

# Smernice za Projektovanje Lokalnih Puteva (SPLP)

## 2. KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE

## Sadržaj

<b>1 Opšte</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Saobraćajno opterećenje</b> .....	<b>1</b>
2.1 Merodavno saobraćajno opterećenje .....	1
2.2 Saobraćajno opterećenje prema standardu SRPS U.C4.010 .....	2
2.3 Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji .....	3
2.4 EU praksa .....	5
2.5 Saobraćajno opterećenje lokalnih puteva .....	6
<b>3 Klimatski i hidrološki uticaji</b> .....	<b>7</b>
3.1 Klimatski uticaji .....	7
3.2 Hidrološki uticaji .....	9
3.3 Mere zaštite kolovozne konstrukcije .....	10
<b>4 Podloga kolovozne konstrukcije</b> .....	<b>13</b>
4.1 Nosivost posteljice .....	13
4.2 Zahtevani kvalitet materijala u posteljici .....	15
4.3 Metode ispitivanja (terensko i laboratorijsko) .....	16
4.4 Mere u cilju poboljšanja mehaničkih karakteristika podloge .....	18
4.5 Nosivost podloge lokalnih puteva .....	20
<b>5 Materijali za izradu kolovoznih konstrukcija</b> .....	<b>21</b>
5.1 Veziva .....	21
5.2 Kameni agregati .....	22
5.3 Reciklirani materijali .....	25
5.4 Izbor materijala za izradu lokalnih puteva .....	26
<b>6 Tipovi kolovozne konstrukcije</b> .....	<b>27</b>
6.1 Kolovozna konstrukcija bez zastora .....	28
6.2 Kolovozna konstrukcija sa zastorom bez veziva .....	29
6.3 Kolovozna konstrukcija sa fleksibilnim zastorom .....	31
6.4 Kolovozna konstrukcija sa krutim zastorom .....	37
6.5 Izbor tipa kolovozne konstrukcije .....	39
<b>7 Dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija</b> .....	<b>41</b>
7.1 Struktura kolovozne konstrukcije .....	43
7.2 Postupci dimenzionisanja .....	45
7.2.1 Dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija primenom SRPS standarda .....	45
7.2.2 Analitičko-empirijska metoda dimenzionisanja kolovoznih konstrukcija .....	62
7.2.3 Kataloško projektovanje .....	68
<b>8 Ocena funkcionalnog i strukturnog stanja kolovoznih konstrukcija</b> .....	<b>77</b>
8.1 Ocena funkcionalnog stanja kolovoznih konstrukcija .....	77
8.2 Ocena strukturnog stanja kolovoznih konstrukcija .....	80
<b>9 Održivost kolovozne konstrukcije</b> .....	<b>84</b>
9.1 Životni ciklus kolovozne konstrukcije .....	84
9.2 Savremeni postupci obnove kolovozne konstrukcije .....	88
<b>Spisak literature</b> .....	<b>90</b>

## **Spisak tabela**

Tabela 1: Prosečan broj standardnih osovina za teško teretno vozilo .....	3
Tabela 2: Podela saobraćajnog opterećenja na grupe .....	3
Tabela 3: Prosečne vrednosti faktora ekvivalencije za reprezentativna vozila.....	4
Tabela 4: Prosečne vrednosti faktora ekvivalencije za kamione.....	4
Tabela 5: Kategorizacija saobraćajnog opterećenja u grupe saobraćajnog opterećenja .....	5
Tabela 6: Srednji ekvivalentni faktor za različite kategorije vozila i.....	6
Tabela 7: Dodeljivanje klase saobraćajnog opterećenja na osnovu saobraćaja teških vozila za puteve na saobraćajnoj mreži sa slabijim intenzitetom *).....	6
Tabela 8: Izmerene maksimalne dubine smrzavanja na teritoriji R. Srbije.....	9
Tabela 9: Minimalna potrebna debljina kolovozne konstrukcije $h_{min}$ .....	11
Tabela 10: Kategorizacija materijala na osnovu njihove osetljivosti na smrzavanje.....	11
Tabela 11: Klasifikacija posteljice u odnosu na vrednost CBR-a .....	13
Tabela 12: Procenjene vrednosti CBR .....	14
Tabela 13: Približna korelacija osnovnih parametara nosivosti I deformabilnosti tla.....	15
Tabela 14: Procenjene vrednosti modula reakcije tla .....	15
Tabela 15: Zahtevi za kvalitetom materijala u posteljici.....	15
Tabela 16: Kriterijumi za ocenu kvaliteta posteljice .....	16
Tabela 17: Uslov minimalne nosivosti posteljice .....	20
Tabela 18 : Tehnički zahtevi za stensku masu za proizvodnju agregata za izradu asfaltnih mešavina za vezne i habajuće slojeve kolovoznih konstrukcija .....	24
Tabela 19: Zahtevi za otpornost prema drobljenju za prirodni agregat za izradu asfaltnih mešavina za donje i gornje noseće slojeve kolovoznih konstrukcija .....	24
Tabela 20: Zahtevi za otpornost prema drobljenju za drobljeni agregat za izradu asfaltnih mešavina za habajuće slojeve kolovoznih konstrukcija .....	25
Tabela 21: Prosečne vrednosti koeficijenata zamene materijala .....	46
Tabela 22: Korelacioni odnosi za različite slojeve i materijale su .....	52
Tabela 23 : Izbor asfaltne mešavine u zavisnosti od grupe saobraćajnog opterećenja .....	54
Tabela 24: Granične debljine slojeva bitumeniziranih mešavina za asfaltne habajuće slojeve ..	54
Tabela 25: Granične debljine slojeva bitumeniziranih mešavina za asfaltne noseće slojeve .....	54
Tabela 26: Koeficijenti dreniranja $C_d$ .....	59
Tabela 27: Korekcija $K_{eff}$ zbog gubitka nosivosti LS .....	60
Tabela 28: Austrijski katalog - klasifikacione grupe prema saobraćajnom opterećenju.....	68
Tabela 29: Austrijski katalog - nevezane mešavine za gornje noseće slojeve .....	71
Tabela 30: Tipske kolovozne konstrukcije sa asfaltnim zastorom.....	73
Tabela 31: Tipske kolovozne konstrukcije sa betonskim pločama/zastorom .....	74
Tabela 32: Tipske kolovozne konstrukcije sa betonskim blokovima/kamenom kockom sa nosećim slojevima od nevezane mineralne mešavine .....	75

Tabela 33: Tipske kolovozne konstrukcije sa betonskim blokovima/kamenom kockom na sloju drenažnog betona .....	76
Tabela 34: Parametri defleksionog bazena .....	82
Tabela 35: Kriterijum ugiba ispod opterećenja i SCI kriterijum za lokalne puteve .....	82
Tabela 36: Kriterijum ugiba za definisanje stanja podloge.....	82
Tabela 37: Granične vrednosti ugiba .....	83
Tabela 38: Predlog intervencija u zavisnosti od stanja kolovoza .....	83
Tabela 39: Očekivani vek trajnosti u zavisnosti od primenjenog tretmana.....	86

## **Spisak slika/grafika**

Slika 1: Delimična zamena materijala u posteljici osetljivoj na dejstvo mraza .....	12
Slika 2: Dinamički konusni penetrometar .....	17
Slika 3 : Korelacija $E_{v2}$ , $E_{vd}$ i CBR .....	18
Slika 4 : Deflektometar male težine (Low Drop Weight Tester – LDWT) .....	18
Slika 5: Proces izbora rešenja za eliminisanje/smanjenje uticaja problematičnog tla na performanse kolovozne konstrukcije .....	19
Slika 6: Nalazišta kamenih materijala u Republici Srbiji .....	23
Slika 7: Najčešće primenjivi tipovi kolovozne konstrukcije na lokalnim putevima .....	27
Slika 8 : Kriterijum izbora konstrukcije – Trošak gradnje .....	40
Slika 9 : Kriterijum izbora konstrukcije – Trošak održavanja.....	40
Slika 10 : Kriterijum izbora konstrukcije – Projektni vek konstrukcije.....	40
Slika 11: Standardni proces projektovanja kolovozne konstrukcije.....	42
Slika 12 : Struktura kolovozne konstrukcije.....	43
Slika 13: Dijagram za dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija od asfaltnih slojeva i nosivih slojeva od nevezanog agregata.....	47
Slika 14: Dijagram za dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija od asfaltnih slojeva i nosivih slojeva od cementom stabilizovanog zrnastog kamenog materijala.....	47
Slika 15: Dijagram za određivanje konstante bubrenja .....	49
Slika 16: Određivanje vertikalnog izdizanja usled bubrenja .....	50
Slika 17: Dijagram za procenu konstante izdizanja usled mraza.....	50
Slika 18: Dijagram za određivanje strukturnog broja kolovozne konstrukcije SN.....	53
Slika 19: Dijagram za procenu složenog modula reakcije podloge pod pretpostavkom da je debljina sloja tla ispod posteljice veća od 3 metra .....	56
Slika 20 : Dijagram za korekciju modula reakcije za nedeformabilne podloge .....	57
Slika 21 : Dijagram za ocenu relativnog oštećenja na osnovu debljine ploče i nosivosti podloge.....	57
Slika 22: Računski model pretpostavljene kolovozne konstrukcije.....	59
Slika 23 : Korekcija stvarnog modula reakcije posteljice usled gubitka nosivosti u donjoj podlozi.....	60
Slika 24: Dijagram za određivanje debljine cementbetonske ploče .....	60
Slika 25: Postupak dimenzionisanja primenom analitičko-empirijske metode .....	63
Slika 26: Nomogram za određivanje modula krutosti bitumenske mešavine .....	65
Slika 27: Dijagram zamora asfaltne mešavine .....	66
Slika 28: Standardna PCI skala .....	79
Slika 29: Određivanje korigovane vrednosti negativnih poena .....	79
Slika 30: FWD uređaj.....	80
Slika 31: Grafička prezentacija snimljenih ugiba .....	81
Slika 32: Defleksioni bazen .....	82
Slika 33: Životni ciklus kolovozne konstrukcije.....	84
Slika 34: Izbor tretmana u zavisnosti od stanja kolovozne konstrukcije .....	86

# KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE

## 1 Opšte

Jedna od specifičnosti lokalnih puteva je široka zastupljenost svih tipova kolovozne konstrukcije, počev od puteva bez zastora, pa do puteva sa savremenim fleksibilnim ili krutim kolovoznim zastrorom.

Osnovne karakteristike lokalnih puteva koje utiču na dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija su:

- mali obim saobraćaja i moguća pojava vozila sa velikim osovinskim opterećenjem
- veliki uticaj klimatskih faktora
- veća tolerantnost strukturnih i funkcionalnih defekta
- finansijska ograničenja tokom izgradnje i održavanja

Za održivost performansi kolovozne konstrukcije od presudnog uticaja su kvalitet materijala i ugradnje, izbor odgovarajuće debljine slojeva konstrukcije i redovno održavanje. Preduslov održivosti strukturnih i funkcionalnih karakteristika kolovozne konstrukcije lokalnih puteva je primena odobrenih postupaka dimenzionisanja, adekvatnih tehničkih specifikacija za materijale i izvođenje radova, redovni monitoring stanja konstrukcije i pravovremeno sprovođenje mera održavanja i rehabilitacija.

## 2 Saobraćajno opterećenje

Saobraćajno opterećenje je opterećenje izraženo preko broja vozila (PGDS-prosečan godišnji dnevni saobraćaj) ili preko broja prelaza nazivnog (nominalnog) osovinskog opterećenja od 82kN ili 100 kN, koje će proći kroz izabrani poprečni presek puta u definisanom periodu trajanja.

Kolovozna konstrukcija je izložena pokretnom saobraćajnom opterećenju koje izaziva naprezanje u gornjim i donjim slojevima kolovozne konstrukcije. Ponovljeno dejstvo opterećenja uzrokuje oštećenje od zamora materijala u slojevima koji se na kraju deformišu i pucaju, što dovodi do trajne deformacije površine kolovoza. Teški kamioni povećavaju habanje kolovoza i na taj način doprinose prevremenom zamoru kolovoza. Kolovoz dostiže kraj svog životnog veka kada obim oštećenja i/ili trajne deformacije površine premaši nivo prihvatljivosti za bezbednost, udobnost i ekonomičnost transporta.

Zamor materijala kolovozne konstrukcije zavisi od:

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

Saobraćaj različitih vozila i tereta svodi se na zbirni broj prolaza opterećene referentne osovine, tj. ekvivalentni saobraćaj koji bi proizveo isti obim oštećenja kao i stvarna kombinacija različitih saobraćajnih opterećenja. Na osnovu ekvivalentnog broja standardnih osovina definišu se dozvoljenja naprezanja i deformacije slojeva kolovozne konstrukcije u cilju dostizanja projektnog veka konstrukcije.

### 2.1 Merodavno saobraćajno opterećenje

Proračun saobraćajnog opterećenja za potrebe dimenzionisanja kolovoznih konstrukcija na putevima u Srbiji vrši se u skladu sa:

- standardom SRPS U.C4.010 – Određivanje ukupnog ekvivalentnog saobraćajnog opterećenja za dimenzionisanje asfaltnih kolovoznih konstrukcija (1981) i
- priručnikom za projektovanje puteva u Republici Srbiji (Smernice – „Putevi Srbije“ 2012)

Primenom metodologije propisane ovim dokumentima izračunava se merodavno saobraćajno opterećenje za dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija u odnosu na standardnu osovinu i kategoriju vozila.

Merodavno saobraćajno opterećenje je karakteristična vrednost za saobraćajno opterećenje kolovozne konstrukcije u planiranom projektnom periodu koja se određuje na osnovu prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja izraženog preko broja prelaza nominalnog osovinskog opterećenja, rasta saobraćaja tokom projektnog perioda i drugih uticajnih faktora (broj i širina voznih traka, podužni nagib puta,...).

## 2.2 Saobraćajno opterećenje prema standardu SRPS U.C4.010

Prema standardu SRPS U.C4.010 (1981) ukupno ekvivalentno saobraćajno opterećenje je proračunska vrednost ukupnog broja standardnih osovina u projektnom periodu na merodavnoj saobraćajnoj traci za dimenzionisanje kolovozne konstrukcije. Pod pojmom standardna osovina podrazumeva se jednostruka osovina sa opterećenjem od **82 kN**. Standardna osovina ima po dva dupla točka, od kojih svaki prenosi opterećenje od 20.5 kN.

Pri analizi saobraćajnog opterećenja uzimaju se u obzir sledeći parametri:

- prosečni godišnji dnevni broj teretnih vozila u početnoj godini eksploatacije puta
- prosečna godišnja stopa rasta broja teretnih vozila u projektnom periodu dimenzionisanja konstrukcije
- osovinsko opterećenje reprezentativnih vrsta vozila
- prosečna iskorišćenost nosivosti teških teretnih vozila
- raspodela saobraćajnog opterećenja po voznim trakama

Ako ne postoje podaci o brojanju vozila za lokalne puteve (IV i V saobraćajni razred) može se prosečni godišnji dnevni broj teških teretnih vozila predvideti približno na osnovu procene. Takođe ako se ne raspolaže detaljnim podacima o iskorišćenosti nosivosti vozila, usvaja se u proračunu za sva vozila da prosečna iskorišćenost nosivosti vozila iznosi 70%.

Osovinsko opterećenje pojedinih analiziranih teških teretnih vozila preračunava se u standardno osovinsko opterećenje pomoću odgovarajućih faktora ekvivalencije  $f_e$  (dati u okviru standarda).

Prosečno dnevno ekvivalentno saobraćajno opterećenje na merodavnoj saobraćajnoj traci ( $T_d$ ) određuje se prema sledećoj formuli:

$$T_d = \sum_{i=1}^i F_e \times n_i$$

gde je:

$F_e$  – ukupan broj standardnih osovina za pojedine vrste teških teretnih vozila (dobija se sumiranjem faktora ekvivalencije za sve osovine vozila)

$n_i$  – prosečan godišnji dnevni broj pojedinih teških teretnih vozila u početnoj godini eksploatacije na najopterećenijoj saobraćajnoj traci

Pri dimenzionisanju asfaltnih kolovoznih konstrukcija kod lokalnih puteva (IV i V saobraćajni razred) može se primeniti približno određivanje ukupnog ekvivalentnog saobraćajnog opterećenja. Po ovom postupku prosečan godišnji dnevni broj teških teretnih vozila u jednom smeru u početnoj godini eksploatacije procenjuje se iz prosečnog dnevnog godišnjeg saobraćaja (PGDS) svih motornih vozila za razmatrani saobraćajni razred.

Prosečno godišnje dnevno ekvivalentno saobraćajno opterećenje teških teretnih vozila određuje se orijentaciono prema izrazu:

$$T_d = k \times n$$

gde je:

$k$  – prosečan broj standardnih osovina za jedno teško teretno vozilo

$n$  – procenjeni prosečni godišnji dnevni broj svih teških teretnih vozila u najopterećenijoj saobraćajnoj traci u početnoj godini eksploatacije puta

Prosečan broj standardnih osovina k određuje se u zavisnosti od procenjenog prosečnog godišnjeg dnevnog broja svih teških teretnih vozila u jednom saobraćajnom smeru puta, prema sledećoj tabeli:

Tabela 1: Prosečan broj standardnih osovina za teško teretno vozilo

Prosečan godišnji broj teških teretnih vozila u jednom saobraćajnom smeru puta	Prosečan broj standardnih osovina od 82 kN za jedno teško teretno vozilo
>500	1,2
100-500	0,75
<100	0,45

Ukupno ekvivalentno saobraćajno opterećenje teških teretnih vozila u početnoj godini eksploatacije ( $T_g$ ) dobija se iz izraza:

$$T_g = T_d \times 365$$

Ukupno ekvivalentno saobraćajno opterećenje teških teretnih vozila u projektom periodu dimenzionisanja ( $T_u$ ) određuje se na osnovu ukupnog ekvivalentnog saobraćajnog opterećenja u početnoj godini eksploatacije ( $T_g$ ) uzimajući u obzir prosečnu godišnju stopu rasta broja teških teretnih vozila.

Ukupno ekvivalentno saobraćajno opterećenje teških teretnih vozila u projektom periodu za dimenzionisanje asfaltnih kolovoznih konstrukcija vangradskih javnih puteva iznosi:

$$T_u = T_g \times \sum_{i=1}^p \left(1 + \frac{r}{100}\right)^i$$

gde je:

p – projektni period dimenzionisanja kolovozne konstrukcije u godinama

r – prosečna godišnja stopa rasta broja teških teretnih vozila

Ovim standardom je u zavisnosti od veličine ukupnog ekvivalentnog saobraćajnog opterećenja u projektom periodu dimenzionisanja izvršena podela saobraćajnog opterećenja na grupe

Tabela 2: Podela saobraćajnog opterećenja na grupe

Grupa saobraćajnog opterećenja	Ukupno ekvivalentno osovinsko opterećenje od 82kN ( $T_u$ ) u projektom periodu
vrlo teško	$>7 \times 10^6$
teško	$2 \times 10^6 - 7 \times 10^6$
srednje	$7 \times 10^5 - 2 \times 10^6$
lako	$2 \times 10^5 - 7 \times 10^5$
vrlo lako	$<2 \times 10^5$

### 2.3 Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji

(Smernice – „Putevi Srbije“ 2012)

U Srbiji je u primeni i postupak opisan u priručniku za projektovanje puteva iz 2012. godine. Prema ovom postupku saobraćajno opterećenje se izražava preko nominalnog osovinskog opterećenja jednostruke osovine vozila od 100 kN koje se prenosi točkovima na voznu površinu kolovozne konstrukcije.

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

$$FE_i = f_{o,i} \times (f_{k,i} \times L_{stat,i})^4 \times 10^{-8}$$

gde je:

$f_{o,1}$  – faktor koji zavisi od tipa osovine (jednostruka osovina  $f_{o,1}=1.0$ , dvostruka i trostruka osovina  $f_{o,2}=0.7156$ )

$f_{k,i}$  – tip pneumatika (jednostruk pneumatika  $f_{k1}=1.0$ , dupli pneumatik  $f_{k2}=0.9$ , super single  $f_{k3}=0.97$ )

Procena iskorišćenosti nosivosti vozila se vrši preko faktora ekvivalentnosti, tako da se isti računaju sa procenjenim opterećenjem osovina vozila.

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

$$FE_v = \sum FE_i$$

Ako nisu poznate karakteristike reprezentativnih vozila mogu se koristiti prosečne vrednosti faktora ekvivalencije  $FE_v$  iz sledeće tabele:

Tabela 3: Prosečne vrednosti faktora ekvivalencije za reprezentativna vozila

Reprezentativno vozilo	Prosečan faktor ekvivalencije $FE_v$
• putničko vozilo	0.00003
• autobus	0.55
• kamion:	
○ laki	0.004
○ srednji	0.10
○ teški	0.50
○ teški sa prikolicom	0.90

U slučaju da spektar teških kamiona nije poznat, mogu se primeniti prosečne vrednosti faktora ekvivalencije u zavisnosti od prosečnog broja teških kamiona po danu.

Tabela 4: Prosečne vrednosti faktora ekvivalencije za kamione

Prosečan broj teških kamiona po danu	Prosečan faktor ekvivalencije $FE_v$
< 200	0.40
200 - 1 000	0.60
> 1 000	0.80

Pregledom priloga u kome je dat proračun faktora ekvivalencije merodavnih vozila (npr. merodavno vučno vozilo sa poluprikolicom – TPP) uočene su računске greške, koje bi trebalo otkloniti.

Po određivanju faktora ekvivalencije za reprezentativna vozila, izračunava se dnevno saobraćajno opterećenje prema:

$$T_d = \sum FE_{v,i} \times n_{v,i}$$

gde je:

$T_d$  – dnevno saobraćajno opterećenje

$FE_v$  – faktor ekvivalencije reprezentativnog vozila  $i$

$n_v$  – broj reprezentativnih vozila  $i$  po danu

Merodavno saobraćajno opterećenje prema kome se dimenzioniše kolovozna konstrukcija definiše se na osnovu:

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

Merodavno saobraćajno opterećenje izračunava se prema sledećoj formuli:

$$T_n = 365 \times T_d \times f_{pp} \times f_{st} \times f_{pn} \times f_{du} \times f_{po}$$

gde je:

$T_n$  – merodavno saobraćajno opterećenje za period od  $n$  godina  
 $T_d$  – ekvivalentno dnevno saobraćajno opterećenje  
 $f_{pp}$  – faktor poprečnog preseka kolovoza (broj saobraćajnih traka)  
 $f_{st}$  – faktor širine saobraćajne trake  
 $f_{pn}$  – faktor podužnog nagiba nivelete kolovoza  
 $f_{du}$  – faktor dodatnih dinamičkih uticaja  
 $f_{po}$  – faktor povećanja saobraćajnog opterećenja u periodu od  $n$  godina

U pravilniku za projektovanje puteva izvršena je kategorizacija saobraćajnog opterećenja u zavisnosti od broja prelaza nominalnog osovinskog opterećenja po danu i za period od 20 godina, koje je relevantno za određivanje karakteristika materijala za izgradnju kolovoznih konstrukcija.

Tabela 5: 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	800 – 3.000	$6 \times 10^6$ – $2 \times 10^7$
Teško	300 – 800	$2 \times 10^6$ – $6 \times 10^6$
Srednje	80 – 300	$6 \times 10^5$ – $2 \times 10^6$
Lako	30 – 80	$2 \times 10^5$ – $6 \times 10^5$
Vrlo lako	do 30	do $2 \times 10^5$

## 2.4 EU praksa

Važeći zakon EU (Direktiva 96/53/EC) ograničava maksimalnu dozvoljenu masu vozila na 40 tona, osim za intermodalni transport koji koristi 40-stopne kontejnere koji imaju maksimalnu težinu od 44 tone. Maksimalna osovinska opterećenja su: 10t za jednu osovinu i 11,5t za pogonsku osovinu, 11,5t do 19t u zavisnosti od međuosovinskog razmaka za tandem osovinu i 11t do 24t za tridem osovinu.

Mada svaka članica EU ima specifičnosti u određivanju ekvivalentnog saobraćajnog opterećenja, zajedničko je da se uglavnom kao normirano opterećenje koristi osovinsko opterećenje od 100 kN (izuzetno 115 kN za autoputeve).

Zbog tradicionalne prakse da se regulativa putne privrede u Srbiji najčešće naslanja na odgovarajuću regulativu u Nemačkoj i Austriji, analiza određivanja merodavnog saobraćajnog opterećenja ograničena je na postupke primenjive u ove dve evropske zemlje. Merodavno saobraćajno opterećenje u obe zemlje se određuje vrlo slično proceduri opisanoj u pravilniku za projektovanje puteva u Republici Srbiji, uz primenu specifičnih korektivnih faktora.

Na osnovu kumulativnog saobraćajnog opterećenja definiše se klasa opterećenja kao osnovni parametar za dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija.

U Nemačkoj su u primeni tzv. klase izgradnje (Bk – Bau klasse) koje korespodiraju intenzitetu saobraćajnog opterećenja i kreću se u rasponu od  $Bk_{0,3}$  do  $Bk_{100}$  gde je Bk vrednost izražena u milionima ekvivalentnih osovina od 10t (npr.  $Bk_{0,3}$  odgovara saobraćajnom opterećenju manjem od  $3 \times 10^5$  ekvivalentnih osovina). Klase gradnje Bk su razvrstane u 7 klasa prema kojima se vrši izbor tipa kolovozne konstrukcije. Preporuka je da se saobraćajno opterećenje izračunava na osnovu stvarno izmerenih osovinskih opterećenja na terenu (merenje osovinskog opterećenja u pokretu).

Kada projektantu nisu poznati podaci o stvarno izmerenom saobraćajnom opterećenju, na raspolaganju su tabele iz kojih može da definiše saobraćajno opterećenje u zavisnosti od specifične namene saobraćajnice, odnosno prema specifičnoj vrsti saobraćaja.

Austrija za dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija vrši podelu na klase opterećenja prema kumulativnom saobraćajnom opterećenju u projektom periodu tj. projektovanom standardnom opterećenju (BNLW). U slučaju da nisu poznati podaci o karakteristikama reprezentativnih vozila mogu se primeniti srednji ekvivalentni faktori tj. odnos relativne degradacije kolovoza

usled prolaza vozila kategorije (i) u odnosu da degradaciju usled prolaska standardne osovine (100 kN).

Tabela 6: Srednji ekvivalentni faktor za različite kategorije vozila i

Kategorija vozila	$A_i$
Kamioni (LKW)	0.80
Kamioni sa prikolicama	1.25*
Vučni vozovi (poluprikolice)	2.00*
Autobusi	0.60
Javni autobuski prevoz	0.80
Zglobni autobusi	1.40

\*Ukoliko nije moguće napraviti razliku između kamiona sa prikolicom i vučnih vozova, primenjuje se ekvivalentna vrednost od 1, 75.

Prema saobraćajnom opterećenju putevi su razvrstani u 10 klasa (LK163 – LK0,05) prema kojima se vrši izbor tipa kolovozne konstrukcije.

Ukoliko podaci o saobraćaju teških vozila nisu dostupni, u izuzetnim slučajevima na putnoj mreži sa slabijim intenzitetom saobraćaja, dodeljuje se klasa opterećenja prema proceni relevantnog saobraćaja teških vozila u skladu sa Tabelom **Error! Reference source not found.**

Tabela 7: Dodeljivanje klase saobraćajnog opterećenja na osnovu saobraćaja teških vozila za puteve na saobraćajnoj mreži sa slabijim intenzitetom \*)

Klasa opterećenja	Relevantni teški saobraćaj
LK0,4 ( $1 \times 10^5 - 4 \times 10^5$ )	80 teških vozila na 24 h
LK0,1 ( $5 \times 10^4 - 1 \times 10^5$ )	20 teških vozila na 24 h
LK0,05 ( $< 5 \times 10^4$ )	10 teških vozila na 24 h

\*) Period procene od 20 godina, maksimalna širina trake 3.50 m

Na osnovu sprovedene analize uočljivo je da postupak dat u Priručniku za projektovanje puteva u republici Srbiji ne odstupa bitno od prakse u Nemačkoj i Austriji (verovatno su pri izradi korišćena metodologija iz relevantnih dokumenata navedenih zemalja)..

Postojeći standard SRPS U.C4.010, u primeni od 1981. godine, prevaziđen je prvenstveno zbog korišćenja normativnog osovinskog opterećenja od 82 kN, pa ga treba što pre inovirati. Osnovni problem je njegova povezanost sa standardima koji za predmet imaju dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija u Srbiji, što znači da bi i ove standard trebalo usaglasiti sa novim standardom za određivanje saobraćajnog opterećenja.

## 2.5 Saobraćajno opterećenje lokalnih puteva

Lokalni putevi imaju niz specifičnosti u vezi saobraćajnog opterećenja. Ovo se pre svega odnosi na veliku heterogenost u vezi spektra vozila koji koriste ove puteve. Učešće karakterističnih tipova vozila u mnogome zavisi od privredne aktivnosti područija koje opslužuje i povezuje sa saobraćajnicama više kategorije, tako da se na lokalnim putevima mogu pojaviti sve vrste vozila.

Intezitet saobraćaja na lokalnim putevima uglavnom karakteriše mali obim saobraćaja, sem u slučaju kada lokalni putevi imaju funkciju povezivanja lokalnih saobraćajnih centara (SP IV). Ovo ima za posledicu da na lokalnim putevima preovlađuje lako i vrlo lako saobraćajno opterećenje, mada se u zavisnosti od funkcije povezivanja može pojaviti i teško i srednje saobraćajno opterećenje.

Na osnovu prethodno navedenog, može se zaključiti da je za dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija na lokalnim putevima od izuzetne važnosti definisanje saobraćajnog opterećenja. Na žalost, trenutno ne postoji sistematizovano prikupljanje podataka o brojanju saobraćaja na lokalnim putevima (sem za grad Beograd), mada je propisana obaveza upravljača javnog puta da vrši brojanje vozila (Zakon o putevima član 9 i 10 -"Sl. glasnik RS", br. 41/2018 i 95/2018). U najkraćem roku potrebno je sprovesti akciju postavljanja brojača saobraćaja sa mogućnošću kategorisanja vozila i formirati odgovarajuće baze podataka.

Do sticanja uslova za dobijanje pouzdanih podataka o saobraćajnom opterećenju lokalnih puteva, mogu se koristiti procene bazirane na podacima sa lokalnih puteva slične funkcionalne namene, uz obaveznu proveru pretpostavljenih ulaznih podataka putem brojanja saobraćaja sa kategorisanjem vozila u ograničenom vremenskom intervalu. U odsustvu pouzdanih podataka za lokalne puteve u Srbiji može se pretpostaviti prosečno učešće teških vozila od oko 10%. Analizom baze podataka o brojanju saobraćaja u Sloveniji, gde je 70% deonica državnih puteva pokriveno brojačima saobraćaja, i na osnovu dobre korelacije učešća teških vozila na putevima višeg reda sa bazom podataka Srbije, može se pretpostaviti da je prosečno učešće teških vozila na putevima nižeg ranga slično učešću ovih vozila na putevima istog ranga u Sloveniji. Kako je ranije napomenuto učešće teških vozila direktno zavisi od funkcionalne uloge lokalnog puta, tako da o ovome treba voditi računa u slučaju da nema pouzdanih podataka o brojanju i kategorisanju vozila.

U skladu sa praksom zemalja EU očekuje se trend rasta karakterističnih vozila sa trostrukom osovinom i sa tzv. super-single pneumaticima. Povećani broj osovina na vozilu i singl pneumatici dovode do bržeg zamora konstrukcije i većeg rizika od pojave trajnih deformacija, tj. učešće vozila sa ovim karakteristikama znatno povećavaju naprezanja i deformacije u kolovoznoj konstrukciji, što ima veliki uticaj na životni vek konstrukcije.

Pri utvrđivanju saobraćajnog opterećenja poželjno je da se saobraćajno opterećenje odredi po godišnjim sezonama, da bi se tokom dimenzionisanja proverio uticaj saobraćajnog opterećenja u kritičnim uslovima stanja tla.

Osovinsko preopterećenje i visok pritisak u pneumaticima teških vozila predstavljaju poseban rizik tokom eksploatacije kolovozne konstrukcije lokalnih puteva. Preopterećenje od 5% rezultira povećanjem zamora kolovozne konstrukcije od 22%, a preopterećenje od 20% dvostruko povećava zamor konstrukcije. Imajući ovo u vidu posebnu pažnju treba obratiti na kontrolu osovinskog opterećenja, posebno u periodu intenzivne berbe poljoprivrednih proizvoda (npr. period prevoza šećerne repe).

Za dimenzionisanje novih i rekonstrukciju postojećih kolovoznih konstrukcija na lokalnim putevima od izuzetne važnosti je određivanje saobraćajnog opterećenja. Na većini lokalnih puteva saobraćajno opterećenje je lako ili vrlo lako, ali zavisnosti od funkcije lokalnog puta može se očekivati srednje i teško saobraćajno opterećenje. Odsustvo pouzdanih podataka o brojanju i kategorizaciji vozila povećava rizik usvajanja pouzdanih podataka o saobraćajnom opterećenju.

### **3 Klimatski i hidrološki uticaji**

Klimatski i hidrološki uslovi lokacije u kojoj se nalazi put imaju značajan uticaj na dimenzionisanje kolovozne konstrukcije u celosti. Ovo se posebno odnosi na temperaturu vazduha koja bitno utiče na karakteristike fleksibilnih slojeva kolovozne konstrukcije, na hidrološke uslove pri temperaturama zamrzavanja tla i na karakteristike podloge puta. Pri definisanju klimatskih uslova za projektovanje kolovoznih konstrukcija treba posebnu pažnju posvetiti uticaju klimatskih promena na održivost funkcionalnih i strukturnih karakteristika puta. Klimatske promene mogu značajno smanjiti projektovani vek kolovozne konstrukcije, umanjiti otpornost na pojavu trajnih deformacija i pukotina.

#### **3.1 Klimatski uticaji**

Klimatski uslovi čine skup meteoroloških pojava koje karakterišu prosečno stanje atmosfere i njene promene na određenoj lokaciji, području ili oblasti kroz koje put prolazi, u određenom vremenskom periodu. Od klimatskih uslova najveći značaj ima temperatura vazduha od koje u najvećoj meri zavisi temperatura u kolovoznoj konstrukciji.

Temperatura bitno utiče na karakteristike bitumenskog veziva, tako da pri visokim temperaturama smanjuje krutost i povećava rizik od pojave plastičnih deformacija asfaltnih slojeva, dok pri niskim temperaturama povećava krutost i rizik od pojave prskotina u ovim

slojevima. Takođe, kod krutih zastora bitno utiče na naponsko stanje usled izvijanja i dilatiranja betonskih ploča. Pored uticaja na gornje noseće slojeve niske temperature mogu izazvati ozbiljna oštećenja konstrukcije usled dejstva mraza i bubrenja tla u posteljici, pa pri projektovanju kolovozne konstrukcije posebnu pažnju treba posvetiti zaštiti od uticaja mraza.

Teritorija Srbije se prema raspoloživim klimatskim kartama može se podeliti u tri osnovne klimatske zone. Prva zona zahvata najveću površinu sa 60-90 dana sa temperaturama ispod tačke zamrzavanja. Druga zona sa većim brojem dana (90 – 120) se prostire na uzanom pojasu uz istočnu granicu sa Rumunijom i Bugarskom i jugoistočno u zoni Kosova i granice sa Crnom Gorom. Treća zona sa najvećim brojem dana (120-200) se nalazi na maloj teritoriji Sandžaka. Ovo su samo orijentacioni podaci do konačnog definisanja klimatskih zona. Za ovo je potrebno je prikupiti i obraditi podatke Hidrometeorološkog zavoda i sprovesti dodatna istraživanja sa preciznim merenjem dubine zamrzavanja tla, a u cilju određivanja debljine nevezanog donjeg nosećeg sloja radi zaštite tla na nivou putne podloge – posteljice, u slučaju da je osetljivo na štetno dejstvo od mraza. U tu svrhu treba uključiti i podatke prikupljene sa RWIS sistema puteva Srbije, koji je u fazi proširenja broja mernih stanica, kao i praćenje klimatskih promena kroz monitoring.

