4 cm), naročito su pogodni elektronski merni uređaji sa senzorom u opsegu od 0°C do 50°C. Tačnost izmerene temperature treba da iznosi  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

Benkelmanova greda treba da osigura tačnost merenja ugiba površine kolovozne konstrukcije do  $\pm 0,05$  mm.

## 2.1.2 Izvođenje merenja ugiba

### 2.1.2.1 Pripreme za merenje ugiba

Pre početka u ovom prilogu obrađivanih postupaka merenja ugiba, kao i u toku izvođenja samog merenja neophodno je preduzeti potrebne mere, kako bi se osigurala bezbednost radnika, kao i učesnika u saobraćaju.

Celokupna merna sprava mora da bude pripremljena i kalibrisana u skladu sa važećim propisima.

Pre početka merenja ugiba površine kolovozne konstrukcije potrebno je sa iste ukloniti sve strane predmete.

Na ivici asfaltnog kolovoza potrebno je pripremiti otvore za merenje temperature zastora. Pre početka merenja, navedene otvore je potrebno ispuniti glicerinom.

Svako pojedinačno merenje ugiba mora da bude dokumentovano beleženjem sledećih podataka:

- mesto merenja: oznaka puta, oznaka stacionaže, lokacija saobraćajne trake, vrsta habajućeg sloja, karakteristike,
- datum i vreme trajanja merenja,
- struktura kolovozne konstrukcije,
- temperatura asfaltnog zastora,
- upotrebljena merna sprava: vrsta i karakteristike opterećenja,
- merodavno/maksimalno opterećenje, i
- merodavna vrednost ugiba uključujući sve ispravke.

U cilju utvrđivanja stvarnog stanja, ugib površine kolovozne konstrukcije treba meriti u obimu koji je, u odnosu na namenu i upotrebljenu mernu spravu relevantan za čitavu površinu kolovozne konstrukcije na kojoj se merenje izvodi.

Merenje ugiba površine kolovozne konstrukcije treba izvoditi uglavnom na spoljnom kolotragu, koji je, po pravilu, najopterećeniji.

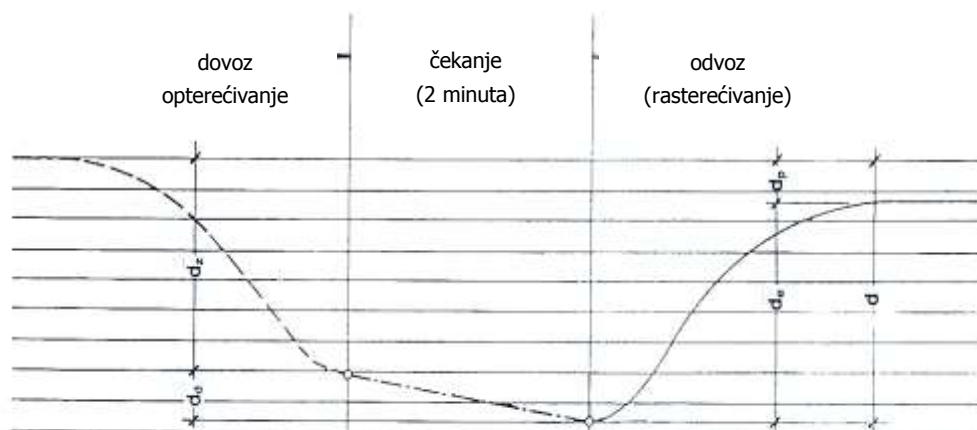
### 2.1.2.2 Način merenja ugiba

Benkelmanova greda omogućava merenje

- 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.

Benkelmanovu gredu treba postaviti na odabrano merno mesto, kako bi se obezbedio dobar kontakt sva tri nosača držača i kako bi se postigla poprečna horizontalnost držača. Pre početka merenja ugiba potrebno je izmeriti temperaturu asfaltnog zastora.

Prilikom merenja ugiba, u skladu sa metodom „pri dolazećem opterećenju”, vozilo 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 vozilu mora, na početku merenja, biti 3 m udaljen od vrha senzora. U toku izvođenja ispitivanja, na određenim udaljenostima propisno opterećene osovine vozila od vrha senzora (2, 1, 0,5; i 0,25 m), i ukoliko se vrh senzora nalazi ispod osovine zadnjih točkova vozila, vrednosti ugiba treba očitavati na mernom satu. Po isteku oko dva minuta, vozilo treba da se vrati nazad na polaznu tačku, brzinom od oko 0,5 m/s. Ugib treba izmeriti kada je opterećena osovina vozila 1 m i 3 m udaljena od vrha senzora. Postupak merenja je shematski prikazan na slici 2.1.2.



Legenda:

$d$  – ukupan ugib na određenom mernom mestu

$d_z$  – početni ugib pod opterećenjem

$d_d$  – dodatni ugib za vreme čekanja pod opterećenjem

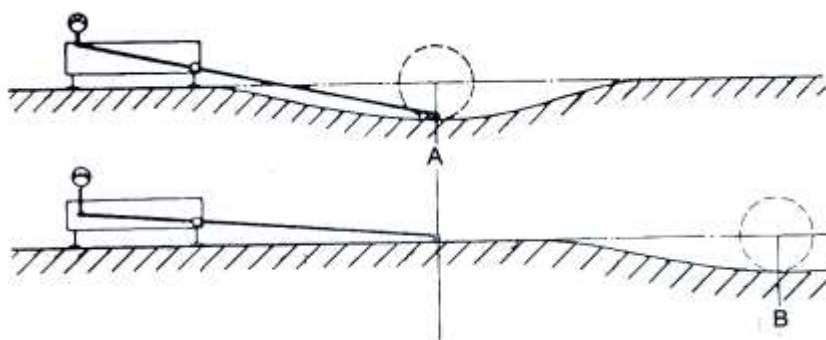
$d_e$  – elastični ugib

$d_p$  – plastični ugib

Slika 2.1.2: Shematski prikaz merenja ukupnog ugiba površine kolovozne konstrukcije

Prilikom merenja ugiba površine kolovozne konstrukcije u skladu sa metodom „pri odlazećem opterećenju”, opterećena osovina vozila, tj. oba točka za opterećenje moraju da budu postavljena na merno mesto (slika 2.1.3 tačka A).

Na određenom mernom mestu na asfaltnom zastoru, kamion koji predstavlja opterećenje sme da se zadrži maksimalno jedan minut.



Slika 2.1.3: Shematski prikaz merenja elastičnog ugiba površine kolovozne konstrukcije Benkelmanovom gredom

Krak senzora treba potisnuti između para točkova za opterećenje, tako da vrh senzora po njegovom oslobođenju dođe u dodir sa površinom, nekoliko centimetara pre osovine točka (kod vozila koje se kreće prema napred).

Po uključivanju i odgovarajućem postavljanju vibratora, na mernom satu je potrebno očitati vrednost, a vozilo treba da se odveze oko 10 m ispred mernog mesta (tačka B). Stanje na mernom satu treba ponovo očitati nakon što se kazaljka zaustavi.

### 2.1.3 Vrednovanje ugiba

Na osnovu rezultata koji su dobijeni merenjem Benkelmanovom gredom, moguće je odrediti sledeće:

- merodavan ugib,
- preostali vek trajanja kolovozne konstrukcije, i
- eventualno potrebno ojačanje kolovozne konstrukcije.

Razlika između očitavanja na mernom satu, kada je merno mesto opterećeno određenim osovinskim opterećenjem ili opterećenjem točkova, i kada merno mesto nije opterećeno predstavlja osnovu za izračunavanje ugiba površine kolovozne konstrukcije na određenom mernom mestu. Utvrđene vrednosti 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 oceniti odgovarajućim faktorom za korekciju.

Budući da je uticaj uzdužnog nagiba kolovoza relativno neznan na opterećenje (oko  $\pm 1\%$  pri uzdužnom nagibu od 8%), pri većim uzdužnim nagibima potrebno je uvek izvesti komparativna merenja na istom smeru vožnje.

## 2.1.3.1 Uticaj opterećenja točkova

Faktori uticaja opterećenja točkova  $k_{ko}$  (u opsegu od 30 do 70 kN) na izračunavanje ugiba površine kolovozne konstrukcije predstavljeni su u tabeli 2.1.1. Navedene vrednosti obuhvataju:

- odnos 2 : 1 vertikalnog pomeranja vrha senzora na kraku senzora do mernog sata,  $i$
- pretvaranje vrednosti ugiba, koje su očitane na mernom satu, u milimetre.

Maksimalan ugib  $d_i$  se izračunava na osnovu sledeće jednačine:

$$d_i = k_{ko} \times (d_{T_0} - d_{T_r})$$

gde je:

$d_{T_0}$  očitavanje na skali mernog sata pod opterećenjem

$d_{T_r}$  očitavanje posle rasterećenja

Tabela 2.1.1: Faktori uticaja opterećenja koje stvaraju točkovi  $k_{ko}$  na izračunavanje ugiba površine kolovozne konstrukcije

Opterećenje točkova [kN]	Faktor $k_{ko}$	Opterećenje točkova [kN]	Faktor $k_{ko}$	Opterećenje točkova [kN]	Faktor $k_{ko}$	Opterećenje točkova [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	0,2227	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

## 2.1.3.2 Uticaj temperature

U cilju određivanja uticaja temperature asfaltnog zastora (u opsegu od 5°C do 30°C) na ugib površine kolovozne konstrukcije, u tabeli 2.1.2 su navedeni faktori za korekciju  $k_T$ . Pri temperaturama koje su izvan gore navedenog opsega merenje ugiba nije izvodljivo.

Srednju temperaturu asfaltnog zastora treba izračunati na osnovu sledeće jednačine:

$$T_m = \frac{5T_0 + (h - 5)T_{10}}{h}$$

gde je:

$T_0$  temperatura na površini kolovozne konstrukcije (°C)

$T_{10}$  temperatura na dubini od 10 cm (°C)

$h$  debljina asfaltnih slojeva

Tabela 2.1.2: Faktori uticaja temperature  $k_T$  na izračunavanje ugiba kolovozne konstrukcije sa asfaltnim slojevima

Srednja temperatura asfaltnog zastora $T_m$ [°C]	Debljina asfaltnih slojeva h		
	5 do 10 cm	10 do 20 cm	20 do 30 cm
	Faktor $k_T$		
5		1,50	
6		1,335	
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

Vrednost ugiba površine kolovozne konstrukcije  $d_{20}$ , tj. vrednost koja je određena za temperaturu od 20°C, treba izračunati za kolovozne konstrukcije sa asfaltnim slojevima, i

- nevezanim nosećim slojem, na osnovu jednačine

$$d_{20} = d_i \times k_T \quad (\text{mm})$$

- hidrauličnim vezivom vezanim nosećim slojem, na osnovu jednačine

$$d_{20} = d_i + k_h \quad (\text{mm})$$

gde je:

$k_h$  vrednost korekcije koja je navedena u tabeli 2.1.3.

Tabela 2.1.3: Vrednost korekcije uticaja strukture kolovozne konstrukcije (hidrauličnim vezivom vezani nosivi sloj) na izračunavanje ugiba površine kolovozne konstrukcije pri različitim temperaturama

Srednja temperatura asfaltnih slojeva $T_m$ [°C]	Vrednost korekcije $k_h$ [mm]
5	0,05
6	0,05
7	0,05
8	0,04
9	0,04
10	0,04
11	0,03
12	0,03
13	0,03
14	0,02
15	0,02
16	0,01
17	0,01

Srednja temperatura asfaltnih slojeva $T_m$ [°C]	Vrednost korekcije $k_h$ [mm]
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

### 2.1.3.3 Uticaj godišnjeg doba

Uticaj godišnjeg doba na izračunavanje ugiba površine kolovozne konstrukcije zavisi uglavnom od:

- stanja kolovoza,
- osetljivosti materijala koji se upotrebljavaju u područjima mraza na negativne uticaje smrzavanja, i
- klimatskih i hidroloških uslova.

Informativne vrednosti faktora sezonskog uticaja „c“ predstavljene su u tabeli 2.1.4.

### 2.1.3.4 Određivanje homogenih odseka

Uslov za homogeni odsek kolovozne konstrukcije, u odnosu na ugib, predstavlja faktor varijacije  $k_v$  koji se izračunava na osnovu jednačine:

$$k_v = \frac{s}{\bar{d}} \leq 0,35$$

gde je:

s standardno odstupanje od vrednosti ugiba

$\bar{d}$  srednja vrednost ugiba, koji se izračunavaju na osnovu jednačina:

$$s = \sqrt{\frac{d_{20}^2 - \bar{d} \sum d_{20}}{n - 1}}$$

$$\bar{d} = \frac{\sum d_{20}}{n}$$

Dužina homogenog odseka ne sme da bude manja od 100 m u naseljima, odnosno 200 m izvan naselja.

Tabela 2.1.4: Faktori sezonskih uticaja „c“ na izračunavanje ugiba kolovozne konstrukcije sa asfaltnim slojevima

Faktor „c“	Karakteristični uslovi za određivanje informativnih vrednosti
1,0	Merenje izvedeno u periodu najniže nosivosti (prilikom otapanja snega)
1,1 – 1,2	Kolovozna konstrukcija nije osetljiva na uticaje mraza, povoljni klimatski i hidrološki uslovi
1,2 – 1,4	Kolovozna konstrukcija sadrži noseći sloj od nevezanog kamenog materijala umerene osetljivosti na uticaje mraza, povoljni klimatski i hidrološki uslovi
1,6 – 2,0	Zastor kolovozne konstrukcije napuknut; kolovozna konstrukcija sadrži noseći sloj od nevezanog kamenog materijala srednje osetljivosti na uticaje mraza, nepovoljni klimatski i hidrološki uslovi

### 2.1.3.5 Određivanje merodavnog elastičnog ugiba

Merodavni elastični ugib kolovozne konstrukcije sa asfaltnim slojevima, koji je utvrđen na osnovu rezultata dobijenih merenjem ugiba pomoću Benkelmanove grede, izračunava se na osnovu jednačine:

$$d_{mB} = c \cdot (\bar{d} + k_{pr} \cdot s)$$

gde je:

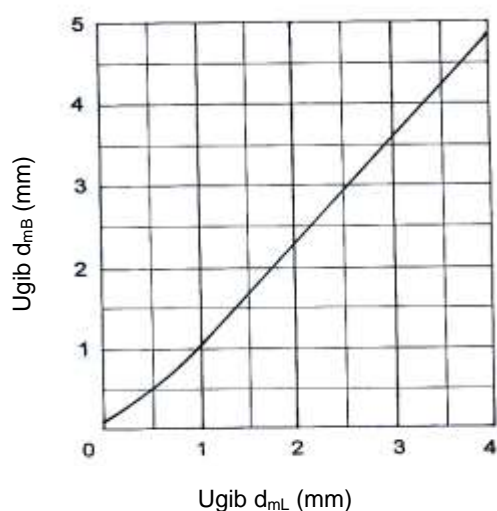
$k_{pr}$  faktor koji zavisi od vrste puta i potrebnog stepena bezbednosti, a koji iznosi:

$k_{pr} = 2,0$ : 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).

Merodavan elastični ugib  $d_{mB}$  predstavlja osnovu za utvrđivanje stvarnog stanja kolovozne konstrukcije.

U postupku utvrđivanja stvarnog stanja kolovozne konstrukcije i određivanja eventualnih potrebnih mera za rešavanje postojećeg stanja, relevantan je ugib  $d_{mL}$  koji je utvrđen pomoću Lakroa-deflektografa. Uzajamni odnos vrednosti ugiba, koje su utvrđene na osnovu rezultata merenja Benkelmanovom gredom ( $d_{mB}$ ), i Lakroa-deflektografom ( $d_{mL}$ ), predstavljen je na slici 2.1.4.



Slika 2.1.4: Uzajamni odnos vrednosti ugiba, koje su utvrđene na osnovu rezultata merenja Benkelmanovom gredom ( $d_{mB}$ ), i Lakroa deflektografom ( $d_{mL}$ )

## 2.2 Lakroa - deflektograf

### 2.2.1 Sprava za merenje ugiba

Lakroa-deflektograf se sastoji od sledećih osnovnih komponenti:

- vozila, koje
  - prenosi mernu spravu, i
  - predstavlja opterećenje za izvođenje merenja,

- merne sprave, koja se sastoji od
  - fiksnog nosivog okvira,
  - pokretnog nosivog okvira sa dva kraka senzora (slika 2.2.1),
  - dva induktivna merača pokreta kraka senzora,
  - sistema sa računarskom podrškom za nadzor nad merenjem, kontrolu pokreta pokretnog nosivog okvira, automatsko evidentiranje ugiba, i prenos podataka na računar,
- računara sa programima za evidentiranje svih potrebnih podataka o izvedenim merenjima i dobijenim rezultatima.

Sprava za automatsko beleženje rezultata dobijenih merenjem omogućava elektronski vid beleženja ili beleženje na papirnoj traci.

Kako bi se izvršilo opterećenje mernog mesta, zadnja osovina vozila mora da bude spravljena sa dva para točkova. Osovinsko opterećenje treba da iznosi do 100 kN. Opterećenje je moguće podešavati regulišući količinu vode koja se nalazi u rezervoaru postavljenom na vozilu.

Pritisak u gumama točkova na mernoj osovini mora da bude isti i mora da iznosi od 0,7 do 0,8 MPa.

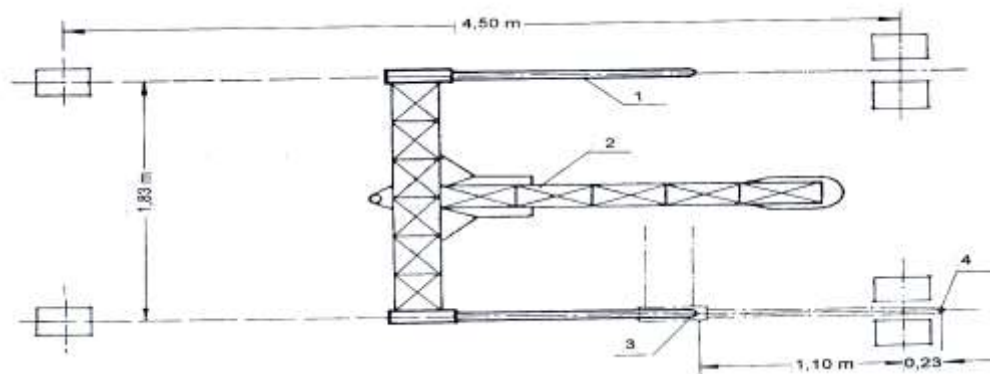
Za merenje temperature asfaltnog zastora upotrebljava se termometar u opsegu od 0°C do 50°C.

Kalibrisanje deflektografa treba izvesti u skladu sa uputstvima proizvođača. Kalibrisanje je potrebno izvršiti pre svakog merenja i posebno za svaki krak senzora.

Kalibrisanjem deflektografa potrebno je obezbediti tačnost odnosa kretanja vrha kraka senzora i zabeleženog kretanja. Maksimalno dozvoljeno odstupanje iznosi  $\pm 0,02$  mm.

Usvojena merna sprava mora da obezbedi tačnost merenja ugiba u opsegu od  $\pm 0,05$  mm, kao i tačnost merenja razmaka (između mernih mesta i ukupno) od  $\pm 3\%$ .