Klimatske promene koje su registrovane u poslednjih nekoliko godina mogu uticati na ubranu degradaciju kolovoznih konstrukcija. Povećanje temperature vazduha utiče na karakteristike bitumenskih veziva, što ima za rezultat povećano naprezanje podloge konstrukcije i pojave oštećenja, najčešće u formi trajnih deformacija i pukotina. Posledica ovih uticaja je potreba za češćim intervencijama u okviru mera održavanja i skraćenje projektovanog veka kolovoznih konstrukcija

Globalna pojava porasta temperature vazduha registrovana je i u Srbiji, tako da se od 1980-tih uočava stalni trend povećanja perioda visokih temperatura vazduha, kao i sve češće pojave ekstremnih inteziteta padavina.

Na osnovu izmerenih temperatura u periodu od 1960 do 2010 porast srednje godišnje temperature vazduha na najvećem delu teritorije Srbije je 0.04°C godišnje, dok je u istočnim i jugoistočnim delovima do 0.05°C godišnje.

Klimatski uslovi u određenoj okolini mogu da se odrede na osnovu:

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

Zaštita kolovozne konstrukcije od dejstva mraza u republici Srbiji se sprovodi u skladu sa SRPS U.B9.012 – Procena osetljivosti kolovozne konstrukcije na dejstvo mraza i tehničke mere za sprečavanje oštećenja.

U postupku provere osetljivosti na dejstvo mraza koriste se sledeći podaci:

- Klimatski i hidrološki uslovi SRPS U.C4.016
- Osetljivost materijala posteljice SRPS U.E1.012
- Dubina smrzavanja, određena direktnim merenjem prema SRPS U.B9.010
- Ukupna debljina kolovozne konstrukcije

Delovanje niskih temperatura prikazuje se preko vrednosti indeksa mraza, tj. trajanja inteziteta mraza. Indeks mraza je apsolutna vrednost razlike između maksimuma i minimuma kumulativne linije srednjih dnevnih temperatura vazduha u najhladnijem periodu (hladni talas) na jednom odabranom mestu ili meteorološkoj stanici za posmatranu zimu (°C x dana).

U zavisnosti od nivoa na kom se obavljaju merenja, postoje sledeći indeksi mraza:

- Indeks mraza okoline – za proveru kolovozne konstrukcije koristi se indeks mraza određen na visini od 1.2 m sa tri merenja dnevno: 7,14,21h
- Indeks mraza površine kolovoza
- Indeks mraza na nivou posteljice

Dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija i njena zaštita od štetnog dejstva smrzavanja vrši se na osnovu merodavnog indeksa mraza, a prema sledećem:

- 20-godišnji projektni period – prosečna vrednost indeksa mraza za 3 najhladnije zime u proteklom 30-godišnjem periodu

- 10-godišnji projektni period – prosečna vrednost indeksa mraza za 3 najhladnije zime u proteklom 15-godišnjem periodu

Pod dubinom smrzavanja podrazumeva se najveća dubina ispod površine kolovoza do koje se porna voda pretvara u led u toku perioda smrzavanja.

Dubina smrzavanja izračunava se na osnovu:

- debljine kolovozne konstrukcije
- zapreminske mase suvog materijala
- merodavnog indeksa mraza (iz dijagrama datih u SRPS U.B9.012)

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

Sadržaj vlage u materijalima nevezanog nosećeg sloja uglavnom je nizak, pa 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.

U nedostatku sistematizovanih merenja privremeno se mogu kao informativne vrednosti koristiti podaci o izmerenim maksimalnim dubinama smrzavanja na nekoliko mernih mesta u Republici Srbiji (izveštaj Instituta za saobraćajnice i geotehniku Građevinskog fakulteta u Beogradu, br. 53076-2/1992. god).

Tabela 8: Izmerene maksimalne dubine smrzavanja na teritoriji R. Srbije

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

### 3.2 Hidrološki uticaji

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,
- nivo podzemne vode je stalno ispod dubine prodiranja mraza  $h_m$ ,
- plitak usek sa dobrim uslovima odvodnjavanja,
- kada iznad nivoa podzemne vode nema doticanja površinskih voda

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,
- kada postoji mogućnost kapilarnog izdizanja podzemne vode ili doticanje vode sa strane kao i prodor vode sa površine.

Vlaga je najvažniji faktor koji utiče na performanse kolovoza i dugoročne troškove održavanja. Dakle, jedan od značajnih izazova sa kojima se susreće projektant je da obezbedi kolovoznu konstrukciju u kojoj će štetni efekti vode biti svedeni na prihvatljive granice u odnosu na saobraćajno opterećenje, prirodu materijala koji se koriste, uslove za izgradnju i održavanje i stepen izolacije.

Ovaj izazov je naglašen činjenicom da će većina lokalnih puteva biti izgrađena od materijala iz lokalnih izvora, slabijeg kvaliteta koji su najčešće osetljivi na vlagu. Ovo stavlja dodatni naglasak na uslove odvodnjavanja i kontrolu vlažnosti radi postizanja zadovoljavajućeg veka trajanja kolovoza. Efikasna drenaža je osnovni zahtev u projektovanju i izgradnji kolovoznih konstrukcija lokalnih puteva.

Elementi drenaže puteva koji su najbliže povezani sa projektovanjem kolovoza su:

- propustljivost kolovoznog zastora
- visina nivelete u odnosu na okolni teren
- poprečni nagib kolovoza
- bočna drenaža

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%.

Nemoguće je garantovati da će putevi ostati vodootporni tokom projektnog perioda, stoga je važno osigurati da ako se bilo koji sloj kolovoza, uključujući podlogu, sastoji od materijala koji su osetljivi na prisustvo vode, onda se mora obezbediti da se voda iz konstrukcije što pre drenira. Da bi se ovo olakšalo, tokom eksploatacije puta treba održavati ispravan nagib na svim slojevima koji su nepropusni i mora se obezbediti odgovarajući put za izlazak vode, bilo proširivanjem propusnog sloja kolovoza kroz bankinu ili uključivanjem vodopropusnog sloja u konstrukciju bankine.

Projektovanje i održavanje drenažnih sistema dobija još veći značaj usled klimatskih promena jer povećanje inteziteta padavina i podizanje nivoa podzemnih voda, kod tla osetljivih na povećanje vlažnosti, može dovesti do pada nosivosti.

### 3.3 Mere zaštite kolovozne konstrukcije

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

- dubine prodiranja mraza  $h_m$ ,
- hidroloških uslova,

- osjetljivosti materijala na smrzavanje i
- debljine kolovozne konstrukcije, koja je otporna na smrzavanje.

Kako bi se kolovozna konstrukcija puta zaštitila od štetnog uticaja smrzavanja ili od oštećenja, potrebno je da bude izvedena od otpornih materijala na određenoj dubini.

Iskustva stečena na putevima sa velikim saobraćajnim opterećenjima, 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  $h_m$ , tj. da je dovoljna manja ukupna dubina  $h_{min}$  slojeva materijala otpornih na mraz.

Tabela 9: 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	$\geq 0,6 h_m$
	nepovoljni	$\geq 0,7 h_m$
neotporan	povoljni	$\geq 0,7 h_m$
	nepovoljni	$\geq 0,8 h_m$

Osetljivost materijala na dejstvo mraza određena je standardom SRPS U.E1.012 (1981). Ovim standardom utvrđuju se vrste materijala posteljice u pogledu njihove osjetljivosti na dejstvo mraza. Razvrstavanje materijala u pogledu njihove osjetljivosti na dejstvo mraza koristi se za izbor materijala pri projektovanju i građenju kolovoznih konstrukcija, kao i za određivanje zaštitnih mera protiv štetnog dejstva mraza.

U svrhu određivanja debljine i vrste nevezanog donjeg sloja za zaštitu od štetnog uticaja mraza, potrebno je prema osjetljivosti na uticaj mraza ustanoviti kategorije tla na nivou putne podloge – posteljice kombinacijom sa tri komplementarna podatka:

1. Klimatska zona i korespondentna dubina zamrzavanja (0.8m, 1.0m, 1.2m i više od 1.2m)
2. Nivo podzemne vode u odnosu na podlogu-posteljicu i uticaj na podlogu
3. Vrsta tla na nivou podloge u odnosu na vodoprosusnost i osjetljivost na uticaj od zamrzavanja (bubrenje)

Po pravilu se klasifikacija takvog tla definiše sa tri nivoa gradacije:

- G1 - vrlo malo osjetljivo
- G2 – slabo do srednje osjetljivo
- G3 – srednje osjetljivo
- G4 – vrlo osjetljivo

Tabela 10: Kategorizacija materijala na osnovu njihove osjetljivosti na smrzavanje

Kategorija	Materijal	Sadržaj čestica do 0,02mm (%)	Klasifikacija po SRPS U.E8.010
G1 – malo osjetljivi	šljunak	3 - 10	GW, GP, GM, GC
G2- slabo do srednje osjetljivi	šljunak	10 - 20	GM, GC-GL, GM-GC, GM-ML
	pesak	3 - 15	SW, SP, SM, SC
G3 -srednje osjetljivi	šljunak	>20	GS-CL, GM-GC, GM-ML
	pesak	>15	SC, SM-SC, SM-ML
	glina (IP>12)	-	CL, CH
G4-vrlo osjetljivi	prašina	-	ML, MH
	prašinasti pesak	>15	SM-ML
	glinovita prašina (IP>12)		CL, CL-ML,
	uslojena glina i ostali sedimenti		u slojevima: CL, ML

	sa sitnim česticama		CL, ML, SM CL, CH, ML CL, CH, ML, SM
--	---------------------	--	--

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.

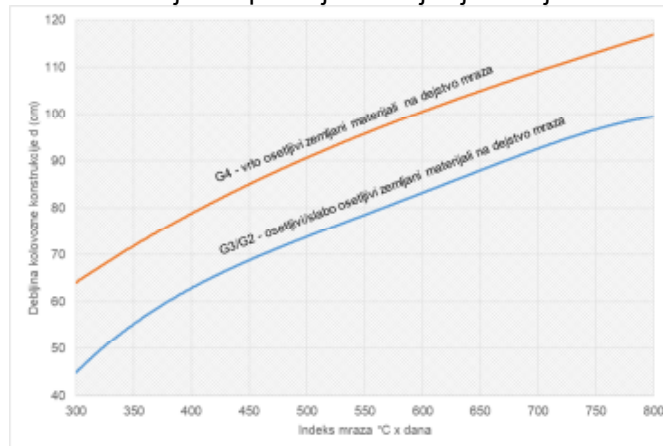
Ako se utvrdi da je kolovozna konstrukcija osetljiva na dejstvo mraza, moraju se preduzeti mere za sprečavanje štetnog dejstva mraza. Cilj primene ovih mera je da:

- spreči zamrzavanje materijala u posteljici osetljivog na na dejstvo mraza
- ograniči efekte izdizanja konstrukcije usled bubrenja materijala usled smrzavanja
- ograniči efekat smanjenja nosivosti kolovozne konstrukcije tokom odmrzavanja

U tom slučaju u praksi se primenjuju sledeće tehničke mere:

- potpuna zamena materijala posteljice – zemen materijala osetljivih na dejstvo mraza materijalima neosetljivim na smrzavanje do potrebne dubine, tako da dejstvo mraza može dopreti samo do materijala neosetljivih na mraz
- delimična zamena materijala posteljice - zamena materijala osetljivih na dejstvo mraza materijalima neosetljivim na smrzavanje do dubine manje od dubine dejstva mraza. Debljina kolovozne konstrukcije se određuje u zavisnosti od indeksa mraza i osetljivosti materijala posteljice – slika 1. Pri ovome treba voditi računa da je ovako određena debljina konstrukcije merodavna samo ako veća od debljine konstrukcije dobijene iz uslova nosivosti. U slučaju povoljnih hidroloških uslova debljine konstrukcije prikazane na slici 1 mogu se smanjiti za 10%. Kod betonskih kolovoznih konstrukcija i materijala G3 ili G4, debljina se može smanjiti za 15%

Slika 1: Delimična zamena materijala u posteljici osetljivoj na dejstvo mraza



- izrada vezanih slojeva – umesto zamene materijala moguće smanjiti rizik od pada nosivosti posteljice pri odmrzavanju izradom vezanih slojeva primenom odgovarajućih hidrauličnih ili bitumenskih veziva.
- termička izolacija – dejstvo mraza na posteljicu sprečava se ili umanjuje ugradnjom termoizolacionih materijala, na primer Ekspandirani Polistiren (EPS)

## 4 Podloga kolovozne konstrukcije

Osnovni preduslov za izradu održivog projekta kolovozne konstrukcije je obezbeđenje realnih i sveobuhvatnih podataka o nosivosti tla, kao podloge nove kolovozne konstrukcije. Pod pojmom nosivosti podrazumeva se i promena nosivosti tokom sezonskih promena temperaturnih i hidroloških uslova.

Nosivost predstavlja mehaničku otpornost kolovozne konstrukcije na opterećenje. Za projektovanje kolovozne konstrukcije od izuzetnog značaja je utvrđivanje nosivosti podloge kao i definisanje zahteva nosivosti posteljice i nosećih slojeva. U toku izgradnje neophodno je vršiti kontrolu nosivosti, a tokom eksploatacije merenje nosivosti kolovozne konstrukcije kao celine.

### 4.1 Nosivost posteljice

Posteljica je završni sloj nasipa ili temeljnog tla debljine do 50 cm ujednačene nosivosti, sa posebnim svojstvima postignutim primenom odgovarajućih građevinsko-tehničkih zahvata.

Nosivost podloge i posteljice u procesu projektovanja fleksibilnih kolovoznih konstrukcija najčešće se određuje preko vrednosti kalifornijskog indeksa nosivosti (CBR), tj. karakteristične vrednosti deformabilnosti materijala.

Tabela 11: Klasifikacija posteljice u odnosu na vrednost CBR-a

CBR (%)	Kvalitet posteljice
2 – 5	Vrlo loša posteljica
5 – 8	Loša posteljica
8 – 20	Posteljica srednjeg kvaliteta
20 – 30	Dobra posteljica
30 - 100	Odlična posteljica

Vrednost CBR se može odrediti:

- neposredno merenjem u laboratoriji ili na terenu
- posredno pomoću korelacije sa vrednostima merenja deformacionog modula
- procenom vrednosti CBR za karakteristične materijale (samo u vanrednim slučajevima)

Za projektovanje kolovoznih konstrukcija najčešće se koriste vrednosti CBR dobijene standardnim laboratorijskim ispitivanjem (SRPS U.B1.042) na pripremljenim uzorcima u laboratoriji posle njihovog natapanja u vodi do zasićenja, u trajanju od 4 dana. Za proveru nosivosti izvedene konstrukcije za potrebe monitorisanja ili izrade projekta rekonstrukcije radi se i terenski CBR. U ovom slučaju opit treba raditi u najnepovoljnijim uslovima stanja podloge (najčešće proleće).

Vrednost CBR predstavlja odnos između opterećenja  $F$  potrebnog da se cilindručni klip sa kružnim presekom od  $20\text{cm}^2$  utisne konstantnom brzinom u zemljani materijal do dubine  $S_1$  ( $2,54\text{mm}$ ), odnosno  $S_2$  ( $5,08\text{mm}$ ) i standardnog opterećenja  $F_s$  koje je potrebno da se isti klip utisne istom brzinom do iste dubine u standardni materijal (mehanički sabijena mešavina tucanika).

$$\text{CBR} = F / F_s (\%)$$

Za projektnu vrednost CBR usvaja se vrednost koja je manja ili jednaka od 90% pojedinačnih vrednosti ispitanih na homogenoj deonici minimalne dužine 500 m.

Pri projektovanju kolovozne konstrukcije na putevima sa manjim saobraćajnim opterećenjem mogu se izuzetno koristiti procenjene vrednosti CBR iz tabele 12, zavisno od vrste materijala i hidroloških uslova.

Tabela 12: Procenjene vrednosti CBR

USCS klasifikacija tla	Opis materijala	Zapreminska masa u suvom stanju $\gamma_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	CBR (%)	
			Povoljni hidrološki uslovi	Nepovoljni hidrološki uslovi
GW	dobro granulisani šljunak	2000–2250	30	30
GP	slabo granulisani šljunak	1750–2100	20	20
GM	prašinski šljunak	2100–2300	20	15
GC	ginoviti šljunak	1900–2250	7	5
SW	dobro granulisani pesak	1750–2100	15	15
SP	slabo granulisani pesak	1650–1900	10	10
SM	prašinski pesak	1900–2150	10	7
SC	glinoviti pesak	1700–2100	5	3
ML	prašina	1600–1800	3	2
CL	prašinasta glina	1600–1800	5	3

Pored određivanja CBR-a neposrednim merenjem, moguće je izvesti CBR vrednost iz rezultata drugih opita. Najčešće se za ovo koriste opiti kojim se mere statički i dinamički deformacioni moduli ( $E_{v2}$  i  $E_{vd}$ ), kao i modul stišljivosti ( $M_E$ ).

Sleganje tla kao homogenog elastičnog izotropnog poluprostora ispod kružne ploče se definiše sledećom funkcijom:

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

gde je:

- $\mu$  – poasonov broj
- $F$  – ravnomerno vertikalno opterećenje
- $r$  – poluprečnik kružne ploče
- $E$  – modul elastičnosti materijala

U zavisnosti od metode merenja karakteristične vrednosti deformacije tla i ugrađenih materijala imaju sledeći oblik:

- Modul stišljivosti

$$M_E = \frac{\Delta F}{\Delta s} * D \quad (\text{MN/m}^2)$$

- Statički deformacioni modul

$$E_{vs} = 0.75 * \frac{\Delta F}{\Delta s} * D \quad (\text{MN/m}^2)$$

- Dinamički deformacioni modul

$$E_{vd} = 1.5 * r * \frac{\sigma}{s} \quad (\text{MN/m}^2)$$

gde je:

- $\Delta F$  – razlika između dva predviđena nivoa vertikalnog opterećenja (MN/m<sup>2</sup>)
- $\Delta s$  – razlika između dva sleganja kružne ploče pri promeni opterećenja za  $\Delta F$  (mm)
- $s$  – defleksija izazvana impulsnim opterećenjem
- $D$  – prečnik kružne ploče (mm)
- $\sigma$  – normalni napon ispod kružne ploče koja je opterećenja maksimalnom silom  $F_s$

$$\sigma = \frac{F_s}{\pi + r^2} \quad (\text{MN/m}^2)$$

U Tabeli 13 data je približna korelacija indeksa nosivosti tla CBR i osnovnih parametara nosivosti i deformabilnosti tla.

Tabela 13: Približna korelacija osnovnih parametara nosivosti i deformabilnosti tla

CBR (%)	Modul deformacije (nemački propisi) $E_{v2}$ (MPa)		Modul stižljivosti (švajcarski propisi) (Mpa)	Povratni modul (dinamički modul) (MPa)		Dinamički deformacioni modul $E_{vd}$ (Mpa)
	Koherentno tlo	Nekoherentno tlo	$M_s$	$M_R$ (AI)	$M_R$ (TRL)	k
3	15	-	4	31	36	-
5	20	-	8	52	49	10
7	(30)	45	13	72	61	20
10	-	60	20	103	77	25
15	-	80	35	155	100	35
20	-	100	50	207	120	45

*Napomena: Navedene vrednosti su orijentacione*

Povratni moduli su izračunati iz izraza:

$$M_R = 10,342 \text{ CBR} \quad \text{Asphalt Institute (AI)}$$

$$M_R = 17,61 \times \text{CBR}^{0,64} \quad \text{Transportation Research Laboratory (TRL)}$$

Nosivost podloge i posteljice u procesu projektovanja krutih kolovoznih konstrukcija najčešće se određuje preko vrednosti modula reakcije tla – k. Zbog složenosti ispitivanja, za puteve sa srednjim i malim saobraćajnim opterećenjem, modul reakcije tla se najčešće određuje iz korelacije sa vrednostima merenja deformacionih modula i CBR-a. U Tabeli 14 prikazane su procenjene vrednosti modula reakcije tla u zavisnosti od materijala i hidroloških uslova.

Tabela 14: Procenjene vrednosti modula reakcije tla

USCS klasifikacija tla	Opis materijala	Zapreminska masa u suvom stanju $\gamma_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	k (MN/m <sup>3</sup> )	
			Povoljni hidrološki uslovi	Nepovoljni hidrološki uslovi
GW	dobro granulirani šljunak	2000–2250	90	90
GP	slabo granulirani šljunak	1750–2100	70	70
GM	prašinski šljunak	2100–2300	70	60
GC	ginoviti šljunak	1900–2250	40	30
SW	dobro granulirani pesak	1750–2100	60	60
SP	slabo granulirani pesak	1650–1900	50	50
SM	prašinski pesak	1900–2150	50	40
SC	glinoviti pesak	1700–2100	30	20
ML	prašina	1600–1800	20	15
CL	prašinska glina	1600–1800	30	20

## 4.2 Zahtevani kvalitet materijala u posteljici

Prema SPRS U.E8.010 za izradu posteljice mogu se upotrebiti sve vrste materijala koji ispunjavaju uslove navedene u Tabeli 15.

Tabela 15: Zahtevi za kvalitetom materijala u posteljici

Karakteristika koja je od interesa	Vrednost ili opseg
Maksimalna zapreminska masa standardni Proktorov opit	$\geq 1,6 \text{ t/m}^3$
Granica tečenja LL	$< 50\% (< 35\%)*$
Indeks plastičnosti $I_p$	$< 20 (< 12)*$

Koeficijent neravnomernosti $Cu=D60/D10$	>9 (>6)*
CBR nosivost	>3%
CBR Bubrenje	<3%
Sadržaj organskih materija	<6%

\*) Preporuka SRCS Tehnički uslovi za građenje puteva u republici Srbiji – Zahtevi za kvalitetom materijala u posteljici

Za ocenu kvaliteta izvedenog sloja posteljice koriste se kriterijumi navedeni u Tabeli 16.

Tabela 16: Kriterijumi za ocenu kvaliteta posteljice

Vrsta materijala	Kriterijumi		
	Stepen zbijenosti (%)	Modul stišljivosti $M_s$ ( $N/mm^2$ )	Modul deformabilnosti $E_{v2}$ ( $N/mm^2$ )
Sitnozrni koherentan materijal i sitnozrni pesak	100	20	30 (20)*
Mešan kamen i zemljani materijal (glinovit šljunak, glinovita drobina, lapor, glinoviti škriljci i sl.)	100	30	45 (40)*
Kameni materijal (kamena drobina, šljunak i sl.)	100	40	60 (80)*

\*) Preporuka SRCS Tehnički uslovi za građenje puteva u republici Srbiji – Zahtevi za kvalitetom materijala u posteljici

### 4.3 Metode ispitivanja (terensko i laboratorijsko)

Utvrđivanje nosivosti tla u posteljici kolovozne konstrukcije vrši se na osnovu podataka dobijenih ispitivanjem tla u laboratorijskim uslovima ili na terenu. Pre početka ispitivanja potrebno je uraditi program istražnih radova koji mora biti utemeljen na analizi lokalnih prirodnih uslova, primenljivosti određenih opita i raspoloživosti odgovarajuće opreme za testiranje.

Generalno, metode ispitivanja podloge puta i posteljice se mogu podeliti na:

Laboratorijske metode

- laboratorijski CBR opit (SRPS U.B1.042)
- povratni modul  $M_R$  (AASHTO T 307) – za analitičko-empirijski postupak dimenzionisnja (MEPDG)

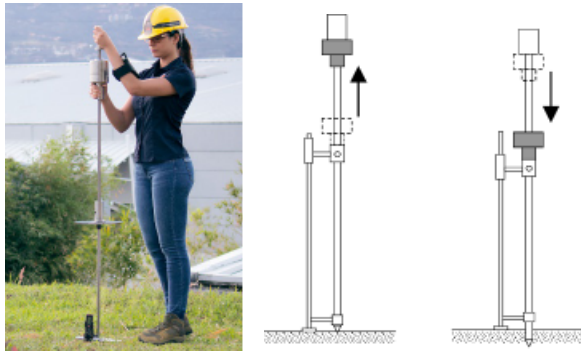
Terenske metode

- terenski CBR
- opiti pločom
- modul stišljivosti (Švajcarska metoda) - SRPS U.B1.046/1968
- modul deformacije (Nemačka metoda) - SRPS U.B1.047/1997
- dinamički deformacioni modul (laki deflektometar)
- modul reakcije podloge K (za krute kolovoze)
- dinamički konusni penetrometar DCP (Dynamic Cone Penetrometer)
- nuklearna sonda (Troxler)

Postupak, u zavisnosti od metode ispitivanja, opisan je detaljno u odgovarajućim standardima.

Za ispitivanje tla kao podloge kolovozne konstrukcije za lokalne puteve sa malim saobraćajnim opterećenjem vrlo primenjiva je metoda ispitivanja sa dinamičkim konusnim penetrometrom (DCP).

Slika 2: Dinamički konusni penetrometar



DCP je jednostavan uređaj koji se koristi za terensko testiranje karakteristika tla i slojeva kolovozne konstrukcije izgrađenih od agregata. Za razliku od opita sa pločom, ne zahteva kontra teret, pa se lako sprovodi. Rezultat testa daje kontinuirani profil čvrstoće u celoj ispitivanoj dubini. U literaturi se mogu naći brojne korelacije između DCP i CBR, povratnog modula i vrednosti ispitivanja statičkog opterećenja ploče koje treba koristiti sa dužnom pažnjom u zavisnosti od karakteristika materijala. Ova napomena se posebno odnosi na prirodnu vlažnost tla tokom ispitivanja i granulometrijski sastav čije varijacije mogu uticati na rezultat testa. DCP test najčešće neće dati adekvatne podatke za potrebe projekta ako se sprovodi tokom perioda sa nižom vlažnošću tla u odnosu na kritičnu vlažnost koja se obično javlja u proleće.

Bez obzira na određene rizike ova metoda zbog svoje lake primene ostaje kao jedna od osnovnih metoda za određivanje nosivosti tla puteva sa lakim saobraćajnim opterećenjem.

Za proveru nosivosti posteljice i donjih nevezanih slojeva kolovozne konstrukcije umesto standardnih opita sa kružnom pločom koji su vremenski zahtevni i skupi jer je potrebno obezbediti kontrateret (najčešće teško vozilo), može se vršiti merenjem dinamičkog deformacionog modula sa deflektometrom male težine (Low Drop Weight Tester – LDWT).

Deflektometar male težine omogućava određivanje nosivosti tla i nevezanih slojeva u pojedinačnim tačkama, slično testu opterećenja pločom. Rezultati merenja su odmah dostupni, tako da je uređaj posebno pogodan kao alternativa za kontrolu zbijanja sa intenzivnim pokrivenošću mernih tačaka. Različite mogućnosti primene, niska cena po opitu i direktna dostupnost rezultata čine ovaj uređaj posebno pogodnim za primenu za testiranje kvaliteta izvedenih radova na lokalnim putevima.

Uslovna korelacija  $E_{v2}$ ,  $E_{vd}$  i CBR bazirana podacima ispitivanja u laboratorijskim uslovima, sa optimalnim karakteristikama materijala (optimalna vlažnost), data je sledećim izrazima:

$$E_{v2} = 2 * E_{vd}$$

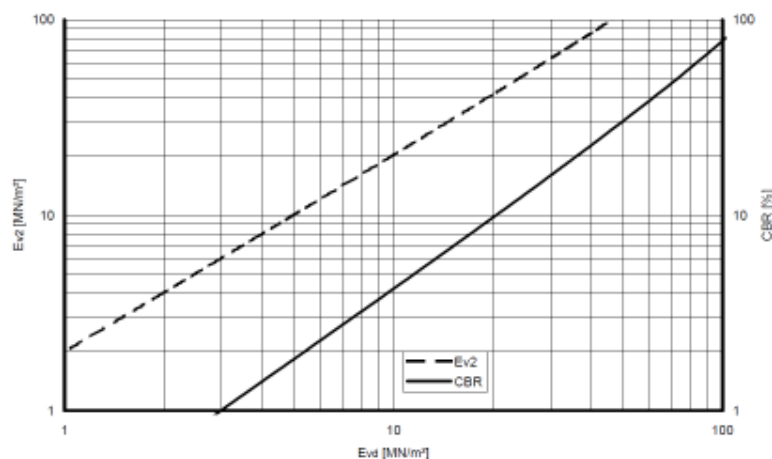
$$CBR_d = 24.26 * p/s^{0.59}$$

gde je:

- Ev<sub>d</sub> – dinamički deformacioni modul (MN/m<sup>2</sup>)
- Ev<sub>2</sub> – statički deformacioni modul (MN/m<sup>2</sup>)
- CBR<sub>d</sub> – “dinamički” CBR (%)
- s - izmerena defleksija (mm)
- p - pulsno opterećenje (N/mm<sup>2</sup>)

Napomena: Kod praktične primene potrebno je proveriti korelacije za konkretne uslove i materijal.

Slika 3 : Korelacija  $E_{v2}$ ,  $E_{vd}$  i CBR



Slika 4 : Deflektometar male težine (Low Drop Weight Tester – LDWT)



#### 4.4 Mere u cilju poboljšanja mehaničkih karakteristika podloge

Ukoliko podloga kolovozne konstrukcije ne ispunjava uslove za dostizanje i održivost projektovanih performansi treba pribeći poboljšanju mehaničkih karakteristika tla podloge puta, prvenstveno poboljšanju nosivosti modifikacijom materijala u posteljici kolovozne konstrukcije. Zamena materijala može da se primeni u slučaju održivosti tog rešenja, tj. ukoliko je ograničena debljina sloja tla koji se zamenjuje materijalom veće nosivosti i ukoliko je dokazana ekonomska opravdanost. U nekim slučajevima adekvatne mere poboljšanja dreniranja podloge mogu značajno doprineti poboljšanju mehaničkih karakteristika tla i otkloniti potrebu za primenu drugih mera. Takođe, ograničenja u budućoj projektovanoj geometriji mogu da ograniče nivoe intervencije i da diktiraju određena rešenja.

Primena mera poboljšanja mehaničkih karakteristika podloge kolovozne konstrukcije se razmatra u slučaju da je:

- tlo osetljivo na mraz u kritičnim klimatskim i hidrološkim uslovima
- ekspanzivno tlo / tlo podložno bubrenju u kritičnim hidrološkim uslovima
- slabo noseće / kolapsibilno tlo
- visok nivo podzemne vode

Slika 5: Proces izbora rešenja za eliminisanje/smanjenje uticaja problematičnog tla na performanse kolovozne konstrukcije

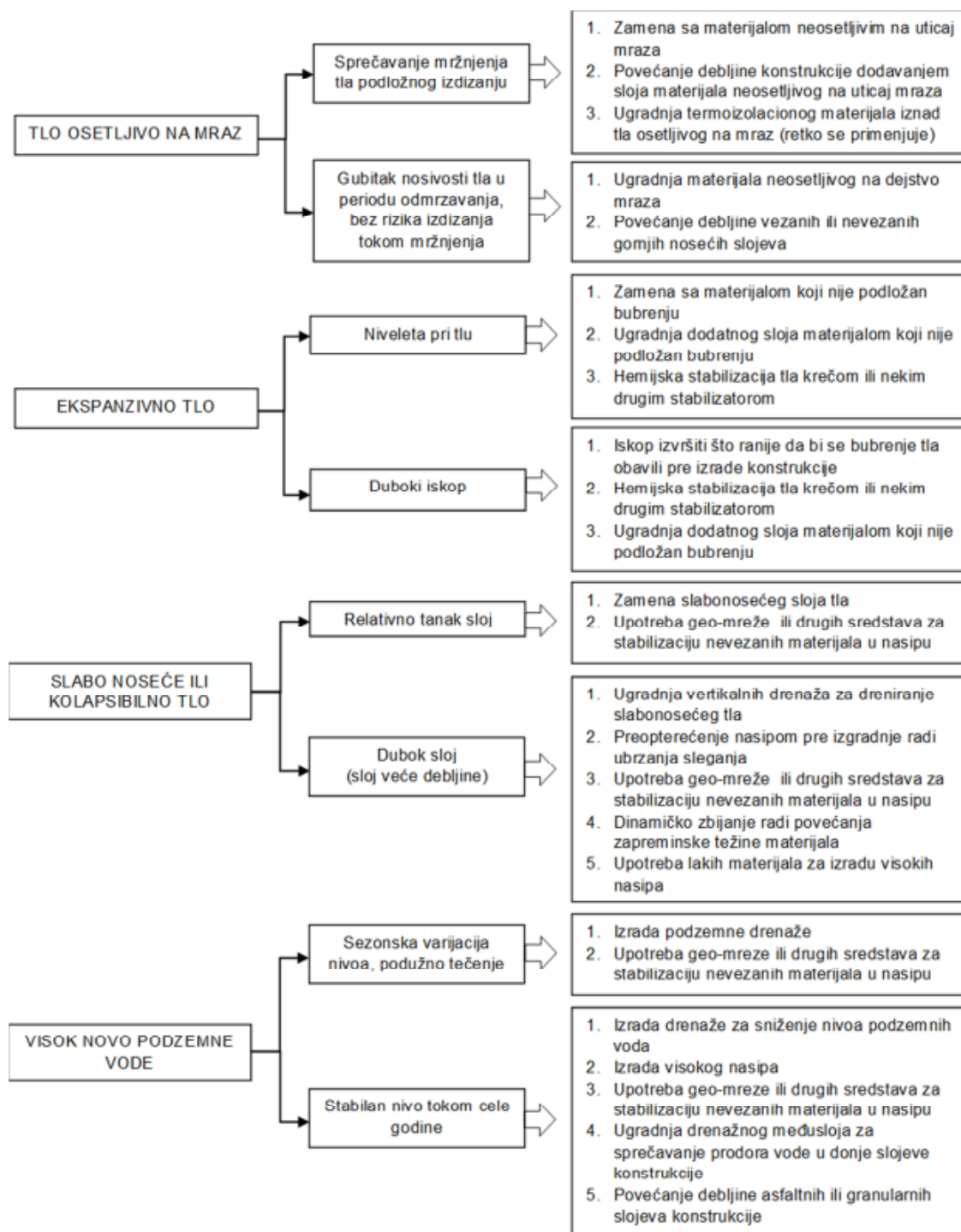


Tabela 17: Uslov minimalne nosivosti posteljice

Zemlja	Nosivost posteljice	Dokument
Srbija	$CBR \geq 3\%$	SPRS U.E8.010
Nemačka	$E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$	RStO 12
Austrija	$E_{v1} \geq 35 \text{ MN/m}^2$	RVS 03.08.63

Ukoliko posteljica nema zadovoljavajuću nosivost, može se primeniti njena stabilizacija ili zamena.

Stabilizacija posteljice predstavlja širok pojam u kontekstu materijala koji se nalaze u posteljici i nevezanim slojevima, pa je na raspolaganju više vidova intervencija:

- Mehanička stabilizacija – dodatno zbijanje
- Fizička stabilizacija – mešanje postojećeg materijala sa određenim procentom (30 %) drobljenog agregata
- Hemijska stabilizacija – stabilizacija hidrauličnim vezivom
  - Kreč – primarno za stabilizaciju posteljice izrađene od koherentnog tla (glina)
  - Cement – za nekoherentne materijale
  - Mešavina cementa i kreča – kolapsibilna tla sa prividno visokim čvrstoćama – les

Kompletna zamena materijala, kao najdrastičniji vid intervencije, predstavlja zamenu materijala u posteljici u određenoj debljini u cilju postizanja zahtevane nosivosti. Najčešće se zamena materijala sprovodi u debljinama od 20 cm do 50 cm, nevezanim materijalima, nominalne zrna do 100mm.

#### 4.5 Nosivost podloge lokalnih puteva

Nosivosti podloge i njena održivost od izuzetnog su značaja za projektovanje, izgradnju i eksploataciju puteva. Imajući u vidu da se na lokalnim putevima najčešće projektuju manje debljine gornjih nosećih slojeva, to još više ističe važnost obezbeđenja nosivosti podloge kod ovih puteva.

Struktura kolovozne konstrukcije, a posebno debljina i kvalitet projektovanih slojeva u velikoj meri zavise od nosivosti podloge. Tlo manje nosivosti zahteva kolovoznu konstrukciju veće debljine i obratno. Ako je nosivost podloge podcenjena to će imati za posledicu predimenzionisanu kolovoznu konstrukciju, a u slučaju da je nosivost podloge precenjena, posledica će biti stukturno oštećenje konstrukcije pre isteka projektovanog veka.

Preporuka da pri izgradnji novih puteva treba težiti što većem povećanju nosivosti podloge, u okviru lokalnih uslova, jer je dugoročno gledajući to mnogo isplativije u odnosu na povećanja debljine ili kvaliteta gornjih nosećih slojeva, važi i u slučaju lokalnih puteva.

Kada je nosivost podloge mala ili problematična treba razmotriti zamenu slabo nosivog tla u posteljici, ukoliko je debljina ovog sloja manja od 1.5 m. Mada pri izgradnji lokalnih puteva treba ograničiti troškove transporta materijala, u slučaju zamene slabo nosivog tla sa materijalom veće nosivosti (  $CBR > 15\%$  u stanju visoke vlažnosti) mogu se ostvariti znatne uštede u troškovima izrade gornjih slojeva konstrukcije. Alternativno rešenje je primena mehaničke, fizičke ili hemijske stabilizacije tla.

## 5 Materijali za izradu kolovoznih konstrukcija

Na izbor vrste i kvalitet materijala za izradu kolovozne konstrukcije utiče niz faktora, između ostalog, lokalni uslovi, saobraćajno opterećenje, funkcionalni zahtevi, položaj materijala u strukturi konstrukcije, raspoloživost određene vrste materijala, ekonomičnost primene.

Za izradu nevezanih nosećih slojeva koriste se mešavine drobljenih kamenih zrna i mešavine prirodnih ili mešanih kamenih zrna. Primena mešavine prirodnih kamenih zrna je ograničena na noseće slojeve u kolovoznim konstrukcijama za lakše saobraćajno opterećenje.

Za izradu vezanih slojeva kolovozne konstrukcije koriste se uglavnom mešavine drobljenih kamenih zrna. U cementnobetonskim mešavinama mogu se koristiti i prirodna odnosno mešana kamena zrna, a u sastavu materijala za vezane asfaltne 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.

### 5.1 Veziva

Vezivo je aktivna komponenta mešavine sa ulogom da poveže i stabilizuje zrna mineralne mešavine tako da formira monolitnu celinu sa odgovarajućim fizičko mehaničkim karakteristikama.

Za izradu savremenih kolovoznih konstrukcija koriste se dve grupe veziva:

- Bitumenska (ugljevodonična) i
- Hidraulična

Najčešće primenive vrste bitumenskog veziva su:

- Bitumen – koristi se kao najčešće vezivo u asfaltnim slojevima kolovozne konstrukcije (asfalt-beton, bito noseći sloj BNS, liveni asfalt ...). Podela na vrste prema dubini penetracije. Karakteristike prema SRPS EN12591
- Modifikovani bitumen – u cilju poboljšanja reoloških karakteristika, a posebno termostabilnosti (povećanje otpornosti na kolotrage, pucanje na niskim temperaturama, otpornosti na zamor) vrši se modifikacija bitumena dodavanjem modifikatora (elastomeri, plastomeri, antioksidanti, prirodni asfalti ..). Koristi se u asfaltnim slojevima izloženim velikom saobraćajnom opterećenju (asfalt-beton, Stone Mastix Asfalt-SMA, liveni asfalt, drenažni asfalt..) i oštrim klimatskim uslovima. Podela na vrste prema dubini penetracije i tački razmekšavanja. Karakteristike prema SRPS EN 14023
- Razređen bitumen – bitumen sa trenutno sniženim viskozitetom dodatkom sredstava za razređenje (derivati nafte) koji po ugrađivanju ispare. Koristi se za prskanje podloge radi poboljšanja veze između slojeva, izrada asfaltnih mešavina otvorenog i zatvorenog tipa i površinske obrade. Karakteristike prema SRPS EN 15322
- Bitumenske emulzije – disperzni sistem sastavljen od bitumenskog veziva dispergovanog u obliku sitnih čestica u vodi koja sadrži odgovarajuće emulgirajuće sredstvo. Bitumenske emulzije mogu se dele po tipu na anjonske i katjonske, po vremenu raspadanja na nestabilne (AN i KN), polustabilne (AP i KP) i stabilne (AS i KS) i prema vrsti bitumena na običan

bitumen ili polimer modifikovan bitumen (PmB KN..). Primena za prskanje podloge, površinske obrade, izrada asfaltnih mešavina po hladnom postupku, hladna reciklaža, stabilizacija podloge, slurry seal ..). Karakteristike prema SRPS U.M3.022 Anjonsak bitumenska emulzija i SRPS EN 13808 okvir za izradu specifikacija za katjonske bitumenske emulzije

- Penasti bitumen – dobija se ubrizgavanjem male količine hladne vode (~2%) u vreli bitumen penetracije od 80 do 200. Prilikom tog procesa dolazi do naglog širenja zapremine bitumena i stvaranja pene koja se posebnim diznama rasprskava u fazi ugradnje bitumeniziranog sloja primenom posebne mehanizacije. Najčešće se koristi za izradu stabilizovanih nosećih slojeva primenom postupka hladne reciklaže.

Za potrebe dimenzionisanja asfaltnih slojeva kolovozne konstrukcije modul krutosti bitumena može se izračunati iz sledećeg izraza (Shell – Van der Poel):

$$S_{bit} = 1,157 \times 10^{-7} \times t_w^{-0,368} \times e^{-IP} \times (T_{800} - T)^5$$

gde je:

$S_{bit}$  – modul krutosti bitumena (MPa)

$t_w$  – vreme trajanja opterećenja (  $t_w=0,02$  sec – odgovara za  $v=50-60$  km/h)

$T_{800}$  – temperature na kojoj je penetracija  $800pen^{\circ}$  (  $1 pen^{\circ} = 0,1$  mm), odgovara približno  $T_{pk}$

$T$  – merodavna temperature za dimenzionisanje kolovozne konstrukcije

$pen_{25}^{\circ}$  – penetracija ostarelog veziva (~ 65% penetracije originalnog veziva)

$$IP = \frac{1951,55 - 500 \cdot \log(pen_{25}^{\circ}) - 20 \cdot T_{pk}}{50 \cdot \log(pen_{25}^{\circ}) - T_{pk} - 120,15}$$

Indeks penetracije (IP) je indikator osetljivosti bitumena na promenu temperature. Što je IP veći, to je bitumen manje osetljiv na promenu temperature. (standardni bitumen IP -1,5 do +0,7, PmB IP>4)

Hidraulična veziva (portland cement, lafarž cement, hidraulični kreč i dr) uglavnom se koriste za izradu krutih zastora (kolovoz sa betonskim pločama) i za izradu stabilizacija. Radi sprečavanja pojave prskotina na površini zastora u konstrukcijama sa fleksibilnim gornjim slojevima neophodno je ograničiti čvrstoću slojeva izrađenih sa cementom kao vezivom.

Osnovna svojstva cementa za mešavine cementnog betona navedena su u SRPS EN 197-1. Za mešavine cementnog betona naročito odgovaraju cementi vrste CEM I (Portland cement) razreda čvrstoće 32,5. Za cementne stabilizacije CEM II/B-P ili CEM II/B-S (2 – 6 % cementa u mešavini).

Za cemente koji se koriste za izradu cement betona ograničava se početak vezivanja pri 20 °C na manje od 1 sata, početak vezivanja pri 30 °C na manje od 45 minuta, kraj vezivanja na 10 sati.

## 5.2 Kameni agregati

U Republici Srbiji kameni agregat koji se koristi u putogradnji zastupljen je sa dva tipa prirodnog kamenog agregata, pre svega prema poreklu:

*Eruptivni materijali* (magnatski) koji nastaju hlađenjem magme, silikatnog sastava. Od karakterističnih na tržištu su prisutni: dijabazi, daciti, andeziti. Osnovna karakteristika ovi kamenih agregata je izuzetna otpornost na habanje i shodno tome se pretežno koriste za habajuće slojeve kolovoznih konstrukcija.

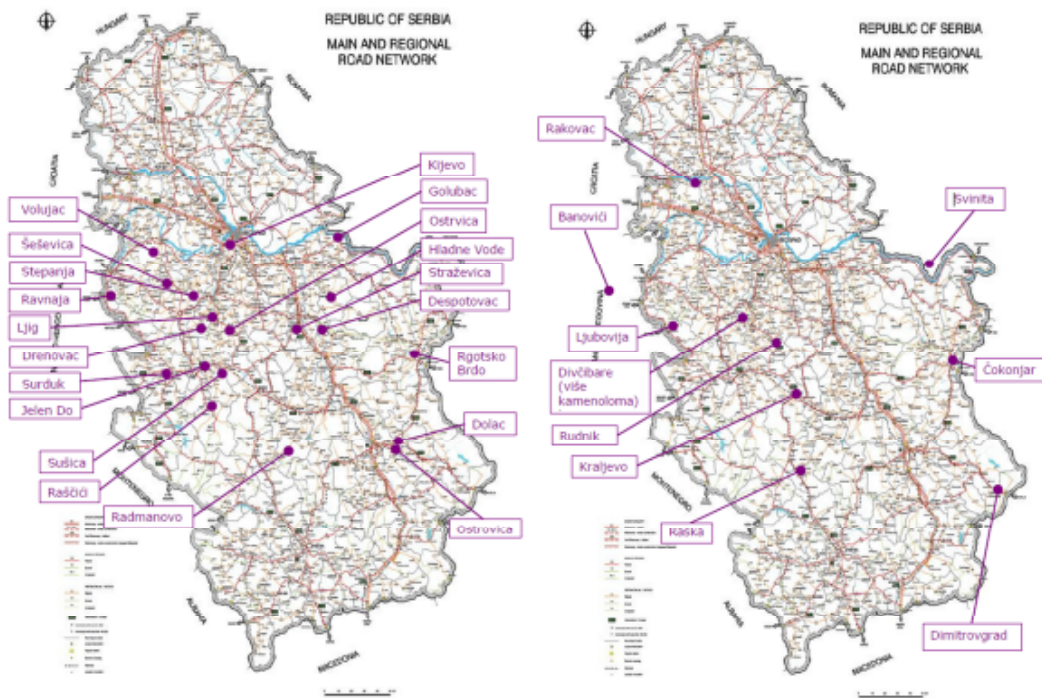
*Sedimentni materijali* (karbonati) koji nastaju konsolidacijom sedimentnih materijala koji su očvrstnuli pritiskom masa iznad slojeva. Od karakterističnih na tržištu su prisutni: krečnjaci, dolomiti. Usled dobre reakcije za ugljovodoničnim vezivima koriste se u nosećim slojevima, a usled manje tvrdoće u habajućim slojevima, kada nivo usluge ne zahteva strožije kriterijume za odvijanje saobraćaja.

Nalazišta kamenog materijala su rasprostranjena pretežno na zapadnoj teritoriji uže Srbije. Do sada ispitivan i utvrđen kvalitet kamenog materijala varira, posebno iz razloga neadekvatno primenjivane kontrole proizvodnje u kamenolomima. Posebno je kritičan standardan kvalitet kod eruptivnog materijala, što često dovodi do pojave oštećenja u eksploataciji, pre isteka projektnog veka, odnosno prevremenih mera na održavanju kolovoza.

Slika 6: Nalazišta kamenih materijala u Republici Srbiji

Nalazišta kamena karbonatnog porekla

Nalazišta kamena eruptivnog porekla



Izvor: Prof. G. Mladenović. Kolovozne konstrukcije, Građevinski fakultet, Beograd

Mineralni material - kameni agregat po poreklu i geometrijskim karakteristikama se deli na:

- Pesak -prirodni ili drobljeni, 0.09 (0.063) - 2 mm
- Kamenu sitnež - drobljeni kameni agregat 2 – 63 mm, dobijena drobljenjem stenske mase, drobine ili šljunka, separisana na frakcije
- Drobinu - prirodno usitnjena stenska masa sa zrnom uglastog oblika
- Šljunak -prirodni kameni agregat zaobljenog oblika, veličine zrna 2 – 63 mm

Osnovne frakcije kamenog agregata su:

- 0/4 mm
- 4/8 mm
- 8/16 mm
- 16/32 mm (16/31.5)
- 32/63 mm (31.5/63)
- 63/125 mm

Najčešća primena prema vrsti agregata:

-Silikatni agregati (eruptivnog porekla)

- Mogu se primeniti za sve asfaltne mešavine i sve kategorije puteva (zbog visoke cene uglavnom se primenjuju u habajućim slojevima)

-Karbonatni agregati

- Za habajuće slojeve – srednje, lako i vrlo lako saobraćajno opterećenje
- Za noseće slojeve

-Šljunak

- Za noseće slojeve – srednje (uz 30% kamene sitneži), lako i vrlo lako saobraćajno opterećenje

Mineralni material –agregat, koji se koristi za izradu kolovoznih konstrukcija mora da zadovolji kriterijume navedene u Pravilniku o tehničkim zahtevima za frakcionisani agregat za beton i asfalt ("Sl. glasnik RS", br. 78/2020) i standardu SRPS EN 13043/2007.

Od posebnog uticaja na trajnost i funkcionalna svojstva kolovozne konstrukcije je kvalitet stenske mase za proizvodnju agregata, otpornost agregata prema drobljenju i upijanju vode, pa su u sledećim tabelama navedeni zahtevi u odnosu na ove karakteristike.

Tabela 18 : Tehnički zahtevi za stensku masu za proizvodnju agregata za izradu asfaltnih mešavina za vezne i habajuće slojeve kolovoznih konstrukcija

Redni broj	karakteristika	Tehnički zahtevi za grupu saobraćajnog opterećenja		
		Auto-put, vrlo teško i teško	srednje	Lako i vrlo lako
1.	Pritisna čvrstoća u suvom stanju	Min 160 MPa	Min 140 MPa	Min 120 MPa
2.	Upijanje vode	Max 0,75%	Max 0,75%	Max 1,00%
3.	Habanje brušenjem	Max 12 cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	Max 18 cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	Max 35 cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>
4.	Postojanost na dejstvo mraza	Max 5%	Max 5%	Max 5%

Tabela 19: Zahtevi za otpornost prema drobljenju za prirodni agregat za izradu asfaltnih mešavina za donje i gornje noseće slojeve kolovoznih konstrukcija

Grupa saobraćajnog opterećenja	Koeficijent „ Los Angeles”, %	
	Gornji noseći slojevi	Donji noseći slojevi
Vrlo teško i autoput – deonice sa veznim slojem – deonice bez veznog sloja	najviše 28 najviše 25	najviše 40
Teško	najviše 28	
Srednje	najviše 30	
Lako i vrlo lako	najviše 35 <sup>a)</sup>	

<sup>a)</sup> za izradu bit. nosećih/habajućih slojeva najveća vrednost „Los Angeles” može biti 28%

Tabela 20: Zahtevi za otpornost prema drobljenju za drobljeni agregat za izradu asfaltnih mešavina za habajuće slojeve kolovoznih konstrukcija

Grupa saobraćajnog opterećenja	Koeficijent „ Los Angeles”, %	
	eruptivnog i/ili metamorfnog porekla, a silikatnog sastava	sedimentnog i/ili metamorfnog porekla, a karbonatnog sastava
Vrlo teško I auto-put	najviše 16	–
Teško	najviše 18	–
Srednje	najviše 22	najviše 25
Lako	najviše 22	najviše 28
Vrlo lako	najviše 22	najviše 30

Kod frakcije prirodnog agregata 4/8 mm koja se upotrebljava za izradu asfaltnih mešavina za noseće slojeve kolovoznih konstrukcija, upijanje vode ne sme biti veće od 1,2%, sem u slučaju da je agregat postojan na mraz.

Kod frakcije prirodnog agregata 4/8 mm koja se upotrebljava za izradu asfaltnih mešavina za habajuće i vezne slojeve kolovoznih konstrukcija, upijanje vode ne sme biti veće od 1,6%.

Upijanje vode frakcije agregata, određuje se u skladu sa SRPS ISO 6783 i SRPS ISO 7033 na frakciji agregata 4–8 mm.

### 5.3 Reciklirani materijali

Pored sve veće upotrebe recikliranih materijala pri izgradnji puteva svih kategorija, upotreba recikliranih materijala ima poseban značaj u izgradnji lokalnih puteva. Upotreba reciklirane opeke, betona, asfalta godinama unazad je u opštoj primeni u zemljama Evropske unije. Upotrebom pogodnih recikliranih materijala dostižu se zahtevane strukturne i funkcionalne karakteristike kolovozne konstrukcije gde se ugrađuje ovaj materijal, a istovremeno se ostvaruju značajne materijalne uštede i pozitivni efekti zaštite životne sredine (izbegavanje deponovanja građevinskog otpada i manja eksploatacija prirodnih resursa).

Na lokalnim putevima sa malim i vrlo malim saobraćajnim opterećenjem moguća je izgradnja kolovozne konstrukcije sa učešćem recikliranog materijala od preko 50%.

Proizvedeni ili reciklirani agregati koji se upotrebljavaju za spravljanje betona i/ili izradu asfaltnih mešavina moraju da ispunjavaju tehničke zahteve utvrđene:

- standardom SRPS EN 12620:2010 - Agregati za beton, za upotrebu kao sastojka za spravljanje betona;
- standardom SRPS EN 13043:2007 - Agregati za bitumenske mešavine i površinsku obradu kolovoza, aerodrome i drugih saobraćajnih površina, za upotrebu kao sastojka za bitumenske mešavine i površinsku obradu kolovoza, aerodroma i drugih saobraćajnih površina

Za sve sirovine za proizvodnju proizvedenih i recikliranih agregata moraju dodatno da se obezbede informacije koje se odnose na sprečavanje neželjenih efekata po zdravlje ljudi i životnu sredinu, u skladu sa propisima koji uređuju upravljanje otpadom.

#### 5.4 Izbor materijala za izradu lokalnih puteva

Primena lokalno dostupnih materijala treba da bude osnovni zahtev pri izradi projekta lokalnog puta i pri njegovoj izgradnji.

Pri izboru lokalnog izvora materijala posebnu pažnju treba obratiti na:

- lokaciju materijala, kvalitet i kvantitet
- ujednačenost kvaliteta
- karakteristike materijala
- upotrebljivost
- obradivost;
- kontrolu kvaliteta;
- uticaje eksploatacije na životnu sredinu.

Nedostatak odgovarajućih lokalnih materijala može se prevazići:

- Prilagođavanjem tehničkih uslova i projekta kolovozne konstrukcije puta, kako bi odgovarali lokalnim materijalima; ili
- Prilagođavanjem ili modifikovanjem lokalnih materijala kako bi odgovarali tehničkim uslovima.

Materijali za strukturalne slojeve lokalnih puteva obično se sastoje od šljunka iz lokalnog nalazišta ili materijala koji su preneti nekom prirodnom silom (npr. voda, vetar, gravitacija). Upotreba skupog agregata dobijenog drobljenjem kamena za izradu nosećih slojeva lokalnih puteva sa malim saobraćajnim opterećenjem treba da bude minimizirana. Takvi materijali se obično koriste isključivo za habajući asfaltni sloj ili betonske konstrukcije visokih zahteva čvrstoće.

Prednosti korišćenja lokalno dostupnih materijala proizilaze iz:

- smanjenja troškova transporta
- manje štete na postojećim putevima usled transporta materijala
- stimulacije lokalne privrede i lokalnih preduzeća
- izrade projekata puteva kompatibilnih sa lokalnim mogućnostima održavanja
- smanjenih troškova eksploatacije puta

Standardni tehnički uslovi imaju tendenciju da ograniče upotrebu mnogih materijala iz lokalnih nalazišta u korist skupljeg drobljenog kamena ili drugih prerađenih materijala. Međutim, istraživanja pokazuju da „nestandardni“ materijali se često mogu uspešno i isplativo koristiti pri izgradnji lokalnih puteva sa malim saobraćajnim opterećenjem pod uslovom da se poštuju odgovarajuće mere predostrožnosti. Ove mere predostrožnosti uključuju efikasno dreniranje kolovozne konstrukcije, dobru građevinsku praksu i redovno održavanje.

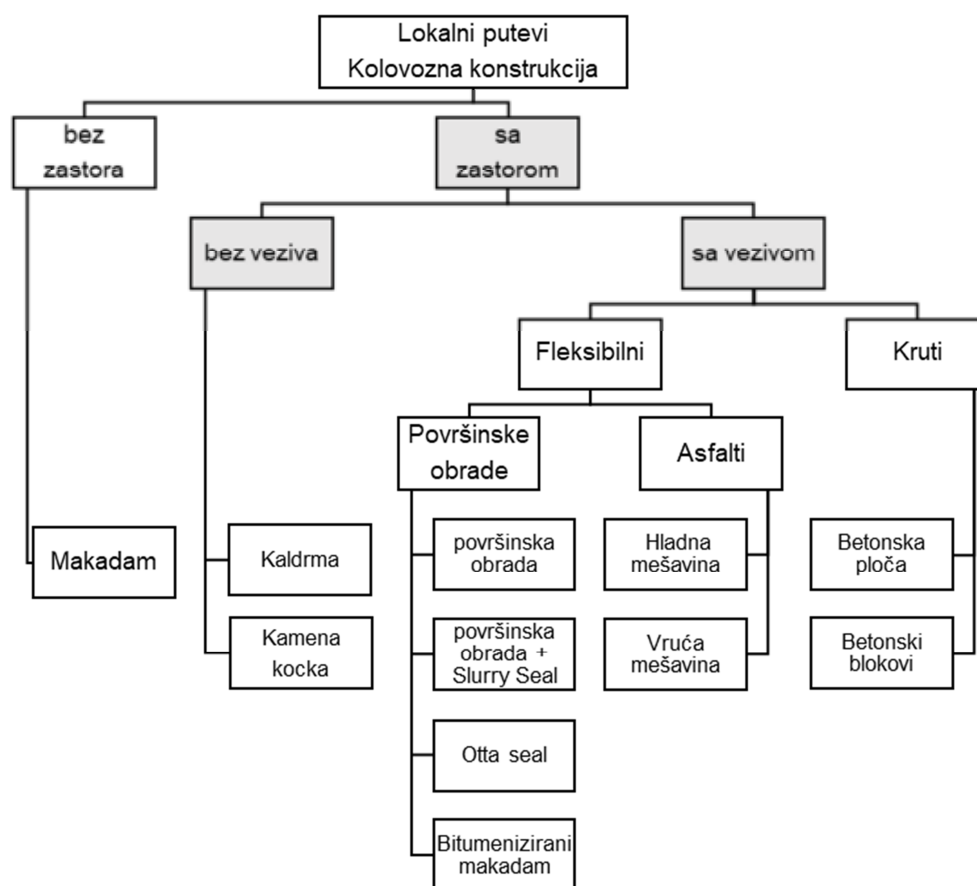
## 6 Tipovi kolovozne konstrukcije

Kod lokalnih puteva postoji širok spektar primene tipova kolovoznih konstrukcija. Svaki tip ima svoje prednosti i nedostatke u zavisnosti od konkretnih okolnosti u kojima će se koristiti. Izbor tipa kolovozne konstrukcije obično se vrši na osnovu lokalnih klimatskih uslova, saobraćajnog opterećenja, raspoloživosti lokalnih materijala, opremljenosti izvođača i mogućnosti finansiranja. Pored navedenih kriterijuma po nekad značajni uticaj imaju i drugi kriterijumi, kao na primer mogućnost faznog izvođenja, ekološki uticaji itd.

U okviru ovog poglavlja date su osnovne karakteristike najčešće primenjivanih tipova kolovoznih konstrukcija na lokalnim putevima. Osnovna podela je izvršena puteve bez zastora i puteve sa zastorom. Danas se lokalni putevi bez zastora vrlo retko grade, pa je prikazan samo makadamski put kao tipičan primer puta bez zastora. Sa aspekta eksploatacionih karakteristika i bezbednosti odvijanja saobraćaja putevi bez zastora mogu da egzistiraju samo kao privremeno rešenje.

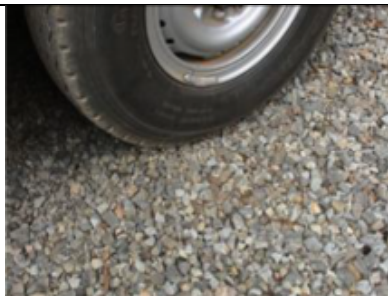
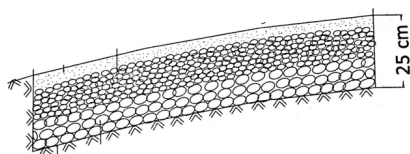
Putevi sa zastorom se dele na puteve sa gde materijal u zastoru nije povezan i puteve gde je primenjen neki tip veziva za stabilizaciju materijala u zastoru puta. Vezivo može biti na bazi bitumena, pa se u tom slučaju radi o fleksibilnim zastorima ili na bazi cementa kod krutih zastora.

Slika 7: Najčešće primenjivi tipovi kolovozne konstrukcije na lokalnim putevima



## 6.1 Kolovozna konstrukcija bezastora

### MAKADAM



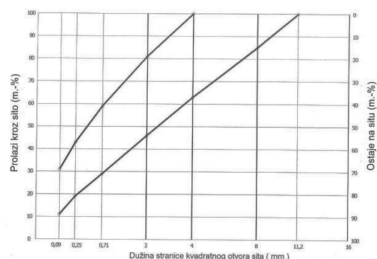
#### Opis

Mada je John MacAdam još daleke 1820. godine prvi put primenio tada revolucionarnu metodu izrade puta sa više slojeva nevezanog kamenog agregata, ova metoda izgradnje puteva sa nevezanim materijalom u zastoru se primenjuje i danas sa manjim ili većim modifikacijama. Konstrukcija je obično troslojna, ukupne debljine u zavisnosti od nosivosti tla, saobraćajnog opterećenja i klimatskih uslova, obično oko 25 cm. Na posteljicu se prvo polaže sloj kamena maksimalne veličine zrna do 50mm, obično u debljini od 10cm, a preko njega sloj drobljenog kamena maksimalnog zrna do 36mm, obično u debljini od 10 cm. Zastor se izrađuje od čistog drobljenog agregata veličine 10-20 mm koji je mehanički stabilizovan uklještenjem zrna. Radi boljeg uklještenja i povezivanja zrna zastor se naknadno zasipa sitnim granulatom sa kvašenjem vodom. Na planumu nevezanog habajućeg sloja zahtevana vrednost deformacionog modula  $E_{v2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  ( $E_{vd} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ ).

Ovaj zastor je pogodan za upotrebu na putevima sa malim obimom saobraćaja i malim brzinama; gde postoji potreba da se izbegnu problemi sa prašinom. Međutim, nije ga preporučljivo koristiti tamo gde je saobraćaj bicikla ili motocikla uobičajen zbog nestabilne površine.

#### Resursi

Grubo separisani kameni agregat odgovarajuće čvrstoće. Mehanizovano drobljenje i prosejavanje na izvoristu materijala. Prevoz kamionom i mehaničko razastiranje i valjanje lakim valjkom. Za kraće deonice moguće razastiranje sa komunalnom mehanizacijom. Lokalna polukvalifikovana i nekvalifikovana radna snaga za rad na trasi.



Područje granulometrijskog sastava agregata 0/8 mm za zaptivanje i učvršćenje nevezanih habajućih slojeva

#### Pogodnosti:

- Ne zahteva skupu opremu i kvalifikovano osoblje za izgradnju.
- Značajno smanjena pojava prašine u odnosu na zemljane puteve
- Nema stajaće vode na zastoru jer se drenira kroz slojeve konstrukcije preko odgovarajućeg poprečnog nagiba (min. 2.5%)
- Gubitak kamena sa površine je obično mali.
- Lako za održavanje povremenim preoblikovanjem i dodavanjem kamenog materijala.

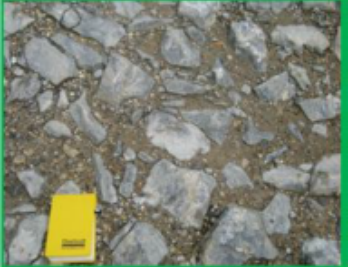
#### Mane


- Pogodno samo za slab saobraćaj.
- Zahteva kvalitetan kamen. Oblik zrna ugaon, a ne zaobljene.
- Nije pogodan za bicikle i motocikle ili brzi saobraćaj, zbog nestabilne površine i rizika od nezgoda.
- Nije pogodan za saobraćaj srednje ili velike brzine zbog rizika od letećeg kamenja i

stabilnosti.

- Nije pogodno na strmim nagibima.
- Nije pogodan direktno preko podloga osetljivih na vlagu kao što je ekspanzivna glina. Pošto su slojevi konstrukcije vodopropusni to može dovesti do pada nosivosti i deformacije posteljice u slučaju tla osetljivih na povećanu vlažnost.
- U suvim periodima izražena pojava prašine

## 6.2 Kolovozna konstrukcija sa zastorom betonske ivice

<b>KALDRMA</b>	
<b>Opis</b> Nepravilna kaldrma se sastoji od sloja kamena nepravilnog, približno kockastog oblika debljine oko 100 – 120 mm, položenog na podlogu od peska ili finog agregata debljine 50 – 100 mm. Pojedinačno kamenje treba da ima najmanje jedno lice koje je glatko i ravno koje se postavlja tako da bude na površini zastora. Krupni pesak se ubacuje u prostore između kamenja. Kada se postavi dovoljna površina kamenja, sloj se sabija vibracionim ili nevibracionim valjkom. Dodatni pesak se unosi u površinu ako je potrebno. Ivica ili ivičnjak napravljen (na primer) od kamena ili betona poboljšava izdržljivost.	
<b>Resursi</b> Otporan i čvrst lomljeni kamen izrađen od tvrde i žilave stene sa najmanje jednim svetlim licem koji se koristi na površini zastora. Jednoaksijalna čvrstoća na drobljenje u mokrom stanju min. 75 Mpa. Srednji do krupni pesak ili fini agregat. Kvalifikovana i nekvalifikovana radna snaga; teški nevibracioni ili vibracioni valjak.	
<b>Pogodnosti:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Ne zahteva skupu opremu za izgradnju ili održavanje.</li><li>• Pogodno za izgradnju od strane malih izvođača ili u udaljenim oblastima sa problemima pristupa opremi za drobljenje ili teškim postrojenjima.</li><li>• Može se konstruisati na bilo kom nagibu.</li><li>• Lako održavanje, lako se popravlja.</li><li>• Može se kasnije nadograditi korišćenjem tankog regulacionog sloja i odgovarajuće bitumenske zaptivke u strategiji faze izgradnje.</li></ul>	
<b>Mane:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Pogodno samo za malo saobraćajno opterećenje i male brzine.</li><li>• Zahteva jak kamen da bude dostupan lokalno.</li><li>• Zahteva veštinu u polaganju da bi se postigla glatka završna površina.</li><li>• Neprikladan za podlogu/podlogu osetljivu na vlagu u oblastima sa umerenim do velikim padavinama.</li><li>• Glatka do srednja hrapavost površine.</li><li>• Kamenje sklono poliranju pod saobraćajem ili koje je klizavo kad je mokro, ne sme da se koristi.</li></ul>	

<b>KAMENA KOCKA</b>	
<p><b>Opis</b>  Zastor od kamene kocke se sastoji od sloja kamena kockastog oblika približne veličine 80 - 100 mm položenog na tanak sloj peska (20 - 50 mm). Kocke se proizvode mehaničkom obradom odgovarajućeg tvrdog kamena kao što je granit ili bazalt. Prostor između kocki se popunjava peskom, pa se ceo zastor zbija pomoću vibracione ploče ili laganog valjka. Za stabilnost konstrukcije potrebno je uraditi ivičnjak uz bankinu puta koji može biti takođe od kamena ili betona. Za poboljšanje izdržljivosti i sprečavanje prodora vode do nižih slojeva konstrukcije i posteljice međuprostor između kamenih kocki (fuge) mogu biti ispunjenje cementnim malterom. Zastor sa kamenom kockom se obično polaže preko donjih nosećih slojeva izrađenih od nevezanog mineralnog materijala.</p>	
<p><b>Resursi:</b>  Čvrst i izdržljiv svež kamen koji se može seći u skoro kockasti oblik. Jednoaksijalna čvrstoća na drobljenje u mokrom stanju min. 75 Mpa. Srednji do grubi pesak kao podlog i ispuna fuga. Kvalifikovana i nekvalifikovana radna snaga; vibraciona ploča ili lakši valjak.</p>	
<p><b>Pogodnosti:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pogodno za sve klimatske uslove i za slabo do srednje saobraćajno opterećenje u ruralnim i urbanim sredinama.</li> <li>• Ne zahteva tešku opremu za sabijanje ili bilo koju drugu skupu opremu za izgradnju ili održavanje.</li> <li>• Pogodan je za izgradnju od strane malih izvođača, ili u udaljenim oblastima sa otežanim pristupom opremi za drobljenje ili teškim postrojenjima.</li> <li>• Može se konstruisati na bilo kom nagibu.</li> <li>• Potrebno minimalno održavanje, lako se popravlja.</li> <li>• Visoka rezidualna vrednost; materijali se mogu reciklirati u druge vrste popločavanja ili prekriti drugom površinom.</li> <li>• Otporan na eroziju, izdržljiv.</li> </ul>	
<p><b>Mane:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zahteva upotrebu kvalitetnog kamena, po mogućstvu iz lokalnih izvora.</li> <li>• Kamen mora biti pogodan za formiranje kamene kocke.</li> <li>• Zahteva veštinu u izradi kamenih elemenata i polaganju da bi se postigla glatka završna površina.</li> <li>• Neprikladno za podlogu/podlogu osetljivu na vlagu u oblastima sa umerenim do visokim padavinama osim ako se ne koristi cementni malter kao ispuna fuga.</li> <li>• Glatka do srednja hrapavost površine.</li> <li>• Kamen podložan poliranju usled saobraćaja ili je klizav kada je mokro, ne sme se koristiti.</li> </ul>	

### 6.3 Kolovozna konstrukcija sa fleksibilnim zastorom

#### POVRŠINSKA OBRADA



#### Opis

Mada se u Srbiji površinska obrada najčešće koristi kao mera preventivnog održavanja, može se koristiti i za izradu zastora lokalnih puteva sa vrlo malim saobraćajnim opterećenjem. Površinska obrada prvenstveno deluje kao vodonepropusna membrana i vozna površina nastala nanošenjem sloja bitumenskog emulzivnog veziva na koji se posipa i lagano uvalja sloj kamene sitneži prečnika zrna ne većeg od 25 mm na prethodno pripremljenu podlogu. Za izradu zastora lokalnih puteva najčešće se koristi dvostruka površinska obrada tako što se vrši dupla aplikacija. Prvi sloj obično sa kamenom sitneži 14-19 mm, a drugi sloj sa kamenom sitneži 6-10mm. Iz ekoloških i bezbednosnih razloga, preporučuje se korišćenje bitumenske emulzije, koja sadrži bitumen dispergovan u vodi.

#### Resursi

Zahteva primenu agregata uniformne gradacije, odgovarajućeg oblika sa adekvatnim svojstvima adhezije bitumena. Vezivo najčešće bitumenska emulzija brzog vezivanja – nestabilna (KN, AN).