Legenda:

- 1 – krak senzora
- 2 – pokretni nosivi okvir
- 3 – početni položaj kraka senzora
- 4 – završni položaj kraka senzora

Slika 2.2.1: Lakroa-deflektograf – merna sprava

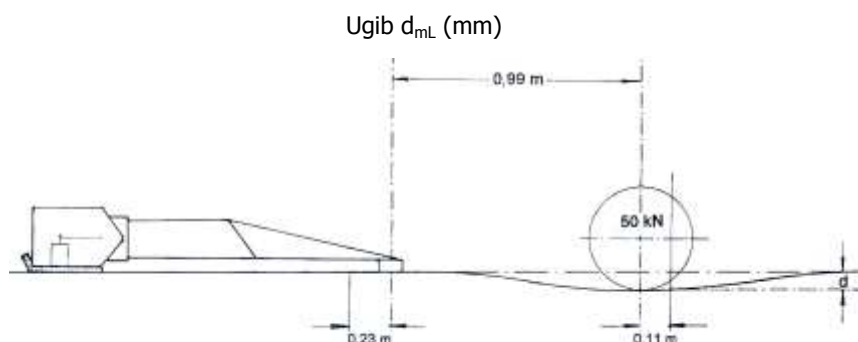
### 2.2.2 Izvođenje merenja ugiba

Deflektograf je merni uređaj za neprekidno automatsko određivanje (merenje i beleženje) ugiba površine kolovozne konstrukcije pod određenim opterećenjem koje stvaraju točkovi u toku vožnje.

Sprava je zamišljena tako da usvaja – isto kao što se primenjuje za Benkelmanovu gredu – princip „pri dolazećem opterećenju”.

Način merenja ugiba Lakroa-deflektografom omogućava utvrđivanje stvarnog stanja kolovozne konstrukcije.

Deflektograf, tj. vozilo koje prevozi mernu spravu, mora, pre početka merenja, zadnjom osovinom da bude postavljen na početak deonice puta na kojem će se merenje izvoditi. Oba kraka senzora sa mehanizmom za evidentiranje ugiba površine kolovozne konstrukcije treba otpustiti tako da mogu ispravno prionuti na površinu. Vrhovi kraka senzora se u tom položaju nalaze na udaljenosti od oko 100 cm od sredine zadnje osovine kamiona (slika 2.2.2). Pre početka merenja ugiba potrebno je izmeriti temperaturu asfaltnog zastora.



Slika 2.2.2: Shematski prikaz merenja ugiba površine kolovozne konstrukcije Lakroa-deflektografom

Celokupan postupak merenja ugiba površine kolovozne konstrukcije Lakroa-deflektografom je kontrolisan elektronskim putem (preko tastature računara).

U toku postupka merenja, kada se vozilo neprestano kreće brzinom od oko 2 km/h, sledeće korake je potrebno preduzimati naizmenično:

- kontrolu kretanja nosivog okvira; kretanje između 3,50 m i 5,50 m u dužinu (na početni položaj za sledeći krug merenja),
- kretanje zadnjih točkova vozila prema vrhu kraka senzora, što sledi nakon ugiba pod opterećenjem koje stvaraju zadnji točkovi,
- automatsko evidentiranje ugiba pomoću dva induktivna uređaja za merenje kretanja kraka senzora.

Rezultati dobijeni merenjem ugiba pomoću Lakroa-deflektografa beleže se u digitalnom obliku.

### 2.2.3 Vrednovanje ugiba

Na osnovu rezultata dobijenih merenjem ugiba pomoću deflektografa moguće je odrediti:

- merodavan ugib,  $i$
- preostali vek trajanja kolovozne konstrukcije,  $i$
- eventualno potrebno ojačanje kolovozne konstrukcije.

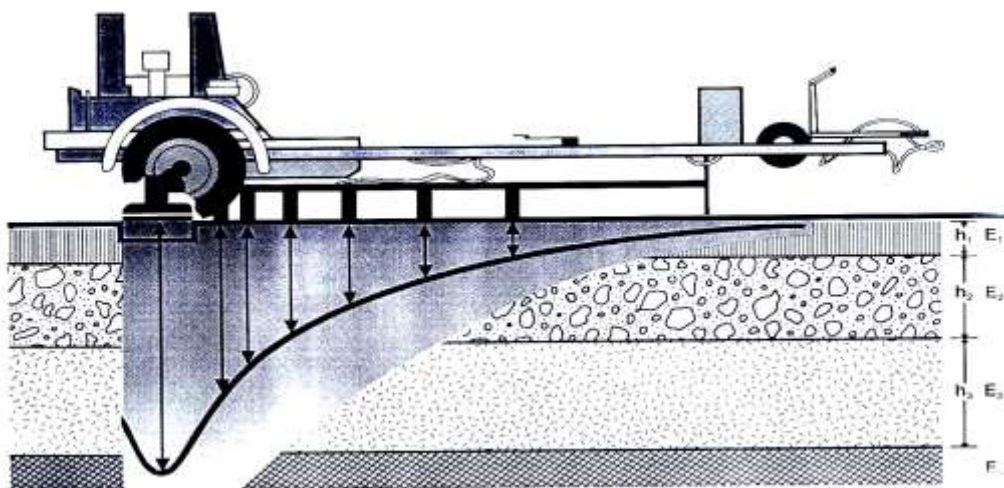
Postupak procene rezultata merenja ugiba površine kolovozne konstrukcije  $d_{mL}$  pomoću Lakroa-deflektografa je u osnovi isti kao i u slučaju merenja koja se izvode pomoću Benkelmanove grede. Sve uticaje koji su opisani pod tačkom 1.3 treba u određenoj meri razmotriti, uključujući određivanje homogenih odseka i merodavnog ugiba.

## 2.3 DYNATEST 8000 FWD DEFLEKTOMETAR

### 2.3.1 Sprava za merenje ugiba

Dynatest 8000 FWD deflektometar (deflektometar sa padajućim tegom) se sastoji od sledećih delova:

- po pravilu, jednoosovinske prikolice (slika 2.3.1), koja služi
  - za prevoz sprava za dinamičko opterećenje (slobodno padajući tegovi, senzori, sistem gumenih opruga, kružna ploča sa ćelijom za opterećenje)
  - za prevoz merne sprave (merači ugiba – geofoni)
- sistema sa računarskom podrškom za nadzor nad merenjem i prenos podataka na računar
- računara sa programima za kontrolu čitavog postupka i sprava za beleženje i obradu svih potrebnih podataka o izvedenim merenjima ugiba i dobijenim rezultatima.



Slika 2.3.1: Dynatest 8000 FWD deflektometar

Elektro-hidraulična sprava treba da omogući dinamičko opterećenje mernog mesta u opsegu od 7 do 120 kN. Sistemom gumenih opruga iznad kružne ploče treba omogućiti sinusoidni vid opterećenja. Potrebne tehničke

karakteristike kontrole opterećenja su sledeće:

- tačnost: < 0,5%,
- ponavljanje:  $\pm 0,1\%$ ,

- vreme povećanja opterećenja: 5 do 30 ms,
- vreme evidentiranja ugiba: 20 do 60 ms.

Tehničke karakteristike kružne ploče su:

- prečnik: 30 cm,
- debljina: 2 cm,
- podloga: 5 mm debela talasasta guma (sa rebrima).

Tehničke karakteristike merača ugiba – geofona su sledeće:

- opseg evidentiranja ugiba: do 2 mm
- tačnost:  $< 2\% \pm 1 \mu\text{m}$ ,
- ponovljivost:  $\pm 2 \mu\text{m} \pm 1\%$ .

Potpuno kalibrisanje uređaja za merenje ugiba treba izvršiti jednom godišnje, dok je relativno kalibrisanje potrebno izvršiti nakon svakih 10000 merenja (sa dozvoljenim odstupanjem  $< \pm 1\%$ ).

Dinamički opseg uređaja za merenje ugiba treba proveriti pre svakog pojedinačnog merenja.

Opšti uslovi za postavljanje merača ugiba – geofona su sledeći:

- postavljanje: na dužini od najviše 250 cm,
- broj: 6 do 9,
- standardni razmak: 30 cm.

Raspored uređaja za merenje 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

Sprava za merenje temperature treba da ispunjava sledeće uslove:

- obim rada:  $- 10^{\circ}\text{C}$  do  $60^{\circ}\text{C}$ ,
- rezolucija:  $> 0,5^{\circ}\text{C}$ ,
- tačnost:  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

### 2.3.2 Izvođenje merenja ugiba

Merenje ugiba površine kolovozne konstrukcije pomoću Dynatest 8000 FWD deflektometra treba izvesti u skladu sa pojedinačnim detaljnim uputstvima proizvođača merne sprave.

Merenje ugiba površine kolovozne konstrukcije koje se izvodi deflektometrom sa padajućim tegom omogućava određivanje karakteristika mernog mesta (stvarno stanje,

trajnost), kao i stvarno stanje materijala u strukturi kolovozne konstrukcije.

Način merenja 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 vozila.

Pre početka merenja ugiba potrebno je izvesti sledeće:

- osigurati savršeno postavljanje kružne ploče i svih sprava za merenje ugiba na površinu kolovozne konstrukcije,
- izmeriti temperaturu asfaltnog zastora, i
- postaviti pojedine osnovne i moguće dodatne parametre za merenje (način, opterećenje, broj sprava za merenje).

Merenje ugiba pomoću deflektometra treba uglavnom izvoditi u sredini kružne ploče, kao i na 6 mesta u opsegu nosećeg okvira merne sprave. Tri spoljna merna uređaja, koja su na većoj udaljenosti od kružne ploče, moraju da budu postavljena na većoj udaljenosti od ekvivalentne debljine kolovozne konstrukcije.

Razmak između pojedinih mernih mesta treba odrediti u odnosu na namenu merenja. Navedeni razmak treba da iznosi do 50 m za planiranje odgovarajućih mera, i do 200 m za upravljanje kolovozom.

Celokupan postupak merenja ugiba površine kolovozne konstrukcije pomoću deflektometra sa padajućim tegom treba da bude kontrolisan elektronskim putem, preko računara. Svi podaci dobijeni merenjem, čija tačnost se proverava u skladu sa posebnim programom moraju da budu sačuvani u računaru.

### 2.3.3 Vrednovanje ugiba

Na osnovu rezultata dobijenih merenjem ugiba površine kolovozne konstrukcije pomoću deflektometra sa padajućim tegom, moguće je odrediti sledeće:

- merodavan ugib  $d_{mD}$ ,
- dinamičke module elastičnosti materijala slojeva kolovozne konstrukcije, i
- preostali vek trajanja kolovozne konstrukcije i
- eventualno potrebno ojačanje kolovozne konstrukcije.

#### 2.3.3.1 Merodavan ugib

U cilju određivanja merodavnog ugiba kolovozne konstrukcije sa asfaltnim slojevima

potrebno je obezbediti dinamičko opterećenje ploče koje je jednako opterećenju koje stvaraju točkovi opterećeni sa 50 kN.

Vrednost dobijena trećim ispitivanjem padajućim tegom uzima se kao vrednost merodavnog ugiba.

Uticao 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 meri deflektometrom, kao i na dalje vrednovanje karakteristika stanja kolovozne konstrukcije.

#### 2.3.3.2 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. Za proračun su potrebni sledeći dodatni ulazni podaci:

- opterećenje ploče ( $\text{kN/m}^2$ ),
- prečnik kružne ploče (standardni prečnik iznosi 300 mm),
- broj slojeva u kolovoznoj konstrukciji (maksimalno 4),
- debljine pojedinih slojeva ( $h \geq 6$  cm),
- Poason-ov količnik ugrađenih materijala,
- razmak između sprava za merenje ugiba – geofona.

#### 2.3.3.3 Preostali vek trajanja

Na osnovu rezultata dobijenih merenjem ugiba površine kolovozne konstrukcije pomoću deflektometra, i na osnovu utvrđenog dinamičkog modula elastičnosti slojeva kolovozne konstrukcije, poseban program ELMOD takođe pruža mogućnost izračunavanja preostalog veka trajanja kolovozne konstrukcije za predviđeno saobraćajno opterećenje, tj. broj prelaza nominalnog osovinskog opterećenja od 100 kN, kao i određivanja potrebe za ojačanjem postojeće kolovozne konstrukcije.

## 8.2.4 KLIMATSKI I HIDROLOŠKI USLOVI

### 8.2.4.1 Uvodni deo

#### 8.2.4.1.1 Tehnička regulativa

**SN 640 317a: 1988** Dimensionierung, Unterbau und Untergrund

**SN 670 140a: 1988** Frost

**SN 670 005: 1970** Klassifikation der Lockergesteine, Feldmethode nach USCS

**Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Strassenbau - ZTVE 94, DIN 18196**, Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke

#### 8.2.4.1.2 Terminologija

U priručniku za vrednovanje klimatskih i hidroloških uslova kod projektovanja kolovoznih konstrukcija primenjeni su sledeći stručni termini:

**Dubina smrzavanja** (frost depth, Frosttiefe) je najveća dubina do koje dostiže izoterma 0°C tokom dugotrajnog perioda mraza.

**Hidrološki uslovi** (hydrological conditions, hydrologische Verhältnisse) su uslovi koji određuju stanje voda u zemljištu u blizini puta.

**Indeks mraza** (frost index, Frostindex) je suma srednjih (negativnih) dnevnih temperatura vazduha od početka do kraja perioda smrzavanja; označava trajanje i intenzitet mraza na određenom mestu.

**Klimatski uslovi** (climatic conditions, klimatische Verhältnisse) su uslovi koje određuje temperatura vazduha u određenom vremenskom periodu i na određenoj lokaciji ili području, kroz koje prolazi put.

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

**Materijal neosetljiv na smrzavanje** (frost insensible material, frostunempfindliches Material) je materijal, u kome voda koja se smrzava u porama ne prouzrokuje značajniji

porast nosivosti niti se tokom otapanja značajnije smanjuje nosivost.

**Mikroklima** (microclimate, Mikroklima) je grupa jednakih uslova, kao što su temperatura, osunčanost, vlažnost, padavine, snežne prilike i vetrovitost, karakterističnih za ograničeno područje.

**Oštećenje zbog smrzavanja** (frost damage, Frostbeschädigung) je oštećenje na objektu koje je neposredna ili posredna posledica delovanja mraza u vezi s vodom; može da dovede do rušenja objekta.

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

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

### 8.2.4.2 Određivanje uslova

Obim promena materijala trupa puta nastalih za vreme smrzavanja i otapanja uglavnom zavisi od karakterističnih događaja u navedenim procesima. Proces smrzavanja i otapanja uglavnom zavise od

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

Uticaj lokalnih klimatskih i hidroloških uslova smrzavanja i otapanja predstavlja osnovni uslov za definisanje dimenzija kolovozne konstrukcije u celosti.

#### 8.2.4.2.1 Klimatski uslovi

##### 8.2.4.2.1.1 Opšte

Prilikom procenjivanja opasnosti od promene karakteristika izvedene kolovozne konstrukcije ili materijala trupa puta usled 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 proceniti da opasnosti od štetnih promena usled smrzavanja i otapanja neće biti u sledećim slučajevima:

- u toku kratkog perioda smrzavanja (takođe pri jakim mrazevima), kada izoterma 0°C prodire samo u gornje slojeve materijala koji su otporni na mraz, i

- u toku kratkog perioda otapanja (južni vetar).

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

Zato što je sadržaj vlage u materijalima nevezanog nosećeg sloja uglavnom nizak, mraz relativno brzo prodire u takve materijale. U sitnozrne materijale koji sadrže veću količinu vode, mraz prodire sporije. To znači da kada se debljina kolovozne konstrukcije poveća u cilju zaštite od promene svojstava materijala koji nisu otporni na mraz, delimično se izaziva dublje prodiranje mraza koje prouzrokuje smrzavanje.

Klimatski uslovi u određenoj okolini mogu da se odrede na osnovu

- dubine smrzavanja  $h_m$ , ili
- indeksa mraza  $I_m$ .

Obe vrednosti moguće je odrediti pomoću odgovarajućih načina merenja.

#### 8.2.4.2.1.2 Dubina smrzavanja $h_m$

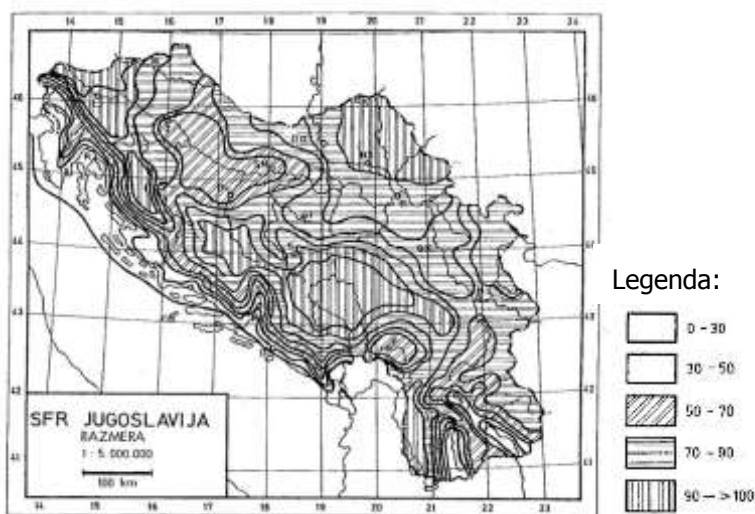
U suštini, merenja dubine smrzavanja su predviđena za praćenje temperature u kolovoznim konstrukcijama.

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

- sondom sa mernim epruvetama (staklenim flašicama),
- sondom sa indikatorom dubine mraza, i
- električnom sondom.

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

Osnovu utvrđenih maksimalnih dubina smrzavanja u tipičnim područjima predstavlja karta o informativnim dubinama smrzavanja, na osnovu koje je moguća jednostavna i brza informativna procena dubine smrzavanja u određenoj okolini (slika 8.2.4.1).



Slika 8.2.4.1: Karta dubina smrzavanja  $h_m$

U tabeli 8.2.4.1 su prikazane izmerene maksimalne dubine smrzavanja pomoću sonda na nekoliko mernih mesta u R. Srbiji (izveštaj Instituta za saobraćajnice i geotehniku Građevinskog fakulteta u Beogradu, br. 53076-2/1992. god).

Na navedenim osnovama mogu se odrediti potrebne informativne vrednosti dubina smrzavanja  $h_m$  za projektovanje kolovoznih konstrukcija zaštićenih od oštećenja usled smrzavanja.