Orijentacione vrednosti količina veziva i agregata za jednostruku površinsku obradu

PGDS	Veličina agregata [mm]	Količina agregata [kg/m <sup>3</sup> ]	Količina veziva [lit/m <sup>2</sup> ]	Tip veziva
2000 - 4000	19.0 - 9.5	21.7 - 27.1	1.58 - 2.03	Bitumen
			1.81 - 2.26	AN, KN
1000 - 2000	12.5 - 4.75	13.6 - 16.3	1.58 - 2.03	Bitumen
			1.81 - 2.26	AN, KN
200 - 1000	9.5 - 2.36	10.9 - 13.6	1.58 - 2.03	Bitumen
			1.81 - 2.26	AN, KN
20 - 200	6.3 - 1.18	8.1 - 10.9	1.58 - 2.03	AN, AP
			1.81 - 2.26	KN, KP
< 20	Pesak	5.4 - 8.1	1.58 - 2.03	AN, AP
			1.81 - 2.26	KN, KP

Višestruka površinska obrada se sastoji iz serije jednostrukih površinskih obrada sa istim nominalnim veličinama zrna po slojevima. Međutim, češći je slučaj da gornji sloj bude od agregata čija je veličina zrna duplo manja nego u donjem sloju. Najčešće korišćena višestruka površinska obrada je dvostruka površinska obrada. Debljine slojeva su od 16 mm do 19 mm, a vek trajanja višestruke površinske obrade je oko 3 puta duži od jednostruke površinske obrade, dok su troškovi veći 1.5 puta. U dvostrukoj površinskoj obradi, drugi sloj popunjava šupljine po površini prvog sloja agregata. Ispunjenost šupljina sloja predstavlja teksturu površinske obrade.

Vezivo se nanosi pomoću vučenog/samohodnog distributera. Kamena sitnež se nanosi razastiračem - samohodno vozilo na kome se nalazi koš za utovar agregata, prenosna traka od utovarnog koša do koša iznad uređaja za razatiranje i uređaj za razastiranje. Po razastiranju površina se zbija laganim statičkim valjkom, po mogućnosti sa pneumaticima.

#### Pogodnosti:

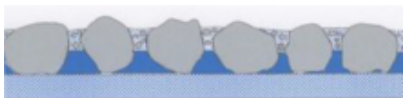
- Dokazani učinak u svim klimatskim uslovima, pogodan za ruralne i urbane sredine.
- Pogodan za mali obim saobraćaja saobraćaja

- Izgradnja ne zahteva skupu opremu.
- Pogodno za izgradnju od strane malih izvođača.
- Lakša kontrola kvaliteta u odnosu na zastore od vrućeg bitumena.

**Mane:**

- Površinska obrada ne povećava nosivost konstrukcije, pa je neophodno je da slojevi ispod površinske obrade obezbede zahtevanu nosivost puta.
- Zahteva primenu kamenog agregata odgovarajuće granulacije i oblika zrna.
- Emulzija (anjonska ili katjonska) treba da bude kompatibilna sa vrstom kamenog materijala.
- Posebna pažnja je potrebna za kontrolu količine nanošenja veziva i agregata.

**POVRŠINSKA OBRADA+Slurry Seal**



**Opis**

Ova vrsta zastora je višestruka površinska obrada koja se sastoji od nanošenja jednog sloja površinske obrade preko koje se nanosi jednokratno ili dvostruko nanošenje zaptivke od bitumenske suspenzije (Slurry Seal). Obično se površinska obrada kamenom sitneži zrna do 13 mm radi sa jednim nanošenjem bitumenske suspenzije, a u slučaju površinske obrade sa kamenom sitneži maksimalnog zrna do 19mm sa dvostrukim nanošenjem sustenzije. Cilj je da se po završetku vrhovi kamenih krhotina samo izlože iznad mase koja ispunjava međuprostore između kamenja.

Bitumenska suspenzija (Slurry Seal) je mešavina finog agregata dobrog kvaliteta, bitumenske emulzije, punila (obično portland cementa) i dodatne vode. Meša se u mikseru za beton ili namenskoj opremi, i nanosi se na unapred pripremljenu površinu pomoću posebne opreme. Kada je sveže pomešana, zaptivka se može razvući na debljinu od 1,5 – 5 mm. Nakon nanošenja voda u emulziji se odvaja od emulzije i isparava ostavljajući preostali bitumen na mestu da prione za površinu kolovoza i agregate.

**Resirsi**

Zahteva primenu kvalitetnog agregata, odgovarajućeg oblika sa adekvatnim svojstvima adhezije bitumena i brzovezujuće (RS) bitumenske emulzije, cementnog ili krečnog punila. Oprema za mešanje i razastiranje emulzije ili mešalica za beton, i gumena zavesa za razastiranje u slučaju primene na manjim površinama. Valjak sa pneumatskim gumama. Kvalifikovana i polukvalifikovana radna snaga.

**Pogodnosti:**

- Dokazani učinak u svim klimatskim uslovima, pogodan za ruralne i urbane situacije.
- Izgradnja ne zahteva skupu opremu.
- Pogodno za izgradnju od strane malih izvođača ili društvenih grupa.
- Lakša kontrola kvaliteta od vrućeg bitumena.
- Bezbednije za osoblje za izgradnju i održavanje od vrućeg bitumena.
- Jednostavno i jeftino održavanje.

**Mane:**

- Pogodno samo za mali do srednji obim saobraćaja
- Zahteva izvore odgovarajuće emulzije.
- Zahteva primenu kvalitetnog kamenog agregata – kamene sitneži
- Emulzija (anjonska ili katjonska) treba da bude kompatibilna sa materijalima.
- Emulzija treba da očvrsne po nanošenju i pre otvaranja u saobraćaj.

## NORVEŠKA POVRŠINSKA OBRADA (OTTA Seal)



### Opis

Otta zastor se sastoji od relativno debelog sloja bitumenskog veziva u koji se potapa agregat pomoću valjka sa teškim pneumatskim gumama ili natovarenih kamiona. U poređenju sa jedno frakcijskim kamenim materijalom za ispunu koji se koristi u površinskim obradama, koristi se klasifikovani šljunak ili drobljeni agregat. Kvalitet izvedenog sloja zavisi od toga da li je vezivo dovoljno istisnuto kroz agregat dejstvom ekstenzivnog valjanja pomoću valjaka sa pneumatskim gumama tokom izgradnje i kasnije pod saobraćajem. Mogu se koristiti varijante sa jednim ili dva sloja, u zavisnosti od saobraćajnog opterećenja puta.

Po nanošenju veziva intenzivno valjanje treba nastaviti sledeća dva dana da bi se sva zrna agregata obavila vezivom. Ukoliko se izvodi u dva sloja, između izvođenja slojeva mora proći 8-12 nedelja.

### Resursi

Separisani prirodni ili prerađeni fini agregat. Meki bitumen (MC3000 cut-back-razređivač kerozin ili 150/200 stepen penetracije). Razređeni bitumen ili mekani bitumen 150/200 nanosi se u približnoj količini od 1.7-1.8 l/m<sup>2</sup>. Preporučeno dodavanje dopa za poboljšanje vezivanja bitumena za agregat.

Oprema za prskanje vrućeg bitumena; Valjak sa pneumatskim gumama od 10-12 tona ili prikladno opterećeni kamioni. Kvalifikovana i polukvalifikovana radna snaga.

Uslov čvrstoće agregata	Vozila/dan	
	< 100	> 100
Pritisna čvrstoća u suvom stanju	90 kN	110 kN
Min. odnos čvrstoće vlažno/suvo stanje	0.60	0.75


Granične granulometrijske linije		
Sito (mm)	Srednjezrna	
	krupno zrna (% prolazi)	srednjezrna (% prolazi)
19	100	100
16	80 - 100	84 - 100
13.2	52 - 82	68 - 94
9.5	36 - 58	44 - 73
6.7	20 - 40	29 - 54
4.75	10 - 30	19 - 42
2.00	0 - 8	3 - 18
1.18	0 - 5	1 - 14
0.425	0 - 2	0 - 6
0.075	0 - 1	0 - 2


### Pogodnosti:

- Pogodno za lokalne puteve sa obimom saobraćaja PDGS < 500
- Dokazana tehnologija u brojnim putevima u Skandinavskim zemljama.
- Može se koristiti širok spektar prirodnih ili prerađenih agregata.

### Mane:

- Pojava isplivavanja veziva u toku prvih nedelja po izvođenju.
- Zahteva posebne vrste mekog bitumena koji možda nisu lako dostupni u nekim regionima.
- Koristi veće količine bitumena od standardnih zastora sa kamenom sitneži
- Potrebno ekstenzivno valjanje teškim pneumatskim, stoga nije pogodno za male izvođače/komunalna preduzeća.
- Zahteva značajan saobraćaj neposredno nakon izgradnje da bi se sva kamena zrna obavila vezivom.
- Relativno nizak otpor klizanju

<b>BITUMENIZIRANI MAKADAM</b>	
<p><b>Opis</b> Izvodi se troslojno, tako što se prvo nanosi sloj uvaljanog grubog agregata (npr. 40/60 mm) nakon čega sledi nanošenje emulzionog ili penetracionog veziva (obično 5-6 kg/m<sup>2</sup>). Posle prskanja veziva šupljine u sloju grubog agregata popunjavaju se finijim agregatom (npr. 10/20 mm) radi stabilizovanja sloja, nakon čega sledi dodatno nanošenje emulzionog veziva (2-3 kg/m<sup>2</sup>) koje se zatim prekriva finim agregatom (npr. 5/10 mm) i valja. Cilj je da se postigne struktura sloja od kubičastog kamena i ispune obavijenih bitumenom do dubine od oko 60 – 80 mm.</p>	
<p><b>Resursi</b> Drobljeni čvrst i žilav agregat frakcija 40mm, 10-20 mm i 5-10 mm. Bitumen, bitumenska emulzija, grejač-distributer i valjak nosivosti 8-10 tona. Kvalifikovana i nekvalifikovana radna snaga.</p>	
<p><b>Pogodnosti:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dokazana primena u svim klimatskim uslovima, pogodan za lokalne puteve.</li> <li>• Daje stabilan i čvrst sloj nakon zbijanja, ali je cena relativno visoka zbog veoma visokog utroška bitumena (7-9 kg/m<sup>2</sup>).</li> <li>• Nisko početno održavanje, ako je kvalitetno izvedeno</li> </ul>	
<p><b>Mane:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zahteva dobru kontrolu kvaliteta materijala i distribuciji bitumena po slojevima.</li> <li>• Skupa upotreba bitumena od oko 7-9 kg/m<sup>2</sup>.</li> <li>• U slučaju primene vreućeg bitumena, umesto bitumenske emulzije, treba preduzeti posebne mere zaštite na radu.</li> </ul>	

<b>ASFALT – HLADNA MEŠAVINA</b>	
<p><b>Opis</b> Asfaltna mešavina po hladnom postupku predstavljaju mešavinu mineralnog agregata i bitumenske emulzije. Mineralna mešavina za ovaj tip asfalta su otvorenog tipa, sa vrlo malo punioca (peska i kamenog brašna), granulacije 0-8, 0-11 i 0-16 mm. Asfaltna mešavine po hladnom postupku koriste se za izradu habajućeg sloja na putevima sa srednjim, lakim i vrlo lakim saobraćajnim opterećenjem, kao i za popravku udarnih rupa u zimskom periodu. Nezaobilazni sastojak svake asfaltna mešavine je agregat koji, kao što je istaknuto, može biti kamenog ili mineralnog porekla, i krupnije ili sitnije granulacije zrna. Pored doziranja veziva i punilaca koje diktira čvrstoću smese i njeno „ponašanje“ tokom upotrebe, ukupan kvalitet asfalta u najvećoj meri zavisice od ispravnog izbora vrste agregata i njegovog kvaliteta. Ove mešavine su fleksibilnije od tradicionalnih mešavina po vrućem postupku I vrlo su pogodne za lokalne puteve.</p>	
<p><b>Resursi:</b> Asfaltna mešavina po hladnom postupku može se proizvesti i naneti korišćenjem specijalizovanog finišera. U finišeru se vrši mešanje agregata sa emulzijom i razastiranje. Ugrađeni sloj se zatim sabija i otvara za saobraćaj po dostizanju potrebne čvrstoće.</p>	

U slučaju da nije na raspolaganju specijalni finiše, mešavina može da se pripremi u mešalici odgovarajućeg kapaciteta, a zatim transportuje na trasu i ugradi standardnom mehanizacijom.

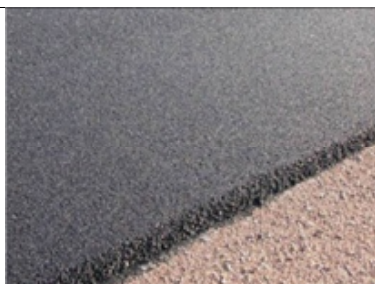
**Pogodnosti:**

- Hladna mešavina asfalta je ekonomična u poređenju sa toplom/toplom mešavinom asfalta, jer ova metoda eliminiše potrebu za zagrevanjem agregata.
- Nisu potrebne posebne mašine visoke tehnologije jer se standardna oprema može koristiti za izvođenje
- Mešavina se može koristiti čak i kada temperatura okoline padne, čime se smanjuje potreba za održavanjem temperature asfalta. Tako da se može koristiti u svim vremenskim uslovima.

**Mane:**

- Primenjivo ako je spoljna temperatura iznad 10°C.
- Zahteva izvore odgovarajuće emulzije.
- Zahteva primenu kvalitetnog kamenog agregata – kamene sitneži
- Emulzija (anjonska ili katjonska) treba da bude kompatibilna sa materijalima.
- Emulzija treba da očvrstne po nanošenju i pre otvaranja u saobraćaj.

**ASFALT ZA TANKE SLOJEVE**



**Opis:**

Tanki asfaltni kolovozi se često koriste na putevima sa malim saobraćajnim opterećenjem. Ovi kolovozi se obično sastoje od gornjeg tankog bitumenskog sloja (debljine 10 mm do 40 mm) preko jednog ili više nevezanih granularnih slojeva preko dobro zbijene podloge. Nosivost tankih asfaltnih kolovoza je u velikoj meri obezbeđena nevezanim granuliranim materijalima sa gornjom bitumenskom površinom koja deluje kao hidroizolacioni sloj sa malim doprinosom nosivosti. Glavni nedostatak u vezi sa upotrebom slojeva za habanje tankog asfalta je podložnost oštećenju, posebno od mraza i pucanju. Zbog toga se moraju koristiti mešavine visoke otpornosti na plastičnu deformaciju i dovoljno fleksibilnosti da izdrže velike elastične deformacije bez pucanja. Mešavine se pripremaju sa visokokvalitetnim agregatima sa visokom otpornošću na fragmentaciju, habanje i poliranje.

**Resursi:**

Priprema asfaltne mešavine u postrojenju za umešavanje kamenog agregata, punioca i vrućeg bitumena, transport u zatvorenim kontejnerima, razastiranje i inicijalno zbijanje finišeom. Konačno zbijanje valjkom sa pneumaticima. Kameni agregat drobljen kamen frakcije 0/4 mm i 4/8 mm. Za pripremu mešavine i izvođenje potrebna kvalifikovana radna snaga i specijalna oprema.

**Pogodnosti:**

- Glatka i zatvorena površina zastora
- Dobra funkcionalna svojstva
- Nema odvajanja zrna agregata
- U kratkom roku po nanošenju i zbijanju može da se koristi za saobraćaj
- Može se reciklirati.
- Može se koristiti pri faznoj izgradnji.
- Ne zahteva mnogo održavanja

**Mane:**

- Komplikovana proizvodnja asfaltne mešavine
- Primena specijalne opreme za proizvodnju i ugradnju asfaltne mešavine

- Ne doprinosi nosivosti konstrukcije
- Sklonost oštećenjima
- Nije moguća primena pri nižim temperaturama vazduha

#### ASFALT - VRUĆA MEŠAVINA (HMA)



#### Opis:

Asfaltne mešavine proizvedene po toplom postupku su najčešće korišćen material za izradu gornjih nosećih i habajućih slojeva na putevima. U primeni su razni tipovi ovih mešavina koje se razlikuju po sastavu i načinu ugradnje, a svima je zajedničko da se tokom proizvodnje koristi toplotna energija. Neki od najčešće primenjivanih tipova su: asfalt betoni, vruće valjani asfalti, SMA, liveni asfalti, porozni asfalti, asfaltne mešavine za ultra tanke slojeve itd. Kod ovih mešavina granulometrijski sastav mineralnog materijala ima ključni uticaj na karakteristike asfaltne mešavine. U zavisnosti od maksimalne veličine zrna u mineralnoj mešavini razlikuju se krupnozrne mešavine (veća nosivost, veća otpornost na kolotrage) i sitnozrne mešavine (manji nivo buke, manje habanje pneumatika). Težinski sastav mešavine je kombinacija približno 95% frakcija kamenog agregata, peska i kamenog brašna povezanih bitumenskim vezivom. Optimalan sastav asfaltne mešavine se dobija na osnovu prethodnih ispitivanja tokom kojih se vrši projektovanje mineralne mešavine (učestće pojedinih frakcija kamenog agregata, peska i kamenog brašna) i određivanje optimalnog sadržaja veziva u zavisnosti od zahteva iz tehničkih specifikacija. Za proizvodnju asfaltne mešavine obično se koriste standardne frakcije kamenog agregata: 0/4 mm, 4/8 mm, 8/16 mm i 16/32 mm. Proizvodnja asfaltnih mešavina se obavlja u stacionarnom ili mobilnom postrojenju gde se vrši doziranje frakcija mineralnog agregata i mineralnog punioca (kamenog brašna) njihovo zagrevanje, doziranje vrućeg bitumena i umešavanje. Vruća mešavina se transportuje do mesta ugradnje gde se ugrađuje odgovarajućom opremom (obično finišeima) i zbija glatkim i valjcima sa pneumaticima. Konstrukcija je spremna za saobraćaj odmah po hlađenju.

#### Resursi:

Za proizvodnju mešavine potrebni kameni agregati visokog kvaliteta koje često nije moguće obezbediti iz lokalnih kamenoloma. Proizvodnja asfaltne mešavine u stacionarnim ili mobilnim postrojenjima odgovarajućeg kapaciteta (Asfaltna baza). Transportna sredstva. Specializovana mehanizacija za ugradnju asfaltnih mešavina i garniture valjaka. Za pripremu mešavine i izvođenje potrebna kvalifikovana radna snaga.

#### Pogodnosti:

- Primenjivost za sve nivoe saobraćajnog opterećenja
- Glatka i zatvorena površina zastora (sem poroznog asfalta)
- Dobra funkcionalna svojstva
- Otpornost na klimatske uticaje
- Nema odvajanja zrna agregata
- Smanjena buka
- U kratkom roku po nanošenju i zbijanju može da se koristi za saobraćaj
- Velika trajnost
- Može se reciklirati
- Može se koristiti pri faznoj izgradnji

#### Mane:

- Visok trošak izgradnje
- Komplikovana proizvodnja asfaltne mešavine
- Primena specijalne opreme za proizvodnju i ugradnju asfaltne mešavine

## 6.4 Kolovozna konstrukcija sa krutim zastorom

### BETONSKI BLOKOVI (Interlocking blocks)



#### Opis

Zastori izrađeni od betonskih blokova u širokoj su primeni, od manipulativnih platformi za teško saobraćajno opterećenje do lokalnih puteva. Primena je zasnovana na sposobnosti betonskih blokova da efikasno rasprostiru opterećenje bočno na susedne blokove. U zavisnosti od očekivanog saobraćajnog opterećenja koriste se međusobno povezani blokovi (interlocking) ili blokovi sa ravnim ivicama. Blokovi koji se primenjuju kod lokalnih puteva su pravougaonog oblika, obično debljine 6-8 cm koji se slažu u obliku riblje kosti ili druge forme. Blokovi se slažu preko sloja drobljenog peska debljine do 3cm. U zavisnosti od saobraćajnog opterećenja donji noseći slojevi mogu biti kombinacija vezanih (obično sa cementom) i nevezanih slojeva za veće saobraćajno opterećenje ili samo nevezanih slojeva ukupne debljine prema nosivosti tla i dubini prodiranja mraza. Kod blokova koji nisu međusobno povezani prostor između blokova se ispunjava cementnim malterom, tako da je zastor vodonepropustan. Posebnu pažnju treba obratiti na teksturu površine betonske kocke da bi se dobila zahtevana vrednosti otpora na klizanje.

#### Resursi:

Dostupnost kvalitetno izrađenih betonskih blokova sa minimalnom čvrstoćom kocke od 28 dana od 20-25MPa. U slučaju lokalne proizvodnje blokova, mešalica za beton, odgovarajući čelični kalupi, vibro stololovi. Pesak za podlogu i ispunu fuga. Lagana kompaktor ploča. Kvalifikovana i nekvalifikovana radna snaga.

#### Pogodnosti:

- Pogodno za ruralnu ili urbanu primenu u svim klimatskim uslovima.
- Društvena i ekonomska koristi za zajednice kroz lokalnu proizvodnju blokova.
- Centralizovana proizvodnja blokova može olakšati dobru kontrolu kvaliteta.
- Zapošljavanje lokalne radne snage i u građevinarstvu i u tekućem održavanju.
- Pogodno za gradnju od strane zajednica malih izvođača.
- Dobra izdržljivost, karakteristike nosivosti i rasprostiranja opterećenja.
- Jeftini postupci održavanja.

#### Mane:

- Opcija za spojeve bez maltera može biti podložna eroziji u oblastima sa velikom količinom padavina bez održavanja.
- Zahteva kontinualnu proizvodnju blokova i kontrolu zahtevanog kvaliteta.
- Opasnost od klizave površine u slučaju neadekvatnog izbora kamenog agregata.

## NEARMIRANI BETONSKI ZASTOR (ploče)



### Opis:

Betonski zastori se izvode najčešće u vidu nearmiranih betonskih ploča sa odnosom širine prema dužini ploče obično 1:1 do 1:1.2. Debljina betonske ploče zavisi od saobraćajnog opterećenja i nosivosti podloge, a za lokalne puteve se kreće od 15cm do 20cm. Betonske ploče se izlivaju na prethodno pripremljenu i zbijenu podlogu. Po ugradnji potrebno je negovanje betona, nanošenjem membrane za spečavanje naglog gubitka vlage i održavanjem vlažnosti do dostizanja primarne čvrstoće, najmanje 7 dana. Betonski zastor zahvaljujući svojoj krutosti opterećenje prenose na daleko veću površinu posteljice, izazivajući znatno manje napone na pritisak i deformacije u podtlu, u odnosu na fleksibilne kolovozne konstrukcije. Pogodni su za gradnju na na putevima sa strmim nagibima i na putevima koji su podložni sezonskim poplavama i drugim velikim klimatskim uticajima.

### Resursi:

Kvalitetan kameni agregat, cement i postrojenje odgovarajućeg kapaciteta za za proizvodnju betona. Oprema za mehanizovanu ugradnju u slučaju većih površina ili odgovarajuća oprema za ugradnju i zbijanje u slučaju manjih površina (vibro grede i vibro igle). Oprema i materijal za negovanje betona i sekač sa dijamantskim diskom za usecanje spojnica. Oprema za ugradnju izolacione mase u spojnica zastora. Kvalifikovana i nekvalifikovana radna snaga.

### Pogodnosti:

- Pogodno za sve klime i ruralnu ili urbanu primenu
- Pogodno za regione sa velikim padavinama i poplavama.
- Upotreba standardnog postrojenja za proizvodnju betona
- Primena standardne tehnologije betoniranja koje primenjuju lokalni mali izvođači.
- Dugi vek trajanja
- Otporan na visoke temperature
- Primenjiv za puteve sa velikim nagibima

### Mane:

- Visok početni trošak izgradnje u odnosu na većinu drugih opcija.
- Obično zahteva dilatacione i kontrakcione spojnice sa čeličnim moždanicima za prenos opterećenja.
- Može biti podložan pucanju usled skupljanja osim ako nije dobro napravljen i osušen.
- Tendencija radnika/izvođača da dodaju previše vode u betonsku mešavinu kako bi se olakšalo postavljanje; čime se ploča slabi i rizikuje stvaranje pukotina od skupljanja.
- Potrebno je najmanje 7-14 dana očvršćavanja nakon ugradnje.
- Zahteva dobru podlogu i bankine zaštićene od erozije
- Problem izbacivanja podloge usled ugibanja ploče.
- Neophodno redovno održavanje spojnica (fuga)
- Opasnost od klizave površine u slučaju neadekvatnog izbora kamenog agregata i obrade površine betonske ploče.
- Povećani troškovi održavanja instalacija ukoliko postoje u trupu puta

## 6.5 Izbor tipa kolovozne konstrukcije

Za izbor najpogodnijeg tipa kolovozne konstrukcije u zadatim uslovima potrebno je sprovesti vrednovanje mogućih varijantnih rešenja.

Opcije tipova konstrukcije koje ispunjavaju uslov nosivosti porede se korišćenjem analize troškova tokom životnog ciklusa kako bi se pronašao najekonomičniji tip kolovoza. Proces odabira tipa kolovoza takođe treba da se fokusira i na druge kriterijume kao što su funkcionalnost, upotrebljivost, izdržljivost, udobnost vozača, uticaji na životnu sredinu i bezbednost.

Uobičajno je da se vrednovanje mogućih opcija vrši na osnovu sledeća tri kriterijuma:

1. Tehničke procene
2. Finansijske procene
3. Ekonomske procene

1. Tehnička procena se zasniva na analizi:

- Saobraćajnog opterećenja
- Lokalnih ograničenja
- Rokova izgradnje
- Projektnog veka konstrukcije
- Učestalosti intervencija održavanja
- Bezbednosti saobraćaja
- Lokalne dostupnosti materijala i opreme za izvođenje
- Pogodnosti za faznu izgradnju
- Održivosti životne sredine
- Pogodnosti za izvođenje rehabilitacije i rekonstrukcije

2. Finansijska procena se zasniva na analizi:

- Troškova izgradnje
- Godišnjih troškova tekućeg održavanja
- Ukupnih troškova u projektovanom veku konstrukcije

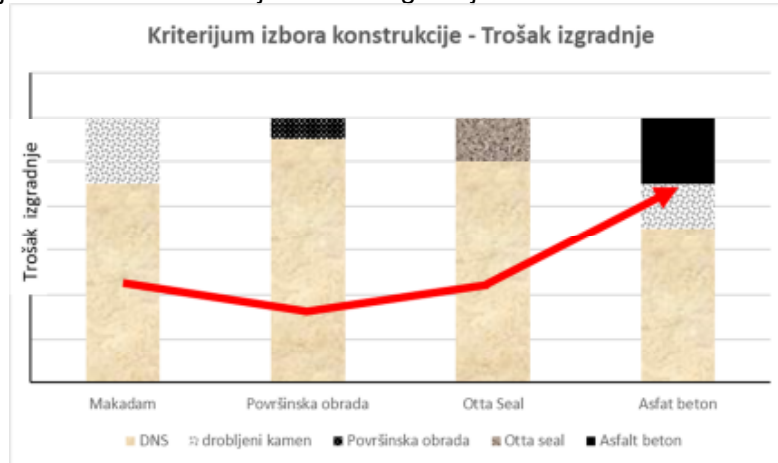
3. Ekonomska procena se zasniva na analizi:

- Procene troškova upravljača puta
- Procene troškova korisnika puta

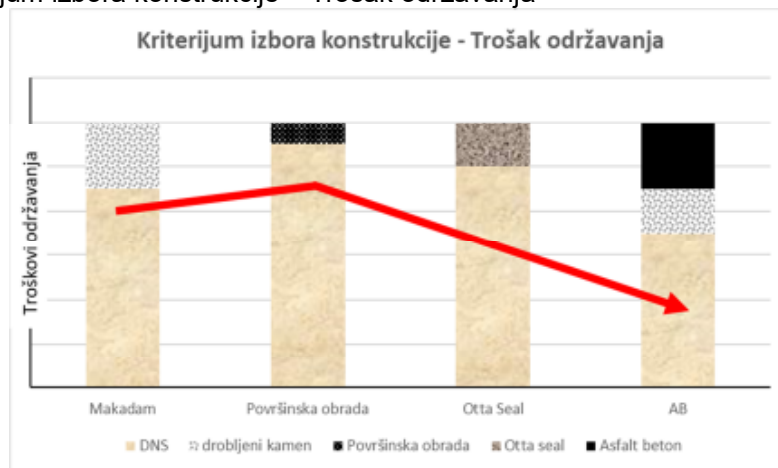
Konačan izbor tipa kolovozne konstrukcije odobrava lokalna uprava ili upravljač puta, pa treba voditi računa da se izbor vrši na osnovu izbalansiranih odnosa kriterijuma po kojima se vrši vrednovanje. Pri predlogu optimalne varijante projektant mora da pruži dokaze da je predloženo rešenje optimalno sa aspekta tehničkih zahteva, dugotrajnosti, finansijskih troškova i ekonomske isplativosti.

Na sledećim slikama je ilustrativno prikazan odnos tri kriterijuma tehničkog vredovanja: troška izgradnje, troška održavanja i projektnog veka konstrukcije, za četiri karakteristična tipa kolovozne konstrukcije na lokalnim putevima.

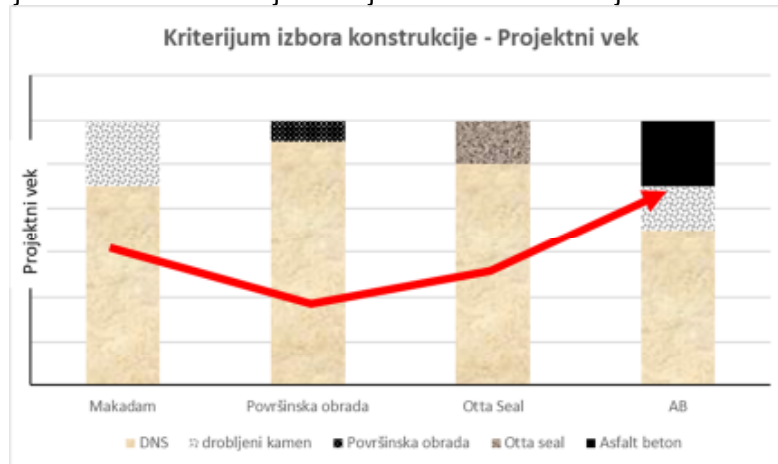
Slika 8 : Kriterijum izbora konstrukcije – Trošak gradnje



Slika 9 : Kriterijum izbora konstrukcije – Trošak održavanja



Slika 10 : Kriterijum izbora konstrukcije – Projektni vek konstrukcije



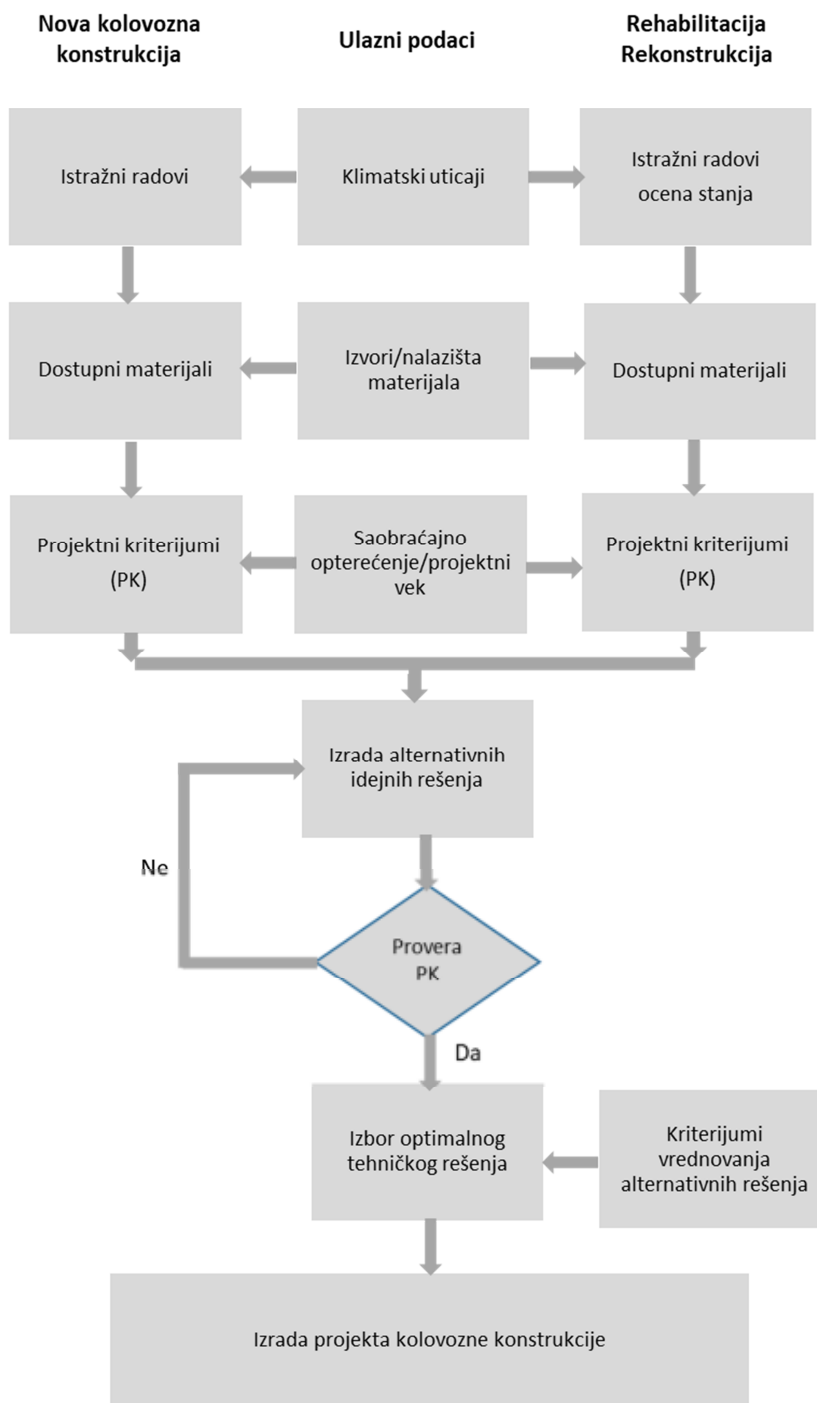
## 7 Dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija

Projektovanje kolovoznih konstrukcija dugo je bilo zasnovano na empiriskim metodama, tj. na naučnim činjenicama prikupljenim iskustvenim posmatranjem ponašanja konstrukcije tokom eksploatacije. Sa razvojem mehanike, računarske tehnike, opreme za ispitivanje materijala i konstrukcija sve više je u primeni analitičko-empirijski postupak proračuna kolovoznih konstrukcija. Za razliku od empirijskog postupka gde se u zavisnosti od uticajnih parametara dobija debljina konstrukcije, analitičko-empirijski postupak je iterativni proces u kome se do debljine konstrukcije dolazi posredno, analizom napona i deformacija u konstrukciji. Projektant na osnovu prognoziranog obima saobraćaja, klimatskih uslova, nosivosti tla, stanja postojeće konstrukcije (u slučaju rehabilitacije), na osnovu iskustvenih podataka i tehnoloških zahteva pretpostavi strukturu konstrukcije. Sledeći korak je verifikacija pretpostavljene konstrukcije proverom napona i deformacija, tj. proverom otpornosti konstrukcije na zamor usled saobraćajnih i klimatskih uticaja. U slučaju da pretpostavljena struktura konstrukcije ne zadovoljava zadate uslove vrši se korekcija strukture i ponovna provera do zadovoljenja svih uslova.

Postupak projektovanja se može podeliti u četiri osnovne faze:

- Prikupljanje podataka (ulazni podaci)
  - a. Nova konstrukcija – prognozirano saobraćajno opterećenje, projektni period, klimatski uticaji, istražni radovi u cilju utvrđivanja strukture, nosivosti i drenažnih osobina tla, raspoloživost građevinskih materijala
  - b. Rekonstrukcija/rehabilitacija – proteklo i prognozirano saobraćajno opterećenje, projektni period, klimatski uticaji, istražni radovi i ocena postojećeg strukturnog i funkcionalnog stanja konstrukcije, stanje drenažnog sistema i drenažne karakteristike konstrukcije, raspoloživost građevinskih materijala i opreme za primenu specifičnih tehnoloških postupaka izvođenja radova rehabilitacija i rekonstrukcija puteva
- Analiza prikupljenih podataka i izrada varijantnih rešenja  
Sveobuhvatna analiza prikupljenih podataka, definisanje vrednosti svih relevantnih parametara za projektovanje konstrukcije, predlog varijanti idejnog rešenja nove konstrukcije/rekonstrukcije/rehabilitacije
- Izbor optimalnog tehničkog rešenja  
Primenom višekriterijumske analize izbor optimalnog tehničkog rešenja
- Izrada projekta kolovozne konstrukcije

Slika 11: Standardni proces projektovanja kolovozne konstrukcije

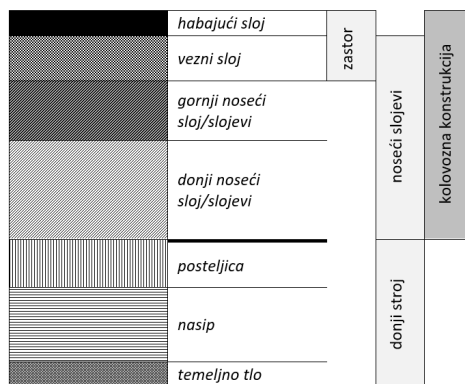


## 7.1 Struktura kolovozne konstrukcije

Opšta struktura kolovozne konstrukcije za projektovanje u sklopu novogradnji je predstavljena na slici 12.

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

Slika 12 : Struktura kolovozne konstrukcije



### Fleksibilna kolovozna konstrukcija

Fleksibilna konstrukcija se sastoji od:

- Površinskog sloja – zastora, koji je u neposrednom kontaktu sa opterećenim točkom i izložen je direktnom dejstvu svih ambijentalnih uticaja.
- Gornjeg nosećeg sloja. Ovaj sloj (ili slojevi) je odmah ispod asfaltnog zastora i obično se sastoji od drobljenog agregata povezanog bitumenom ili samo mehanički stabilizovanog.
- Donjeg nosećeg sloja. Ovo je sloj (ili slojevi) ispod gornjeg nosećeg sloja, nije uvek neophodan (na primer, u slučaju posteljice u stenskom materijalu, zamenjuje ga izravnavajući sloj od kamene sitneži).

Kolovozni zastor je površinski sloj koji je u kontaktu sa saobraćajem i obično se izrađuje od materijala najvišeg kvaliteta. On obezbeđuje površinske karakteristike kao što su trenje, ravnost, kontrolu buke i zaštitu od atmosferskih padavina. Kolovozni zastor se ponekad deli na dva sloja: habajući sloj i vezni sloj.

- Habajući sloj je obično od asfalt betona (AB), velike je krutosti i otporan na habanje, ima veliku gustinu i ne propušta vodu (osim ako se primenjuje drenažni asfalt).
- Vezni sloj je neposredno ispod habajućeg sloja i ima ulogu da poveća nosivost u gornjem delu kolovozne konstrukcije, tako što će raspodeliti, još uvek dosta koncentrisano opterećenje na veću površinu. Izrađuje se od asfalt betona, kod koga su kriterijumi kvaliteta niži nego kod habajućeg sloja

Gornji noseći sloj obično se sastoji od:

- Drobljenog kamenog agregata. Ovo je klasičan GNS, izrađen od dobro granulisanog i kvalitetnog drobljenog kamena, otpornog na vlagu i mraz.
- Bituminiziranog nosećeg sloja (BNS) – asfalt sličan asfalt betonu, ali sa manje oštrim zahtevima kvaliteta pojedinih materijala i gotove mešavine. Može sadržati i manji deo prirodnog peskovitog šljunka, ali samo za lako saobraćajno opterećenje.

GNS se obavezno koristi u situacijama gde je neohodna velika nosivost, tj. kada je kolovoz opterećen teškim saobraćajnim opterećenjem.

Donji noseći sloj (DNS)

DNS je između gornjeg nosećeg sloja i posteljice. Pre svega služi kao noseći sloj kolovozne konstrukcije, čija je uloga velikim delom u ojačanju nedovoljno nosive posteljice, pa je njegova debljina i izbor vrste materijala u uskoj vezi sa kvalitetom posteljice (pored saobraćajnog opterećenja).

Pored zahteva da se formira dobra, nosiva podloga za GNS, uloga DNS je i da:

- smanji prodor materijala posteljice u kolovoznu konstrukciju
- poboljša odvodnjavanje
- smanji uticaj smrzavanja
- obezbedi platformu za rad

### Kruta kolovozna konstrukcija

Tipična savremena kruta kolovozna konstrukcija se sastoji od površinskog sloja, gornjeg i donjeg nosećeg sloja i posteljice.

Površinski sloj je napravljen od cementnog betona i ima veliku krutost (zbog velikog modula elastičnosti) i obezbeđuje najveći deo nosivosti kolovoza. Površinski sloj je u kontaktu sa pokretnim opterećenjem i izrađen je od betona. Ima ulogu da omogući trenje, ravnost, ne stvara buku i obezbedi odvod atmosfere vode i spreči prodor vode u donje slojeve. Debljina površinskog betonskog sloja može varirati od 150mm do 300mm.

Gornji noseći sloj može biti izrađen od:

- nevezanog agregata – jednostavan materijal koji se može lako ugraditi, danas je veoma zastupljen.
- stabilizovanog agregata – stabilizacije (cementna, bitumenska); osnovni materijal je drobljeni kameni agregat, peskoviti šljunak ili mešavina ovih materijala koja se vezuje najčešće sa oko 4 do 7% cementa i time dobija čvrstoću koja iznosi oko 20 do 25% čvrstoće zastora od betona.
- guste asfaltne mešavine po vrućem postupku (BNS) – formiraju dobro nosivu i vodonepropusnu podlogu za betonski zastor
- vodopropustljivog asfalta (diskontinualna vruća asfaltna mešavina) – koristi se u situacijama kada je potrebna dobra drenaža
- mršavog betona – ima osobine slične kao betonski zastor, ali zbog manjeg sadržaja veziva čvrstoća mu je uglavnom manja od 50% čvrstoće betonskog zastora; ipak, mora da ima dilatacione spojnice.

Donji noseći sloj

Nalazi između gornjeg nosećeg sloja i posteljice, ima manju krutost, ali takođe doprinosi nosivosti kolovoza i služi za zaštitu od mraza i za dreniranje vode koja eventualno prođe u kolovoz.

Prvenstvena uloga ovog sloja je da: spreči mešanje materijala kolovozne konstrukcije i posteljice, da poboljša dreniranje vode, služi i kao zaštita od prodiranja mraza u podtlo i obezbeđuje radnu površinu za izgradnju gornjih slojeva. Donji noseći slojevi se uglavnom rade od materijala slabijeg kvaliteta od gornjih slojeva, ali boljih od posteljice.

## 7.2 Postupci dimenzionisanja

Za projektovanje kolovoznih konstrukcija u Srbiji koriste se empirijski i analitičko-empirijski postupci.

Za empiriske postupke projektovanja primenjuju se standardi SRPS U.C4.012/1981, SRPS U.C4.014/1994 i SRPS U.C4.015/1994. Empirijske metode projektovanja zasnovane su na odnosima između uslova na lokaciji, saobraćajnom opterećenju, strukturi kolovozne konstrukcije i nivou usluge. Ovi odnosi su bazirani na projektnom iskustvu i eksperimentalnim istraživanjima. Metode su prvenstveno razvijane za puteve sa većim obimom saobraćaja, pa kod primene na lokalnim putevima sa malim saobraćajnim opterećenjem treba biti obazriv da bi se izbegle greške u dimenzionisanju.

Pri projektovanju novih kolovoznih konstrukcija, a posebno za rekonstrukcije i rehabilitacije u široj je primeni i analitičko-empirijski postupak dimenzionisanja. Za dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija primenom analitičko-empirijskog postupka u Srbiji ne postoji obavezujuća procedura, već projektanti po sopstvenom nahođenju i iskustvu primenjuju opšte prihvaćene postupke.

Poslednjih godina u sve većoj je primeni tipsko projektovanje kolovoznih konstrukcija. Na žalost zbog odsustva odgovarajućeg pravilnika za primenu tipskog dimenzionisanja kolovoznih konstrukcija, ovaj postupak se još uvek ne primenjuje u Srbiji. Imajući u vidu da većina evropskih država primenjuje ovaj postupak za dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija lokalnih puteva, u okviru ovih smernica je dat kratak prikaz tipskih kolovoznih konstrukcija koje se primenjuju za puteve u Austriji.

### 7.2.1 Dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija primenom SRPS standarda

#### Dimenzionisanje novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija prema SRPS U.C4.012

Dimenzionisanje primenom standarda SRPS U.C4.012 prema kriterijumu nosivosti vrši se na osnovu: projektnog perioda, planiranog nivoa usluge (vozna sposobnost na kraju projektnog perioda), saobraćajnog opterećenja, klimatsko-hidroloških uslova, kvaliteta posteljice (CBR) i kvaliteta materijala u slojevima kolovozne konstrukcije. Klimatsko-hidrološki uslovi se definišu preko faktora sredine  $R$  koji je u funkciji od dubine i trajanja zamrzavanja, dužine perioda zasićenja tla vodom i dužine suvog perioda tokom godine. Vrednovanje materijala u slojevima kolovozne konstrukcije se vrši preko koeficijenata zamene, tj. zamenjujuće debljine pojedinih materijala u odnosu na standardni materijal.

Projektni period je vremenski period izražen u godinama za koje se kolovozna konstrukcija dimenzioniše. Dužina projektnog period zavisi od načina održavanja kolvoza i po pravilu je 20 godina, sem u slučaju etapne izgradnje, kada projektni period može biti kraći (najmanje 5 godina).

Vozna sposobnost površine kolovoznog zastora definiše se preko indeksa vozne sposobnosti, čija je vrednost za nove i idelno ravne zastore  $p=5$ , a za potpuno dregradirane zastore  $p=0$ . Obično se usvaja najmanja vrednost indeksa vozne sposobnosti na kraju projektnog perioda  $p=2,5$ .

Saobraćajno opterećenje određuje se prema standardu SRPS U.C4.010.

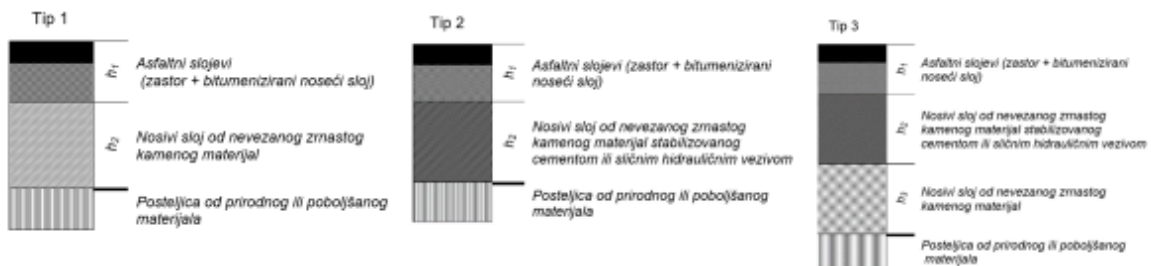
Nosivost posteljice izražava se preko vrednosti kalifornijskog indeksa nosivosti CBR, koji se određuje prema standardu SRPS U.E8.010.

Pri izboru vrste materijala u kolovoznoj konstrukciji mora se voditi računa o funkciji pojedinih slojeva, ekonomičnosti gradnje i propisanim kriterijumima kvaliteta materijala i mešavina koje se ugrađuju. Pri dimenzionisanju primenjeni materijali se vrednuju preko koeficijenata zamene materijala, tj. zamenjujuće debljine pojedinih materijala u odnosu na standardni materijal.

Tabela 21: Prosečne vrednosti koeficijenta zamene materijala

Vrsta materijala	Koeficijent zamene $a_i$	Standard SRPS
Asfalt-beton	0.42	U.E4.014
Bitumenizirani drobljeni kameni materijal	0.35	U.E9.021
Bitumenizirani šljunak sa dodatkom kamene sitneži (30%)	0.33	U.E9.021
Bitumenizirani šljunak	0.28	U.E9.021
DBNS	0.24	U.E9.028
Stabilizacija cementom	0.20	U.E9.024
Stabilizacija krečom	0.17	U.E9.026
Tucanik	0.14	U.E9.020
Drobljeni kameni materijal	0.14	U.E9.020
Granulisani šljunak	0.11	U.E9.020
Drobljeni prirodni šljunak	0.11	U.E9.020
Prirodni šljunkoviti pesak	0.07	U.E9.020

Dimenzionisanje primenom ovog standarda se vrši izborom jenog od tri tipa konstrukcije u zavisnosti vrste nosive podloge ispod asfaltnih slojeva.



Dimenzionisanje konstrukcije koja se sastoji od asfaltnih slojeva i nosivih slojeva od nevezanog agregata (Tip 1) obavlja se primenom dijagrama na slici 13 .

Dimenzionisanje konstrukcije koja se sastoji od asfaltnih slojeva i nosivih slojeva od cementom stabilizovanog zrnastog kamenog materijala (Tip 2) ili asfaltnih slojeva i nosivih slojeva od cementom stabilizovanog zrnastog kamenog materijala i nevezanog agregata (Tip 3) obavlja se primenom dijagrama na slici 14.

Ukupna debljina afaltnih slojeva i nosivih slojeva određuje se iz dijagrama u zavisnosti od ukupnog ekvivalentnog saobraćajnog opterećenja u projektnom periodu i merodavne vrednosti nosivosti posteljice izražene preko CBR vrednosti.

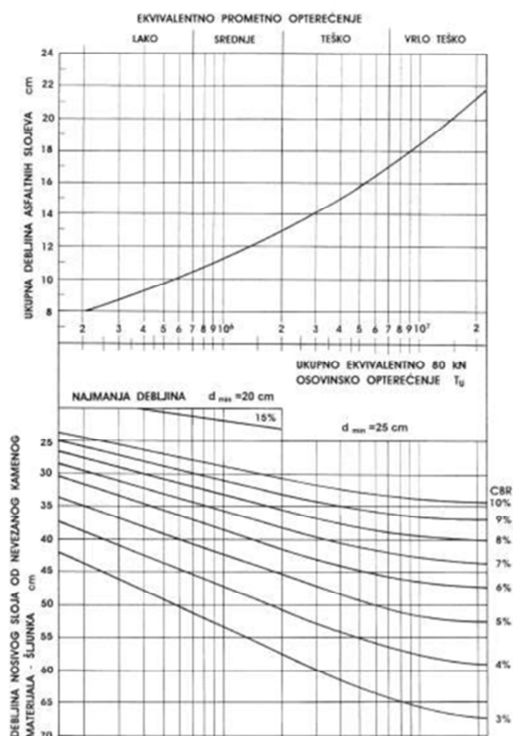
Debljina nosivog sloja od nevezanog agregata određena iz dijagrama (slika 13) odnosi se na šljunak standardom utvrđenog kvaliteta sa računskim koeficijentom zamene  $a_r = 0,11$ . Sloj šljunka se može zameniti delimično ili potpuno odgovarajućim mineralnim materijalima preračunavanjem potrebne debljine primenom koeficijenata iz tabele Tabela 21.

Debljina nosivog sloja od cementom stabilizovanog zrnastog kamenog materijala određena iz dijagrama (slika 14) odnosi se na mešavinu cementom stabilizovanog šljunka standardom utvrđenog kvaliteta sa računskim koeficijentom zamene  $a_r = 0,20$ . Ukupna debljina ovog sloja može se zameniti delimično ili potpuno odgovarajućim materijalima stabilizovanim hidrauličnim ili bitumenskim vezivom preračunavanjem potrebne debljine primenom koeficijenata iz tabele Tabela 21.

Ukupna debljina asfaltnih slojeva iz dijagrama odnosi se na odabranu asfaltnu mešavinu sa prosečnim kvalitetom između asfaltbetonske mešavine i bitumenizirane drobljene sitneži (BNS), sa računskim koeficijentom zamene  $a_r = 0,38$ . Određivanje debljine za pojedine odabrane asfaltne mešavine obavlja se preračunavanjem očitane ukupne debljine asfaltnih slojeva primenom koeficijenata zamene iz tabele Tabela 21. Pri određivanju debljine slojeva mora se voditi računa o granicama tehnoloških debljina izrade slojeva.

Slika 13: Dijagram za dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija od asfaltnih slojeva i nosivih slojeva od nevezanog agregata

Slika 14: Dijagram za dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija od asfaltnih slojeva i nosivih slojeva od cementom stabilizovanog zrnastog kamenog



Po izvršenom dimenzionisanju kolovozne konstrukcije prema kriterijumu nosivosti, u zavisnosti od klimatskih i hidroloških uslova i dubine prodiranja mraza konstrukciju treba proveriti na uticaj smrzavanja.

### Dimenzionisanje novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija prema SRPS U.C4.015

U Srbiji je u primeni i postupak dimenzionisanja u skladu sa standardom SRPS U.C4.015 koji je izrađen u skladu sa AASHTO priručnikom za dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija iz 1986 (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures). U odnosu na postupak po standardu SRPS U.C4.012 razlikuje se, jer se umesto indeksa nosivosti tla koristi povratni modul tla MR, koeficijenti zamene materijala su u funkciji modula sloja, a preko nivoa pouzdanosti uveden je faktor sigurnosti kojim se kontrolišu uticaji varijacije pojedinih parametara. Ovaj postupak dimenzionisanja je primenjiv i za fazno građenje.

Osnovni parametri za dimenzionisanje:

- Period trajanja do prvog ojačanja

- Projektni period
- Saobraćajno opterećenje
- Uticaj sredine
- Kriterijumi kvaliteta
- Svojstva materijala
- Karakteristike kolovzne konstrukcije
- Ekonomičnost

Postupak je baziran na empirijskoj jednačini u kojoj je uspostavljena veza merljivih karakteristika kolovoza sa performansama kolovoza iz koje se određuje strukturni broj kolovoza. Strukturni broj je apstraktni broj koji izražava strukturnu čvrstoću kolovoza potrebnu za datu kombinaciju nosivosti tla ( $M_R$ ), ukupnog saobraćajnog opterećenja, upotrebljivosti i uticaja sredine.

Jednačina ima sledeći oblik:

$$\log ESO_{80} = Z_R \cdot S_o + 9.36 \cdot \log(SN + 2.54) + \frac{G_t}{0.40 + \frac{138071.59}{(SN + 2.54)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log M_R - 7.045$$

gde je:

- $ESO_{80}$  – ukupno ekvivalentno saobraćajno opterećenje u projektom periodu
- $Z_R$  – standardno normalno odstupanje za odgovarajući nivo projektne pouzdanosti
- $S_o$  – standardno odstupanje (0,3-0,5)
- $G_t$       $G_t = \log(\Delta p / (4,2 - 1,5)) = \log[(p_o - p_t) / (4,2 - 1,5)]$
- $\Delta p$  – gubitak upotrebljivosti u toku projektnog perioda
- $p_o$  – početni indeks upotrebljivosti
- $p_t$  – krajnji indeks upotrebljivosti
- $M_R$  – povratni modul posteljice (Mpa)
- SN – strukturni broj kolovozne konstrukcije (cm)

Osnovni ulazni podaci za dimenzionisanje su:

- Saobraćajno opterećenje. Ekvivalentno saobraćajno opterećenje  $ESO_{80}$  – broj prelaza standardnih osovin od 80 kN u toku projektnog perioda. Koeficijenti (faktori) ekvivalencije zavise od strukturnog broja kolovozne konstrukcije (SN) i krajnjeg indeksa upotrebljivosti ( $p_t$ )
- Pouzdanost. Pouzdanost procesa projektovanja i performansi kolovoza je verovatnoća da će deonica kolovoza projektovana korišćenjem ovog procesa biti na zadovoljavajućem nivou za planirane uslove saobraćaja i životne sredine tokom projektovanog perioda. Promenljive  $Z_R$  i  $S_o$  objašnjavaju pouzdanost.
- Kolovozna konstrukcija. Kolovoznu konstrukciju karakteriše strukturni broj (SN). Strukturni broj se pretvara u stvarne debljine sloja koristeći koeficijent sloja ( $a_i$ ) koji predstavlja relativnu čvrstoću građevinskih materijala u tom sloju. Dodatno, svim slojevima ispod HMA sloja se dodeljuje koeficijent drenaže ( $m$ ) koji predstavlja relativni gubitak čvrstoće u sloju zbog njegovih karakteristika drenaže i ukupnog vremena kada je izložen uslovima vlage do skorog zasićenja. Generalno, brzo drenirajući slojevi koji skoro nikada ne postaju zasićeni mogu imati koeficijente drenaže do 1,4, dok sporo drenirajući slojevi koji su često zasićeni mogu imati koeficijente drenaže do 0,40.

$$SN = a_1 \cdot d_1 + m_2 \cdot a_2 \cdot d_2 + m_3 \cdot a_3 \cdot d_3$$

gde je:

$a_i$  – koeficijent zamene i-tog sloja

$d_i$  – debljina i-tog sloja (cm)

$m_i$  – koeficijent odvodnjavanja i-tog sloja

- Vek trajanja. Vremenski period koji se obuhvata ekonomskom analizom troškova izgradnje i održavanja kolovozne konstrukcije. Za lokalne puteve 15-25 godina. Ako se planira fazna izgradnja minimalni period između faza 5 godina.

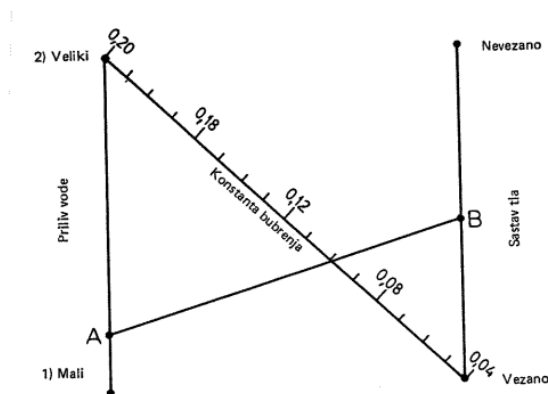
- Nivo usluge. Razlika između početnog i krajnjeg indeksa upotrebljivosti konstrukcije (PSI). Uobičajne vrednosti su  $p_0=4,2$  odmah nakon izgradnje i  $p=1,5$  za kraj životnog veka. Najniža dozvoljena vrednost indeksa upotrebljivosti za lokalne puteve je  $p_t = 2,0$ .

- Nosivost posteljice. Nosivost posteljice definiše se preko ponderisane vrednosti povratnog modula tla ( $M_R$ ) koja uključuje sezonski uticaj promene nosivosti tla usled promene vlažnosti. Ponderisana vrednost  $M_R$  se izračunava iz prosečne vrednosti faktora relativnog oštećenja  $U_{fi}$ , a na osnovu podataka o sezonskoj vrednosti  $M_{Ri}$  (za svaki mesec u godini).

$$U_{fi} = (1128,03 \cdot M_{Ri})^{-2,32}$$

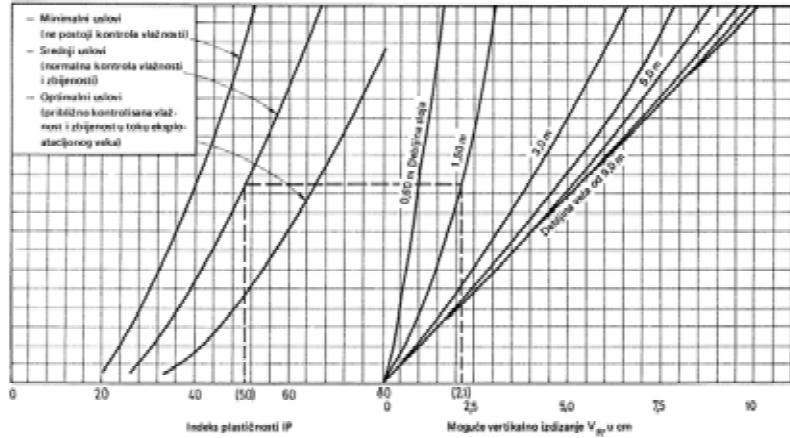
- Uticaj sredine. Pod uticajem sredine podrazumeva se dejstvo mraza i bubrenje. Uticaj bubrenja na pad upotrebljivosti određuje se preko konstante bubrenja, mogućeg vertikalnog izdizanja i verovatnoće bubrenja. Vrednost konstante bubrenja  $\theta_s$  zavisi od sastava tla i ocene nivoa vode. Određuje se iz dijagrama na slici 15.

Slika 13: Dijagram za određivanje konstante bubrenja



Moguće vertikalno izdizanje  $V_R$  predstavlja moguće vertikalno izdizanja tla u posteljici do koga dolazi pri velikom bubrenju. Vrednost se može dobiti laboratorijski ili očitavanjem sa dijagrama na slici 16.

Slika 14: Određivanje vertikalnog izdizanja usled bubrenja



Gubitak upotrebljivosti usled bubrenja tla u posteljici izračunava se iz sledeće formule:

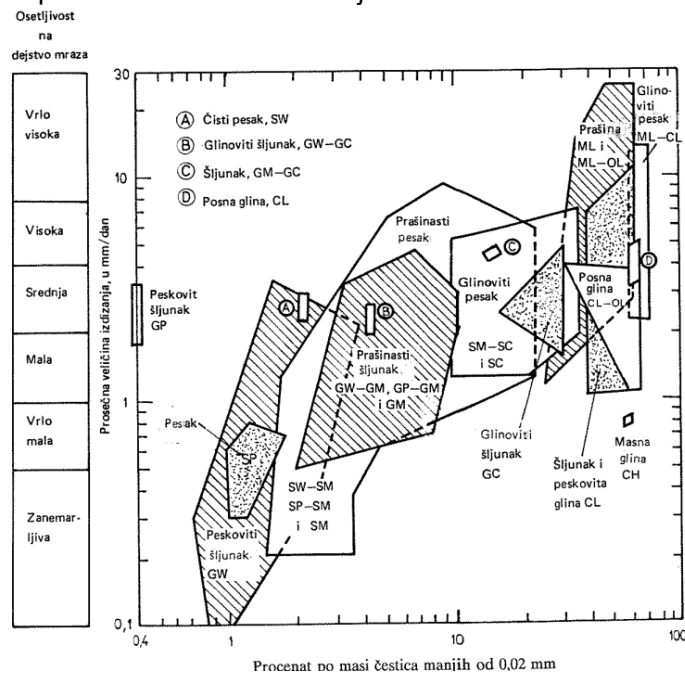
$$P_{sw} = 0.00132 * V_R * P_s * (1 - e^{-(\Theta_s * t)})$$

gde je:

- $V_R$  - moguće vertikalno izdizanje cm
- $t$  - vreme godina
- $P_s$  - verovatnoća bubrenja %
- $\Theta_s$  - konstanta bubrenja

Izdizanje tla zbog uticaja mraza po efektu je slično uticaju bubrenja. Nastaje usled formiranja ledenih sočiva u tlu. Gubitak upotrebljivosti usled izdizanje tla zbog dejstva mraza određuje se preko konstante izdizanja, verovatnoće izdizanja i maksimalno mogućeg gubitka upotrebljivosti. Konstanta izdizanja  $\theta_F$  predstavlja jedinično dnevno izdizanje usled dejstva mraza (mm/danu) i zavisi od osetljivosti tla na dejstvo mraza.

Slika 15: Dijagram za procenu konstante izdizanja usled mraza



Maksimalni mogući gubitak upotrebljivosti usled izdizanja ( $\Delta p$ ) usled mraza zavisi od kvaliteta odvodnjavanja i dubine prodiranja mraza. Za dubinu prodiranja mraza do 1.5m i slab kvalitet odvodnjavanja kreće se od 1.8 – 2,0.

Verovatnoća izdizanja  $p_F$  usled mraza predstavlja procenat od posmatrane površine na kojoj može da se pojavi ovo oštećenje. Zavisi od osetljivosti tla na mraz, vlažnosti, uslova odvodnjavanja, trajanja temperature smrzavanja i broja ciklusa mržnjenja i otapanja.

Gubitak upotrebljivosti usled izdizanja tla u posteljici izračunava se iz sledeće formule:

$$\Delta p_{FH} = 0.01 * p_F * (\max \Delta p) * (1 - e^{-0,02 * \theta_f * t})$$

gde je:

$\max \Delta p$  – maksimalni mogući gubitak upotrebljivosti

$t$  - vreme godina

$p_F$  - verovatnoca izdizanja %

$\theta_f$  - konstanta izdizanja

Ukupni gubitak upotrebljivosti usled uticaja sredine  $\Delta p_{SWFH}$  predstavlja zbir gubitka upotrebljivosti usled bubrenja ( $p_{SW}$ ) i usled izdizanja pod dejstvom mraza ( $p_{FH}$ ).

• Svojstva materijala. Mehanička svojstva materijala se definišu preko povratnog modula tla u posteljici, povratnog modula nevezanih materijala, modula krutosti/elastičnosti za materijale sa vezivom i koeficijenta slojeva.

Povratni modul elastičnosti tla može se odrediti opitom ili iz korelacije između  $M_R$  I kalifornijskog indeksa nosivosti CBR.

$$M_R = 10,342 * CBR \text{ (MPa)}$$

Povratni modul za donju podlogu od nevezanog materijala  $E_1$  u zavisnosti od modula na posteljici  $M_R$  i debljine donje podloge  $h_1$  izračunava se iz odnosa:

$$E_1 = M_R * 0,58 * (h_1)^{0,45}$$

gde je:

$E_1$  - povratni modul za donju podlogu (Mpa)

$M_R$  - povratni modul posteljice (Mpa)

$h_1$  – debljina donje podloge (cm)

Svojstva bitumenom vezanih materijala karakteriše dinamički modul krutosti koji se izračunava iz sledećeg izraza:

$$\begin{aligned} \log E = & -1,607535 + 0,028829 \times \frac{P_{200}}{f^{0,17033}} - 0,03476 V_v + 0,70377 \times (\eta_{21^\circ C, 10^6}) + \\ & + 0,000005 \times \left[ (1,8 t_p + 32)^{(1,3+0,49825 \log f)} \times P_{ac}^{0,5} \right] - \\ & - 0,00189 \times \left[ (1,8 t_p + 32)^{(1,3+0,49825 \log f)} \times \frac{P_{ac}^{0,5}}{f^{1,1}} \right] + 0,931757 \times \frac{1}{f^{0,02774}} \end{aligned}$$

gde je:

$E$  - dinamički modul krutosti asfalt betona (Mpa)

$P_{200}$  - % prolaza agregata kroz sito No200 (veličina otvora 0,074 mm) orijentaciono 2%-10%

$f$  - frekvenca u Hz - orijentaciono 10 Hz

$V_v$  - procenat šupljina ispunjenih vazduhom - orijentaciono 0%-15%

$\eta_{21^{\circ}\text{C}, 10^6}$ - apsolutna viskoznost na 21°C u Nsec/cm<sup>2</sup> - orijentaciono 0,13 Ns/cm<sup>2</sup> - 0,44 Ns/cm<sup>2</sup>  
 Pac - količina veziva u % mase mešavine - orijentaciono 3,5% - 10%  
 tp - temperatura u °C - orijentaciono 25°C

Modul elastičnosti za cementom vezane materijale izračunava se iz sledećih izraza:

-cementom stabilizovan drobljeni agregat

$$E = 8 \cdot \sigma_b + 3\,500 \text{ (Mpa)}$$

$$E = 4,16 \cdot \sigma_a^{0,88} + 3\,485 \text{ (Mpa)}$$

-cementom stabilizovan prirodni šljunak

$$E = 10 \cdot \sigma_b + 1\,000 \text{ (Mpa)}$$

$$E = 5,13 \cdot \sigma_a^{0,88} + 1\,098 \text{ (Mpa)}$$

gde je:

$\sigma_a$  - čvrstoća na pritisak pri slobodnom bočnom širenju

$\sigma_b$  - čvrstoća na savijanje

Koeficijenti slojeva

Karakteristike materijala u slojevima prikazuju se preko konstrukcionih koeficijenata slojeva  $a_i$ .

Tabela 22: Korelacioni odnosi za različite slojeve i materijale su

Material u sloju kolovozne konstrukcije	Konstrukcioni koeficijent sloja $a_i$
Zastor od asfalt betona ili BNS	$a_1 = 0,40 \log E_1 - 0,951$
Bito šljunak I DNBS	$a_2 = 0,30 \log E_2 - 0,713$
Cementna stabilizacija	$a_2 = 0,52 \log E_2 - 1,728$
Izdrobljeni beton	$a_2 = 0,27 \log E_2 - 0,589$
Nevezani agregat u gornjoj podlozi	$a_2 = 0,249 \log E_2 - 0,439$
Nevezani agregat u donjoj podlozi	$a_3 = 0,227 \log E_3 - 0,348$

Dimenzionisanje fleksibilne kolovozne konstrukcije

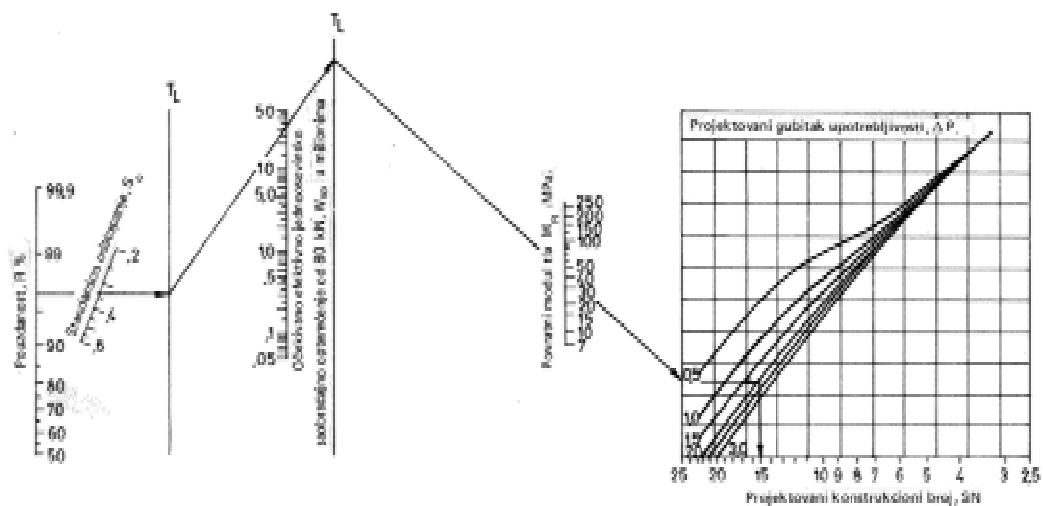
Dimenzionisanje potrebne debljine kolovozne konstrukcije obavlja se u pet koraka uz pomoć osnovne jednačine:

$$\log ESO_{80} = Z_R \cdot S_o + 9.36 \cdot \log(SN + 2.54) + \frac{G_t}{0.40 + \frac{138071.59}{(SN + 2.54)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log M_R - 7.045$$

ili dijagrama datog na slici 18, a na osnovu ulaznih podataka o:

- projektnom saobraćajnom opterećenju  $ESO_{80}$
- pouzdanosti R
- prosečnom standardnom odstupanju  $s_o$
- stvarnom povratnom modulu posteljice  $M_R$
- projektovanom gubitku upotrebljivosti  $\Delta p = p_o - p_t$

Slika 16: Dijagram za određivanje strukturnog broja kolovozne konstrukcije SN



Na osnovu izračunatog ili očitano sa dijagrama (slika

Slika 16) strukturnog broja SN određuje se debljina zastora, gornjih i donjih nosećih slojeva.

$$SN = a_1 \cdot d_1 + m_2 \cdot a_2 \cdot d_2 + m_3 \cdot a_3 \cdot d_3$$

gde je:

$a_i$  – koeficijent zamene i-tog sloja

$d_i$  – debljina i-tog sloja (cm)

$m_i$  – koeficijent odvodnjavanja i-tog sloja

Debljina slojeva određuje se probanjem, na sledeći način imajući u vidu minimalne tehnološke debljine slojeva, uslove sredine i troškove:

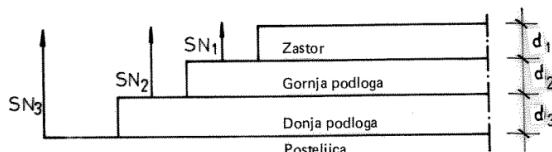
$$d_1 \geq SN_1 / a_1$$

$$SN_1' = a_1 \cdot d_1 \geq SN_1$$

$$d_2 \geq (SN_2 - SN_1') / (a_2 \cdot m_2)$$

$$SN_2' = a_2 \cdot d_2 \cdot m_2 \geq SN_1'$$

$$d_3 \geq [SN_3 - (SN_1' - SN_2')] / (a_3 \cdot m_3)$$



Ako je kolovozna konstrukcija izložena bubrenju i/ili izdizanju usled mraza potrebno je proveriti projektni vek konstrukcije na gubitak upotrebljivosti po ovim uticajima ( $p_{SW}$  i  $p_{FH}$ ). Ukoliko se izračunati vek konstrukcije razlikuje od projektovanog veka do prvog ojačanja za više od 1 godine izvršiti korekciju proračuna.