#### 8.2.4.2.1.3 Indeks mraza $I_m$

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

Tabela 8.2.4.1: Izmerene maksimalne dubine smrzavanja na teritoriji R. Srbije

Merno mesto	Zima	Dubina smrzavanja $h_m$ [cm]
Sjenica	1974/75	70
Divčibare	1975/76	69
Majdanpek	1976/77	56
Sjenica	1977/78	74
Prokuplje	1978/79	81
Titovo Užice	1979/80	87
Niš	1983/84	50
Divčibare	1984/85	107
Niš	1985/86	75
Zlatibor	1986/87	72
Titovo Užice	1987/88	63
Sjenica	1988/89	77
Zlatibor	1988/89	76
Čumić	1988/89	77
Sjenica	1989/90	82
Požega	1989/90	81
Novi Pazar	1990/91	70
Požega	1991/92	83

Određivanje srednje dnevne temperature vazduha se zasniva na načinu koji koriste hidrometeorološke službe (prosek temperatura merenih u 7 časova pre podne, 2 časa posle podne i 9 časova posle podne, na visini od 1,2 m iznad tla). Krivulja srednjih dnevnih temperatura se povećava ukoliko su vrednosti temperature pozitivne, i počinje da se smanjuje ukoliko se vrednosti temperature spuste ispod  $0^{\circ}\text{C}$ . U slučaju da se u toku perioda smrzavanja javi prolazno upozorenje, koje ne prouzrokuje otapanje materijala u celini, ukupna razlika između najviše i najniže

tačke na integrisanoj krivulji smatra se kao merodavna vrednost indeksa mraza.

Za projektovanje kolovozne konstrukcije, kao i za određivanje mera za zaštitu kolovozne konstrukcije od nepovoljnih uticaja smrzavanja i otapanja, potrebno je izvršiti procenu vrednosti indeksa mraza za celokupno projektovano razdoblje trajanja. Po pravilu, navedena vrednost predstavlja srednju vrednost indeksa mraza u tri najhladnije zime u odabranom nizu godina.

Uticaj indeksa mraza  $I_m$  na procenu potrebne zaštite materijala F2 i F3 koji su podložni smrzavanju (tabela 8.2.4.2) određuje se indirektno na osnovu dubine prodiranja mraza  $h_m$  (slika 8.2.4.2).

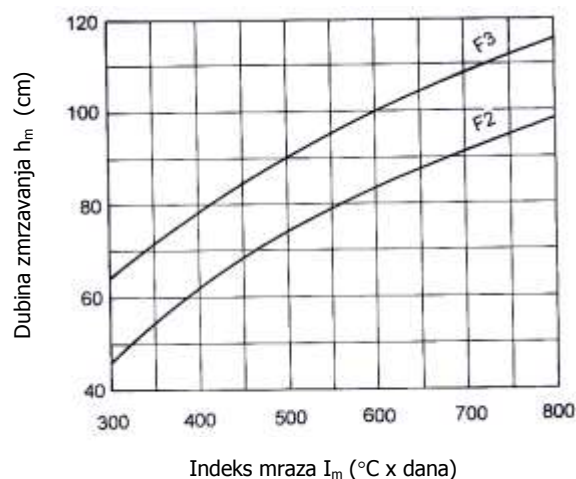
Slika 8.2.4.2: Zavisnost dubina smrzavanja  $h_m$  u materijalima F2 i F3 od indeksa mraza  $I_m$ 

Tabela 8.2.4.2: Kategorizacija materijala na osnovu njihove osetljivosti na smrzavanje

Razred	Osetljivost	Sadržaj zrna do 0,063 mm [m.-%]	Kategorizacija <sup>1)</sup>
F1	neosetljiv	< 5	GW, GP SW, SP
F2	malo do srednje osetljiv	5 ... 15	GC <sup>2)</sup> , GM <sup>2)</sup> SC <sup>2)</sup> , SM <sup>2)</sup> CL, CH
F3	veoma osetljiv	> 15	SM – ML ML, MH CL - ML

Legenda:

<sup>1)</sup> Kategorizacija u skladu sa DIN 18 196 i USCS

G – šljunak  
S – pesak  
M – prašina  
C – glina

<sup>2)</sup> Klasifikovan u F1, ukoliko je primenjen uslov koji je naveden u dijagramu na slici 8.2.4.3

Informativne vrednosti dubina smrzavanja  $h_m$  i merodavnih indeksa mraza  $I_m$  određene su na delimično različitim osnovama.

Za projektovanje kolovoznih konstrukcija treba uzeti u obzir veću vrednost dubine smrzavanja ustanovljenu postupkom neposrednog ili posrednog određivanja vrednosti ( $h_m$  odnosno  $I_m$ ).

#### 8.2.4.2.2 Hidrološki uslovi

Hidrološki uslovi u određenoj sredini su neophodni za procenu osetljivosti kolovozne konstrukcije i materijala u njenom sastavu na smrzavanje, kao i za određivanje mera za sprečavanje nastanka štete.

Hidrološki uslovi se određuju na osnovu

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

Na osnovu navedenih faktora hidrološki uslovi su podeljeni 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 obezbeđeno dobro odvodnjavanje plitkog useka,
- je pritanje vode u trup puta (iz vodenih tokova) ili sa površine sprečeno 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 obezbeđeno dobro odvodnjavanje plitkog useka,
- je usek dubok,
- je omogućeno podizanje nivoa podzemne vode ili doticanje vode sa strane kao i ulazak vode sa površine.

U slučaju da su upotrebljeni prašinski materijali, koji su uglavnom osetljiviji 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.

#### 8.2.4.2.3 Uslovi za projektovanje

Rizik za oštećenja na putu usled smrzavanja i otapanja zavisi od sledećih faktora:

- dubine prodiranja mraza  $h_m$ ,
- hidroloških uslova,
- osetljivosti materijala na smrzavanje  $i$
- debljine kolovozne konstrukcije, koja je otporna na smrzavanje.

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, gde nisu zabeležena nikakva oštećenja usled smrzavanja i otapanja, pokazala su da minimalna potrebna debljina kolovozne konstrukcije  $h_{min}$  (tj. debljina otpornih materijala) nije jednaka merenoj 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 8.2.4.3.

Tabela 8.2.4.3: Minimalna potrebna debljina kolovozne konstrukcije  $h_{min}$

Osetljivost materijala ispod kolovozne konstrukcije na uticaje smrzavanja i otapanja	Hidrološki uslovi	Debljina kolovozne konstrukcije $h_{min}$
otporan	povoljni nepovoljni	$\geq 0,6 h_m$ $\geq 0,7 h_m$
neotporan	povoljni nepovoljni	$\geq 0,7 h_m$ $\geq 0,8 h_m$



### 8.2.4.3 Smrzavanje i otapanje

#### 8.2.4.3.1 Osnovna karakteristika smrzavanja i otapanja

##### 8.2.4.3.1.1 Opšte

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.

##### 8.2.4.3.1.2 Smrzavanje vlažnog materijala

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

Budući da se čista voda u materijalu smrzava, kristali leda rastu i tako menjaju prirodnu ravnotežu vode u zavisnosti od granulometrijskog sastava i mineraloških svojstava materijala. Usled smanjenja sadržaja nesmrznute vode u materijalu, javlja se određen negativni pritisak (napon na zatezanje), 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 razrovaju i podižu smrznuti materijal. Na taj način dolazi do podizanja kolovoza pod dejstvom mraza.

Povećanje količine leda (ledenih sočiva) u materijalu zavisi direktno od

- sadržaja vode,
- prečnika i sadržaja sitnih zrna,
- vodopropusnosti materijala,
- trajanja smrzavanja, i
- oštine mraza,

a indirektno od negativnog pritiska koji se javlja.

Na osnovu navedenih razmatranja moguće je zaključiti da dobro propustljivi krupnozrni materijali i određeni zemljani materijali, npr. glina nisu osetljivi na smrzavanje, jer onemogućavaju ulazak vode u područje smrzavanja. Povećanjem sadržaja sitnih zrna (prašinastog peska, prašine), 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 usled povećanog pritiska.

##### 8.2.4.3.1.3 Linija prodora mraza

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

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

##### 8.2.4.3.1.4 Otapanje

Led, koji se u trupu puta stvorio za vreme perioda smrzavanja, počinje da se topi kada na njega počne da deluje toplina

- odozgo usled zagrevanja, i
- odozdo od Zemlje.

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

Otapanje vlažnih materijala odozgo je često brže nego odozdo, tako se otopljeni materijal zajedno sa vodom i dalje nalazi na još uvek smrznutoj podlozi, što sprečava njegovo odvodnjavanje. U takvim slučajevima, kašast ili tečan materijal može da kroz pukotine prodre na površinu kolovoza.

Samo ukoliko je omogućeno odvođenje vode prema dole, moguće je odvođenje prekomernih količina vode, te materijal može da postepeno povрати svoja prvobitna svojstva.

#### 8.2.4.3.2 Oštećenje usled smrzavanja i otapanja

##### 8.2.4.3.2.1 Opšti uslovi u kojima se mogu javiti oštećenja

Oštećenja kolovozne konstrukcije se mogu javiti u sledećim okolnostima:

- veoma jak i dugotrajan mraz,

- materijal kolovozne konstrukcije koji je postavljen u zoni prodiranja mraza, osetljiv je na smrzavanje,
- voda može da uđe u kolovoznu konstrukciju do linije prodiranja mraza,
- kritično saobraćajno opterećenje,
- nedovoljna nosivost kolovozne konstrukcije.

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

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

- mraz ne doseže ispod donje ivice kolovozne konstrukcije koja je otporna na mraz,
- se iznenada jave oštri mrazevi, pa nema dovoljno vremena za akumulaciju leda u području osetljivih materijala; oštećenja se mogu javiti jedino usled stvrdnjavanja i skupljanja asfaltne mešavine (stvaranje pukotina).

Manja oštećenja usled smrzavanja mogu da se pojave ukoliko se smrzavanje odvija brzo, kao i ukoliko je mraz dugotrajan i prodire duboko; sloj leda je obično toliko dubok da, izuzev što utiče na stvaranje širokih uzdignutih delova 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 osetljiv na mraz, te se duže zadržava i stvara znatno nagomilavanje leda direktno ispod kolovozne konstrukcije.

#### 8.2.4.3.2.2 Pojava oštećenja

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

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

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

- je provodljivost topline u materijalu gornjeg sloja niža od provodljivosti kolovozne konstrukcije, ili
- je prodiranje mraza u osetljivo zemljište drugačije usled nagomilavanja snega na ivicama kolovoza.

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

Izdizanje kolovoza 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 vreme otapanja može da prouzrokuje deformacije i njeno pucanje zbog saobraćajnog opterećenja. Pukotine mogu da budu pre svega 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 da bude uništena, ukoliko je relativno tanak asfaltni zastor, koji je postavljen na podlogu slabije nosivosti, izložen prolaznom uticaju oštrog mraza. Usled stvrdnjavanja bitumenskog veziva, do čega dolazi usled niske temperature i termički izazvanih napona, kolovozni zastor (kora) može da pukne i smrvi se u komade usled mehaničkog opterećenja.

#### 8.2.4.3.2.3 Uticaj osetljivosti materijala na smrzavanje

Za materijal se može reći da je osetljiv na smrzavanje ukoliko se u njemu, usled delovanja mraza, pojave ledena sočiva ili slojevi koji su manje ili više uporedni sa linijom mraza, i koji prouzrokuju pojavu izdizanja kolovoza; materijal se takođe smatra osetljivim na smrzavanje ukoliko je njegova nosivost smanjena otapanjem.

Osetljivost materijala na smrzavanje zavisi od

- granulometrijskog sastava,
- oblika zrna,
- zbijenosti,
- vrsta minerala u sitnozrnim grupama, i
- mineraloško-hemijskih svojstava.

Na osnovu kriterijuma za granulometrijski sastav i mineraloški kriterijuma, materijali koji se upotrebljavaju za izgradnju puteva mogu se razvrstati u tri razreda prema njihovoj osetljivosti na smrzavanje (tabela 8.2.4.2).

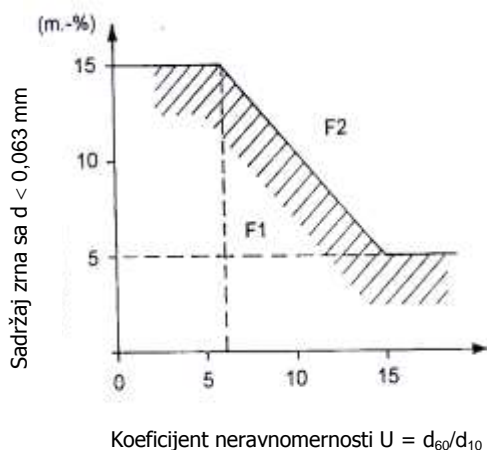
Na osnovu koeficijenta neravnomernosti oblika granulometrijske krivulje materijala  $U = d_{60}/d_{10}$ , kao i sadržaja sitnih čestica (do 0,063 mm), izvedeno je detaljnije definisanje razreda osetljivosti materijala F1 i F2 (slika 8.2.4.3).

U skladu sa kategorizacijom materijala, koja je predstavljena u tabeli 8.2.4.2, svi krupnozrni materijali, koji sadrže do 5 m.-% zrna veličine do 0,063 mm nisu osetljivi na smrzavanje.

Mešani materijali, koji sadrže do 15 m.-% sitnih čestica nisu osetljivi ili su samo neznatno osetljivi na mraz, ukoliko koeficijent neravnomernosti oblika granulometrijske krivulje iznosi do  $U = d_{60}/d_{10} \leq 6$ .

Ukoliko koeficijent  $U$  iznosi 6 do 15, dozvoljeni sadržaj sitnih čestica u materijalu treba da se linearno interpolira između 15 m.-% i 5 m.-%.

Ukoliko mešani materijali ne ispunjavaju ovaj kriterijum, potrebno ih je klasifikovati u razred osetljivosti materijala na mraz F2.



Slika 8.2.4.3: Određivanje razreda osetljivosti F1 i F2 u zavisnosti od koeficijenta  $U$ , i sadržaja sitnih čestica

Osetljivost mešanih i sitnozrnih kamenih materijala na smrzavanje proizlazi iz složenog simultanog delovanja:

- stvaranja negativnog pritiska pri smrzavanju vode na granici leda - vode,
- primese različitih minerala gline,
- vodopropusnosti materijala u vezi sa stopom zbijenosti,
- pokretljivosti vode,
- plastičnosti sitnih čestica, i
- uslova sedimentacije materijala (prirodna, ili uništena iskopavanjem i ugradnjom).

Stoga su potrebna detaljna laboratorijska ispitivanja, kako bi se upoznali sa osetljivošću lokalnih materijala na smrzavanje, tj.

- CBR vrednosti nakon smrzavanja i otapanja ( $CBR_3$ ), i u posebnim slučajevima takođe
- izdizanja usled dejstva mraza na uzorcima materijala sa različitim sadržajem vode.

Na osnovu rezultata dobijenih merenjima, u skladu sa metodom  $CBR_3$  (posle smrzavanja i otapanja), materijale je moguće klasifikovati u razrede osetljivosti na smrzavanje, kako je navedeno u tabeli 8.2.4.4.

Tabela 8.2.4.4: Kategorizacija materijala prema osetljivosti na smrzavanje na osnovu  $CBR_3$  vrednosti

	Razred osetljivosti materijala		
	F1	F2	F3
Vrednost $CBR_3$	> 30%	8 .. 30%	< 8%

#### 8.2.4.3.2.4 Uticaj vode

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

U cilju očuvanja nosivosti materijala i sprečavanja oštećenja materijala koji su osetljivi na smrzavanje, njih je potrebno zaštititi od prodora vode, te je potrebno što bolje izvesti njihovu drenažu. Ovo se primenjuje na sve metode građenja koje se izvodi na podlozi koja je osetljiva na smrzavanje.

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

Kroz nezaštićenu bankinu i razdelni pojas, atmosferske vode mogu da prodiru u kolovoznu konstrukciju i podlogu (nasip, posteljicu, temeljno tlo).

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

Međusobna zavisnost udaljenosti između linije prodiranja mraza i podzemne vode i oštećenja nastalog usled 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 može se smatrati znatnim ukoliko je nivo podzemne vode stalno ili periodično manji 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.

#### 8.2.4.3.2.5 Uticaj saobraćaja

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

U toku otapanja, saobraćajno opterećenje može da prouzrokuje oštećenje kolovoza nedovoljne nosivosti. U takvim okolnostima veoma je značajno osovinsko opterećenje vozila.

#### 8.2.4.3.3 Mere za sprečavanje oštećenja

##### 8.2.4.3.3.1 Opšte

Put mora da bude zaštićen od oštećenja prouzrokovanih smrzavanjem ili otapanjem, ukoliko su istovremeno prisutna sledeća dva uslova:

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

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

#### 8.2.4.3.3.2 Smanjenje uticaja mraza

Uticaj mraza je moguće umanjiti ukoliko se sneg zadržao na kolovozu, kao i ukoliko se umesto soli za sprečavanje stvaranja poledice upotrebljavaju kameni materijali za posipanje. Međutim, to je izvodljivo samo na putevima nižih kategorija (sa relativno niskim intenzitetom saobraćaja), pod uslovom da saobraćajna bezbednost nije ugrožena.

##### 8.2.4.3.3.3 Odvodnjavanje

Efikasno odvodnjavanje površine kolovoza, kolovozne konstrukcije, posteljice i nasipa mora uvek da bude omogućeno. U cilju efikasnog odvodnjavanja potrebno je redovno održavati instalacije i sredstva za odvodnjavanje.

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

Za materijale koji su manje osetljivi na smrzavanje, poprečni nagib posteljice treba da iznosi najmanje 2,5%, dok kod osetljivijih materijala (kohezivno tlo), poprečni nagib treba minimalno da iznosi 4%. Što je hidraulički pad veći to je potrebno kraće vreme za odvodnjavanje.

Ukoliko kolovozna konstrukcija nije vodonepropusna, atmosferske vode mogu da prodru u podlogu i tako ubrzaju stvaranje oštećenja usled smrzavanja. Odgovarajuće zaptivanje takođe može da bude privremena mera održavanja.

##### 8.2.4.3.3.4 Kolovozna konstrukcija

Prilikom izvođenja kolovozne konstrukcije posebnu pažnju potrebno je obratiti na kvalitet kamenih materijala koji se upotrebljavaju za izradu nevezanog nosećeg sloja, u skladu sa važećim tehničkim propisima.

Kapacitet apsorpcije vode nevezanog kamenog materijala veličine zrna preko 4 mm mora da bude  $\leq 0,5$  m.-%.

Ukoliko materijal kolovozne konstrukcije nije dovoljno otporan na smrzavanje i otapanje, tako da je deo ili celokupnu kolovoznu konstrukciju potrebno zameniti materijalima koji nisu osetljivi na smrzavanje i otapanje, smatra se da je provodljivost topline ovih drugih veća od provodljivosti postojećih materijala koji su osetljivi na smrzavanje. To znači da se nakon zamene materijala dubina

mraza znatno povećala, što je naročito potrebno uzeti u obzir kod stabilnih konstrukcija/objekata.

#### 8.2.4.3.3.5 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, obima omekšavanja osnove i stanja sredstava za odvodnjavanje. Neophodne podatke o promeni nosivosti koja se povremeno javlja, moguće je dobiti na osnovu usklađenih merenja deformacija pomoću Benkelmanove grede; u toku otapanja navedena merenja je potrebno izvoditi svakodnevno.

## 8.2.5 MATERIJALI

### 8.2.5.1 Uvodni deo

Za opisivanje osnovnih materijala upotrebljenih u sklopu projektovanja kolovoznih konstrukcija primenjeni stručni termini imaju sledeće značenje:

**Agregat/nevezana mešavina kamenih zrna** (unbound mixture (mineral aggregate), ungebundene Mischung (Gesteinskörnung)) je oznaka za zrnasti materijal, uobičajeno određenog granulometrijskog sastava, pre svega upotrebljavan za donje noseće slojeve u kolovoznim konstrukcijama.

**Asfaltni granulati** (milling/crushing residue asphalt, Asphaltgranulat) je glodanjem ili drobljenjem ponovno dobijen asfalt u manjim komadima.

**Bitumenizirana/asfaltna mešavina** (asphalt mix/mixture, Asphaltmischgut) je mešavina kamenih zrna punila, peska, sitneži i/ili šljunka, te bitumenskog veziva i eventualno potrebnih dodataka, po pravilu proizvedena po vrućem postupku u asfaltnoj bazi.

**Cementni beton** (cement concrete, Beton/Zementbeton) je materijal, koji nastaje mešanjem mešavine kamenih zrna, hidrauličnog veziva (cementa) i vode, po potrebi sa dodatkom hemijskih i/ili mineralnih aditiva; hidratacijom cementa razvija svoja svojstva.

**Frakcija kamenih zrna/agregata** (**aggregate size**, Korngruppe/Lieferkörnung) je oznaka agregata određenog donjom ( $d_i$ ) i gornjom ( $D_i$ ) veličinom stranice kvadratnog otvora sita, izražena sa  $d_i/D_i$ ; ova oznaka uključuje mogućnost da neka zrna ostanu na gornjem situ (nadmerena zrna) i da prođu kroz donje sito (podmerena zrna).

**Jednako zrna kamena mešavina** (single-sized aggregate, gleichkörniges Mischgut) se sastoji iz kamenih zrna veoma ujednačene veličine (jedne granulacije).

**Kameni materijal** (stone material, Gesteinsmaterial) je nekoherentan/nevezan materijal od prirodnih ili veštačkih kamenih zrna, čija se mehanička, hemijska i mineraloška svojstva, pod uticajem vode, vazduha i/ili temperaturnih promena ne menjaju s vremenom, odnosno menjaju se u granicama, koje još označavaju mehaničku

postojanost materijala; kameni materijal može biti od prirodne ili veštačke stene

**Ponovna upotreba/reciklaža** (recycling, Wiederverwendung/Recycling) označava upotrebu i/ili ugrađivanje materijala koji su već bili upotrebljeni, barem jednom, kao građevinski materijali.

### 8.2.5.2 Izbor materijala

U sklopu projektovanja kolovoznih konstrukcija izbor vrste i kvaliteta materijala je zavisen od položaja u strukturi određene kolovozne konstrukcije. Važan uticaj na izbor materijala ima i ekonomičnost primene.

#### 8.2.5.2.1 Materijali za nevezane noseće slojeve

Osnovni materijali za nevezane noseće slojeve su mešavine drobljenih kamenih zrna, koja su nastala drobljenjem stena, veštačkog kamena ili grubih prirodnih zrna.

Za nevezane noseće slojeve mogu se koristiti i mešavine prirodnih ili mešanih kamenih zrna. Mešavine prirodnih kamenih zrna sadrže frakcije sa zaobljenim ivicama, koje su postale u toku prirodnog raspadanja masivnih stena. Obzirom na merodavno unutrašnje trenje nevezanih mešavina kamenih materijala prirodna kamena zrna su prikladna za noseće slojeve u kolovoznim konstrukcijama za lakše saobraćajno opterećenje. Primena mešanih drobljenih i prirodnih kamenih zrna kao i asfaltnog granulata je uslovljena odgovarajućim sastavom.

#### 8.2.5.2.2 Materijali za vezane slojeve

Obzirom na veća saobraćajna i klimatska opterećenja, kojima su u odnosu na nevezane noseće slojeve izloženi nadgrađeni vezani (asfaltni) slojevi u kolovoznim konstrukcijama za njih je u većini slučajeva prikladnija primena mešavina drobljenih kamenih zrna. U cementnobetonskim mešavinama mogu se koristiti i prirodna odnosno mešana kamena zrna.

U sastavu materijala za vezane asfaltno slojeve može da se koristi u prikladnom obimu i asfaltni granulati.

Saobraćajnim i klimatskim opterećenjima treba da je prilagođeno bitumensko i/ili cementno vezivo za projektovane vezane slojeve u kolovoznim konstrukcijama.

S time su uveliko opredeljene i vrste materijala za vezane, tj. asfaltne i cementnobetonske slojeve.

Za pojedine vezane slojeve u fleksibilnim (asfaltnim) kolovoznim konstrukcijama karakterističan sastav bitumenizirane mešavine opredeljuje njihov naziv, npr. za habajuće slojeve

- bitumenski (asfaltni) beton,
- skeletni mastiks asfalt,
- drenažni asfalt, i
- liveni asfalt.

Za vezane noseće slojeve optimalna je bitumenizirana mešavina drobljenog kamenog materijala. Vrsta bitumenskog veziva i sastav mešavina kamenih zrna treba da su prilagođeni opterećenjima tih slojeva u kolovoznim konstrukcijama.

Saobraćajni i klimatski uslovi opredeljuju i vrste cementnih betona za krute habajuće slojeve u kolovoznim konstrukcijama.

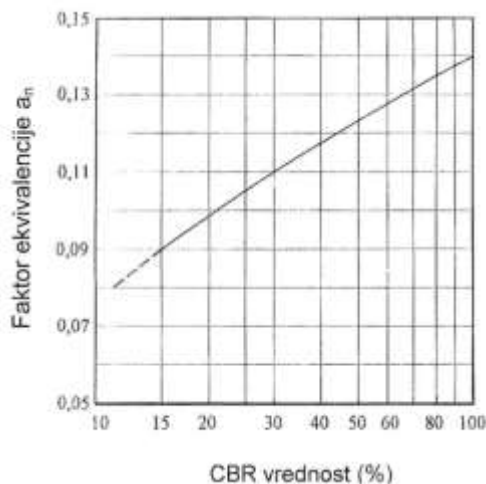
### 8.2.5.3 Određivanje kvaliteta materijala

Pregled osnovnih karakteristika kvaliteta materijala za slojeve u kolovoznim konstrukcijama dat je kategorijama u odgovarajućim EN.

#### 8.2.5.3.1 Nevezani noseći slojevi

Kategorije osnovnih karakteristika kvaliteta mešavina kamenih zrna za nevezane noseće slojeve određene su u EN 13242:2003/A1: 2008. Opšti uslovi za konkretna svojstva tih materijala navedeni su u sklopu Posebnih tehničkih uslova za građenje (SRCS, tč. 2.4.2.2).

Usvojene prosečne vrednosti faktora ekvivalencije (koeficijenta zamene) za nevezane mešavine drobljenog kamenog materijala  $a_{nd} = 0,14$  primenjene su za proračun u sklopu projektovanja novih kolovoznih konstrukcija za vrednost nosivosti  $\text{CBR} = 100\%$ . Ukoliko se koristi za nevezani noseći sloj kameni materijal manje nosivosti (npr. šljunak –  $a_{nš} = 0,10$ ), treba na osnovu manje vrednosti nosivosti  $\text{CBR}$  odrediti odgovarajući faktor ekvivalencije prema dijagramu na slici 8.2.5.1.

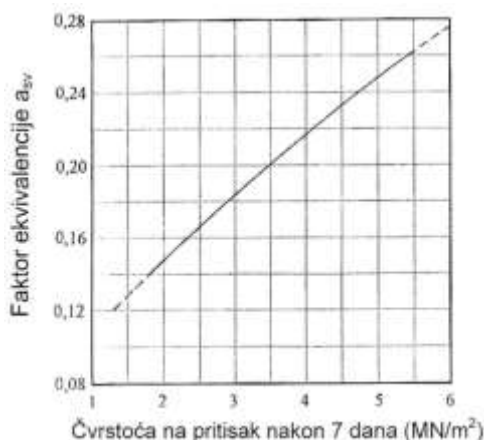


Slika 8.2.5.1: Faktori ekvivalencije za mešavine nevezanih kamenih materijala

#### 8.2.5.3.2 Vezani noseći slojevi

Kategorije osnovnih karakteristika kvaliteta kamenih zrna za hidraulično vezane mešavine za vezane donje noseće slojeve opredeljene su u EN 132242:2003/A1: 2008 i EN 14227-1: 2005. Opšti uslovi za konkretna svojstva tih materijala navedeni su u sklopu Posebnih tehničkih uslova za građenje (SRCS, tč. 2.4.4.1).

Usvojene prosečne vrednosti faktora ekvivalencije za hidraulično vezane mešavine za vezane donje noseće slojeve  $a_{dc} = 0,20$  primenjene su za proračun u sklopu projektovanja novih kolovoznih konstrukcija za čvrstoću mešavina na pritisak nakon 7 dana  $3,5 \text{ MN/m}^2$ . Ukoliko se određuju drukčije čvrstoće mešavina na pritisak treba odrediti odgovarajući faktor ekvivalencije prema dijagramu na slici 8.2.5.2.



Slika 8.2.5.2: Faktori ekvivalencije za mešavine kamenih materijala stabilizovanih cementom

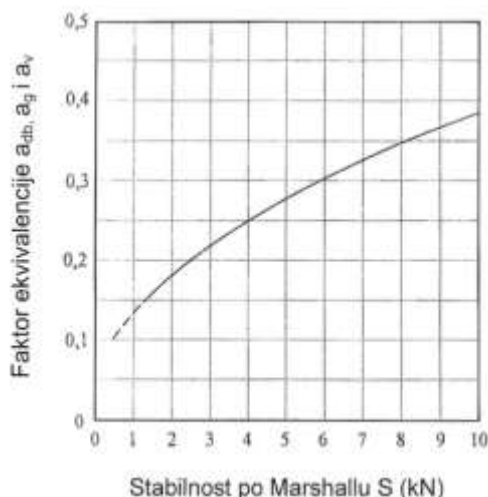
## 8.2.5.3.3 Bitumenom vezani slojevi

Kategorije osnovnih karakteristika kvaliteta kamenih zrna za bitumenskim vezivom vezane mešavine za vezane gornje noseće i vezne slojeve određene su u EN 13043: 2002/AC: 2004, a bitumenskih veziva u EN 14023: 2005. Opšti uslovi za konkretna svojstva tih materijala navedeni su u sklopu Posebnih tehničkih uslova za građenje (SRCS, tč. 2.4.3.2).

Usvojene prosečne vrednosti faktora ekvivalencije za bitumenskim vezivom vezane mešavine primenjene su za proračun u sklopu projektovanja novih kolovoznih konstrukcija na bazi vrednosti stabilnosti po Marshallu i to:

- za vezane donje noseće slojeve  $a_{db} = 0,25$  kod stabilnosti po Marshallu  $S = 4$  kN,
- za vezane gornje noseće slojeve:
  - sa prirodnim kamenim materijalom (šljunkom)  $a_{gs} = 0,28$  kod stabilnosti po Marshallu  $S = 5$  kN,
  - sa drobljenim kamenim materijalom  $a_{gd} = 0,35$  kod stabilnosti po Marshallu  $S = 8$  kN,
- za vezne slojeve  $a_v = 0,38$  kod stabilnosti po Marshallu  $S = 10$  kN.

Ukoliko se određuju drukčije vrednosti stabilnosti po Marshallu treba odrediti odgovarajući faktor ekvivalencije prema dijagramu na slikama 8.2.5.3 i 8.2.5.4.



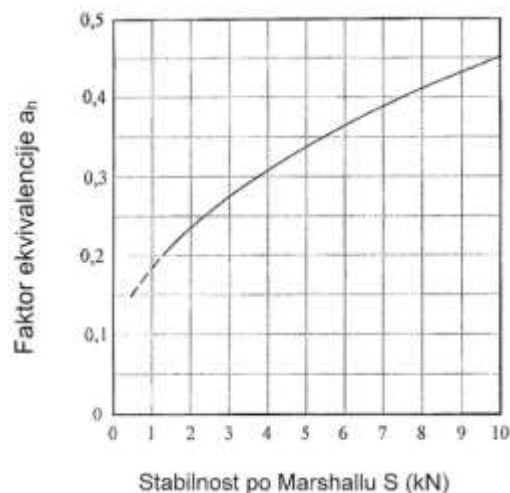
Slika 8.2.5.3: Faktori ekvivalencije za mešavine bitumeniziranih kamenih materijala za vezane noseće slojeve i vezni sloj

Za bitumenskim vezivom vezane habajuće slojeve su određene kategorije osnovnih karakteristika kvaliteta mešavina kamenih

zrna i bitumenskih veziva jednake navedenima za vezane noseće slojeve, to je u EN 13043: 2002/ AC: 2004 i EN 14023: 2005. Opšti uslovi za konkretna svojstva tih materijala su navedeni u sklopu Posebnih tehničkih uslova za građenje (SRCS, tč. 2.4.3.2).

Usvojene prosečne vrednosti faktora ekvivalencije za bitumenskim vezivom vezane mešavine za habajuće slojeve  $a_h = 0,42$  primenjene su za proračun u sklopu projektovanja novih kolovoznih konstrukcija na bazi vrednosti stabilnosti po Marshallu  $S = 8$  kN.

Ukoliko se određuju drukčije vrednosti stabilnosti po Marshallu treba odrediti odgovarajući faktor ekvivalencije prema dijagramu na slici 8.2.5.4.



Slika 8.2.5.4: Faktori ekvivalencije za mešavine bitumeniziranih drobljenih kamenih materijala za habajuće slojeve

Pregledan prikaz usvojenih prosečnih vrednosti faktora ekvivalencije za slojeve u asfaltnim kolovoznim konstrukcijama je u tabeli 8.2.5.1.

## 8.2.5.3.4 Cementom vezani slojevi

Za kolovozne konstrukcije sa cementnobetonim zastorom kategorije osnovnih karakteristika kvaliteta za sve korišćene materijale navedene su u EN 13877-1: 2005 i navedenim dopunskim EN.

Opšti uslovi za konkretna svojstva tih materijala su navedeni u sklopu Posebnih tehničkih uslova za građenje (SRCS, tč. 2.4.4.2).



Tabela 8.2.5.1: Prosečne vrednosti faktora ekvivalencije osnovnih materijala za slojeve u asfaltnim kolovoznim konstrukcijama

Vrsta materijala	Faktor ekvivalencije $a_i$
- za habajući sloj:	
- bitumenski beton	$a_{ah} = 0,42$
- skeletni mastiks asfalt (SMA)	$a_{ah} = 0,42$
- za vezni sloj:	
- bitumenizirani drobljeni kameni materijal	$a_{av} = 0,38$
- za gornji noseći sloj:	
- bitumenizirani drobljeni kameni materijal	$a_{agd} = 0,35$
- bitumenizirani šljunak	$a_{agš} = 0,28$
- za vezani donji noseći sloj:	
- kameni materijal stabilizovan	
- bitumenom	$a_{ad} = 0,24$
- cementom	$a_{cd} = 0,20$
- za nevezani noseći sloj:	
- drobljeni kameni agregat	$a_{nd} = 0,14$
- šljunak	$a_{nš} = 0,11^{1)}$

<sup>1)</sup> ograničen debljinom sloja od 40 cm

Za određivanje cementnobetonog zastora relevantna je čvrstoća na savijanje i zatezanje. U sklopu projektovanja potrebno je pretpostaviti karakterističnu čvrstoću 28-dnevnog cementbetona. Karakteristična čvrstoća na savijanje i zatezanje cementbetona se definiše kao 5%-tna fraktilna vrednost.

Ukoliko je određena samo karakteristična čvrstoća na pritisak  $f_{ck,cyl}$ , procenjenju srednju čvrstoću na savijanje i zatezanje  $f_{cfm}$  cementbetona treba izračunati na osnovu jednačine:

$$f_{cfm} = 0,5(f_{ck,cyl})^{2/3} \quad (\text{N/mm}^2)$$

Karakterističnu čvrstoću na savijanje i zatezanje  $f_{cfk}$  treba izračunati na osnovu jednačine:

$$f_{cfk} = 0,7f_{cfm} \quad (\text{N/mm}^2)$$

Karakterističnu čvrstoću na pritisak  $f_{ck,cyl}$  moguće je odrediti na osnovu rezultata ispitivanja čvrstoće na pritisak na cilindrima prečnika 15 cm i visine 30 cm. Međusobna povezanost razreda čvrstoće cementbetona (u skladu sa EN 206-1), marke betona MB, i čvrstoće na pritisak cilindra  $f_{ck,cyl}$  prikazana je u tabeli 8.2.5.2.

Ukoliko se izvode ispitivanja na savijanje, za izračunavanje karakteristične čvrstoće  $f_{cfk}$  cementbetona na savijanje i zatezanje, moguće je primeniti jednačinu:

$$f_{cfk} = f_{cfms} - \frac{s_p t_{10}}{\sqrt{n}} - 1,645s_p \left( 1 + \frac{s_p t_{10}}{f_{cfms} \sqrt{n}} \right)$$

gde je:

- $f_{cfk}$  karakteristična vrednost ( $\text{N/mm}^2$ )
- $f_{cfms}$  srednja vrednost serije ispitivanja ( $\text{N/mm}^2$ )
- $s_p$  standardno odstupanje ( $\text{N/mm}^2$ )
- $t_{10}$  vrednost za raspodelu po Student-u; osnovne vrednosti su navedene u tabeli 8.2.5.3)
- $n$  broj uzoraka

- standardno odstupanje  $s_p$ :

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum(f_{cfms} - f_{cfm})^2}{(n-1)}}$$

- srednja vrednost  $f_{cfm}$ :

$$f_{cfm} = f_{cfms} - \frac{s_p t_{10}}{\sqrt{n}}$$

Tabela 8.2.5.2: Međusobna povezanost razreda čvrstoće C, marke cementbetona 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	MB 30	MB 35	MB 40	MB 45	MB 55	MB 60	-
Čvrstoća na pritisak cilindra $f_{ck,cyl}$	20	25	30	35	40	45	50

Tabela 8.2.5.3: Vrednosti  $t_{10}$  u zavisnosti od broja uzoraka n

Broj uzoraka	3	4	5	6	8	10	12	15
Vrednost $t_{10}$	1,89	1,64	1,53	1,48	1,42	1,38	1,36	1,34

## 8.2.6 NOVE ASFALTNE KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE

### 8.2.6.1 Uvodni deo

#### 8.2.6.1.1 Opšte

Postupak projektovanja novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija, opredeljen u ovom priručniku je merodavan za sve saobraćajne površine predviđene za odvijanje motornog saobraćaja, koje su izgrađene na donjem stroju sa karakteristikama uslovljenim u važećim tehničkim propisima.

Projektovanjem novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija određuje se

- ukupna debljina kolovozne konstrukcije, i
- debljine slojeva pojedinih materijala, u zavisnosti od
- uticaja saobraćajnog opterećenja na zamor materijala kolovozne konstrukcije,
- nosivosti donjeg stroja,
- hidroloških i klimatskih uslova, i
- materijala za pojedine slojeve.

Projektovanje novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija, zasniva se na pretpostavci da su na određenoj deonici puta slični svi uticaji, te da se neće znatno menjati u poređenju sa predviđenim. U tom slučaju obezbeđeno je projektovano razdoblje trajanja i upotrebljivost asfaltnih kolovoznih konstrukcija; s tim da se upotrebljivost vremenom postepeno smanjuje.

Projektovanje asfaltnih zastora na mostovima i u tunelima određuje se uzimajući u obzir specifične uslove izgradnje i primene.