Pri određivanju debljine slojeva treba voditi računa o izboru asfaltne mešavine i minimalnim tehnološkim debljinama asfaltnih slojeva.

Tabela 23 : Izbor asfaltne mešavine u zavisnosti od grupe saobraćajnog opterećenja

Grupa saobraćajnog opterećenja	vrsta asfalt - betona						
	AB4	AB8	AB 11	AB 11s	AB 16	AB 16s	AB 22s
Auto-put i vrlo teško	-	-	-	+	-	+	+
Teško	-	-	-	+	-	+	+
Srednje	-	+	+	+	+	-	-
Lako	-	+	+	-	-	-	-
Vrlo lako	+	+	+	-	-	-	-

Tabela 24: Granične debljine slojeva bitumeniziranih mešavina za asfaltne habajuće slojeve

Tehnološka debljina sloja (mm)	vrsta asfalt - betona						
	AB4	AB8	AB 11	AB 11s	AB 16	AB 16s	AB 22s
najmanje	20	30	35	40	50	60	70
najviše	30	40	50	60	60	75	85

Tabela 25: Granične debljine slojeva bitumeniziranih mešavina za asfaltne noseće slojeve

Tehnološka debljina sloja (mm)	vrsta asfalt - betona				
	AB16 bin	AB22 bin	AB 16 base	AB 22 base	AB 32 base
najmanje	50	60	50	60	80
najviše	80	100	70	100	140

### Dimenzionisanje krutih kolovoznih konstrukcija prema SRPS U.C4.014

Mada se cement betonski kolvozi (krute kolovozne konstrukcije) vrlo retko primenjuju na lokalnim putevima, u specifičnim uslovima može se pokazati da je primena ove vrste kolovoza ekonomski isplativa, pa je iz tog razloga dat kratak prikaz postupka dimenzionisanja.

Za dimenzionisanje krutih kolovoznih konstrukcija u Srbiji je u primeni standard SRPS U.C4.014 koji je izrađen u skladu sa AASHTO priručnikom za dimenzionisanje kolovoznih konstrukcija iz 1986 (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures). Dimenzionisanje se vrši prema kriterijumu nosivosti u cilju utvrđivanja optimalne debljine slojeva konstrukcije, a na osnovu analize sledećih parametara:

- Projektnog perioda
- Nivoa usluge (vozna sposobnost na kraju projektnog perioda)
- Saobraćajnog opterećenja
- Nosivosti podloge (modula reakcije podloge i koeficijent dreniranja)
- Modula elastičnosti i čvrstoće na zatezanje pri savijanju betonske ploče
- Prenosenja opterećenja preko spojnica
- Nivoa pouzdanosti
- Uticaja sredine (bubrenje tla i delo mraza)

Dimenzionisanje po ovom standardu je metodološki slično postupku dimenzionisanja fleksibilnih kolovoznih konstrukcija primenom standarda SRPS U.C4.015.

Postupak je baziran na empirijskoj jednačini u kojoj je uspostavljena veza merljivih karakteristika kolovoza sa performansama kolovoza iz koje se određuje debljina betonske ploče.

Jednačina ima sledeći oblik:

$$\log ESO_{80} = Z_R \cdot S_o - 3,0355 + 7,35 \cdot \log (D + 2,54) + \frac{G_t}{1 + \frac{4,32 \cdot 10^{10}}{(D + 2,54)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 \cdot p_t) \cdot \log \frac{0,673 \cdot f_{zC} \cdot C_d \cdot (D^{0,75} - 2,278)}{J \cdot [D^{0,75} - \frac{14,796}{(\frac{E_c}{K})^{0,25}}]}$$

gde je:

- ESO<sub>80</sub> – ukupno ekvivalentno saobraćajno opterećenje u projektom periodu  
 Z<sub>R</sub> – standardno normalno odstupanje za odgovarajući nivo projektne pouzdanosti  
 S<sub>o</sub> – standardno odstupanje (0,3-0,5)  
 G<sub>t</sub> G<sub>t</sub> = log (Δp / (4,5 – 1,5)) = log [(p<sub>o</sub> – p<sub>t</sub>) / (4,5 – 1,5)]  
 Δp – gubitak upotrebljivosti u toku projektnog perioda  
 p<sub>o</sub> – početni indeks upotrebljivosti  
 p<sub>t</sub> – krajnji indeks upotrebljivosti  
 D – debljina betonske ploče  
 f<sub>zC</sub> – čvrstoća na zatezanje pri savijanju betonske ploče (Mpa)  
 C<sub>d</sub> – koeficijent dreniranja  
 E<sub>c</sub> – modul elastičnosti betonske ploče (Mpa)  
 K – modul reakcije podloge (MN/m<sup>3</sup>)

Osnovni ulazni podaci za dimenzionisanje:

- Saobraćajno opterećenje. Ekvivalentno saobraćajno opterećenje ESO<sub>80</sub> – broj prelaza standardnih osovina od 80 kN u toku projektnog perioda. Koeficijenti (faktori) ekvivalencije zavise od debljine betonske ploče (D) i krajnjeg indeksa upotrebljivosti (p<sub>t</sub>).

Određivanje sledećih ulaznih podataka se vrši na istovetan način kao postupku dimenzionisanja fleksibilnih kolovznih konstrukcija primenom standarda SRPS U.C4.015 (vidi poglavlje koje se odnosi na dimenzionisanje primenom ovog standarda):

- Nivo pouzdanosti
- Vek trajanja
- Nivo usluge
- Nosivost posteljice
- Uticaj sredine (bubrenje i izdizanje usled mraza)

• Svojstva materijala. U okviru svojstva materijala definišu se stvarni povratni moduli reakcije podloge K, karakteristike materijala u slojevima kolovozne konstrukcije, moduli loma i koeficijenti slojeva.

Osnovni pokazatelj nosivosti slojeva od nevezanih materijala su elastični ili povratni modul  $M_R$ , modul reakcije podloge K i kalifornijski indeks nosivosti CBR.

Modul reakcije podloge K je nastao iz Winkler-ove teorije o ploči na elastičnoj podlozi. Po ovoj teoriji sila reakcije u bilo kojoj tački oslanjanja je proporcionalna ugibu u datoj tački i ne zavisi od ugiba u okolnim tačkama. Koeficijent proporcionalnosti je modul reakcije tla K ( $MN/m^3$ ).

Modul reakcije tla zavisi od:

- Kvaliteta posteljice ( $M_R$ )
- Kvaliteta i debljine donje podloge
- Mogućeg gubitka nosivosti (LS) usled erozije materijala u donjoj podlozi
- Dubine do čvrstog, nedeformabilnog sloja

Ukoliko se betonska ploča polaže direktno na posteljicu, modul reakcije tla se izračunava is sledećeg izraza:

$$K = M_R / 0,477$$

Povratni modul elastičnosti tla  $M_R$  može se odrediti opitom ili iz korelacije između  $M_R$  i kalifornijskog indeksa nosivosti CBR. ( $M_R = 10,342 * CBR$  (MPa))

Ako se betonska ploča polaže preko donje podloge, za proračun se koristi složeni modul reakcije podloge koji zavisi od nosivosti posteljice, modula elastičnosti donje podloge, debljine podloge i projektovane debljine cementnobetske ploče.

Modul elastičnosti za donju podlogu od nevezanog materijala  $E_1$  izračunava se iz odnosa:

$$E_1 = M_R * 0,58 * (h_1)^{0,45}$$

gde je:

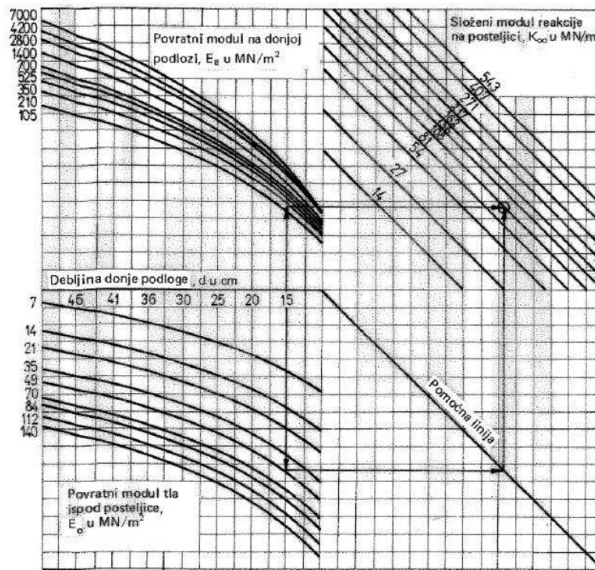
$E_1$  - povratni modul za donju podlogu (Mpa)

$M_R$  - povratni modul posteljice (Mpa)

$h_1$  – debljina donje podloge (cm)

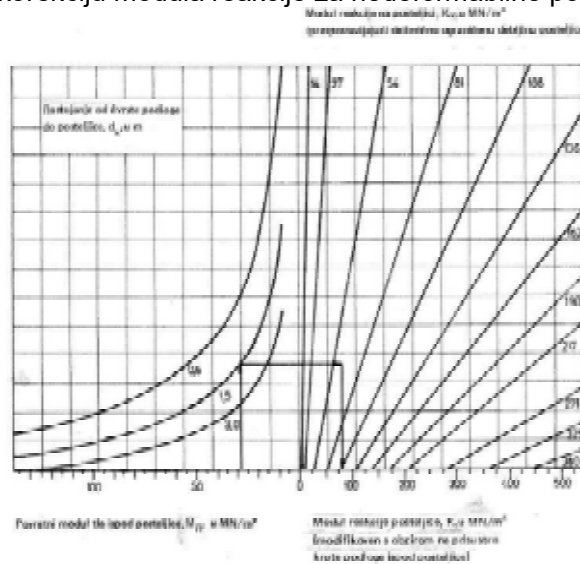
Složeni modul reakcije podloge određuje se iz dijagrama sa slike Slika 17.

Slika 17: Dijagram za procenu složenog modula reakcije podloge pod pretpostavkom da je debljina sloja tla ispod posteljice veća od 3 metra



U slučaju da ispod posteljice nalazi kruta podloga na dubini do 3 metra vrši se korekcija modula reakcije podloge prema dijagramu na slici 20.

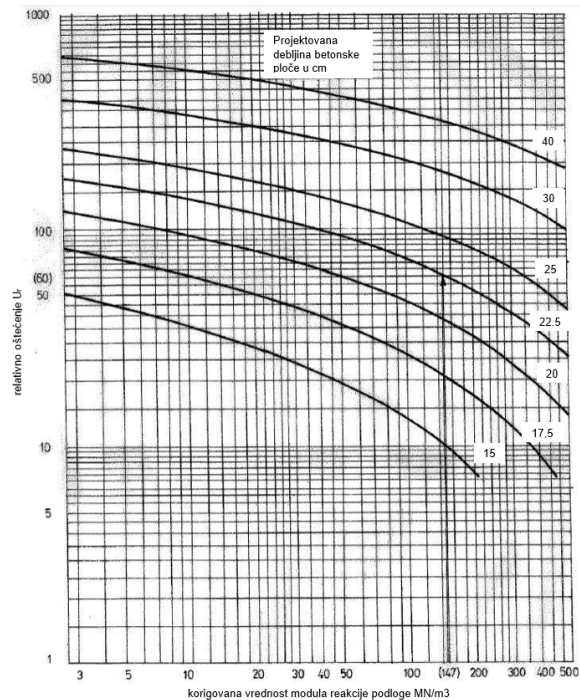
Slika 18 : Dijagram za korekciju modula reakcije za nedeformabilne podloge



Modul reakcije tla se menja tokom godišnjih sezona prvenstveno u zavisnosti od stanja vlažnosti. Da bi se dobila reprezentativna vrednost, koja uključuje sezonske promene modula krutosti, izračunava se efektivni modul reakcije tla  $K_{eff}$ . On se određuje preko ponderisane vrednosti na osnovu  $n=12$  ili  $n=24$  sezonske vrednosti, preko faktora relativnog oštećenja  $U_r$ . Za svaku sezonu/mesec u godini se odredi  $U_{ri}$   $i = 1 \dots 12$  (24), pa se na osnovu prosečne vrednosti  $\bar{U}_r$  iz istog izraza odredi ponderisana (projektna) vrednost modula reakcije podloge  $K_{eff}$ .

$$\bar{U}_r = \frac{\sum_i^n U_{ri}}{n} \Rightarrow K_{eff}$$

Slika 19 : Dijagram za ocenu relativnog oštećenja na osnovu debljine ploče i nosivosti podloge



- Svojstva vezanih materijala. Osnovni pokazatelj nosivosti slojeva od materijala vezanih cementom je modul elastičnosti, a vezanih bitumenom modul krutosti.

Modul elastičnosti cement betona  $E_C$  predstavlja odnos napona i elastične povratne deformacije pri kratkotrajnom opterećenju i rasterećenju. Okvirna vrednost  $E_C$  je 20.000 Mpa do 40.000 Mpa. Pored laboratorijskog ispitivanja, modul elastičnosti cement betona može se odrediti iz sledećeg izraza (PBAB87):

$$E_c = 9250 \cdot \sqrt[3]{f_{bk} + 10} \text{ (MPa)}$$

$f_{bk}$  – karakteristična čvrstoća betona na pritisak (MPa)

Zatezna čvrstoća cement betona pri savijanju  $f_{zs}$  laboratorijski se određuje na prizmama, ili iz sledećeg izraza (PBAB 87):

$$f_{zm} = 0,25 \cdot \sqrt[3]{f_{bk}^2}$$

gde je:

$f_{zm}$  – srednja vrednost čvrstoće na čisto zatezanje (MPa)

$f_{bk}$  – karakteristična čvrstoća betona na pritisak (MPa)

Odnos čvrstoće pri zatezanju savijanjem  $f_{zs}$  i čvrstoće pri aksijalnom zatezanju  $f_z$  je, prema PBAB 87:

$$\frac{f_{zs}}{f_z} = \left( 0,6 + \frac{0,4}{\sqrt[3]{h}} \right) \geq 1$$

$h$  – visina poprečnog preseka

Dozvoljeni napon zatezanja pri savijanju izračunava se preko izraza:

$$\sigma_{zsdop} = \frac{f_{zs}}{F_s}$$

Koeficijent sigurnosti  $F_s$  zavisi od broja ponavljanja opterećenja i kreće se od 1,33 (5.000 ponavljanja do loma) do 2,00 (100.000 i više ponavljanja do loma). Obično se usvaja  $F_s = 1,33$ .

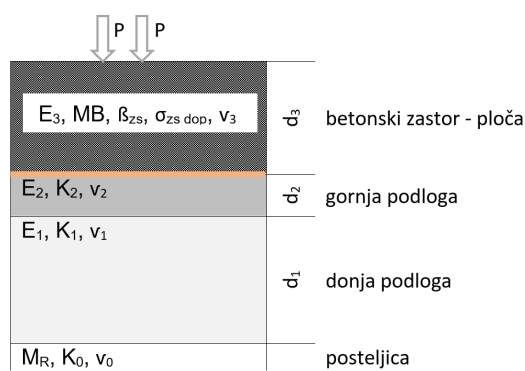
Prema tehničkim uslovima za izradu cement betonskog kolovoza SRPS U.E3.020 za saobraćajno opterećenje koje se očekuje na lokalnim putevima (srednje, lako i vrlo lako) za izradu cementbetonskih ploča primenjuje se beton MB30 (klasa C25/30) sa  $f_{bk} \geq 30$  Mpa,  $f_{zs} \geq 4,0$  Mpa.

Modul elastičnosti za cementom stabilizovanu podlogu i modul krutosti za bitumenom vezane materijale određuje se prema postupku opisanom u delu koji se odnosi na dimenzionisanje novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija prema SRPS U.C4.015.

- Karakteristike kolovozne konstrukcije. U okviru karakteristika kolovozne konstrukcije definiše se pretpostavljeni poprečni profil, odvodnjavanje, prenošenje opterećenja i gubitak nosivosti.

Za usvajanje parametara merodavnih za projektovanje potrebno je na osnovu iskustva pretpostaviti strukturu kolovozne konstrukcije, tj. njen računski model.

Slika 20: Računski model pretpostavljene kolovozne konstrukcije



Kvalitet odvodnjavanja i procenat vremena u toku godine kada su podloga konstrukcije i posteljica izloženi vlažnosti bliskoj zasićenju, definišu se preko koeficijenta dreniranja  $C_d$ , sa vrednostima navedenim u Tabeli 26.

Tabela 26: Koeficijenti dreniranja  $C_d$

Kvalitet odvodnjavanja	Procenat vremena u toku godine kada je kolovozna konstrukcija izložena nivou vlažnosti bliskom zasićenju			
	< 1,5%	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Odličan	1,25 - 1,20	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10
Dobar	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	1,00
Srednji	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,90
Slab	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80	0,80
Vrlo slab	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80	0,80 – 0,70	0,70

Prenošenje opterećenja preko spojnice ili pukotine u betonskom kolovozu definiše se preko koeficijenta prenosa opterećenja  $J$ . Ovaj koeficijent zavisi od nosivosti podloge i termičkih uslova, pa je vrednost  $J$  veća pri nižim vrednostima modula reakcije tla  $K$ , višim termičkim koeficijentima i većim promenama temperature. U slučaju primene moždanika na spojnica usvaja se vrednost  $J=3,2$ . U slučaju da nema moždanika  $J= 3,8$  do  $4,4$ .

Gubitak nosivosti

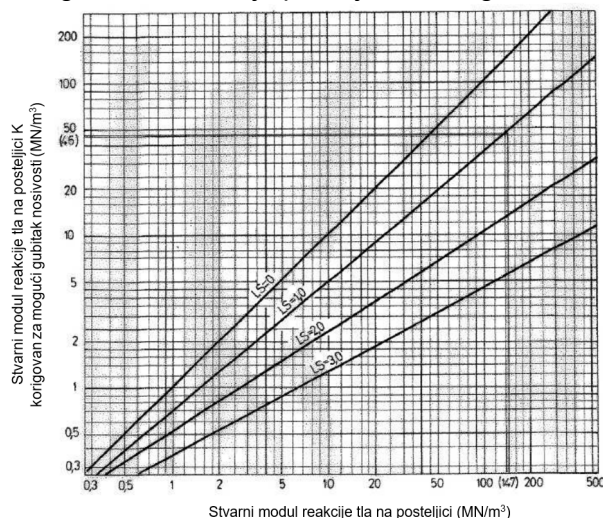
Koeficijent gubitka nosivosti  $LS$ , obuhvata mogući gubitak nosivosti zbog erozije podloge ili različitih vertikalnih pomeranja u tlu posteljice.

Tabela 27: Korekcija  $K_{eff}$  zbog gubitka nosivosti LS

Tip materijala u podlozi kolovozne konstrukcije	LS
Cementom stabilizovan šljunak (E = 7000 - 14000 MPa)	0,0 – 1,0
Cementom stabilizovan lokalni materijal (E = 3500 - 7000 MPa)	0,0 – 1,0
Bitumenizirani šljunak ili drobljeni agregat (E = 2500 - 7000 MPa)	0,0 – 1,0
Bitumenom stabilizovan agregat (E = 300 - 2100 MPa)	0,0 – 1,0
Stabilizacija krečom (E = 150 - 500 MPa)	1,0 – 3,0
Nevezani šljunak (E = 100 - 200 MPa)	1,0 – 3,0
Sitnozrni prirodni materijal u posteljici (E = 20 - 300 MPa)	2,0 – 3,0

Uticaj vrednosti LS na smanjenje modula reakcije K u posteljici prikazan je na slici 23.

Slika 21 : Korekcija stvarnog modula reakcije posteljice usled gubitka nosivosti u donjoj podlozi



### Određivanje potrebne debljine cementbetonske ploče

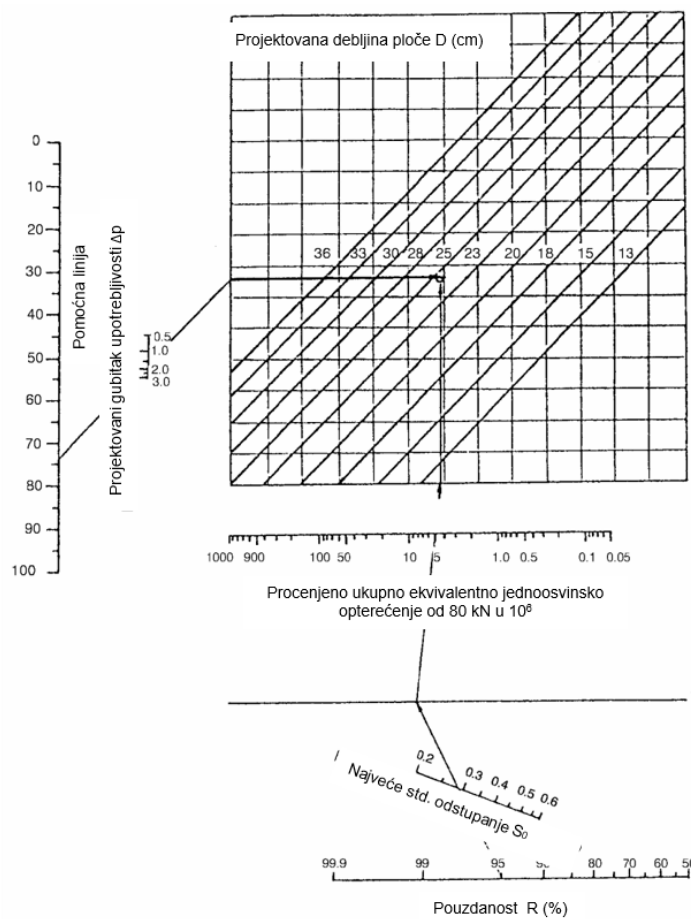
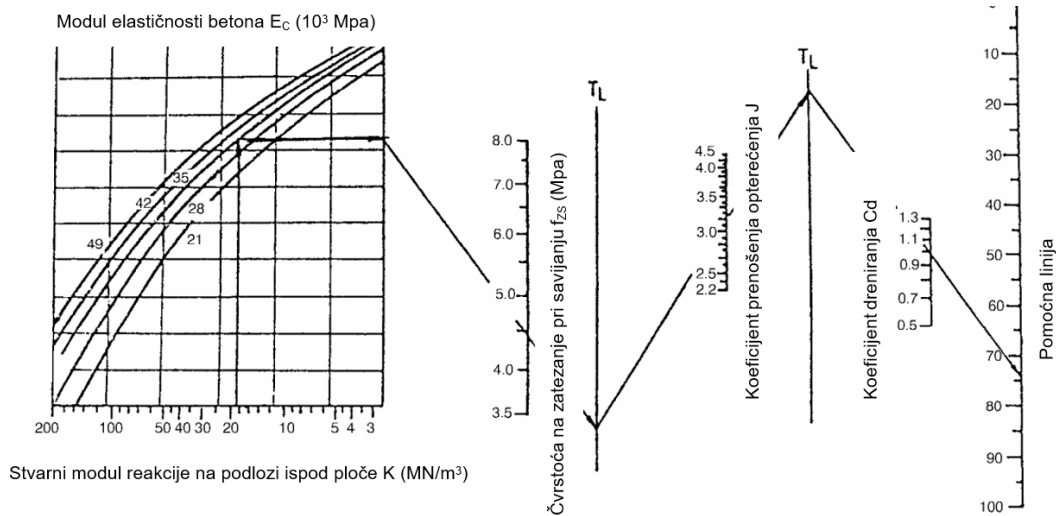
Debljina cementbetonske ploče određuje se računski iz osnovne jednačine

$$\log ES080 = ZR \cdot So - 3,0355 + 7,35 \cdot \log (D + 2,54) + \frac{G_t}{1 + \frac{4,32 \cdot 10^{10}}{(D + 2,54)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 \cdot pt) \cdot \log \frac{0,673 \cdot f_{zC} \cdot C_d \cdot (D^{0,75} - 2,278)}{J \cdot [D^{0,75} - \frac{14,796}{(\frac{E_c}{K})^{0,25}}]}$$

ili grafički iz dijagrama sa slike Slika 22 na osnovu sledećih podataka: stvarnog modula reakcije K na podlozi ispod ploče, prognoziranog ukupnog ekvivalentnog saobraćajnog opterećenja u projektnom periodu, pouzdanosti R, najvećeg standardnog odstupanja  $S_0$ , projektovanog gubitka upotrebljivosti, modula elastičnosti betona  $E_c$ , dozvoljenog napona zatezanja pri savijanju  $\sigma_{zsdop}$ , koeficijenta prenošenja opterećenja J i koeficijenta dreniranja  $C_d$ .

Optimalnu kombinaciju debljine cementbetonske ploče i vrste i debljine podloge bira projektant na osnovu ekonomskih i drugih parametara.

Slika 22: Dijagram za određivanje debljine cementbetonske ploče



Pre konačnog usvajanja kolovozne konstrukcije vrši se provera napona u cementobetonskoj ploči nastalih usled saobraćajnog opterećenja i termičkih uticaja.

Po usvajanju slojeva kolovozne konstrukcije i njihove debljine, pristupa se drugoj fazi dimenzionisanja tokom koje se vrši:

- Određivanje dimenzija ploča
- Određivanje širine otvora spojnica
- Usvajanje moždanika
- Za armirane proračun poprečne i podužne armature

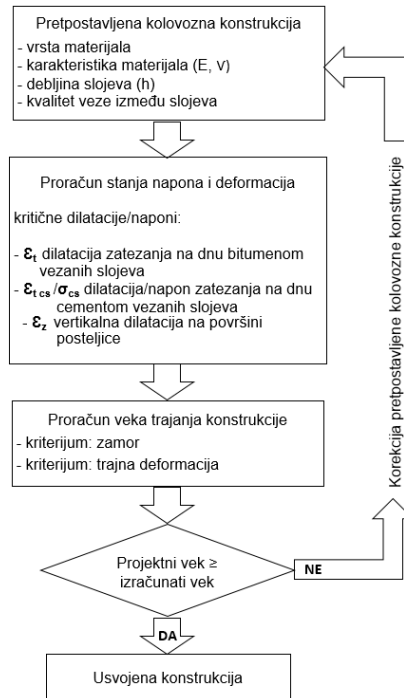
Poželjan odnos dužine i širine ploče ( $L/B \leq 1,25$ ), a maksimalna dimenzija ploče ne bi trebala da bude veća od  $25 \times h$  gde je  $h$  debljine ploče u cm. Za nearmiranu betonsku ploču bez moždanika  $L < 4,5$  m, sa moždanicima  $L < 6,0$  m.

### 7.2.2 Analitičko-empirijska metoda dimenzionisanja kolovoznih konstrukcija

Tokom vremena, od početka primene standarda za empirijske postupake projektovanja kolovoznih konstrukcija ( SRPS U.C4.012 pre 41 god.; SRPS U.C4.014 i SRPS U.C4.015 pre 28 god.) došlo je do značajnog napretka u metodologiji projektovanja. Na primer, AASHTO priručnik za projektovanje koji je bio osnov za izradu standarda SRPS U.C4.015 je više puta inoviran, tako da je prvo u izdanju od 2008., a kasnije i 2015. napuštena koncepcija empiriskog postupka i uveden je analitičko-empirijski postupak (MEPDG) dimenzionisanja kolovoznih konstrukcija. Ovaj postupak predstavlja kombinaciju analitičkog postupka po kome se vrši proračun napona, dilatacija, ugiba i empirijskog postupka za ocenu kumulativne oštećenosti konstrukcije. Pokazalo se da postoje značajne razlike u analizi konstrukcija po ranijim i inoviranim ASSHTO postupcima dimenzionisanja, a posebno u domenu definisanja stanja kolovoza kao i u značajno manjoj ukupnoj debljini konstrukcije izračunatoj po MEPDG postupku. Ovo je logično jer se pri čisto empirijskim metodama, sa vrlo ograničenim uticajnim podacima, primenjuju veći koeficijenti sigurnosti. Primena analitičko-empirijskog postupka omogućava precizniju procenu ponašanja konstrukcije, pa samim tim i potencijalnu uštedu u materijalu i troškovima izgradnje / rehabilitacije. Ovo se pre svega odnosi na lokalne puteve sa malim saobraćajnim opterećenjem. Usled niza specifičnosti, a posebno u domenu uslova za kompozitne materijale i mešavine, direktna primena AASHTO postupaka nije moguća, već je potrebno uraditi niz modifikacija u cilju prilagođavanja lokalnim uslovima.

Dimenzionisanje se sprovodi tako što se za pretpostavljenu strukturu kolovozne konstrukcije, primenom mehaničkog modela višeslojnog elastičnog sistema ili metode konačnih elemenata, vrši proračun stanja napona i deformacija. Na osnovu izračunatih vrednosti kritične dilatacije zatezanja na dnu bitumenom vezanih slojeva ili napona zatezanja u cementom vezanim slojevima i dilatacije pritiska na površini posteljice, proverava se da li je održiv projektni vek pretpostavljene konstrukcije u odnosu na zamor i trajnu deformaciju. Ukoliko pretpostavljena konstrukcija ne zadovoljava zadati uslov, vrši se korekcija i ponovni proračun do zadovoljenja uslova.

Slika 23: Postupak dimenzionisanja primenom analitičko-empirijske metode



Prvi korak u postupku dimenzionisanja po ovoj metodi je formiranje strukture kolovozne konstrukcije na osnovu svih uticajnih faktora. Projektant na osnovu svih uticajnih faktora (prognoziranog obima saobraćaja, klimatskih uslova, nosivosti tla, dostupnosti materijala, tehnoloških uslova izvođenja, itd.), na osnovu iskustva ili uz pomoć neke od empirijskih metoda, formira predlog strukture konstrukcije. Pod ovim se podrazumeva da se definiše vrsta materijala za svaki od slojeva i podlogu, karakteristike materijala preko modula i poasonovog koeficijenta, karakteristike spoja između slojeva i pretpostave debljine slojeva.

Modul elastičnosti se najčešće izračunavaju primenom formula koje su dobijene kao rezultat istražnih radova i laboratorijskih opita, a verifikovane su tokom primene na projektima.

Povratni modul elastičnosti za posteljicu može se odrediti opitom ili iz korelacije između  $M_R$  i kalifornijskog indeksa nosivosti CBR, a prema sledećoj formuli:

$$E = M_R = 10,342 \cdot \text{CBR} \quad (\text{MPa})$$

Poasonov koeficijent za tlo u posteljici je  $\mu = 0,3 - 0,5$

Modul elastičnosti za donju podlogu od nevezanog materijala  $E_1$  u zavisnosti od modula na posteljici  $M_R$  i debljine donje podloge  $h_1$ , izračunava se iz odnosa:

$$E_1 = M_R \cdot 0,58 \cdot (h_1)^{0,45}$$

gde je:

$E_1$  - povratni modul za donju podlogu (Mpa)

$M_R$  - povratni modul posteljice (Mpa)

$h_1$  – debljina donje podloge (cm)

Poasonov koeficijent za podlogu od prirodnog ili drobljenog agregata je  $\mu = 0,35 - 0,40$

Za cementnu stabilizaciju modul elatičnosti zavisi od čvstoće na pritisak, pa se modul elastičnosti za mršav beton i mešavine sa drobljenim agregatom može izračunati iz formule:

$$E_{cs} = 4733 \cdot \sqrt{f_{b,28}}$$

a za mešavine sa drobljenim i prirodnim agregatom iz formule:

$$E_{cs} = k \cdot f_{b,28} \quad (k = 1000 - 1250)$$

gde je:

$E_{cs}$  – modul elastičnosti mršavog betona/cementne stabilizacije (Mpa)

$f_{b,28}$  – čvrstoća na pritisak posle 28 dana (Mpa)

Prema standardu SRPS U.E9.024 – Izrada nosećih slojeva kolovoznih konstrukcija puteva od materijala stabilizovanih cementom i sličnim vezivima, projektna vrednost čvrstoće na pritisak posle 28 dana za primenu u donjim nosećim slojevima puteva sa manjim saobraćajnim opterećenjem je  $f_{b,28} = 2,5 - 6,0$  Mpa.

Bitumenom vezane slojeve karakteriše modul krutosti koji se se za potrebe projektovanja izračunava iz modula krutosti veziva i faktora zapreminske koncentracije veziva i agregata u mešavini.

Modul krutosti bitumena može se izračunati iz sledećeg izraza (Shell – Van der Poel):

$$S_{bit} = 1,157 \times 10^{-7} \times t_w^{-0,368} \times e^{-IP} \times (T_{800} - T)^5$$

gde je:

$S_{bit}$  – modul krutosti bitumena (MPa)

$t_w$  – vreme trajanja opterećenja ( $t_w=0,02$  sec – odgovara za  $V=50-60$  km/h)

$T_{800}$  – temperature na kojoj je penetracija  $800pen^{\circ}$  ( $1 pen^{\circ} = 0,1$  mm), odgovara približno  $T_{pk}$

$T$  – merodavna temperature za dimenzionisanje kolovozne konstrukcije

$pen_{25}^{\circ}$  – penetracija ostarelog veziva (~ 65% penetracije originalnog veziva)

$$IP = \frac{1951,55 - 500 \cdot \log(pen_{25}^{\circ}) - 20 \cdot T_{pk}}{50 \cdot \log(pen_{25}^{\circ}) - T_{pk} - 120,15}$$

Indeks penetracije (IP) je indikator osetljivosti bitumena na promenu temperature. Što je IP veći, to je bitumen manje osetljiv na promenu temperature. (standardni bitumen IP -1,5 do +0,7, PmB IP>4)

Bitumenom vezani slojevi su termosenzibilni, pri niskim temperaturama sloj postaje krt i lomljiv, dok je na višim temperaturama podložan plastičnim deformacijama, pa je potrebno posebnu pažnju posvetiti određivanju merodavne temperature za dimenzionisanje kolovoza. Temperatura za dimenzionisanje kolovozne konstrukcije ( $T$ ) određuje se iz ponderisane srednje godišnje temperatura kolovoza (WMAPT) prema Shell Pavement Design Manual - Asphalt pavement and overlays for road traffic.