Sadržaj ovog priručnika ne može se tumačiti i primenjivati tako da spreči ili uslovi odgovarajuću primenu građevinskih proizvoda odobrenih za upotrebu.

#### 8.2.6.1.2 Tehnička regulativa

**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 Strassenoberbaues** (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, Oberbaubemessung (Road Design; Constructive Technical Details; Pavement Design)

**SN 640 324: 1988** Dimensionierung, Strassenoberbau (Design, Road Pavement)

#### 8.2.6.1.3 Terminologija

**Asfaltna kolovozna konstrukcija** (asphalt pavement, Asphaltfahrbahnbefestigung) je deo stabilizovane saobraćajne površine sa asfaltnim zastorom; vrsta ostalih nosećih slojeva u kolovoznoj konstrukciji nije određena.

**Asfaltni habajući sloj** (asphalt wearing course, Asphaltverschleiss-schicht) je gornji sloj kolovozne konstrukcije od mešavine kamenih zrna određenog sastava (punilo, pesak, sitnež, šljunak) i bitumenskog veziva.

**Asfaltni noseći sloj** (asphalt base, Asphalttragschicht) je sloj kolovozne konstrukcije od bitumenizirane mešavine ugrađen kao vezani gornji noseći sloj (u jednom ili više slojeva) ili kao vezani donji noseći sloj (bitumenska stabilizacija mešavine kamenih zrna).

**Bitumenizirana/asfaltna mešavina** (asphalt mix/mixture, Asphaltmischgut) je mešavina kamenih zrna punila, peska, sitneži i/ili šljunka, te bitumenskog veziva i eventualno potrebnih dodataka, po pravilu proizvedena po vrućem postupku u asfaltni bazi.

**Drobljeni kameni materijal** (crushed aggregate, gebrochene Gesteinskörnung) je mešavina izdrobljenih kamenih zrna veličine do 63 mm.

**Ekvivalentno saobraćajno opterećenje** (equivalent traffic load, äquivalente Verkehrslast) je opterećenje iskazano preko broja prolaza nazivnog (nominalnog) osovinskog opterećenja (po pravilu 100 kN).

**Indeks debljine kolovozne konstrukcije (D)** (pavement thickness-index, Dickenindex der Fahrbahnbefestigung) je suma umnožaka faktora ekvivalencije (= otpornosti protiv

zamaranja) pojedinih materijala ( $a_i$ ), ugrađenih u kolovoznu konstrukciju, i debljina slojeva tih materijala ( $d_i$ ).

**Nazivno (nominalno) osovinsko opterećenje (NOO)** (nominal axle load, nominelle Achslast) je (standardno, nominalno) opterećenje jednostruke osovine vozila od 100 kN, koje se prenosi točkovima na voznu površinu; određeno je kao osnova za upoređivanje uticaja različitih osovinskih opterećenja.

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

**Posteljica** (capping layer, verfestigter Unterbau) je gornji (zaključni) sloj nasipa ili temeljnog tla, deo do 50 cm, sa posebnima svojstvima (povećana nosivost, smanjena osetljivost na uticaje mraza), postignutim pomoću odgovarajućih građevinsko-tehničkih zahvata (poboljšanje, utvrđenje, stabilizovanje).

**Temeljno tlo** (underground/natural ground, Untergrund) su tla ili stene, po pravilu prirodne, koje su neposredno u dodiru sa nasipom, kolovoznom konstrukcijom ili temeljom građevinskog objekta, odnosno nalaze se neposredno ispod njega.

**Životni vek kolovozne konstrukcije** (pavement life time, Lebensdauer der Fahrbahnbefestigung) je projektovano vreme odgovarajuće upotrebljivosti saobraćajne površine u odnosu na sigurnost, udobnost i ekonomičnost vožnje.

## 8.2.6.2 Osnove za projektovanje

### 8.2.6.2.1 Saobraćajno opterećenje

Određivanje merodavnog saobraćajnog opterećenja  $T_n$  za projektovanje novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija je detaljno opredeljeno u tč. 8.2.2 Saobraćajno opterećenje.

Projektovano doba trajanja asfaltnih kolovoznih konstrukcija treba, po pravilu, da iznosi 20 godina. U određenim slučajevima navedeno razdoblje može biti i kraće, s tim da ne sme biti kraće od 5 godina.

### 8.2.6.2.2 Nosivost podloge

Određivanje nosivosti podloge za projektovanje novih asfaltnih kolovoznih

konstrukcija je detaljno opredeljeno u tč. 8.2.3 Nosivost.

Za projektovanje novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija je merodavna vrednost nosivosti CBR.

Osnovni uslov koji podloga 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 zahtevaju veća ulaganja, potrebno je postići maksimalnu moguću nosivost posteljice, koja ne sme biti manja od  $CBR = 7 \%$  ( $E_{vd} = 20 \text{ MN/m}^2$ ).

Deonice puta na kojima je nosivost ujednačena treba da budu što je moguće duže. Po pravilu, nosivost posteljice ispod kolovozne konstrukcije treba biti ujednačena na čitavoj deonici određenog novog puta, s tim da navedena deonica ne sme biti kraća od 500 m.

### 8.2.6.2.3 Klimatski i hidrološki uslovi

Određivanje klimatskih i hidroloških uslova za projektovanje novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija je detaljno opredeljeno u tč. 8.2.4 Klimatski i hidrološki uslovi.

Merodavne uticaje klimatskih i hidroloških uslova na određivanje graničnih debljina novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija, u cilju zaštite od štetnih uticaja smrzavanja i otapanja, treba utvrditi na osnovu analize konkretnih uslova.

### 8.2.6.2.4 Materijali

Određivanje materijala za projektovanje novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija je detaljno opredeljeno u tč. 8.2.5 Materijali.

Kvalitet materijala predviđenih za izradu novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija po pravilu treba da ispunjava zahteve koji su navedeni u posebnim tehničkim uslovima (SRCS, tč. 2.4.2 i 2.4.3).

Međusobni odnosi materijala s obzirom na otpornost na zamor koji prouzrokuju saobraćajno i klimatsko opterećenje, tj. faktori ekvivalencije, omogućavaju potrebna

poređenja pri određivanju vrste i dimenzija pojedinih slojeva kolovozne konstrukcije.

### 8.2.6.3 Karakterističan sastav

Nove asfaltne kolovozne konstrukcije u osnovu se sastoje iz

- asfaltnog habajućeg sloja,
- asfaltnog nosećeg sloja, i
- nevezanog nosećeg sloja.

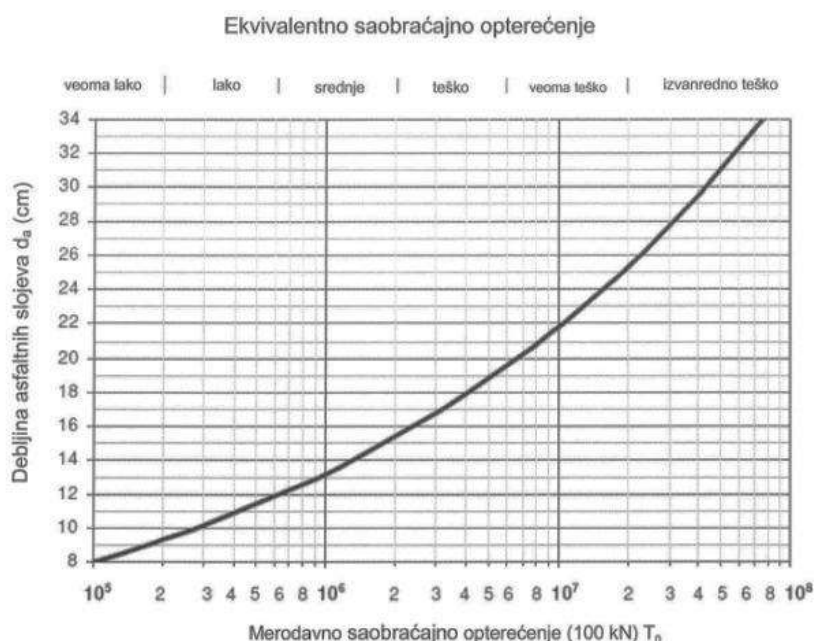
Zavisno od saobraćajnog opterećenja nove asfaltne kolovozne konstrukcije izgrađuje se i sa više asfaltnih nosećih slojeva (slika 8.2.1.1). Bitumenizirane mešavine u tim

slojevima su po pravilu različitog sastava prilagođenog specifičnim opterećenjima.

Specifični uslovi upotrebljavanja i cilja diktiraju i odgovarajući sastav bitumeniziranih mešavina za habajuće slojeve.

### 8.2.6.4 Postupak projektovanja

Primenom osnova za projektovanje, navedenih u tč. 8.2.6.2, određuju se debljine slojeva bitumeniziranih mešavina/asfalta  $d_a$  i nevezanog drobljenog kamenog materijala  $d_n$  dijagramima na slikama 8.2.6.1 i 8.2.6.2.



Slika 8.2.6.1: Dijagram za određivanje ukupne debljine asfaltnih slojeva  $d_a$  novih kolovoznih konstrukcija

#### 8.2.6.4.1 Asfaltni slojevi

Ukupna potrebna debljina asfaltnih slojeva  $d_a$ , tj. asfaltnog habajućeg sloja  $d_{ah}$  i asfaltnih nosećih slojeva  $d_{an}$  određuje se za prosečan kvalitet bitumeniziranih mešavina, čiji je računski faktor ekvivalencije  $a_a = 0,38$ , pomoću dijagrama na slici 8.2.6.1.

Izbor bitumeniziranih mešavina za habajuće i noseće slojeve zavisi od uslova primene, kojima se prilagođava sastav drobljenog kamenog materijala i tip bitumenskog veziva.

Kvalitet bitumeniziranih mešavina treba da ispunjava zahteve, koji su navedeni u

posebnim tehničkim uslovima za njihovu proizvodnju i ugradnju (SRCS, tč. 2.4.3.4).

Određivanje debljina asfaltnog habajućeg sloja  $d_{ah}$  i asfaltnih nosećih slojeva  $d_{an}$ , potrebno je izvršiti pomoću osnovne jednačine za određenje računskog indeksa debljine asfaltnih slojeva  $D_{ar}$ , uzimajući u obzir faktor ekvivalencije za prosečan kvalitet bitumeniziranih mešavina

$$D_{ar} = a_a \times d_a$$

i jednačine za određenje projektovanog indeksa debljine asfaltnih slojeva  $D_{ap}$

$$D_{ap} = a_{ah} \times d_{ah} + \sum(a_{ani} \times d_{ani})$$

sa uslovom da je

$$D_{ap} \geq D_{ar}$$

Usvojene vrednosti faktora ekvivalencije osnovnih materijala za slojeve u novim asfaltnim kolovoznim konstrukcijama  $a_{ani}$  ( $a_g$  i  $a_d$ ) navedene su u tabeli 8.2.5.1.

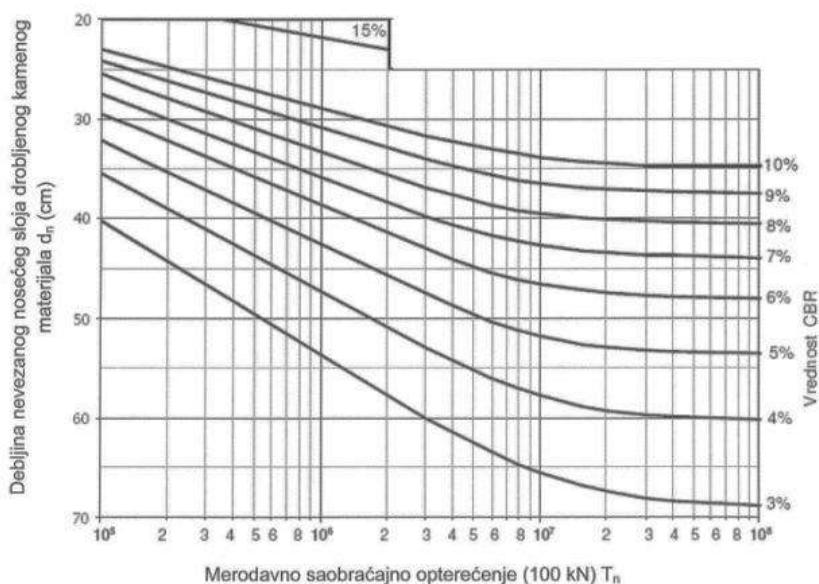
U obzir treba uzeti granične vrednosti za debljine slojeva zavisno od projektovane tehnologije građenja.

Bitumenizirane mešavine za habajuće slojeve novih kolovoznih konstrukcija, koje treba da izdrže veoma teško i izvanredno teško saobraćajno opterećenje, treba da sadrže modifikovano bitumensko vezivo.

Za gornje noseće slojeve novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija, koje su izložene teškom, veoma teškom i izvanredno teškom saobraćajnom opterećenju, potrebno je upotrebiti isključivo drobljeni kameni materijal; takođe se preporučuje i modifikovano bitumensko vezivo. Za laka i veoma laka saobraćajna opterećenja, može se predvideti za noseće slojeve sa bitumenizirani šljunak.

#### 8.2.6.4.2 Nevezani noseći slojevi

Debljina nosećeg sloja nevezanog drobljenog kamenog materijala  $d_n$ , koja je u zavisnosti od merodavnog saobraćajnog opterećenja prikazana u dijagramu na slici 8.2.6.2, određena je za mešavinu zrna sa faktorom ekvivalencije  $a_{nd} = 0,14$ .



Slika 8.2.6.2: Dijagram za određivanje debljine nevezanih nosećih slojeva  $d_n$  novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija

Za nove asfaltne kolovozne konstrukcije, projektovana debljina nevezanog nosećeg sloja drobljenog kamenog materijala treba da iznosi:

- za teško saobraćajno opterećenje min. 25 cm, i
- za srednje ili lako saobraćajno opterećenje min. 20 cm.

Ukoliko je, usled slabe nosivosti podloge kolovozne konstrukcije i teškog saobraćajnog opterećenja, potreban sloj nevezanog drobljenog kamenog materijala deblji od 40

cm, po pravilu, nosivost nasipa treba povećati.

Deo ili ukupnu debljinu nevezanog nosećeg sloja drobljenog kamenog materijala moguće je zameniti šljunkom, uzimajući u obzir faktor ekvivalencije  $a_{nš} = 0,11$ .

Vrstu kamenog materijala, koja je predviđena za nevezane noseće slojeve potrebno je prilagoditi saobraćajnom opterećenju i ekonomskim uslovima. Pri izradi novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija koje su izložene teškom, vrlo teškom i izvanredno

teškom saobraćajnom opterećenju, potrebno je upotrebiti, po pravilu, za nevezani noseći sloj drobljene kamene materijale.

Kvalitet kamenih materijala za izradu nevezanih nosećih slojeva mora da ispunjava zahteve važećih tehničkih propisa za proizvedene i ugrađene kamene materijale.

Nevezani noseći sloj kamenog materijala može delimično ili potpuno biti zamenjen vezanim donjim nosećim slojem, tj. mešavinom drobljenog kamenog materijala ili šljunka, koja je stabilizovana cementom. Odgovarajući faktor ekvivalencije naveden je u tabeli 8.2.5.1.

Minimalna projektovana debljina vezanog donjeg nosećeg 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 vezanog donjeg nosećeg sloja, tj. kameni materijal stabilizovan bitumenskim vezivom ili cementom mora biti prilagođena saobraćajnim i klimatskim uslovima, toku trase puta i ekonomskim okolnostima.

#### 8.2.6.4.3 Izgradnja u fazama

Ukoliko je izgradnja nove asfaltne kolovozne konstrukcije predviđena u fazama, potrebno je voditi računa o tome da noseći sloj (izrađen od nevezanog kamenog materijala ili od kamenog materijala stabilizovanog vezivom, ili od kombinacije jednog i drugog) mora biti izveden za čitav projektovani životni vek kolovozne konstrukcije, dok asfaltni slojevi mogu da su izvedeni tako da traju jedan deo projektovanog životnog veka kolovozne konstrukcije.

Potrebna debljina asfaltnih slojeva, koji se ugrađuju u kolovoznu konstrukciju, za preostali životni vek mora biti određena na osnovu razlike između potrebne debljine sloja asfalta za celokupni životni vek i debljine sloja asfalta za deo projektovanog životnog veka.

Pre završetka izgradnje asfaltne kolovozne konstrukcije, tj. pre druge faze, nosivost postojeće kolovozne konstrukcije (iz prvog

dela projektovanog životnog veka) treba proveriti ispitivanjem na ugib (npr. pomoću Benkelmanove grede ili sprava za merenje ugiba), te odrediti potrebnu debljinu dodatnog asfaltnog sloja ili slojeva.

#### 8.2.6.4.4 Provera uticaja smrzavanja

Za nove asfaltne kolovozne konstrukcije, koje su projektovane na osnovu saobraćajnog opterećenja i nosivosti planuma nasipa, potrebno je takođe proveriti uticaje smrzavanja i otapanja.

S obzirom na otpornost osnove, tj. otpornost materijala ispod kolovozne konstrukcije (posteljice), kao i s obzirom na hidrološke uslove, minimalne potrebne debljine kolovozne konstrukcije  $h_{min}$  navedene su u tabeli 8.2.4.3.

U slučaju da je ukupna debljina nove asfaltne kolovozne konstrukcije, tj.  $d_a$  (slojevi asfalta) +  $d_n$  (nevezani noseći slojevi) manja od određenog minimuma debljine kolovozne konstrukcije  $h_{min}$ , potrebno je izvršiti sledeće:

- adekvatno povećati debljinu nevezanog nosećeg sloja, ili
- obezbediti odgovarajući kvalitet materijala posteljice u potrebnoj debljini.

## 8.2.7 NOVE CEMENTNO-BETONSKE KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE

### 8.2.7.1 Uvodni deo

#### 8.2.7.1.1 Opšte

Postupak projektovanja novih cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija, određen u ovom priručniku, merodavan je za sve saobraćajne površine predviđene za odvijanje motornog saobraćaja, koje su izgrađene na podlozi (posteljici) sa karakteristikama uslovljenim u važećim tehničkim propisima.

Projektovanjem novih cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija određuje se

- ukupna debljina kolovozne konstrukcije, i
- debljina slojeva pojedinih materijala, u zavisnosti od
- uticaja saobraćajnog opterećenja na zamor materijala kolovozne konstrukcije,
- nosivosti podloge (posteljice), i
- hidroloških i klimatskih uslova.

Projektovanje novih cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija, zasniva se na pretpostavci da su na određenoj deonici puta slični svi uticaji, te da se neće znatno menjati u poređenju sa predviđenima. U tom slučaju obezbeđeno je projektovano razdoblje trajanja i upotrebljivost cementno-betonske kolovozne konstrukcije; s tim da se upotrebljivost vremenom postepeno smanjuje.

Sadržaj ovog priručnika ne može se tumačiti i primenjivati tako da spreči ili uslovi odgovarajuću primenu građevinskih proizvoda odobrenih za upotrebu.

#### 8.2.7.1.2 Tehnička regulativa

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

**Dimensionierung des Strassenoberbaues** (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, Oberbaubemessung (Road Design; Constructive Technical Details; Pavement Design)

**SN 640 324: 1988** Dimensionierung, Strassenoberbau (Design, Road Pavement)

**SN 640 326: 1971** Dimensionierung, Oberbau mit Zementbetonbelag (Design, Pavement with cement concrete curfacing)

#### 8.2.7.1.3 Terminologija

**Hemijski dodatak** (chemical additive, chemisches Zusatzmittel) je materijal koji se dodaje u toku mešanja cementnog betona u maloj količini u odnosu na masu cementa, kako bi se modifikovala svojstva svežeg i očvrstlog cementnog betona.

**Kotva/anker** (anchor, Anker) je ugrađen deo (šipka) od rebrastog čelika za ojačanje u podužnim spojnica između ploča od cementnog betona koji sprečava njihovo razmicanje.

**Mikropore** (micro pores / micro voids, Mikroporen) su mikroskopski mali vazdušni mehurići, namerno uneti u cementni beton pri mešanju, obično uz upotrebu površinsko aktivnih komponenti; prečnik mehurića, koji su sferični ili približno sferični, iznosi od 10 do 300 mikrometara.

**Moždanic** (dowel, Dübel) je umetnut deo (šipka) od okruglog čelika za ojačavanje ploča od cementnog betona na poprečnim spojevima, koji omogućava razmicanje i prenos opterećenja.

**Pritisnuta (radna) spojnica** (compressed/construction joint, Pressfuge/Arbeitsfuge) označava zbog uslova rada prekinut građevinski element u celoj debljini (dnevna, uzdužna, poprečna).

**Vrsta cementnog betona** (concrete grade, Betonart/-güte) označava cementni beton određenog (istog) razreda čvrstoće i otpornog na agresivne uticaje kod određenog (istog) stepena izloženosti.



## 8.2.7.2 Osnove za projektovanje

### 8.2.7.2.1 Saobraćajno opterećenje

Određivanje merodavnog saobraćajnog opterećenja  $T_n$  za projektovanje novih cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija je detaljno određeno u tč. 8.2.2 Saobraćajno opterećenje.

Projektovani životni vek cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija treba, po pravilu, da iznosi 20 godina. U određenim slučajevima navedeno razdoblje može da bude kraće (najmanje 10 godina) a i duže (do 30 godina).

### 8.2.7.2.2 Nosivost podloge

Određivanje nosivosti podloge za projektovanje novih cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija je detaljno određeno u tč. 8.2.3 Nosivost.

Za projektovanje novih cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija je merodavna vrednost nosivosti podloge CBR.

Osnovni uslov koji podloga ispod cementno-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. Budući da navedeni postupci ne zahtevaju veća ulaganja, potrebno je postići maksimalnu moguću nosivost podloge, koja ni u jednom slučaju ne sme da bude manja od  $CBR = 10\%$  ( $E_{vd} = 25 \text{ MN/m}^2$ ).

Deonice puta na kojima je nosivost ujednačena treba da budu što je moguće duže. Po pravilu, nosivost podloge ispod kolovozne konstrukcije treba da bude ujednačena na čitavoj deonici određenog novog puta, s tim da navedena deonica ne sme da bude kraća od 500 m.

### 8.2.7.2.3 Klimatski i hidrološki uslovi

Određivanje klimatskih i hidroloških uslova za projektovanje novih cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija je detaljno određeno u tč. 8.2.4 Klimatski i hidrološki uslovi.

Merodavne uticaje klimatskih i hidroloških uslova na određivanje graničnih debljina novih cementno-betonskih kolovoznih

konstrukcija, u cilju zaštite od štetnih uticaja smrzavanja i otapanja, treba utvrditi na osnovu analize konkretnih uslova.

### 8.2.7.2.4 Materijali

Određivanje materijala za projektovanje novih cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija je detaljno određeno u tč. 8.2.5 Materijali.

Kvalitet materijala predviđenih za izradu ploča novih cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija treba da ispunjava zahteve koji su navedeni u važećim tehničkim propisima za proizvodnju i ugradnju (EN 206-1).

Kvalitet bitumeniziranih mešavina za međusloj u novim cementno-betonskim kolovoznim konstrukcijama treba da ispunjava uslove za asfaltne noseće slojeve za srednje teško saobraćajno opterećenje, navedene u SRCS, tč. 2.4.3.

Pri određivanju vrste materijala nevezanog nosećeg sloja, potrebno je u obzir uzeti faktore ekvivalencije ( $a_{sn}$ ); oni omogućavaju potrebno upoređivanje međusobnih odnosa materijala, u odnosu na otpornost na zamor koji prouzrokuju saobraćajno i klimatsko opterećenje.

## 8.2.7.3 Karakterističan sastav

Novo cementno-betonske kolovozne konstrukcije u osnovi se sastoje (slika 8.2.7.1) iz:

- cementno-betonskog zastora,
- asfaltnog nosećeg međusloja, i
- nevezanog nosećeg sloja.



Slika 8.2.7.1: Karakterističan sastav cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija

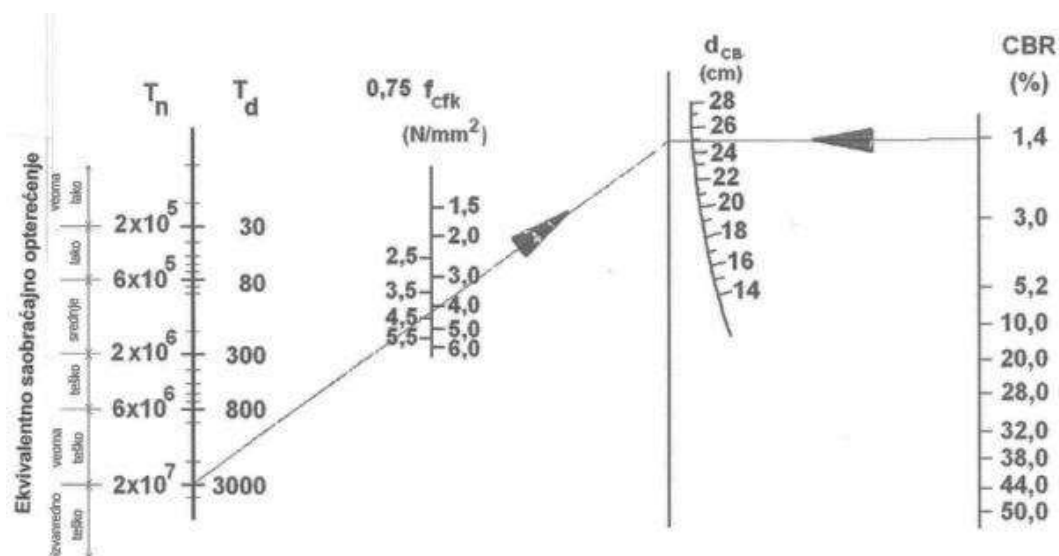
Cementno-betonska kolovozna ploča može da bude iz jednog sloja cementnog betona ravnomernog kvaliteta ili iz habajućeg i nosećeg sloja cementnog betona različitog kvaliteta, ali proizvedenih od istog cementa i ugrađenih postupkom „sveže na sveže“.

#### 8.2.7.4 Postupak projektovanja

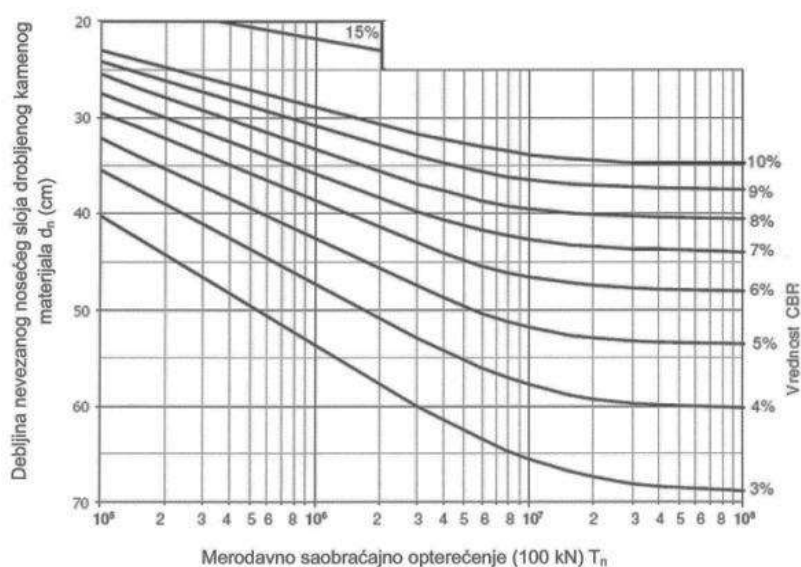
Projektovanje novih cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija je zasnovano na rezultatima testa AASHO i dopunama

proveravanja relevantnih napona i deformacija na graničnim površinama pojedinih slojeva.

Primenom osnova za projektovanje, navedenih u tč. 8.2.7.1, određuju se debljine cementno-betonskog zastora  $d_{CB}$  na osnovu nomograma predstavljenog na slici 8.2.7.2 i debljina nevezanog nosećeg sloja  $d_n$  na osnovu dijagrama na slici 8.2.7.3.



Slika 8.2.7.2: Nomogram za određivanje debljina cementno-betonskog zastora novih kolovoznih konstrukcija



Slika 8.2.7.3: Dijagram za određivanje debljina nevezanih nosećih slojeva novih cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija

Minimalna projektovana debljina cementno-betonskih ploča u kolovoznim zastorima za srednje i teže saobraćajno opterećenje mora da iznosi 20 cm. Dužina ploče ne sme da bude veća od 6 m.

Cementno-betonske ploče u kolovoznim konstrukcijama moraju da budu, radi zaštite od oštećenja zbog napona koji u njima nastaju, i radnog procesa podeljene:

- na mestima dodira sa drugim krutim konstruktivnim elementima (ivičnjaci, šahtovi, priključci na mostove) prostornim spojnica, i
- na mestima (privremenog) prekida ugrađivanja, tj. na već očvršli cementni beton, pritisnutim (radnim) spojnica, i
- radi sprečavanja nekontrolisanih pukotina zbog prekoračenja čvrstoće na zatezanje cementnog betona u pločama (na određenim mestima) poprečnim prividnim spojnica.

Cementno-betonske ploče treba da su podeljene poprečnim spojnica na što više kvadratni oblik. Ukoliko je širina cementno-betonskog kolovoza veća od 4 m, ploče se dele do te veličine podužnim spojnica.

Po pravilu cementno-betonske ploče uz spojnice moraju da budu ojačane glatkim moždanicima (prečnika 20 do 25 mm, dužine 500 mm) i rebrastim kotvama (prečnika 16 do 20 mm, dužine 800 mm).

Raspored moždanika u poprečnim spojnica za osiguranje visina cementno-betonskih ploča i prenošenje saobraćajem i temperaturnim promenama uslovljenih opterećenja treba da iznosi:

- na području kolotruga na 25 cm (4 ili 5 x 25 cm),
- od ivica ploča 25 cm, i
- između kolotruga 50 cm.

Kotve (ankeri) u podužnim spojnica za sprečavanje razmicanja cementno-betonskih ploča moraju da budu ugrađeni

- na ravnim deonicama puteva 5 kotvi u svakoj ploči, i
- na deonicama sa krivinama sa poluprečnikom.  $R \leq 600$  m u srednjoj trećini svake ploče 3 kotve.

Debljina sloja nevezanog kamenog materijala  $d_n$  kao osnovnog nosećeg sloja, koja se određuje pomoću dijagrama slici 8.2.7.3, određena je za mešavinu drobljenih zrna sa faktorom ekvivalencije  $a_{ns} = 0,14$ .

Za nove cementno-betonske kolovozne konstrukcije, debljina nevezanog nosećeg sloja zrna drobljenog kamenog materijala treba da iznosi:

- za teško saobraćajno opterećenje min. 25 cm, i
- za srednje ili lako saobraćajno opterećenje min. 20 cm.

Ukoliko je, usled slabe nosivosti podloge kolovozne konstrukcije i teškog saobraćajnog opterećenja, potreban sloj nevezane mešavine zrna drobljenog kamenog materijala deblji od 40 cm, po pravilu nosivost podloge treba povećati.

Deo ili ukupnu debljinu nevezanog nosećeg sloja drobljenog kamenog materijala moguće je zameniti šljunkom, uzimajući u obzir faktor ekvivalencije  $a_{ns} = 0,11$ .

Vrstu kamenog materijala, koji je predviđen za nevezane noseće slojeve potrebno je prilagoditi saobraćajnom opterećenju i ekonomskim uslovima. Pri izradi novih cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija koje su izložene teškom, vrlo teškom i izuzetno teškom saobraćajnom opterećenju, potrebno je, po pravilu, upotrebiti drobljene kamene materijale za nevezani noseći sloj.

Debljina međusloja od bitumeniziranog kamenog materijala treba da je prilagođena tehnološkim uslovima; po pravilu treba za osiguranje potrebnih svojstava tog sloja da iznosi 5 do 6 cm.

Za nove cementno-betonske kolovozne konstrukcije, koje su projektovane na osnovu saobraćajnog opterećenja i nosivosti podloge, potrebno je takođe proveriti uticaje smrzavanja i otapanja.

U odnosu na otpornost podloge, tj. otpornost materijala ispod kolovozne konstrukcije, kao i u odnosu na hidrološke uslove, minimalne potrebne debljine kolovozne konstrukcije  $h_{min}$  navedene su u tabeli 8.2.4.3.

U slučaju da je ukupna debljina nove cementno-betonske kolovozne konstrukcije, tj. cementno-betonskog zastora, sloja bitumeniziranog kamenog materijala i nevezanog nosećeg sloja, manja od određenog minimuma debljine kolovozne konstrukcije  $h_{min}$ , potrebno je izvršiti sledeće:

- adekvatno povećati debljinu nevezanog nosećeg sloja, ili
- obezbediti odgovarajući kvalitet materijala podloge (posteljice) u potrebnoj debljini.

## 8.2.8 OJAČANJE ASFALTNIH KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA

### 8.2.8.1 Uvodni deo

#### 8.2.8.1.1 Opšte

Postupak projektovanja ojačanja postojećih asfaltnih kolovoznih konstrukcija, određen u ovom priručniku, merodavan je za sve saobraćajne površine predviđene za odvijanje motornog saobraćaja.

Projektovanjem ojačanja postojećih asfaltnih kolovoznih konstrukcija određuju se

- ukupne debljine ojačanja, i
  - debljine pojedinih slojeva,
- za predviđeno ojačanje postojeće asfaltna konstrukcije. Asfaltna kolovozna konstrukcija, određena na ovaj način, u zavisnosti od
- stanja postojećeg kolovoza,
  - predviđenog saobraćajnog opterećenja u toku veka trajanja,
  - kvaliteta materijala, i
  - hidroloških i klimatskih uslova,

treba da spreči prevelik zamor (razaranje) strukture materijala postojeće kolovozne konstrukcije, kao i da održava upotrebljivost površine kolovozne konstrukcije na odgovarajućem nivou, u cilju obezbeđenja bezbedne, udobne i ekonomične upotrebljivosti.

Projektovanje ojačanja postojećih asfaltnih kolovoznih konstrukcija se zasniva na pretpostavci da su na određenoj deonici puta slični svi uticaji, te da se neće znatno menjati u poređenju sa predviđenima. U tom slučaju obezbeđen je projektovani životni vek i ispravnost ojačane asfaltna kolovozne konstrukcije; s tim da se upotrebljivost vremenom postepeno smanjuje.

Sadržaj ovog priručnika ne može se tumačiti i primenjivati tako da se spreči ili uslovi odgovarajuća primena građevinskih proizvoda odobrenih za upotrebu.

#### 8.2.8.1.2 Tehnička regulativa

**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

**Evaluation of AASHTO Interim Guides for Design of Pavement Structures**, NCHRP Report 128, HRB, National Academy of Science, Washington D.C., 1972

**Fahrbahnverstärkungen**, OECD, Bundesamt 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

**Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen – RstO 86**, FGSV, Köln, 1989 (Guidelines for Standardization of Pavements of Traffic Surfaces)

**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, Oberbauverstärkung von Asphaltstrassen (Road Design; Constructive Details; Asphalt Road Pavement Strengthening)

**SN 640 738: 1977** Reparatur und Erneuerung von Fahrbahnen, Oberbauverstärkung in bituminöser Bauweise (Repair and Restoration of Carriageways, Pavement Strengthening with Bitumen)

**TGL 22 853: 1969** Anlagen des Strassenverkehrs, Bemessung flexibler Befestigungen, Kriterium der zulässigen Durchbiegung (Road Traffic Equipment, Design of Flexible Pavements, Criterion of Admissible Deflection)

#### 8.2.8.1.3 Terminologija

**Asfaltna kolovozna konstrukcija** (asphalt pavement, Asphaltfahrbahnbefestigung) je deo stabilizovane saobraćajne površine sa asfaltnim zastorom; vrsta preostalih nosećih slojeva u kolovoznoj konstrukciji nije određena.

**Bitumenizirana/asfaltna mešavina** (asphalt mix/mixture, Asphaltmischgut) je mešavina kamenih zrna punila, peska, sitneži i/ili šljunka, kao i bitumenskog veziva i eventualno potrebnih dodataka, po pravilu

proizvedena po vrućem postupku u asfaltnoj bazi.

**Indeks debljine kolovozne konstrukcije (D)** (pavement thickness-index, Dickenindex der Fahrbahnbefestigung) je suma umnožaka faktora ekvivalencije (= otpornosti protiv zamaranja) pojedinih materijala ( $a_i$ ), ugrađenih u kolovoznu konstrukciju, i debljina slojeva tih materijala ( $d_i$ ).

**Merodavan ugib/defleksija** (design deflection, massgebende Durchbiegung) je sleganje saobraćajne površine pod određenim opterećenjem sa uticajima na rezultat merenja (korekcijama) uzetim u obzir.

**Merodavno saobraćajno opterećenje** (design traffic loading, massgebende Verkehrsbelastung) je karakteristična vrednost za saobraćajno opterećenje kolovozne konstrukcije jedne vozne trake u planiranom životnom veku; određena je na osnovu prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja (broja vozila) i njegovog porasta te dodatnih faktora: broja i širine voznih traka, najvećeg podužnog nagiba kolovoza i mogućih dinamičkih uticaja; označava sumu broja prelaza nazivnog (nominalnog) osovinskog opterećenja od 100 kN.

**Održavanje** (maintenance, Erhaltung) je zajednički pojam za intervencije, koje su namenjene očuvanju karakteristika i upotrebne vrednosti objekta.

**Ojačanje** (strengthening, Verstärkung) označava ugradnju novih (dodatnih) slojeva materijala na postojeću konstrukciju za poboljšanje njene nosivosti i/ili očuvanje njene upotrebljivosti na odgovarajućem nivou.

**Ponovna upotreba/reciklaža** (recycling, Wiederverwendung/Recycling) označava upotrebu i/ili ugrađivanje materijala koji su već bili upotrebljeni, barem jednom, kao građevinski materijali.

**Presvlačenje** (overlay, Hocheinbau) označava ugrađivanje dodatnog sloja na (oštećenu) postojeću kolovoznu konstrukciju, prema potrebi delimično ostruganu, tako da je nova površina kolovoza viša od prvobitne.