WMAPT se izračunava iz merodavne temperature vazduha (WMAAT) na datoj lokaciji na osnovu srednjih mesečnih temperatura vazduha. Za svaku srednju mesečnu temperature vazduha izračunava se težinski faktor WF iz sledećeg izraza:

$$WF_i = 10^{(-1,224 + 0,06508 \cdot T_{air} - 0,000145 \cdot T_{air,i}^2)} \quad i = 1 \dots 12$$

Merodavna temperatura vazduha izračunava se iz sledećeg izraza:

$$WMAAT = 19,66 + 16,91 \cdot \log(WF_{av} + 0,3117 \cdot (\log(WF_{av})))^2$$

gde je:

$WF_{av}$  srednja godišnja vrednost težinskog faktora dobijena iz:  $WF_{av} = \frac{\sum_1^{12} WF}{12}$

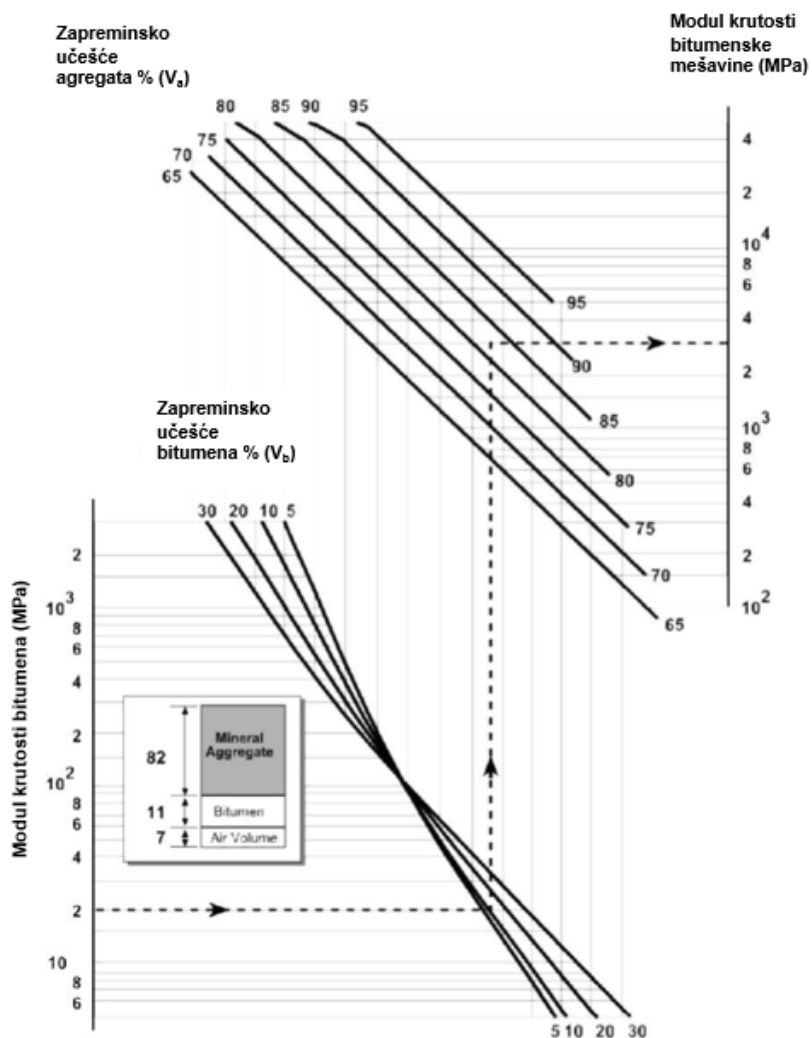
Merodavna temperature sloja na dubini  $h$  (cm) je:

$$WMAPT = WMAAT \cdot \left(1 + \frac{2,54}{h + 10,16}\right) - \left(\frac{2,778}{h + 10,16}\right) + 3,333$$

Modul krutosti asfaltne mešavine se određuje iz modula krutosti veziva i zapreminskog učešća komponenti u mešavini. Za izračunati modul krutosti bitumena na merodavnoj temperaturi sloja i

odnos zapreminskog učešća veziva ( $V_b$ ) i agregata ( $V_a$ ), iz nomograma sa slike Slika 24 dobija se modul krutosti bitumenske mešavine.

Slika 24: Nomogram za određivanje modula krutosti bitumenske mešavine



Drugi korak procesa projektovanja kolovozne konstrukcije je analiza naprezanja tokom koje se izračunavaju deformacije i naponi u određenim tačkama. Obično se pri dimenzionisanju razmatra rizik od oštećenja usled:

- i) pucanja od zamora u asfaltnoj mešavini i
- ii) trajne deformacije kolovoza usled perkorčenja nosivisti podloge.

Analiza navedenih rizika se vrši kontrolom horizontalnog naprezanja na dnu asfaltnog sloja i vertikalnog naprezanja na vrhu podloge. Predviđanje životnog veka kolovoza se vrši kroz zakone zamora razvijene u laboratoriji i kalibrirane sa rezultatima na licu mesta. Da bi se razmotrilo pucanje od zamora odozdo prema gore, zakon zamora povezuje horizontalnu deformaciju zatezanja na dnu asfaltno mešavine, sa brojem ciklusa do loma. Trajna deformacija usled pada nosivosti tla se kontroliše korišćenjem zakona zamora, koji povezuju vertikalno naprezanje na vrhu podloge sa brojem ciklusa koji dovode do trajne deformacije. Obično se zamor kolovoza definiše kao odnos između očekivanog saobraćaja i broja aplikacija opterećenja od standardne osovine koje kolovozna konstrukcija može da izdrži.

Proračun napona i deformacija se zasniva na pretpostavci da se kolovozna konstrukcija može predstaviti kao višeslojni elastični sistem. Pri izračunavanju napona, deformacija i dilatacija u elastičnom višeslojnom sistemu koriste se sledeće pretpostavke:

1. Sistem se sastoji od horizontalnih slojeva ujednačene debljine koji počivaju na polubeskonačnoj osnovi ili poluprostoru
2. Slojevi se pružaju beskonačno u horizontalnim pravcima.
3. Materijal svakog sloja je homogen i izotropan.
4. Materijali su elastični i imaju linearnu vezu napon-deformacija.

Sistem se opterećuje na vrhu konstrukcije jednim ili više kružnih opterećenja, sa ravnomernom distribucijom naprezanja po opterećenju površini.

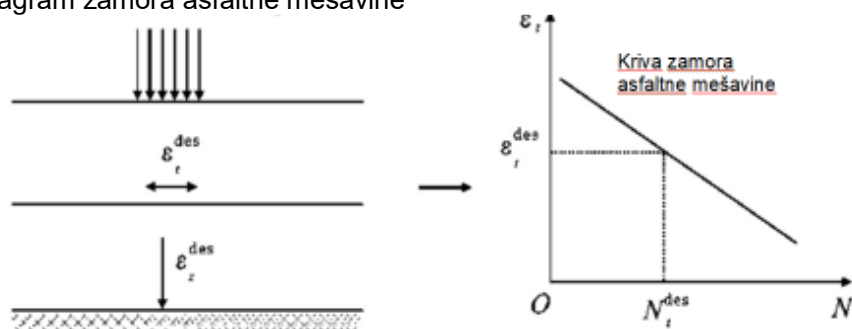
Zbog kompleksnosti proračun se vrši korišćenjem referentnih programskih alata (BISAR, CIRCLY, ELSYM5, CHEVPC ...). Ulazni podaci za izračunavanje napona, dilatacija i deformacija primenom računatskih programa su najčešće:

- broj slojeva
- moduli elastičnosti slojeva
- poasonovi koeficijenti slojeva
- debljina slojeva (osim polubeskonačnog osnovnog sloja)
- kvalitet veze na kontaktu svakog sloja
- broj opterećenja
- koordinate položaja centra opterećenja
- vertikalna normalna komponenta opterećenja
- koordinate tačaka za koje se vrši proračun

Program izračunava karakteristične vrednosti i vektore tenzora napona i deformacija, glavne napone i deformacije i odgovarajuće glavne pravce. Sa izračunatim naponima i dilatacijama konstrukcija se kontroliše na zamor.

Otpornost asfaltne mešavine na zamor se odnosi na njenu sposobnost da izdrži ponovljeno savijanje bez loma. Zamor se najčešće manifestuje u vidu pucanja usled ponovljenog saobraćajnog opterećenja. Karakteristike zamora asfaltnih mešavina obično se izražavaju kao odnosi između početnog naprezanja ili deformacije i broja ponavljanja opterećenja do loma, koji se određuju korišćenjem ponovljenih testova savijanja ili direktnog zatezanja. Ispitivanja zamora se sprovode na dva načina, kontrolom dilatacije ili kontrolom napona. U režimu kontrolisane dilatacije, deformacija se održava konstantnom smanjenjem napona tokom testa, dok se pri kontrolisanom naponu, napon održava konstantnim što povećava dilataciju tokom testa. Za analizu zamora tanjih fleksibilnih konstrukcija češće se koristi test sa kontrolisanom dilatacijom. Ponašanje na zamor specifične asfaltne mešavine može se okarakterisati nagibom i relativnim nivoom naprezanja ili deformacije u odnosu na broj ponavljanja opterećenja do loma.

Slika 25: Dijagram zamora asfaltne mešavine



Mnogi zakoni o zamoru su razvijeni tokom poslednjih godina. U Srbiji se najčešće koristi proračun zamora po modelu Shell-a, nastao kao rezultat opsežnog programa laboratorijskog ispitivanja.

Shell-ov zakon zamora za bitumenom vezanih slojeva definisan je jednačinom koja povezuje vek trajanja, tj broj ponavljanja opterećenja od standardne osovine od 80 kN (N) sa vrednošću dilatacije zatezanja na dnu bitumenom vezanih slojeva ( $\epsilon_t$ ), dinamičkim modulom krutosti bitumenom vezanih materijala u Pa ( $S_{mix}$ ) i zapreminskim učešćem bitumena u mešavini ( $V_b$ ).

$$\epsilon_t = (0,856 \cdot V_b + 1,08) \cdot S_{mix}^{-0,36} \cdot N^{-0,2}$$

ili

$$N = (0,856 \cdot V_b + 1,08)^5 \cdot \epsilon_t^{-5} \cdot S_{mix}^{-1,8}$$

Provera konstrukcije na pojavu trajne deformacije vrši se primenom zakona zamora koji povezuje vek trajanja tj. broj ponavljanja opterećenja od standardne osovine od 80 kN (N) sa vrednošću vertikalne dilatacije pritiska na površini posteljice ( $\epsilon_z$ ).

$$\epsilon_z = a \cdot N^{-0,25}$$

ili

$$N = b \cdot \epsilon_z^4$$

gde koeficijenti a i b zavise od nivoa pouzdanosti, prema sledećem:

Nivo pouzdanosti	a	b
50%	$2.8 \times 10^{-2}$	$6,15 \times 10^{-7}$
85%	$2.1 \times 10^{-2}$	$1,94 \times 10^{-7}$
95%	$1.8 \times 10^{-2}$	$1,05 \times 10^{-7}$

Verifikacija predloga kolovozne konstrukcije vrši se upoređenjem dozvoljenog broja ponavljanja opterećenja kolovozne konstrukcije po oba kriterijuma, sa predviđenim brojem ponavljanja opterećenja. Ukoliko je dozvoljeni broj ponavljanja opterećenja jednak ili veći od predviđenog – predložena konstrukcija zadovoljava uslove i usvaja se kao projektno rešenje. Ukoliko ne zadovoljava, vrši se korekcija predložene konstrukcije izmenom vrste materijala u slojevima konstrukcije ili povećanjem debljine slojeva. Za izmenjenu konstrukciju se ponovo računaju kritični naponi i dilatacije i izračunava dozvoljeni broj ponavljanja opterećenja tj. očekivani vek konstrukcije. Postupak se ponavlja sve dok dozvoljeni broj ponavljanja opterećenja ne bude jednak ili veći od prognoziranog za analiziranu konstrukciju.

U slučaju fazne izgradnje, mešovito saobraćajnog opterećenja (više tipova opterećenja) ili proračuna sa promenjivim svojstvima slojeva usled sezonskih uticaja (temperatura i vlažnost) primenjuje se Minerov zakon akumulacije zamora. Suma oštećenja slojeva kolovozne konstrukcije u raznim fazama, pri različitim opterećenjima ili sezonskim promenama modula slojeva mora biti manja od 1.

$$IO = \sum(\Delta IO) = \sum_{i=1}^n \frac{N_{st,i}}{N_{v,i}} = \frac{N_{st,1}}{N_{v,1}} + \frac{N_{st,2}}{N_{v,2}} + \dots + \frac{N_{st,n}}{N_{v,n}} \leq 1$$

gde je:

IO – indeks oštećenja

$N_{st}$  – stvarno saobraćajno opterećenje (u i-toj fazi izgradnje, za određeni tip opterećenja ili u određenoj klimatskoj sezoni)

$N_v$  – dozvoljeni broj ponavljanja opterećenja (u i-toj fazi izgradnje, za određeni tip opterećenja ili u određenoj klimatskoj sezoni)

### 7.2.3 Kataloško projektovanje

Proces projektovanja kolovozne konstrukcije je kompleksan postupak sa aspekta vremenskog trajanja i troškova. U cilju pojednostavljenja postupka, smanjenja troškova i skraćenja potrebnog vremena za projektovanje, za standardne uslove eksploatacije puteva, a posebno za nove kolovozne konstrukcije, sve se više primenjuje tipsko projektovanje. Primena ove metode moguća je jedino pod uslovom postojanja procedura i standarda kojima se definišu svi podaci bitni za izgradnju kolovozne konstrukcije. Dimenzionisanje po ovom postupku i dalje zahteva aktivnosti na prikupljanju ulaznih podataka, ali značajno skraćuje vreme i troškove u ostalim fazama projektovanja, jer nudi već definisana rešenja konstrukcije u zavisnosti od predefinisanih lokalnih uslova (saobraćajno opterećenje, nosivost tla, uslovi dreniranja tla, uticaj mraza itd.).

Prepoznajući pogodnost kataloškog projektovanja direkcije za puteve većine evropskih država su izradile procedure za primenu ove metode projektovanja. Uvođenje kataloškog projektovanja kolovoznih konstrukcija u Srbiji ima opravdanje imajući u vidu postojeću praksu i iskustva u zemljama gde je ova procedura u dugogodišnjoj praksi. Svakako to podrazumeva prethodnu pripremu niza procedura i standarda, a posebno standardizaciju kvaliteta kompozitnih materijala, izradu standardnih tehničkih uslova za izvođenje radova, standardizaciju saobraćajnog opterećenja, mapiranje klimatskih uticaja, itd. Pogodnost primene ove metode projektovanja je skraćenje rokova izrade projekata, umanjene troškova i smanjenje rizika od primene ekonomski i tehnički neadekvatnih projektnih rešenja. Mada su 2020. godine pokrenute pripreme aktivnosti za uvođenje kataloškog projektovanja kolovoznih konstrukcija u Srbiji i izrađen dokument „Uvod u izradu smernica za projektovanje asfaltnih kolovoznih konstrukcija državnih puteva prvog i drugog reda“, do danas nisu urađene bazne studije i postupci koji bi omogućili primenu ovog postupka dimenzionisanja kolovoznih konstrukcija u Srbiji. Imajući u vidu vrlo laku primenjivost ovog načina dimenzionisanja na kolovozne konstrukcije lokalnih puteva u nastavku je dat kao primer kratak prikaz postupka kataloškog projektovanja u Austriji.

Postupak kataloškog projektovanje kolovoznih konstrukcija javnih puteva u Austriji opisan je u dokumentu RVS 03.08.63 (izdanje 2016). U okviru ovog dokumenta data su tipska rešenja sa debljinom svakog sloja kolovozne konstrukcije u zavisnosti od saobraćajnog opterećenja i primenjenih materijala, uz uslov minimalne nosivosti posteljice. Primena kataloga zahteva prethodno upoznavanje i primenu referentnih dokumenata navedenih u katalogu, a koji se odnose na kvalitet kompozitnih materijala i mešavina za izradu slojeva kolovozne konstrukcije.

Katalog se primenjuje za izgradnju novih i rekonstrukciju postojećih kolovoznih konstrukcija na javnim putevima. Pod rekonstrukcijom se podrazumevaju investicioni radovi na obnovi kolovozne konstrukcije, od zamene cele konstrukcije do zamene određenih slojeva kolovozne konstrukcije. Katalog pruža mogućnost izbora u okviru četiri osnovna tipa konstrukcije u zavisnosti od vrste zastora: sa asfaltnim zastorom, sa betonskim zastorom, sa zastorom od betonskih blokova i sa zastorom od kamenih kocki.

Saobraćajno opterećenje je klasifikovano u okviru 10 grupa u zavisnosti od broja ponavljanja opterećenja izraženog preko ekvivalentnog osovinskog opterećenja od 100 kN.

Tabela 28: Austrijski katalog - klasifikacione grupe prema saobraćajnom opterećenju

Oznaka klase	LK185	LK89	LK40	LK21	LK18	LK6,5	LK2,1	LK0,6	LK0,15	LK0,075
BNWL miliona	> 89 ≤185	>40 ≤89	>21 ≤40	>18 ≤21	>6,5 ≤18	>2,1 ≤6,5	>0,6 ≤2,1	>0,15 ≤0,6	>0,075 ≤0,15	≤0,075

Ukupan broj ponavljanja opterećenja izraženog preko ekvivalentnog osovinskog opterećenja od 100kN (BNWL) u toku projektovanog eksploatacionog veka konstrukcije izračunava preko formule:

$$BNLW = NLW_{\text{dnevno}} * R * V * S * 365 * n * z$$

gde je:

$NLW_{\text{dnevno}}$  - procenjeni prosečni dnevni broj prelaza konvertovanog osovinskog opterećenja od 100kN na ukupnom profilu saobraćajnice tokom prve godine eksploatacije. Izračunava se iz zbira prosečnog dnevnog saobraćaja pojedinih grupa vozila pomnoženog sa faktorom ekvivalencije za svaku grupu vozila za konvertovanje u osovinsko opterećenje od 100 kN. U slučaju da nije moguće proceniti saobraćaj po grupama vozila koristi se prosečan dnevni broj svih kategorija vozila pomnožen sa srednjim faktorom ekvivalencije koji je specificiran u zavisnosti od kategorije puta.

- R – faktor raspodele obima saobraćaja po smerovima
- V – faktor uticaja broja saobraćajnih traka po smeru
- S – faktor širine saobraćajne trake
- n – projektni vek kolovoza (uobičajno 20 god. za fleksibilne I 30 god. za krute kolovozne konstrukcije)
- z – faktor rasta saobraćaja

Tipiska rešenja kolovozne konstrukcije u katalogu su bazirana na primeni standardnih materijala u slojevima konstrukcije. Za svaki tip konstrukcije debljine slojeva su određene iz analize napona i deformacije i provere zamora konstrukcije u odnosu na klasu saobraćajnog opterećenja.

Proračun tipskih fleksibilnih i polukrutih kolovoznih konstrukcija izvršen je primenom teorije višeslojnog elastičnog sistema. Pri modeliranju tla kao podloge konstrukcije uzeta su u obzir četiri različita perioda nosivosti, u skladu sa godišnjim dobima. Krutost nevezanih donjih nosećih slojeva je određena u zavisnosti od vrste materijala donjih slojeva i njihove debljine. Za mešavine stabilizovane cementom pretpostavljena je konstantna krutost tokom godine. Suprotno tome, za bitumenske slojeve koristi se model krutosti, koji ukupno sadrži dvanaest različitih nivoa krutosti. Svaki nivo se odnosi na karakterističnu raspodelu temperature na kolovozu, s obzirom na odgovarajući sezonski period, na razliku temperatura između dana i noći i na debljinu sloja.

Za sve tipove konstrukcija iz kataloga zahteva se minimalna nosivost posteljice izražena preko deformacionog modula  $E_{v1} \geq 35 \text{ MN/m}^2$  (nemački postupak). Ukoliko je nosivost tla manja potrebno je odgovarajućim merama dostići zahtevanu nosivost (poboljšanje tla, zamena tla itd.).

U slučaju da je sloj tla neposredno ispod kolovozne konstrukcije dovoljne debljine i neosetljiv na dejstvo mraza kao i da ispunjava zahteve za nevezane mešavine donjih nosećih slojeva (deformacioni modul i zbijenost) moguće je izostaviti izradu donjeg nosećeg sloja.

Prema austrijskim propisima materijal koji se koristi za izradu nevezanih slojeva kolovozne konstrukcije klasifikovan je u zavisnosti od fizičko-mehaničkih svojstava, granulometrijskog sastava i odnosa drobljenih i zaobljenih zrna. Ukupno ima 10 kategorija, od U1 do U10.

Za donje noseće slojeve koriste se nevezane mešavine klasa U6, U7 i U8 uz uslov minimalne vrednosti deformacionih modula na gornjoj površini sloja, za U6 i U7 ( $E_{v1} \geq 72 \text{ MN/m}^2$ ), a za U8 ( $E_{v1} \geq 60 \text{ MN/m}^2$ ). Primena odgovarajuće klase mešavine u konstrukciji zavisi od tipa konstrukcije i saobraćajnog opterećenja. Kod primene mešavine klase U8, za niži rang saobraćajnice i manje debljine sloja, prihvatljive su nešto niže vrednosti deformacionih modula (debljina sloja 15 cm -  $E_{v1} \geq 51 \text{ MN/m}^2$ , debljina sloja 20 cm -  $E_{v1} \geq 55 \text{ MN/m}^2$ ).

U tipskim rešenjima kolovozne konstrukcije za gornje noseće slojeve koriste se nevezane mineralne mešavine ili mineralne mešavine sa vezivom. Za nevezane mešavine koristi se mineralna mešavina klase od U1 do U5 (U1 i U2 za sve klase saobraćajnog opterećenja, a U3, U4 i U5 za niže klase LK4-LK0,05). U sledećoj tabeli specificirana je klasa nevezane mineralne mešavine za izradu gornjeg nosećeg sloja i zahtevana vrednost deformacionog modula na

gornjoj površini sloja u zavisnosti od kataloškog tipa konstrukcije i klase saobraćajnog opterećenja.

Tabela 29: Austrijski katalog - nevezane mešavine za gornje noseće slojeve

Tip kolovoza	Klasa nevezane mešavine (RVS 08.15.01)	Klasa saobraćajnog opterećenja	$E_{V1}$
AS1	U2	LK10, LK25, LK42, LK82, LK163	$E_{V1} \geq 90 \text{ MN/m}^2$
	U3 i U4	LK0,05, LK0,1, LK0,4, LK1,3, LK4	$E_{V1} \geq 90 \text{ MN/m}^2$
	U5	LK0,05, LK0,1, LK0,4, LK1,3, LK4	$E_{V1} \geq 75 \text{ MN/m}^2$
AS2	U1	Sve klase	$E_{V1} \geq 120 \text{ MN/m}^2$
AS3	RA		
AS5	U2	LK10, LK25	$E_{V1} \geq 90 \text{ MN/m}^2$
	U3 i U4	LK0,05, LK0,1, LK0,4, LK1,3, LK4	$E_{V1} \geq 90 \text{ MN/m}^2$
PF1-PF4	U3 i U4	LK0,05, LK0,1, LK0,4, LK1,3, LK4	$E_{V1} \geq 90 \text{ MN/m}^2$
PF1-PF2	U5	LK0,1	$E_{V1} \geq 75 \text{ MN/m}^2$
PF3	U5	LK0,05	$E_{V1} \geq 75 \text{ MN/m}^2$

RA- mešavina sa granulama recikliranog asfalta (za saobraćajno opterećenje klase LK4, LK10, LK25, LK42, LK82, LK163 - max 5%, a za klase LK0,1, LK0,4, LK1,3 - max 50% učešća granula recikliranog asfalta).

U tipskim konstrukcijama datim u katalogu za gornje noseće slojeve pored nevezanih mešavina koriste se i mešavine sa vezivom.

Mešavine sa bitumenskim vezivom koriste se za izradu veznog sloja i gornjeg nosećeg sloja kod tipskih konstrukcija sa fleksibilnim zastorom i kod krutih konstrukcija kao podloga ispod betonske ploče (osim za mala saobraćajna opterećenja LK0,6, LK0,15 i LK0,075). Za mešavine koje se primenjuju u veznom sloju koristi se bitumen sa povećanom otpornošću na kolotrage, a za mešavine u gornjem nosećem sloju koristi se bitumen sa povećanom otpornošću na zamordilatacije.

Bitumenske mešavine za gornje slojeve konstrukcije se rade u skladu sa setom propisa koji se odnose na ovu oblast. U kataloškim tipskim konstrukcijama naznačena je ukupna debljina asfaltnih slojeva (gornji noseći sloj ako je od asfaltne mešavine + vezni sloj + habajući sloj). Debljina habajućeg sloja se određuje u zavisnosti od vrste asfaltne mešavine u skladu sa relevantnim dokumentom.

U slučaju kada se završni sloj radi kao površinska obrada (najčešće u cilju poboljšanja funkcionalnih karakteristika zastora) debljina ovog sloja se ne ulazi u ukupnu debljinu asfaltnih slojeva za fleksibilne tipove kolovoza od AS1 do AS4.

Ako se zastor radi sa drenažnim asfaltom debljina ovog sloja se uračunava u ukupnu debljinu asfaltnih slojeva sa 50% debljine za tipove kolovoza od AS1 do AS4.

Tipske konstrukcije AS5 imaju zastor od polukrute mešavine (asfaltna mešavina sa 25-30% šupljina koje se ispunjavaju sa specijalnim malterom) sa optimalnim svojstvima visoke čvrstoće maltera i fleksibilnošću bitumenom vezane mineralne mešavine. Ovaj tip konstrukcije se može koristiti za srednje teško i lako saobraćajno opterećenje (LK25-LK0.075).

Kod tipskih konstrukcija BE1 i BE2 zastor je od betonskih ploča, s tim što je kod tipa BE1 donji sloj od nevezane mineralne mešavine, a kod tipa BE2 od mešavine sa hidrauličnim vezivom (stabilizacija).

Za saobraćajno opterećenje manje od 1.3 mil. standardnih osovina od 100kN moguća je primena zastora sa kamenom kockom ili betonskim blokovima.

Kataloški tipovi konstrukcije PF1-PF3 rade se sa zastorom od kamene kocke na nosećim slojevima od nevezane mineralne mešavine. Konstrukcije tipa PF5-PF7 takođe su sa zastorom od kamene kocke ali je u podlozi sloj drenažnog betona. Usled male otpornosti smicanje tipovi konstrukcija PF3 i PF7 se ne izvode na mestima gde se očekuje pojava horizontalnih sila.

Slično zastoru od kamene kocke u katalogu postoje dva tipa kolovozne konstrukcije sa zastorom od betonskih blokova. Konstrukcija tipa PF4 sa nosećim slojevima od nevezane mineralne mešavine i konstrukcija tipa PF8 sa slojem drenažnog betona.

U zavisnosti od saobraćajnog opterećenja i dimenzija propisane su minimalne debljine betonskih blokova.

## **Postupak projektovanja kolovozne konstrukcije upotrebom kataloga**

Na osnovu kategorije saobraćajnog opterećenja i vrste zastora vrši se izbor kataloškog tipa konstrukcije puta u zavisnosti od primenljivosti materijala za izradu gornjih i donjih nosećih slojeva.

U zavisnosti od tipa zastora označeni su tipovi konstrukcije u katalogu, AS1-AS5 sa asfaltnim zastorom, BE1-BE2 sa betonskim pločama, PF1-PF8 sa betonskim blokovima/kamenom kockom.

Izbor tipa konstrukcije se vrši iz sledećih tabela, koje su sastavni deo kataloga:

Tabela 30 - tipske kolovozne konstrukcije sa asfaltnim zastorom.

Tabela 31 - tipske kolovozne konstrukcije sa betonskim pločama/zastorom.

Tabela 32 - tipske kolovozne konstrukcije sa betonskim blokovima/kamenom kockom sa nosećim slojevima od nevezane mineralne mešavine.

Tabela 33 - tipske kolovozne konstrukcije sa betonskim blokovima/kamenom kockom na sloju drenažnog betona.

U tabelama su zasenčeni tipovi kolovoznih konstrukcija koji se retko primenjuju na lokalnim putevima.

Debljine slojeva konstrukcije navedene u tabelama predstavljaju minimalne debljine. Po izboru kataloškog tipa konstrukcije vrši se provera otpornosti konstrukcije na lokalne uslove i definisanje zahteva kvaliteta svakog sloja konstrukcije u skladu sa specifikacijama u relevantnim dokumentima.

Tabela 30: Tipске kolovozne konstrukcije sa asfaltnim zastorom

Klasa opterećenja	LK163	LK62	LK42	LK25 <sup>51</sup>	LK10 <sup>51</sup>	LK4	LK1,3	LK0,4	LK0,1	LK0,05	
BNL, W in Mio	> 82 do 153	> 42 do 82	> 25 do 42	> 10 to 25	> 4 do 10	> 1,3 do 4	> 0,4 do 1,3	> 0,1 do 0,4	> 0,05 do 0,1	≤ 0,05	
Kolovozna konstrukcija AS1	cm I 81 31 20 20 30 VF	cm I 79 29 20 20 30 VF	cm I 77 27 20 20 30 VF	cm I 75 25 20 20 30 VF	cm I 73 23 20 20 30 VF	cm I 70 I 72 20 20 20 30 VF	cm I 66 I 68 16 18 20 30 VF	cm I 63 I 65 13 15 20 30 VF	cm I 60 I 62 10 12 20 30 VF	cm I 58 I 59 8 10 20 30 VF	
Kolovozna konstrukcija AS2	cm I 79 20 20 30 VF	cm I 77 20 20 30 VF	cm I 75 20 20 30 VF	cm I 71 18 18 30 VF	cm I 69 18 18 30 VF	cm I 66 18 18 30 VF	cm I 62 14 18 30 VF	cm I 59 11 18 30 VF	cm I 56 8 18 30 VF	cm I 54 6 18 30 VF	
Kolovozna konstrukcija AS3	/						cm I 66 16 10 40 VF	cm I 63 13 10 40 VF	cm I 60 10 10 40 VF	cm I 57 7 10 40 VF	
Kolovozna konstrukcija AS4	cm I 72 22 30 20 VF	cm I 70 20 30 20 VF	cm I 69 19 30 20 VF	cm I 67 17 30 20 VF	cm I 65 15 30 20 VF	cm I 60 15 25 20 VF	cm I 55 10 25 30 VF	cm I 50 10 20 20 VF	cm I 45 5 20 20 VF	cm I 43 5 18 20 VF	
Kolovozna konstrukcija AS5-1)	/						cm I 66 5 11 20 30 VF	/			
$E_{11,1P} \geq 35 \text{ MN/m}^2$											

- 1) Za veća opterećenja u skladu sa RVS 03.08.68, potrebno je izvršiti posebno dimenzionisanje kolovozne konstrukcije.
- 2) Navedene debljine asfaltnih slojeva se primenjuju pod uslovom da je postignuta vrednost zbijenosti veće od  $E_{v1} \geq 120 \text{ MN} / \text{m}^2$  na gornjem nosećem sloju sa agregatom klase U1 u skladu sa RVS 08.15.01. U protivnom debljina asfaltnih slojeva se preuzima od kolovozne konstrukcija tipa AS1.
- 3) Za niže vrednosti opterećenja dimenzionisanje se obavlja u skladu sa RVS 03.03.81.
- 4) Za opterećenja preko 25 miliona BNLW vrši se posebno dimenzionisanje u skladu sa RVS 03.08.88.
- 5) Ukoliko su svi noseći asfaltni slojevi napravljeni od polimer modifikovanog bitumena u skladu sa ÖNORM EN 14023, gornja granica klase opterećenja se može uvećati za 10%.













	Asfaltni habajući i noseći sloj u skladu sa RVS 08.16.01 ili RVS 08.16.04, RVS 08.16.05, RVS 08.16.06, gde je asfaltni noseći sloj AC D izrađen od putnog bitumena u skladu sa ONORM EN 12591		U1 Nevezani gornji noseći sloj od agregata klase U1 u skladu sa RVS 08.15.01
	Asfaltni habajući i noseći sloj u skladu sa RVS 08.16.01 ili RVS 08.16.04, RVS 08.16.05, RVS 08.16.06, gde su svi asfaltni noseći slojevi izrađeni od polimer modifikovanog bitumena u skladu sa ONORM EN 14023		U2 Nevezani gornji noseći sloj od agregata klase U2 u skladu sa RVS 08.15.01
	Polukruti asfaltni habajući sloj u skladu sa RVS 08.16.03		U3, U4 Nevezani gornji noseći sloj od agregata klase U3 i U4 u skladu sa RVS 08.15.01
	Bitumenski noseći sloj u skladu sa RV 08.16.01 or RVS 08.16.06		U5 Nevezani gornji noseći sloj od agregata klase U5 u skladu sa RVS 08.15.01
	Hidraulički/Cementom stabilizovan noseći sloj (ST-Z, ST-T) u skladu sa RVS 08.17.01		U6, U7 Nevezani donji noseći sloj od agregata klase U6 i U7 u skladu sa RVS 08.15.01
	Noseći sloj od nevezanog materijala sa dodatkom asfaltnog granulata u skladu sa RVS 08.15.02		U8 Nevezani donji noseći sloj od agregata klase U8 u skladu sa RVS 08.15.01

Tabela 31: Tipске kolovozne konstrukcije sa betonskim pločama/zastorom

Klasa opterećenja	LK185	LK89	LK40	LK21	LK18	LK6,5	LK2,1	LK0,6	LK0,15	LK0,075
BNLW in Mio.	> 89 do 185 z)	> 40 do 89	> 18 do 40	> 18 do 21	> 6.5 do 18	> 2.1 do 6.5	> 0.6 do 2.1	> 0.15 do 0.4	> 0.075 do 0.15	≤ 0.075
Kolovozna konstrukcija BE1 Kolovozni zastor od betonskih ploča Asfaltni noseći sloj Nevezani noseći sloj	Betonske kolovozne ploče sa moždanicima						Betonske kolovozne ploče bez moždanika			
Kolovozna konstrukcija BE2 Kolovozni zastor od betonskih ploča Noseći sloj od cementne stabilizacije Nevezani donji noseći sloj	Betonske kolovozne ploče sa moždanicima						Betonske kolovozne ploče bez moždanika			
Poprečni nagib podloge je usklađen sa poprečnim nagibom kolovoza.										
$E_{v,UP} \geq 35 \text{ MN/m}^2$										

Napomena (Vezano za geometriju betonskih ploča, pogledati RVS 08.17.02):

- 1) U slučaju kontinuiranog saobraćajnog opterećenja neposredno uz ivicu kolovoza (Sredina točka je bliže ivici betonske ploče od 30cm), učestalih prelaza saobraćaja preko slobodne ivice betonskih ploča ili učestalih ponavljanja opterećenja, onda debljinu betonskog kolovoza treba prilagoditi sledećoj višoj klasi saobraćaja.
- 2) Za saobraćajno opterećenje preko 185 miliona BNLW, potrebno je izvršiti posebno dimenzionisanje.
- 3) Kod niskog intenziteta saobraćajnog opterećenja, dimenzionisanje uskladiti prema RVS 03.03.81.

Kolovoz od betonskih ploča u skladu sa RVS 08.17.02

Asfaltni noseći sloj u skladu sa RVS 18.16.01

Noseći sloj od cementne stabilizacije (ST-Z, ST-T) u skladu sa RVS 08.17.01

U6, U7 Nevezani donji noseći sloj od agregata klase U6 i U7 u skladu sa RVS 08.15.01

U8 Nevezani donji noseći sloj od agregata klase U8 u skladu sa RVS 08.15.01

Tabela 32: Tipse kolovozne konstrukcije sa betonskim blokovima/kamenom kockom sa nosećim slojevima od nevezane mineralne mešavine

Klasa opterećenja	LK1,3	LK0,4	LK0,1	LK0,05
BNLW in Mio	> 0.4 do 1.3	> 0.1 do 0.4	> 0.05 do 0.1	≤ 0.05
Kolovozna konstr. PF1 Veliki elementi od kamena ili slično Podloga Nevezani gornji noseći sloj Nevezani donji noseći sloj	cm I 72 18 4 <sup>1)</sup> 20 30 1/6	cm I 67 13 4 <sup>1)</sup> 20 30 1/6	cm I 67 13 4 <sup>1)</sup> 20 30 1/6	
Kolovozna konstr. PF2 Mali elementi od kamena ili slično sa zalivenim spoj. Podloga Nevezani gornji noseći sloj Nevezani donji noseći sloj		cm I 64 I 65 10 4 <sup>1)</sup> 20 30 1/6	cm I 62 I 63 8 4 <sup>1)</sup> 20 30 1/6	
Kolovozna konstr. PF3 Mali elementi od kamena ili slično bez zalivenih spoj. Podloga Nevezani gornji noseći sloj Nevezani donji noseći sloj			cm I 64 I 65 10 4 <sup>1)</sup> 20 30 1/6	cm I 62 I 63 8 4 <sup>1)</sup> 20 30 1/6
Kolovozna konstr. PF4 Kolovozne ploče/elementi Podloga Nevezani gornji noseći sloj Nevezani donji noseći sloj			cm I 64-70 10-16 <sup>2)</sup> 4 <sup>1)</sup> 20 30 1/6	cm I 62-70 8-16 <sup>2)</sup> 4 <sup>1)</sup> 20 30 1/6
$E_{v1,0P} \geq 35 \text{ MN/m}^2$				

- 1) Sloj podloge je debljine od 3 do 6 cm, da bi se kompenzovala tolerancija u debljini elemenata za popločavanje i to je oko 4 cm u zbijenom stanju.
- 2) Normirane dimenzije ploča za popločavanje su u skladu sa Tabelom 7.