**Sposobnost trenja** (skid resistance, Griffigkeit) označava uticaj kvaliteta materijala i geometrijskog oblika saobraćajne površine na veličinu pogonskih, kočionih i

bočnih sila, koje se mogu prenositi sa pneumatike na točku vozila na kolovoz.

**Starenje** (ageing, Alterung/Altern) označava promenu svojstva građevinskih materijala s vremenom zbog hemijskih i/ili fizičkih uticaja; pretežno znači pogoršanje mehaničkih svojstva, npr. čvrstoće i viskoznosti.

**Tekstura** (texture, Textur) je svojstvo (sitni geometrijski oblik - hrapavost) površine kamenih zrna odnosno slojeva, određeno sastavom, rasporedom, veličinom, udelom i karakteristikama minerala u zrnju odnosno zrna u sloju.

**Životni vek kolovozne konstrukcije** (pavement life time, Lebensdauer der Fahrbahnbefestigung) je projektovano vreme odgovarajuće upotrebljivosti saobraćajne površine u odnosu na bezbednost, udobnost i ekonomičnost vožnje.

### 8.2.8.2 Opšte o izboru postupka

Princip postupka za određivanje ojačanja postojeće kolovozne konstrukcije je na slici 8.2.8.1.

Prema toj osnovi ojačanje postojeće asfaltno kolovozne konstrukcije moguće je izvršiti:

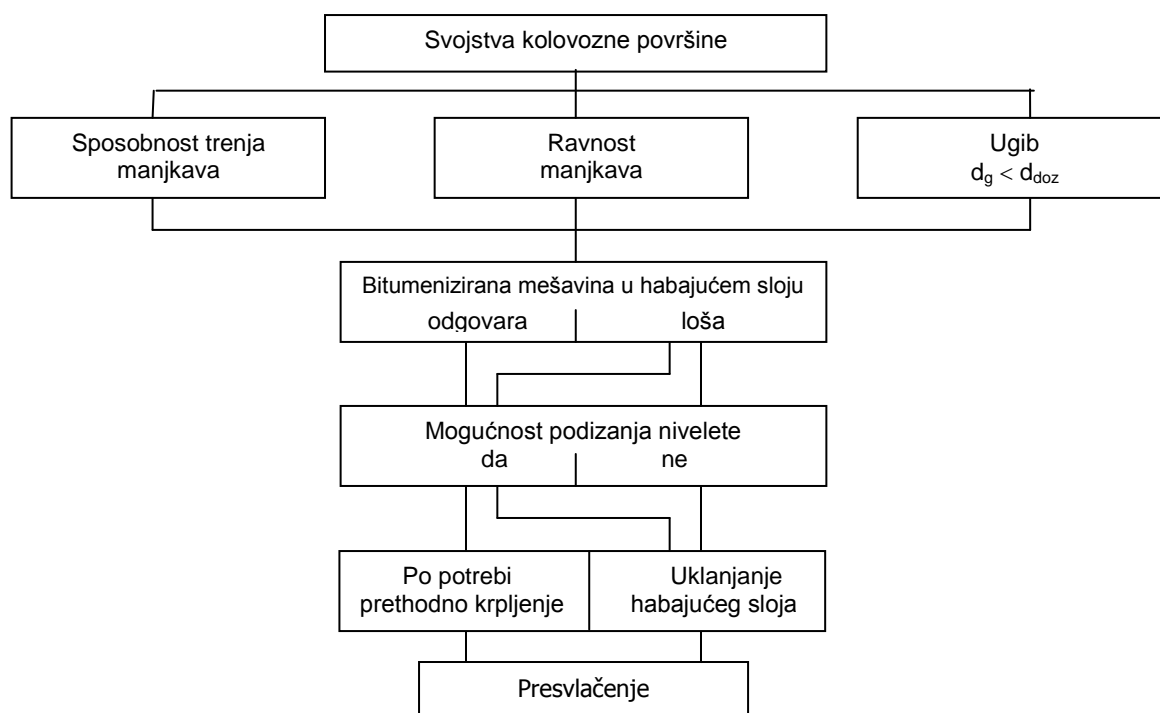
- nadgradnjom,
- delimičnom zamenom, ili
- potpunom zamenom.

Ukoliko je odabran postupak nadgradnje to podrazumeva ugradnju jednog ili više novih slojeva bitumenizirane mešavine na postojeću kolovoznu konstrukciju.

Postupak delimične zamene obuhvata:

- zamenu dela oštećene kolovozne konstrukcije (npr. habajućeg sloja) novim slojevima odgovarajućih materijala, ili
- obradu dela postojeće kolovozne konstrukcije primenom odgovarajućeg postupka za uspostavljanje specifičnih svojstava materijala (npr. stabilizacija nevezanog materijala, remix, itd).

U slučaju potpune zamene, uklanja se celokupna oštećena asfaltna kolovozna konstrukcija, a na novouređenoj podlozi izgrađuje nova. Materijale uklonjene kolovozne konstrukcije moguće je ponovo reciklirati pod uslovom da se na odgovarajući način prerade.



Slika 8.2.8.1: Postupak za određivanje ojačanja postojeće kolovozne konstrukcije

Odluka o tome da li treba da se izvrši nadgradnja ili da se predvidi zamena zavisi od sledećeg:

- prikladnosti postojećih slojeva za deo nove kolovozne konstrukcije,
- unapred postavljenih ograničenja (npr. ograničena visina kolovoza, nosivost mosta, itd),
- uticaja na okolinu, i
- ekonomije.

U ovom priručniku uglavnom je razrađeno ojačanje asfaltne kolovozne konstrukcije primenom nadgradnje. Osnovni uslov za primenu je dobro i detaljno poznavanje svih pojedinosti koje se odnose na postojeće stanje kolovozne konstrukcije i obezbeđenje optimalnih uslova za odvodnjavanje.

Po pravilu, materijale sklone deformaciji treba ukloniti iz postojeće kolovozne konstrukcije. Moguće ih je upotrebiti samo pod uslovom da su na odgovarajući način prerađeni ili da su presvučeni slojevima odgovarajuće stabilnosti.

Na deonicama puta na kojima je kretanje teških kamiona usporeno ili usmereno/kanalisano ili gde je uticaj horizontalnih sila na kolovoznu konstrukciju velik (usled kočenja i ubrzavanja), sve navedene uticaje je potrebno uzeti u obzir prilikom izbora odgovarajućeg materijala za ojačanje.

Osnovni uslov za potrebne analize uzroka oštećenja kao i za donošenje odluke o neophodnosti i izvodljivosti odgovarajućeg ojačanja postojeće kolovozne konstrukcije predstavlja ispitivanje i procena stvarnog stanja celokupne postojeće kolovozne konstrukcije, kao i pojedinih materijala koji su ugrađeni.

Sledeće aktivnosti su izuzetno važne:

- vizuelna procena veličine i obima oštećenja,
- utvrđivanje deformacija i jednolikosti kolovozne konstrukcije merenjem uzdužne i poprečne ravnosti,
- utvrđivanje, na osnovu merenja ugiba postojeće kolovozne konstrukcije, njene nosivosti i jednolikosti, te u određenim slučajevima i vrednosti E-modula ugrađenih materijala (ova merenja se izvode pomoću sprave za merenje ugiba FWD),  
i/ili, na odgovarajući način (npr. sondažnim iskopima)
- utvrditi slepljenost ugrađenih asfaltnih slojeva,
- ispitati upotrebljivost postojećih materijala (bitumenizirane mešavine, nevezanog kamenog materijala) za nove kolovozne konstrukcije, ili prikladnost materijala za nadgradnju,
- sprovesti merenja nosivosti na planumu sloja nevezanog materijala.

### 8.2.8.3 Osnove za projektovanje

#### 8.2.8.3.1 Stanje postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije

Stanje postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije može se odrediti na osnovu

- ugiba postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije, ili
- preostale sposobnosti materijala u postojećoj kolovoznoj konstrukciji da podnesu određeno dodatno saobraćajno opterećenje.

##### 8.2.8.3.1.1 Ugib postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije

Ugib postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije se uglavnom određuje pomoću Lakroa-deflektografa, što je detaljno opisano u tč. 8.2.3.3. Ostali opisani postupci su takođe izvodljivi, npr. sa FWD ili sa Benkelmanovom gredom, na osnovu kojih se utvrđuje odgovarajuća korelacija.

Merenja ugiba treba po pravilu izvesti u periodu kada je najmanja nosivost kolovozne konstrukcije, tj. u proleće, u periodu otapanja snega. Ukoliko se navedena merenja ne izvode u periodu otapanja snega, dobijene rezultate treba korigovati primenom faktora  $c$ , čije informativne vrednosti iznose:

- $c = 1,2$  do  $1,6$  habajući sloj nije ispucan; kameni materijal, koji je malo do srednje osetljiv na smrzavanje (F2) je upotrebljen za nevezani noseći sloj
- $c = 1,6$  do  $2,0$  habajući sloj je ispucan; kameni materijal, koji je srednje osetljiv na smrzavanje je upotrebljen za nevezani noseći sloj.

Prilikom izbora faktora za korekciju  $c$ , potrebno je takođe razmotriti klimatske kao i hidrološke uslove.

Ukoliko je habajući sloj znatno ispucan, kao i ukoliko su klimatski i hidrološki uslovi nepovoljni, vrednost faktora za korekciju treba utvrditi na osnovu merenja.

Merenje ugiba nije dozvoljeno ukoliko je smrznut sloj postojeće kolovozne konstrukcije ili ukoliko temperatura habajućeg sloja prelazi  $25^{\circ}\text{C}$ .

Deonice kolovozne konstrukcije sa homogenim ugibima treba odrediti na osnovu uslova da faktor varijacije:

$$k_v = \frac{s}{d} < 0,35$$

gde je:

- standardno odstupanje

$$s = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} \quad (\text{mm}/100)$$

- prosečni ugib

$$\bar{d} = \frac{\sum d_i}{n} \quad (\text{mm}/100)$$

Merodavan ugib postojeće kolovozne konstrukcije  $d_m$  treba izračunati na osnovu jednačine:

$$d_m = c \cdot (\bar{d} + k_{so} \cdot s) \quad (\text{mm}/100)$$

gde je:

$k_{so}$  faktor uticaja saobraćajnog opterećenja, koji iznosi:

- za puteve sa teškim saobraćajem  $k_{so} = 2,0$
- za puteve sa srednjim saobraćajem  $k_{so} = 1,6$
- za puteve sa lakim saobraćajem  $k_{so} = 1,3$

##### 8.2.8.3.1.2 Stanje postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije

Preostalu iskoristljivost materijala u postojećoj asfaltnoj kolovoznoj konstrukciji moguće je vizuelno proceniti na osnovu informativnih koeficijenata upotrebljivosti  $u$ , koji su navedeni u tabeli 8.2.8.1 kao i primenom jednačine za indeks debljine:

$$D_{po} = \sum (a_i \times d_i \times u_i)$$

gde je:

$D_{po}$  indeks debljine postojeće kolovozne konstrukcije

$a_i$  faktor ekvivalencije (tabela 8.2.5.1)

$d_i$  debljina sloja

$u_i$  koeficijent upotrebljivosti

Indeks debljine postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije  $D_{po}$  moguće je takođe odrediti primenom modifikovanog švajcarskog indeksa (MSI), koji uključuje veličinu i obim karakterističnih oštećenja asfaltnog kolovoza (pukotine, habanje, udarne rupe i krpe), u skladu sa jednačinom:

$$D_{po} = D_{no} \times k_o \quad [\text{cm}]$$

gde je:

$D_{po}$  indeks debljine nove kolovozne konstrukcije

$k_o$  koeficijent oštećenja

Koeficijent oštećenja se određuje u zavisnosti od vrednosti MSI i gustine saobraćaja na državnim putevima (tabela 8.2.8.2).

Tabela 8.2.8.1: Informativni koeficijenti upotrebljivosti materijala u postojećim slojevima asfaltnih kolovoznih konstrukcija

Klasifikacija materijala	Opis stanja slojeva asfaltnih kolovoznih konstrukcija (na osnovu vizuelne procene)	Koeficijent upotrebljivosti [u]
IV	<b>Nevezani noseći sloj:</b>	
	- šljunak ( $a_{nš} = 0,11$ ):	0,5
	- neotporan na smrzavanje	0,9
	- otporan na smrzavanje	
III	- drobljeni kameni materijal ( $a_{nd} = 0,14$ ):	0,6
	- neotporan na smrzavanje	0,9
	- otporan na smrzavanje	
II	<b>Vezani donji noseći sloj:</b>	
	- stabilizovan cementom ( $a_{cd} = 0,20$ ):	0,7
	- veoma ispucan	0,9
	- malo ispucan	
	- stabilizovan bitumenom ( $a_{ad} = 0,24$ ):	0,6
	- veoma ispucan	0,9
I	- malo ispucan	
	<b>Vezani gornji noseći sloj:</b>	
	- bitumenizirani šljunak ( $a_{agš} = 0,28$ ):	0,4
	- veoma ispucan i deformisan	0,5
	- veoma ispucan	0,65
	- veoma deformisan	0,8
	- malo ispucan i/ili deformisan	0,9
	- neoštećen	
	- bitumenizirani drobljeni kameni materijal ( $a_{agd} = 0,35$ ):	0,4
	- veoma ispucan i deformisan	0,5
	- veoma ispucan	0,65
	- veoma deformisan	0,8
- malo ispucan i/ili deformisan	0,9	
- neoštećen		
I	<b>Habajući sloj</b> ( $a_{ah} = 0,42$ ):	
	- veoma ispucan, drobi se i/ili ljušti	0,3
	- veoma ispucan i deformisan	0,4
	- veoma ispucan	0,5
	- veoma deformisan	0,65
	- malo ispucan i/ili deformisan	0,8
- neoštećen	0,9	

Tabela 8.2.8.2: Informativni koeficijenti oštećenja  $k_o$  postojeće asfaltnih kolovoznih konstrukcija

Opis	Gustina saobraćaja	MSI vrednosti		
	PGDG			
Izuzetno velika	> 20.000	< 2,2	2,2 do 2,8	> 2,8
Vrlo velika	> 10.000 do 20.000	< 2,3	2,3 do 2,9	> 2,9
Velika	> 5.000 do 10.000	< 2,4	2,4 do 3,0	> 3,0
Srednja	> 2.000 do 5.000	< 2,5	2,5 do 3,1	> 3,1
Niska	> 1.000 do 2.000	< 2,6	2,6 do 3,2	> 3,2
Vrlo niska	< 1.000	< 2,7	2,7 do 3,3	> 3,3



Koeficijent oštećenja $k_o$	0,7	0,7 do 0,4	0,4
-----------------------------	-----	------------	-----

Vrednosti MSI se određuju primenom jednačine

$$MSI = \sum(A_i \times S_i \times G_i)$$

$G_i$  težina oštećenja  
Osnove za određivanje navedenih karakteristika postojećih asfaltnih kolovoza navedene su u tabelama 8.2.8.3 do 8.2.8.5.

gde je:

$A_i$  procenat oštećene površine kolovoza

$S_i$  jačina oštećenja

Tabela 8.2.8.3: Osnove za određivanje koeficijenta uticaja oštećene površine kolovoza  $A_i$

	Koeficijent uticaja $A_i$		
	1	2	3
Procenat površine kolovoza sa pojedinačnim oštećenjem	< 10%	10 do 50%	> 50%

Tabela 8.2.8.4: Osnove za određivanje koeficijenta uticaja jačine oštećenja  $S_i$

Vrsta oštećenja	Koeficijent uticaja $S_i$		
	1	2	3
Pukotine	uske	široke, uzdužne ili poprečne	široke, mrežaste
Habanje	ispadanje pojedinih zrna iz habajućeg sloja	veće ispadanje zrna	krunjenje habajućeg sloja
Udarne rupe	udarna rupa u postajanju, produblivanje krunjenja	dubina do nevezanog nosećeg sloja, veličina do 300 cm <sup>2</sup>	dubina do nevezanog nosećeg sloja, veličina više od 300 cm <sup>2</sup>
Krpe	krpa izrađena glodanjem postojećeg habajućeg sloja sa ravnom ivicom	površno izrađena krpa bez ravnih ivica	krpe udarnih rupa i otkrunjenih površina sa hladnom smesom bez ravnih ivica

Tabela 8.2.8.5: Osnove za određivanje težine oštećenja asfaltnih kolovoza  $G_i$

Vrsta oštećenja	Koeficijent uticaja $G_i$
Pukotine – p	0,4
Habanje – h	0,3
Udarne rupe – r	0,1
Krpe – k	0,2

Razvijena jednačina za izračunavanje vrednosti MSI za asfaltnu kolovoznu konstrukciju ima oblik:

$$MSI = A_p \times S_p \times 0,4 + A_h \times S_h \times 0,3 + A_r \times S_r \times 0,1 + A_k \times S_k \times 0,2$$

### 8.2.8.3.2 Saobraćajno opterećenje

Određivanje merodavnog saobraćajnog opterećenja  $T_n$  za projektovanje kolovoznih konstrukcija detaljno je određeno u smernicama 8.2.2 Saobraćajno opterećenje.

Projektovano doba trajanja ojačanih asfaltnih kolovoznih konstrukcija treba po pravilu da iznosi 20 godina, a ne sme biti kraće od 10 godina.

### 8.2.8.3.3 Svojstva novih materijala

Određivanje svojstva novih materijala za projektovanje ojačanja postojeće asfaltno kolovozne konstrukcije je detaljno određeno u tč. 8.2.5 Materijali i u sklopu Posebnih tehničkih uslova za građenje puteva, (SRCS, tč. 2.4 Kolovozne konstrukcije).

Prilikom izbora materijala za ojačanje postojeće asfaltno kolovozne konstrukcije, u obzir je potrebno uzeti:

- kvalitet materijala,
- ulogu pojedinih vrsta materijala i slojeva u kolovoznoj konstrukciji, i
- ekonomičnost primene.

Kvalitet materijala predviđenih za ojačanje postojećih asfaltnih kolovoznih konstrukcija mora da bude u skladu sa zahtevima postavljenim u važećim tehničkim propisima.

Međusobni odnos otpornosti ovih materijala na zamor, koji je uslovljen saobraćajnim i klimatskim opterećenjem, tj. faktori ekvivalencije, omogućavaju potrebna poređenja prilikom određivanja vrsta i dimenzija pojedinačnih slojeva za ojačanje postojećih asfaltnih kolovoznih konstrukcija.

### 8.2.8.3.4 Klimatski i hidrološki uslovi

Određivanje klimatskih i hidroloških uslova za projektovanje ojačanja postojećih asfaltnih kolovoznih konstrukcija je detaljno određeno u tč. 8.2.4 Klimatski i hidrološki uslovi.

Kod određivanja merodavnih debljina ojačanih kolovoznih konstrukcija treba voditi računa o ponašanju postojeće asfaltno kolovozne konstrukcije u periodu prošlih oštih klimatskih opterećenja.

### 8.2.8.4 Postupci za projektovanje ojačanja

U cilju određivanja ojačanja postojećih asfaltnih kolovoznih konstrukcija, potrebno je razmotriti postupke koji se zasnivaju na

- rezultatima merenja ugiba, i
- vizuelnoj proceni stvarnog stanja.

Analitičke metode su namenjene za ojačanje u posebnim uslovima.

#### 8.2.8.4.1 Projektovanje na osnovu ugiba

Celokupna potrebna debljina ojačanja postojeće asfaltno kolovozne konstrukcije  $h_{oj}$ , određuje se na osnovu

- određenog merodavnog ugiba postojeće kolovozne konstrukcije  $dm_L$ ,
  - određene granične vrednosti ugiba kao funkcije saobraćajnog opterećenja  $d_{gr}$ , i
  - merodavnog saobraćajnog opterećenja  $T_n$ ,
- bilo
- na osnovu odgovarajućeg dijagrama, ili
  - numeričkom metodom.

Na osnovu međusobne zavisnosti

- karakteristika kvaliteta materijala kolovozne konstrukcije,
  - saobraćajnog opterećenja, i
  - ugiba kolovozne konstrukcije,
- urađen je dijagram u cilju određivanja potrebne debljine ojačanja postojeće asfaltno kolovozne konstrukcije, a na osnovu projektovanih vrednosti ugiba koje su određene primenom rezultata dobijenih merenjem ugiba pomoću Lakroa-deflektografa (slika 8.2.8.1).

Potreban indeks debljine ojačanja sloja  $D_{po}$  treba odrediti na osnovu jednačine:

$$D_{po} = 0,42 \times h_{po} = a_{ah} \times h_n + a_{ag} \times h_{gv}$$

gde je:

- $h_{po}$  potrebna debljina sloja ojačanja (cm)
- $a_{ah}$  faktor ekvivalencije bitumenizirane mešavine za habajući sloj (tabela 8.2.5.1)
- $h_n$  debljina asfaltnog habajućeg sloja (cm)
- $a_{ag}$  faktor ekvivalencije bitumenizirane mešavine za gornji vezani noseći sloj
- $h_{gv}$  debljina asfaltnog vezanog gornjeg nosećeg sloja (cm)

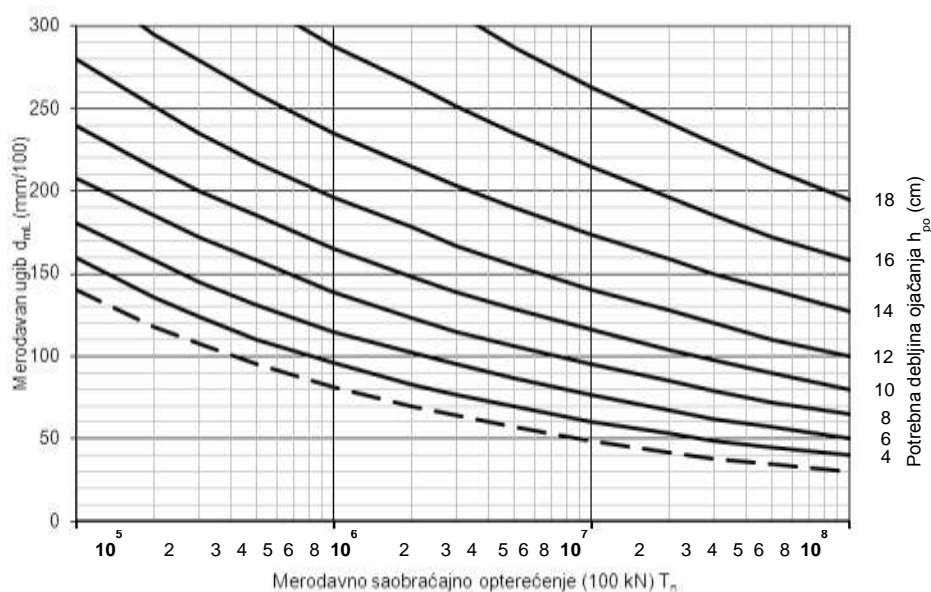
Na osnovu predstavljenog dijagrama moguće je odrediti potrebno ojačanje samo onih asfaltnih kolovoznih konstrukcija čiji se nevezani noseći sloj sastoji od mešavine kamenog materijala koji je otporan na smrzavanje.

Vrednost ugiba ojačane asfaltno kolovozne konstrukcije u periodu najniže nosivosti označena je na dijagramu kao granična vrednost.

Minimalna debljina sloja ojačanja iznosi 4 cm.

vrednost ne sme da bude niža za više od 20% na bilo kojoj lokaciji.

Kao potrebna debljina ojačanja  $h_{po}$  navedena je srednja vrednost. Međutim, navedena



Slika 8.2.8.1: Dijagram za određivanje potrebne debljine slojeva za ojačanje  $h_{po}$  postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije

Ukoliko merodavan ugib  $d_{mL}$  pod opterećenjem točkova od 50 kN iznosi manje od 2,5 mm, logaritamska vrednost ugiba se menja proporcionalno sa debljinom ojačanja. Stoga je potrebnu debljinu ojačanja asfaltne kolovozne konstrukcije moguće informativno izračunati na osnovu sledeće jednačine:

$$h_{po} = 50 \cdot \frac{\log d_{mL}}{\log d_{do}}$$

gde je:

$d_{mL}$  merodavna vrednost ugiba postojeće kolovozne konstrukcije,

$d_{do}$  dozvoljeni ugib definisan u zavisnosti od grupe saobraćajnog opterećenja i projektovanog veka trajanja (tabela 8.2.8.6).

Navedeno numeričko određenje potrebne debljine ojačanja asfaltne kolovozne konstrukcije je naročito pogodno za informativnu proveru debljine koja je određena na osnovu merodavnog ugiba.

Tabela 8.2.8.6: Granične vrednosti ugiba asfaltne kolovozne konstrukcije  $d_{do}$

Grupa saobraćajnog opterećenja	Projektovani životni vek			
	5 godina	10 godina	15 godina	20 godina
Dozvoljen ugib $d_{do}$ (mm)				
Izuzetno teško	0,8	0,7	0,6	0,4
Veoma teško	0,9	0,8	0,75	0,5
Teško	1,2	1,0	0,9	0,6
Srednje	1,5	1,2	1,1	0,8
Lako	1,7	1,4	1,2	1,0
Veoma lako	1,8	1,6	1,4	1,2

#### 8.2.8.4.2 Projektovanje na osnovu procene stanja

Potrebnu debljinu ojačanja postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije moguće je odrediti i na osnovu procene stvarnog stanja uzimajući u obzir sledeće:

- potrebni indeks debljine kolovozne konstrukcije ( $D_{pok}$ ) i indeks debljine preostale upotrebljivosti postojeće kolovozne konstrukcije ( $D_{pr}$ ), ili
- projektovano saobraćajno opterećenje ( $T_n$ ), i već primljeno saobraćajno opterećenje ( $T_{pr}$ ).

Sposobnost postojeće kolovozne konstrukcije da podnese saobraćajno opterećenje treba biti definisana kroz indeks debljine  $D_{pr}$ .

Potrebna debljina kolovozne konstrukcije, koja može da podnese projektovano saobraćajno opterećenje, a koja se iskazuje indeksom debljine  $D_{pok}$ , treba da bude određena u skladu sa postupkom koji se primenjuje za novogradnju, kako je navedeno u tč. 8.2.6.

Nosivost podloge postojeće kolovozne konstrukcije može se oceniti na osnovu vrednosti  $CBR = 15\%$ . Potreban indeks debljine ojačanja iznosi:

$$D_{po1} = D_{pok} - D_{pr} \quad (\text{cm})$$

Ukoliko debljina nevezanog nosećeg sloja, koji je izveden od odgovarajućeg kamenog materijala u postojećoj kolovoznoj konstrukciji  $h_{npr}$ , u odnosu na nosivost podloge kolovozne konstrukcije, ne ispunjava zahteve povećanog saobraćajnog opterećenja  $T_n$ , treba razmotriti mogućnost veće debljine nevezanog nosećeg sloja  $h_{npo}$  pomoću dodatnog indeksa debljine:

$$D_{po2} = 0,11 \odot (h_{npo} - h_{npr}) \quad (\text{cm})$$

Za ukupan potrebni indeks debljine

$$D_{po} = D_{po1} + D_{po2} \quad (\text{cm})$$

debljinu dodatnog zastora za ojačanje postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije treba odrediti primenom jednačine:

$$D_{po} = a_{ah} \odot h_h + a_{ag} \odot h_{gv}$$

Postupak određivanja potrebnog ojačanja postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije na osnovu saobraćajnog opterećenja je prikladan samo ukoliko na površini kolovozne

konstrukcije još nije uočeno oštećenje usled zamora ugrađenih materijala.

S obzirom da je postojeća asfaltna konstrukcija već preuzela deo  $T_{n1}$  projektovanog saobraćajnog opterećenja  $T_n$ , takođe može da preuzme i preostali deo, tj:

$$T_{n2} = T_n - T_{n1}$$

Navedeni kapacitet kolovozne konstrukcije moguće je odrediti na osnovu odgovarajućeg indeksa debljine  $D_{pr}$ .

Dalji postupak određivanja debljine ojačanja postojeće asfaltne kolovozne konstrukcije je isti kao što je opisano za novi asfaltni kolovoz u tč. 8.2.6.

#### 8.2.8.4.3 Analitički postupak projektovanja

Pored postupka projektovanja potrebnog ojačanja postojećih asfaltnih kolovoznih konstrukcija na osnovu njihovog ugiba i na osnovu njihovog stvarnog stanja, moguće je takođe usvojiti i analitičke metode koje se zasnivaju na kompjuterskim programima.

Osnovni potrebni podaci za analitički metod određivanja predviđenog ojačanja su sledeći:

- svojstva postojeće kolovozne konstrukcije:
- debljine slojeva
- E-moduli materijala
- nosivost podloge (nevezanog nosećeg sloja)
- merodavno saobraćajno opterećenje u predviđenom životnom veku
- upotrebljivost puta na kraju predviđenog životnog veka uzimajući u obzir lokalne uslove.

Analitičke metode određivanja potrebnog ojačanja postojećih kolovoznih konstrukcija su uglavnom prikladne za proveravanje napona koji se javljaju usled opterećenja koje stvara ugibanje (zatezanje) ojačane asfaltne kolovozne konstrukcije.

#### 8.2.8.5 Provera uticaja smrzavanja

U slučaju da je ukupna debljina materijala koji su otporni na mraz u ojačanoj asfaltnoj kolovoznoj konstrukciji manja od minimalne potrebne debljine  $h_{min}$ , debljinu ojačanja je potrebno povećati u skladu sa tim.

Ukoliko ojačanje sa debljim asfaltnim slojevima nije ekonomično, na postojeću kolovoznu konstrukciju je potrebno prvo ugraditi nevezani noseći sloj od kamenih

materijala, a zatim (s obzirom na potreban indeks debljine ojačanja) odgovarajuće vezane slojeve. Minimalna debljina nevezanog sloja kamenog materijala treba da iznosi 10 cm.

## 8.2.9 REKONSTRUKCIJA CEMENTNO-BETONSKIH KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA

### 8.2.9.1 Uvodni deo

#### 8.2.9.1.1 Opšte

Postupak projektovanja rekonstrukcija cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija, određen u ovom priručniku, pogodan je za primenu za sve saobraćajne površine predviđene za odvijanje motornog saobraćaja.

Projektovanjem rekonstrukcija postojećih cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija određuje se

- nadgradnja, ili
- zamena postojećih cementno-betonskih ploča, u zavisnosti od
  - stanja postojećeg kolovoza,
  - predviđenog saobraćajnog opterećenja,
  - klimatskih i hidroloških uslova, i
  - kvaliteta materijala.

Projektovanje rekonstrukcije postojećih cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija se zasniva na pretpostavci da su na određenoj deonici puta slični svi uticaji, kao i da se neće znatno menjati u poređenju sa predviđenima.

Sadržaj ovog priručnika ne može se tumačiti i primenjivati tako da se spreči ili uslovi odgovarajuća primena građevinskih proizvoda odobrenih za upotrebu.

#### 8.2.9.1.2 Terminologija

**Asfaltni habajući sloj** (asphalt wearing course, Asphaltverschleisschicht) je gornji sloj kolovozne konstrukcije od mešavine kamenih zrna određenog sastava (punilo, pesak, sitnež, šljunak) i bitumenskog veziva.

**Bitumenizirana/asfaltna mešavina** (asphalt mix/mixture, Asphaltmischgut) je mešavina kamenih zrna punila, peska, sitneži i/ili šljunka, te bitumenskog veziva i eventualno potrebnih dodataka, po pravilu proizvedena po vrućem postupku u asfaltnoj bazi.

**Ekvivalentno saobraćajno opterećenje** (equivalent traffic load, äquivalente Verkehrslast) je opterećenje, iskazano preko broja prolaza nazivnog (nominalnog) osovinskog opterećenja (po pravilu 100 kN).

**Hemijski dodatak** (chemical additive, chemisches Zusatzmittel) je materijal koji se dodaje u toku mešanja cementnog betona u maloj količini u odnosu na masu cementa, kako bi se modifikovala svojstva svežeg i očvrstlog cementnog betona.

**Kotva/anker** (anchor, Anker) je ugrađen deo (šipka) od rebrastog čelika za ojačanje u podužnim spojnica između ploča od cementnog betona koji sprečava njihovo razmicanje.

**Moždanic** (dowel, Dübel) je umetnut deo (šipka) od okruglog čelika za ojačavanje ploča od cementnog betona na poprečnim spojevima, koji omogućava razmicanje i prenos opterećenja.

**Posteljica** (capping layer, verfestigter Unterbau) je gornji (završni) sloj nasipa ili temeljnog tla, deo do 50 cm, sa posebnim svojstvima (povećana nosivost, smanjena osetljivost na uticaje mraza), postignutim pomoću građevinsko-tehničkih zahvata (poboljšanje, utvrđenje, stabilizacija).

**Pritisnuta (radna) spojnica** (compressed/construction joint, Pressfuge/Arbeitsfuge) označava, zbog uslova rada, prekinut građevinski element u celoj debljini (dnevna, uzdužna, poprečna).

### 8.2.9.2 Opšte o izboru postupka

Odluka o tome da li treba da se izvrši nadgradnja ili da se predvidi zamena postojećih cementno-betonskih ploča zavisi od

- prikladnosti postojeće cementno-betonske kolovozne konstrukcije za deo rekonstruirane nove,
- unapred postavljenih ograničenja (visina kolovoza, nosivost mosta i dr.), i
- ekonomije (ponovna upotreba materijala uklonjenih slojeva postojeće kolovozne konstrukcije – reciklaža).

### 8.2.9.3 Postupci za projektovanje rekonstrukcije

Specifična svojstva cementno-betonskih kolovoznih konstrukcija i karakteristike oštećenja uslovljavaju način popravke.

#### 8.2.9.3.1 Nadgradnja

Rekonstrukcija postojećeg cementno-betonskog kolovoza može da obuhvata nadgradnju

- uglađene i/ili neravne površine cementno-betonskih ploča, ili
- ispucanih cementno-betonskih ploča.

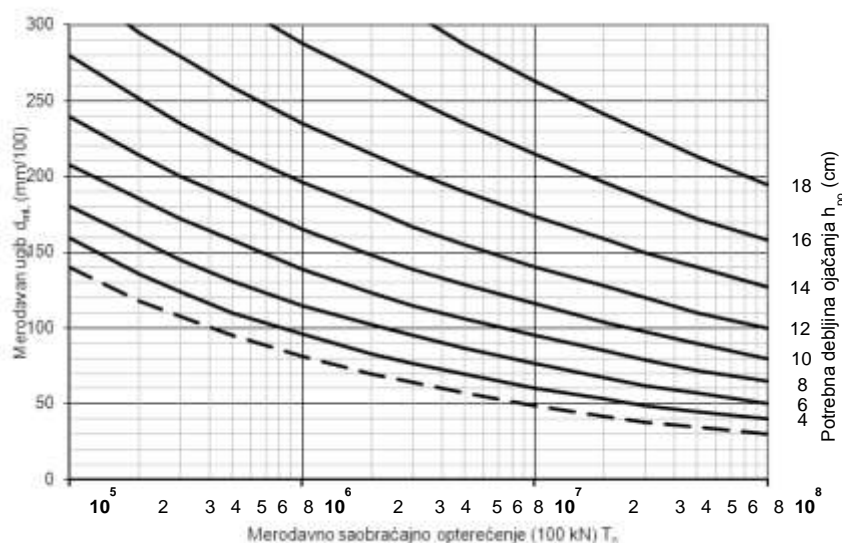
Projektovanjem popravki po pravilu se određuje debljina asfaltnih slojeva za nadgradnju.

Popravka uglađene ili neravne površine dobro nosivog postojećeg cementno-betonskog kolovoza uslovljava primenu postupka glodalicom i ugradnju asfaltnog habajućeg sloja u debljini koja odgovara tehnologiji (4 do 5 cm). U asfaltnom sloju potrebno je iznad spojnica u postojećim cementno-betonskim pločama izraditi spojnice i zatopiti ih odgovarajućom bitumenskom mešavinom za zalivanje.

Postupak rekonstrukcije postojećih kolovoznih konstrukcija sa ispucanim cementno-betonskim pločama uslovljava u prvom redu drobljenje ploča u sitne komade (veličine stranica do 40 cm), dobro naleganje

i uvaljanje kao i osiguranje eventualno potrebnog dodatnog odvodnjavanja. U zavisnosti od projektovanog saobraćajnog opterećenja na takvu pripremljenu podlogu treba ugraditi 8 do 10 cm debeli sloj bitumenizirane mešavine (za asfaltne gornje noseće slojeve – uslovi za kvalitet proizvodnje i ugradnje odgovarajuće bitumenizirane mešavine određeni su u sklopu Posebnih tehničkih uslova za građenje (SRCS, tč. 2.4.3).

Na osnovu rezultata merenja ugiba  $d_{mL}$  (tč. 8.2.3 Nosivost) na površini asfaltnog sloja i projektovanog (merodavnog) saobraćajnog opterećenja  $T_n$  (tč. 8.2.2 Saobraćajno opterećenje) treba odrediti debljinu još potrebnih slojeva bitumeniziranih mešavina za dogradnju  $d_{do}$  već delimično preuređene postojeće cementno-betonske kolovozne konstrukcije sa primenom dijagrama na slici 8.2.9.1.



Slika 8.2.9.1: Dijagram za određivanje potrebne debljine asfaltnih slojeva za još potrebnu dogradnju  $d_{do}$  postojeće cementno-betonske kolovozne konstrukcije

### 8.2.9.3.2 Zamena

Ukoliko stanje veće površine postojeće cementno-betonske kolovozne konstrukcije (ispucalost, neravnost, nedostaci u podlozi i sl.) uslovljava zamenu, projektovanje nove cementno-betonske kolovozne konstrukcije treba po pravilu izvršiti po postupku koji je opisan u tč. 8.2.7 Nove cementno-betonske kolovozne konstrukcije.

Zamena oštećenih pojedinih cementno-betonskih ploča uslovljava detaljnu analizu uticaja na korišćenje puta kao i izvođenja

ekonomičnosti postupka. Analiza treba da uključuje i mogućnost zamene pojedinih cementno-betonskih ploča sa odgovarajućim asfaltnim slojevima.

Kod zamene pojedinih postojećih cementno-betonskih ploča sa novim iz cementnog betona potrebno je da se osigura prikladno povezivanje na spojnica sa moždanicima i kotvama.