 Veliki kameni elementi tipa GPS1, GPS2 u skladu sa ONORM B 3108 ili odgovarajući prefabrikovani elementi od veštačkog kamena složeni u redovima pod pravim uglom ili dijagonalno.	 Betonske ploče u skladu sa ONORM EN 1339 ili ploče od prirodnog kamena u skladu sa ONORM EN 1341 ili ONORM B 3108
 Veliki kameni elementi tipa GPS3, GPS4 u skladu sa ONORM B 3108 ili odgovarajući prefabrikovani elementi od veštačkog kamena, složeni u redovima pod pravim uglom ili dijagonalno.	 Podloga u skladu sa RVS 08.18.01
 Sitna kamena kocka tipa KPS2 do KPS3 u skladu sa ONORM B 3108 složena segmentno u polulukovima.	 U3, U4 Nevezani gornji noseći sloj od agregata klase U3 i U4 u skladu sa RVS 08.15.01
 Behaton betonski sistem.	 U5 Nevezani gornji noseći sloj od agregata klase U5 u skladu sa RVS 08.15.01
 Sitna kamena kocka tipa KPS2 do KPS3 u skladu sa ONORM B 3108 složena u redovima.	 U6, U7 Nevezani donji noseći sloj od agregata klase U6 i U7 u skladu sa RVS 08.15.01
 Betonski blokovi bez zalivenih spojenica složeni dijagonalno u formi riblje kosti.	 U8 Nevezani donji noseći sloj od agregata klase U8 u skladu sa RVS 08.15.01

Tabela 33: Tipske kolovozne konstrukcije sa betonskim blokovima/kamenom kockom na sloju drenažnog betona

Klasa opterećenja	LK1,3	LK0,4	LK0,1	LK0,05
BNLW in Mio	> 0.4 do 1.3	> 0.1 do 0.4	> 0.05 do 0.1	≤ 0.05
Kolovozna konstr. PFS Veliki elementi od kamena ili silice Podloga Noseći sloj od drenažnog betona Nevezani donji noseći sloj	cm 18 4 <sup>1)</sup> 20 15 U8	cm 13 4 <sup>1)</sup> 20 15 U8	cm 13 4 <sup>1)</sup> 15 15 U8	cm 13 4 <sup>1)</sup> 15 15 U8
Kolovozna konstr. PF6 Mali elementi od kamena ili silice sa zalivenim spoj. Podloga Noseći sloj od drenažnog betona Nevezani donji noseći sloj	cm 10 4 <sup>1)</sup> 20 15 U8	cm 11 4 <sup>1)</sup> 20 15 U8	cm 8 4 <sup>1)</sup> 20 15 U8	cm 9 4 <sup>1)</sup> 15 15 U8
Kolovozna konstr. PF7 Mali elementi od kamena ili silice bez zalivenih spoj. Podloga Noseći sloj od drenažnog betona Nevezani donji noseći sloj			cm 10 4 <sup>1)</sup> 15 15 U8	cm 11 4 <sup>1)</sup> 15 15 U8
Kolovozna konstr. PFS Kolovozne ploče/elementi Podloga Noseći sloj od drenažnog betona Nevezani donji noseći sloj		cm 14-18 <sup>2)</sup> 4 <sup>1)</sup> 20 15 U8	cm 10-18 <sup>2)</sup> 4 <sup>1)</sup> 15 15 U8	cm 8-18 <sup>2)</sup> 4 <sup>1)</sup> 15 15 U8
$E_{v,UP} \geq 35 \text{ MN/m}^2$				

- Sloj podloge je debljine od 3 do 6 cm, da bi se kompenzovala tolerancija u debljini elemenata za popločavanje i to je oko 4 cm u zbijenom stanju.
- Normirane dimenzije ploča za popločavanje su u skladu sa Tabelom 7.

- |  |  |  |   |
|--|--|--|---|
|  | Veliki kameni elementi tipa GPS1, GPS2 u skladu sa ONORM B 3108 ili odgovarajući prefabrikovani elementi od veštačkog kamena složeni u redovima pod pravim uglom ili dijagonalno   |  | Sitna kamena kocka tipa KPS2 do KPS3 u skladu sa ONORM B 3108 složena u redovima.                                 |
|  | Veliki kameni elementi tipa GPS3, GPS4 u skladu sa ONORM B 3108 ili odgovarajući prefabrikovani elementi od veštačkog kamena, složeni u redovima pod pravim uglom ili dijagonalno. |  | Betonski blokovi bez zalivenih spojnica složeni dijagonalno u formi riblje kosti.                                 |
|  | Sitna kamena kocka tipa KPS2 do KPS3 u skladu sa ONORM B 3108 složena segmentno u polulukovima.  |  | Betonske ploče u skladu sa ONORM EN 1339 ili ploče od prirodnog kamena u skladu sa ONORM EN 1341 ili ONORM B 3108 |
|  | Behaton betonski sistem.   |  | Podloga u skladu sa RVS 08.18.01  |
|  |  |  | Drenažni beton u skladu sa RVS 08.18.01   |
|  |  |  | U8 Nevezani donji noseći sloj od agregata klase U8 u skladu sa RVS 08.15.01                                       |

## 8 Ocena funkcionalnog i strukturnog stanja kolovoznih konstrukcija

Za kvalitetno upravljanje putem i planiranje korektivnih mera, od presudnog je značaja procena stanja kolovozne konstrukcije. Procena se obavlja kroz postupak za ocenu strukturnih i funkcionalnih karakteristika puta. Strukturni uslovi se fokusiraju na strukturni integritet konstrukcije; dok se funkcionalno stanje odnosi na otpornost na klizanje, teksturu površine i ravnost zastora i ukupnu ocenu kvaliteta kolovoza.

Procena stanja kolovozne konstrukcije puta treba da omogući upravljaču lokalnog puta da donese odluku o pravilnom održavanju, merama rehabilitacije ili rekonstrukcije puta ili određene deonice.

Postupak procene stanja kolovozne konstrukcije sprovodi se kroz više koraka, počev od prikupljanja podataka, vizuelnog snimanja stanja, laboratorijskih i terenskih ispitivanja i merenja, do analize prikupljenih podataka. Ukoliko je upravljač puta uspostavio sistem za upravljanje kolovozima (Pavement Management System) podaci se unose u ovaj sistem koji treba da pomogne u odlučivanju o tome šta treba preduzeti. Do uspostavljanja ovog sistema upravljač na osnovu internih kriterijuma donosi odluku o preduzimanju određenih mera.

Prikupljanje podataka je prvi i najvažniji korak u proceni kolovoza. Od velike pomoći pri oceni stanja i definisanju programa istražnih radova je ažurna baza podataka o stanju konstrukcije po izgradnji i tokom eksploatacije, pa redovnom ažuriranju i održavanju ovih baza treba posvetiti posebnu pažnju.

Ocena stanja kolovozne konstrukcije se vrši preko ocene funkcionalnih karakteristika i strukturnih karakteristika (stanja nosivosti).

Upravljač puta ima obavezu izrade godišnjeg i petogodišnjeg izveštaja o izvršenoj kontroli i oceni stanja javnih puteva tj. sveobuhvatnoj proveru i tehničkoj oceni stanja elemenata javnog puta (Pravilnik o sadržini i formi izveštaja o izvršenoj kontroli i oceni stanja javnih puteva - "Službeni glasnik RS", broj 34 od 17. maja 2019).

### 8.1 Ocena funkcionalnog stanja kolovoznih konstrukcija

Tokom postupka ocene funkcionalnog stanja utvrđuje se stanje površinskih karakteristika kolovoza i stanje oštećenosti.

**Ocena površinskih karakteristika kolovoza** vrši se proverom podužne ravnosti i proverom hrapavosti i koeficijenta trenja površine kolovoza.

Podužna ravnost se izražava preko Indeksa neravnosti (International Roughness Index – IRI) i predstavlja odstupanje od idealno ravne površine sa karakterističnim vrednostima talasnih dužina koje utiču na oscilacije vozila i udobnost vožnje. Merenje ravnosti se sprovodi u skladu sa standardom SRPS EN 13036-6. U zavisnosti od IRI vrednosti stanje ravnosti je klasifikovano u pet grupa :

Ocena ravnosti	vrlo dobra	dobra	prihvatljiva	slaba	vrlo slaba
IRI (m/km)	< 1,0	1,0 do 2,5	2,5 do 3,5	3,5 do 5,5	> 5,5

Za lokalne puteve sa ograničenom brzinom do 50km/h može se smatrati da je prihvatljiva vrednost IRI < 5 m/km.

Hrapavost i koeficijent trenja površine kolovoza zavise od teksture zastora i od presudnog su uticaja na bezbednost saobraćaja. U zavisnosti od talasne dužine razlikuju se mikrotekstura (<0.5mm), makrotekstura (0.5-50mm) i megatekstura (50-500mm). Mikrotekstura zavisi od vrste agregata i ima ključni uticaj na kontakt pneumatika i kolovoza, makrotekstura zavisi od tipa mešavine i ima uticaj na odvodnjavanje površine kolovoza, a megastruktura zavisi od kvaliteta izvođenja i utiče na udobnost i brzinu vožnje.

Mikrotekstura se najčešće meri uređajem sa klatnom ( Portable Skid Resistance Tester –SRT) uz skladu sa standardom SRPS EN 13036-4. Granične vrednosti su od SRT=65 (vrdo dobra hvatljivost) do SRT=45 (mala hvatljivost).

Makrotekstura se meri laserskim profilometrom ili u slučaju lokalnih puteva najčešće nekom od zapreminskih metoda. Meri se srednja dubina teksture u skladu sa standardom SRPS EN 13036-1.

**Ocena stanja oštećenosti površine kolovoza** kod lokalnih puteva vrši se vizuelnim snimanjem oštećenosti. Pri snimanju oštećenosti koristi se katalog oštećenja zastora na osnovu koga se indentifikuje vrsta oštećenja i klasifikuje u odnosu na intezitet i površinu zahvaćenosti.

Oštećenja se klasifikuju po uzroku nastanka, na oštećenja nastala usled:

- saobraćajnog opterećenja
- starenja materijala (oksidacije bit. veziva)
- termičkih uticaja
- neadekvatnog materijala
- grešaka u izvođenju radova

Kao posledica navedenih uzroka javljaju se oštećenja u vidu:

- Pukotina usled zamora ( najčešće mrežaste pukotine)
- Kolo traga (kao trajna deformacija kolovozne konstrukcije)
- Termičkih pukotina (najčešće u vidi podužnih i poprečnih pukotina usled termičkog skupljanja i povećanja krutosti bitumenom vezanih materijala pri niskim temperaturama)
- Blok pukotina (usled starenja bitumena)
- Izdizanja kolovoza (usled dejstva mraza)
- Udarnih rupa (degradacija oštećenja najčešće usled dejstva mraza)
- Čupanja zrna zastora (usled gubitka veze bitumena i agregata)
- Isplivavanja bitumena (kod mešavina sa viškom bitumena)
- Poliranja agregata (pad rapavosti zastora, tipično za krečnjački agregat)

Na osnovu izvršenog snimanja sa indentifikacijom, intezitetom i površinom zahvaćenosti oštećenja vrši se indeksiranje stanja oštećenosti, najčešće primenom sledećih metodologija:

- Indeksa upotrebljivosti (Present Serviceability Index – PSI) i
- Indeksa stanja kolovoza (Pavement Condition Index – PCI)

Indeks upotrebljivosti (PSI) se koristi pri dimenzionisanju po metodi AASHTO iz 1993. godine i izračunava se iz sledeće formule:

$$PSI = 5.03 - 1.91 \cdot \log(1 + SV) - 0.01 \cdot \sqrt{C + P} - 0.2139 \cdot RD^2$$

gde je:

SV (slope variance) – promena nagiba, srednja vrednost u dva kolotruga

C,P – površina zahvaćena pukotinama i zakrpama (m<sup>2</sup> /1000 m<sup>2</sup> )

RD – dubina kolotruga (cm)

Vrednost PSI se kreće od 5 do 0.

Krajnja vrednost indeksa upotrebljivosti za lokalne puteve je  $PSI_t = 2.0$ .

Indeks stanja kolovoza (PCI) izračunava se primenom standardnog kataloga oštećenja prema metodologiji opisanoj u dokumentu ASTM DS6433-18. U zavisnosti od vrednosti PCI stanje kolovoza je klasifikovano u 7 kategorija.

Slika 26: Standardna PCI skala

PCI	Opisna ocena
100	Dobro
85	Zadovoljavajuće
70	Prihvatljivo
55	Loše
40	Vrlo loše
25	Ozbiljno
10	Propalo
0	

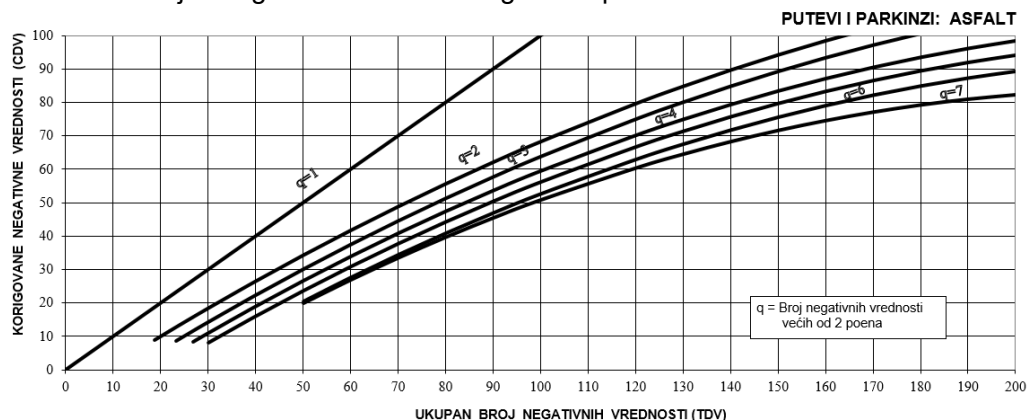
Određivanje indeksa stanja kolovoza vrši se kroz više koraka. Pre početka snimanja oštećenja potrebno je izvršiti podelu na deonice veličine 150m<sup>2</sup> – 300m<sup>2</sup> i izračunati broj reprezentativnih deonica na kojima će se obaviti snimanje pod uslovom da se ostvari nivo pouzdanosti od 95%. Tokom snimanja se indentifikuje tip oštećenja, intezitet i zahvaćenost. Identifikacija se vrši prema katalogu koji obuhvata 19 reprezentativnih tipova oštećenja.

Po izvršenom snimanju izračunava se gustina oštećenja (%) tj. odnos obima oštećenosti u odnosu na površinu deonice. Drugi korak je određivanje negativnih poena u zavisnosti od inteziteta i zahvaćenosti, za svako od evidentiranih oštećenja iz dijagrama koji su sastavni deo ASTM DS6433-18. Treći korak je određivanje zbira negativnih poena (TDV), gde se uzimaju u dalju obradu samo oštećenja sa vrednostima iznad 2, a četvrti korak je određivanje korigovanog zbira negativnih poena.

Konačna vrednost PCI je jednaka:

$$PCI = 100 - CDV$$

Slika 27: Određivanje korigovane vrednosti negativnih poena



Za izračunavanje PCI postoji niz programa koji olakšavaju proračun tako da se izbegava korišćenje niza dijagrama za određivanje negativnih vrednosti oštećenja.

## 8.2 Ocena strukturnog stanja kolovoznih konstrukcija

Ocena strukturnog stanja kolovozne konstrukcije utvrđuje se na osnovu snimanja stanja, terenskim i laboratorijskim ispitivanjem i analizom prikupljenih podataka.

Nosivost postojeće kolovozne konstrukcije određuje se merenjem vertikalne deformacije (ugiba) površine kolovoza. Cilj merenja ugiba je utvrđivanje stanja postojeće kolovozne konstrukcije je praćenje stanja tokom eksploatacije i pravovremeno planiranje intervencija u cilju održanja ili povećanja nosivosti puta.

Postupci za merenje ugiba kolovoznih konstrukcija zasnivaju se na statičkom ili dinamičkom opterećenju mernog mesta na površini kolovoza. U primeni su najčešće sledeći postupci merenja ugiba:

- Benkelmanova greda (pod statičkim opterećenjem),
- Lakroa-deflektograf (pod pokretnim opterećenjem),
- Deflektometar sa padajućim tegom FWD (pod dinamičkim opterećenjem).

U okviru pripremnih aktivnosti za snimanje ugiba potrebno je utvrditi strukturu kolovozne konstrukcije koja će biti predmet snimanja i analize. Informacija o strukturi kolovozne konstrukcije moguće je utvrditi na osnovu:

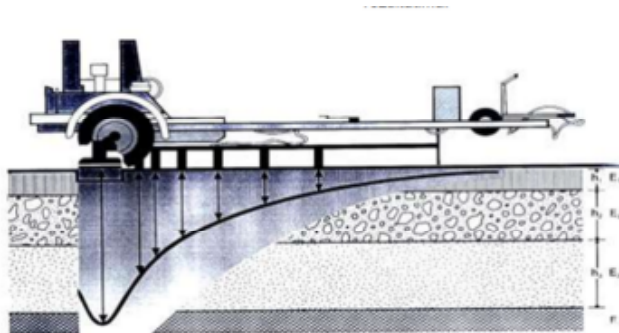
- Arhivskog projekta/projekta izvedenog stanja
- Uzorkovanjem (kernovanjem) sa DCP opitom
- Iskopa istražnih jama
- Snimanjem georadarom

Program uzorkovanja i laboratorijskog ispitivanja treba da je baziran na analizi svih relevantnih podataka prikupljenih nedestruktivnim ispitivanjem konstrukcije. Podaci i rezultati dobijeni uzorkovanjem i laboratorijskim ispitivanjem, pored ocene stanja materijala ili sloja na koji se odnose, treba da posluže za kalibraciju i proveru rezultata iz računске analize modela konstrukcije dobijene merenjem ugiba nedestruktivnim metodama. Pored standardnih laboratorijskih opita treba uključiti savremene metode ispitivanja baziranih na realnim uslovima ponašanja u eksploataciji materijala i mešavina u kolovoznoj konstrukciji (na primer za asfaltne mešavine set standarda SRPS EN 12697-1 do SRPS EN 12697-56).

Poslednjih godina za snimanje ugiba se uglavnom koristi uređaj sa padajućim tegom (FWD), pa je u nastavku teksta dat kratak postupak snimanja i analize podataka dobijenih snimanjem kolovoza ovim uređajem.

FWD je uređaj montiran na prikolici u čijem je centralnom delu ploča prečnika 300mm preko koje se prenosi impulsno opterećenje na površinu kolovoza. Iznad ploče se nalazi teg koji pada sa određene visine da bi izazvao opterećenje na kolovoz slično onime koje daje set guma standardne osovine na kolovoz. Najčešće sedam geofona, udaljenih od ploče za opterećenje u intervalima od 30 cm, služe za merenje ugiba površine kolovoza. U slučaju lokalnih puteva sa tanjom kolovoznom konstrukcijom može se smanjiti broj geofona, pod uslovom da tri spoljna geofona moraju da budu postavljena na većoj udaljenosti od ekvivalentne debljine kolovozne konstrukcije.

Slika 28: FWD uređaj

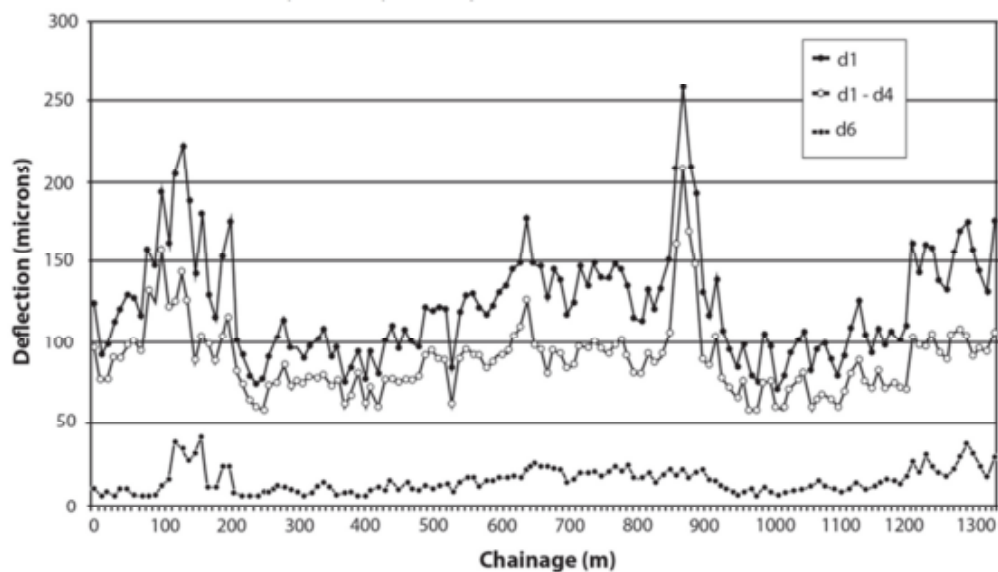


Razmak između pojedinih mernih mesta treba odrediti u odnosu na namenu merenja. Razmak treba da iznosi do 50 m za planiranje odgovarajućih mera, i do 200 m za upravljanje kolovozom. Celokupan postupak merenja ugiba površine kolovozne konstrukcije pomoću deflektometra sa padajućim tegom treba da bude kontrolisan elektronskim putem, preko računara. Tokom ispitivanja neophodno je beležiti podatke o temperaturi kolovoza. Temperatura značajno utiče na modul krutosti asfaltnih slojeva, pa samim tim i na izmerene ugibe. Po izvršenom merenju potrebno je ugibe korigovati na neku standardnu temperaturu da bi se mogli porediti – tipično 20°C.

Ugibi kolovozne konstrukcije zavise od:

- Opterećenja
- Rastojanja od opterećenja
- Karakteristika kolovozne konstrukcije
  - debljine slojeva
  - modula svakog sloja

Slika 29: Grafička prezentacija snimljenih ugiba



Po izvršenom snimanju vrši se obrada podataka izmerenih ugiba kroz sledeće korake:

- a) Normalizacija ugiba (preko normalizacije veličine i trajanja opterećenja)
- b) Korekcija ugiba (preko korekcije temperature i sezonskih uticaja)
- c) Proračun homogenih poteza
- d) Proračun karakterističnih ugiba i karakterističnih defleksionih bazena u okviru homogenih poteza

Normalizacija ugiba se vrši za određeno standardno opterećenje, u slučaju lokalnih puteva to je obično 40kN ili 50kN. Normalizacija se sastoji u proporcionalnoj promeni izmerenih ugiba u odnosu na aplicirano opterećenje.

Postupak korekcije ugiba u odnosu na temperaturu zavisi od metode koja se koristi za analizu nosivosti. Može da se vrši korekcija samo maksimalnog ugiba, korekcija parametara defleksionog bazena ili korekcija modula bitumenom vezanih slojeva.

Za definisanje homogenih deonica koristi se metoda kumulativnih razlika na bazi ugiba ispod opterećenja  $d_0$ , parametara defleksionog bazena ili drugih promenjivih. Ovom metodom se utvrđuje promena parametara duž određene deonice u odnosu na prosečnu vrednost parametara na deonici.

Kada se definišu homogeni potezi i utvrdi da je na homogenoj deonici koeficijent varijacije razmatranog parametra u okviru prihvatljive vrednosti ( $CV < 30\%$ ), pristupa se analizi parametara defleksionog bazena i proračunu modula slojeva.

Slika 30: Defleksioni bazen

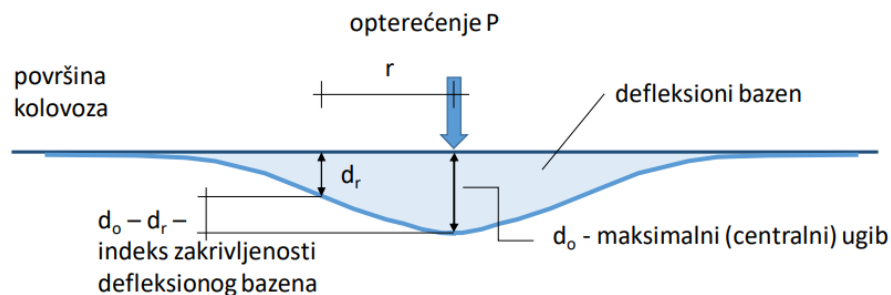


Tabela 34: Parametri defleksionog bazena

Naziv	Oznaka	Indikacija
Ugib ispod opterećenja	$d_0$	Opšte stanje kolovoza
Drugi ugibi	$d_r$	Stanje sloja na ekvivalentnoj dubini r
Indeks zakrivljenosti povr. kolovoza-SCI	$d_0 - d_{300}$	Zamor slojeva od vezanog materijala
Indeks oštećenja podloge - BDI	$D_{300} - d_{600}$	Stanje u gornjim slojevima
Indeks zakrivljenosti podloge - BCI	$d_{n-1} - d_n$	Stanje u podlozi
Faktor zakrivljenosti defl. krive - CBF	$(d_0 - d_r)/d_0$	Stanje sloja na ekvivalentnoj dubini r
Odnos defleksija - DF	$d_0 / d_r$	Stanje sloja na ekvivalentnoj dubini r

Tabela 35: Kriterijum ugiba ispod opterećenja i SCI kriterijum za lokalne puteve

Ugib ispod opterećenja $d_0$ ( $\mu\text{m}$ )	SCI300 = $d_0 - d_{300}$ ( $\mu\text{m}$ )	Sposobnost prenošenja opterećenja
<300	<150	Dobra
300-500	150-250	Dobra do osrednja
501-800	251-400	Osrednja do loša
>800	>400	Loša

Napomena: navedeni ugibi se odnose na opterećenje od 40kN

Tabela 36: Kriterijum ugiba za definisanje stanja podloge

Ugib na rastojanju od 2.1m od opterećenja ( $\mu\text{m}$ )	Čvrstoća podloge/posteljice
<15	Čvrsta
15-30	Čvrsta do osrednje čvrsta
31-45	Osrednje čvrsta do slaba
>45	Slaba

Napomena: navedeni ugibi se odnose na opterećenje od 40kN

Tabela 37: Granične vrednosti ugiba

Grupa saobraćajnog opterećenja	Broj prelaza nom. osovinskog opterećenja od 100 kN		Projektovani vek rehabilitacije (godina)			
	Tokom dana	Tokom perioda od 20 god.	5	10	15	20
			Dozvoljeni ugib do (mm) pod opterećenjem od 50 kN			
Teško	300-800	$2 \times 10^6 - 6 \times 10^7$	1.2	1.0	0.9	0.6
Srednje	80-300	$6 \times 10^5 - 2 \times 10^6$	1.5	1.2	1.1	0.8
Lako	30-80	$2 \times 10^5 - 6 \times 10^5$	1.7	1.4	1.2	1.0
Veoma lako	<30	$< 2 \times 10^5$	1.8	1.6	1.4	1.2

Izvor: Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji, JP Putevi Srbije 2012.

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

- merodavan ugib,
- dinamičke module elastičnosti materijala slojeva kolovozne konstrukcije,
- preostali vek trajanja kolovozne konstrukcije
- eventualno potrebno ojačanje kolovozne konstrukcije.

Određivanje dinamičkog modula elastičnosti slojeva iz izmerenih ugiba obavlja se primenom iterativnog postupka (Backcalculation), gde se vrši varijacija modula slojeva sa ciljem da se proračunom dobije izmereni defleksioni bazen. Iteracija se vrši sve dok se ne dobije zadovoljavajuće poklapanje izračunatog i izmerenog defleksionog bazena. Ovaj postupak zahteva upotrebu kompjuterskog softvera za proračun, kao što su MODULUS 6.0, ELMOD 5.0 i EVERCALC 5.0.

Na osnovu rezultata dobijenih merenjem ugiba površine kolovozne konstrukcije, 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, kao i određivanja potrebe za ojačanjem postojeće kolovozne konstrukcije.

U Tabeli 38 dat je predlog intervencija koje bi trebalo preduzeti u zavisnosti od funkcionalnog i strukturnog stanja kolovozne konstrukcije.

Tabela 38: Predlog intervencija u zavisnosti od stanja kolovoza

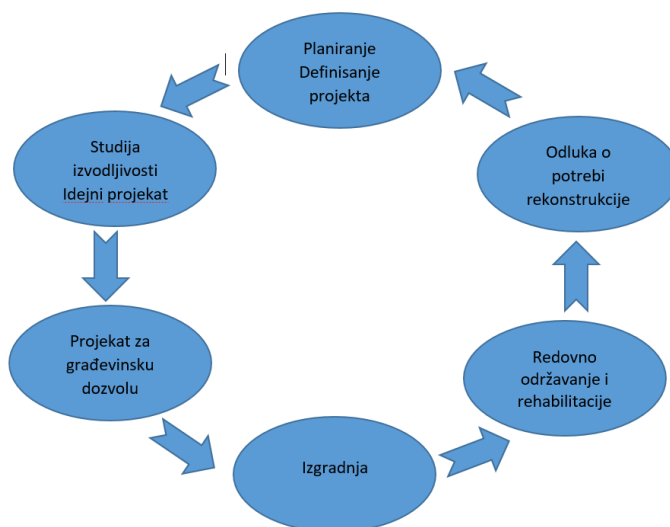
	Prelog intervencije	Funkcionalno stanje	Strukturno stanje
Rutinsko održavanje		odlično	odlično
		vrlo dobro	vrlo dobro
Zalivanje pukotina i primena mera za poboljšanje funkcionalnih karakteristika (npr. povećanje otpornosti na klizanje)		prihvatljivo	dobro
		loše	
Restauracija zastora (lokalne popravke i površinske obrade ili tanka presvlaka)		prihvatljivo	prihvatljivo
		loše	
Ojačanje konstrukcije novim slojem (pre izrade novog sloja popravka oštećenja)		loše	loše
	Rekonstrukcija		vrlo loše
		propalo	propalo

## 9 Održivost kolovozne konstrukcije

### 9.1 Životni ciklus kolovozne konstrukcije

U toku trajanja kolovozna konstrukcija prolazi kroz više cikličnih faza tokom kojih se sprovode mere u cilju održivosti i upotrebljivosti kolovozne konstrukcije u odnosu na sigurnost, udobnost i ekonomičnost vožnje. Usled saobraćajnog opterećenja, zamora materijala, klimatskih i hidroloških uticaja tokom vremena dolazi do pada funkcionalnih i strukturnih karakteristika kolovozne konstrukcije. Zbog toga odmah po izgradnji potrebno je uspostaviti kontinualno praćenje stanja kolovozne konstrukcije i adekvatne mere održavanja. Posle određenog perioda, ako obim i vrsta oštećenja ne mogu da se saniraju intervencijama u okviru redovnog održavanja treba pristupiti rehabilitaciji kolovoza, a u slučaju značajne degradacije ili zahteva za povećanje nosivosti treba pristupiti planiranju, projektovanju i izvođenju rekonstrukcije kolovozne konstrukcije.

Slika 31: Životni ciklus kolovozne konstrukcije



U Zakonu o putevima sve građevinske intervencije koje se sprovode po izgradnji puta podeljene u dve kategorije:

- **održavanje javnog puta** - izvođenje radova i obavljanje usluga u okviru postojećeg putnog zemljišta kojima se obezbeđuje očuvanje karakteristika puta u stanju koje je bilo u trenutku njegove izgradnje ili rekonstrukcije i može biti redovno, rehabilitacija i urgentno
- **rekonstrukcija javnog puta** - izvođenje radova na postojećem putu i zaštitnom pojasu sa pripadajućim objektima puta kojima se mogu promeniti geometrijski elementi, položaj ili oprema postojećeg puta sa ciljem unapređenja funkcionalnih i konstruktivnih karakteristika puta u celini ili njegovih pojedinih elemenata ili objekata

Radovi koji se odnose na održavanje javnog puta izvode se u skladu sa Zakonom o putevima, pratećim pravilnicima, odobrenim postupcima i tehničkim uslovima. Posebnu grupu u okviru održavanja čine radovi na rehabilitaciji puta, tj. izvođenje radova na javnom putu i putnom objektu u granicama putnog zemljišta, radi očuvanja karakteristika javnog puta u istom ili približno istom stanju koje je bilo u trenutku njegove izgradnje ili poslednje rekonstrukcije.

Zbog svoje specifičnosti za ove radove je izrađen Pravilnik o radovima na rehabilitaciji javnog puta („Službeni glasnik RS”, broj 23/19) kojim su navedeni su radovi koji se podvode pod

rehabilitaciju i postupak prijave i prijema radova.

Prema navedenom Pravilniku sledeće intervencije na kolovoznim konstrukcijama spadaju u radove rehabilitacije:

- obnavljanje i zamena dotrajalih kolovoznih konstrukcija, odnosno njenih delova, a naročito nanošenje novog asfaltnog sloja određene nosivosti po celoj širini postojećeg kolovoza;
- postavljanje šljunčanog, odnosno tucaničkog zastora na neasfaltiranim putevima;
- obrada površine kolovoznog zastora ili zaptivanje;

Upravljač lokalnog puta je dužan 15 dana pre početka radova da obavesti nadležni organ jedinice lokalne samouprave o nameri izvođenja radova na rehabilitaciji uz dostavljanje tehničkog opisa i predmera i predračuna radova, kao i zahteva za donošenje rešenja o tehničkom regulisanju saobraćaja čiji je sastavni deo saobraćajni projekat.

Po završetku radova upravljač javnog puta je dužan da obrazuje nezavisnu komisiju koja vrši tehnički pregled izvedenih radova na rehabilitaciji.

Upravljač javnog puta dužan je da nadležnom organu jedinice lokalne samouprave, dostavi izveštaj o izvedenim radovima na rehabilitaciji javnog puta overen od strane stručnog nadzora sa zapisnikom o izvršenom tehničkom pregledu izvedenih radova, u roku od 30 dana od dana završetka radova.

Izgradnja i rekonstrukcija javnog puta, za razliku od radova održavanja, vrši se u svemu u skladu sa zakonom kojim se uređuju planiranje i izgradnja. U Zakonu o putevima navedeno je da je rekonstrukcija javnog puta izvođenje građevinskih radova u zaštitnom pojasu, kojima se mogu promeniti geometrijski elementi, položaj ili oprema postojećeg puta, u cilju održavanja i unapređenja vrednosti puta.

Rekonstrukcijom javnog puta, u smislu navedenog zakona, smatraju se naročito:

- radovi na postojećem putu i putnom objektu kojima se menja položaj trase javnog puta u pojasu njegovog osnovnog pravca;
- radovi na izmeni konstruktivnih elemenata u cilju poboljšanja nosivosti i stabilnosti puta kojima se proširuju kolovoz i raskrsnice, povećava radijus horizontalnih krivina puta i saniraju klizišta;

Na osnovu navedenog obaveza je upravljača puta da kontinualno sprovodi mere redovnog održavanja puta, a u zavisnosti od stanja puta da primeni mere iz domena urgentnog održavanja, rehabilitacije ili rekonstrukcije puta.

Ključ za uspešno upravljanje putem je uspostavljanje sistema upravljanja kolovozom (PMS) čija primena omogućava upravljaču puta da pravovremeno donosi odluke o vrsti i obimu građevinskih intervencija u cilju očuvanja upotrebljivosti puta ili povećanja saobraćajnog opterećenja. Značajna prednost primene sistema upravljanja kolovozom je mogućnost analize troškova životnog ciklusa kako bi se izabrao optimalan termin i vrsta intervencije na kolovoznoj konstrukciji.

Nivo intervencije koji će biti primenjen zavisi od stanja kolovozne, a prema obimu zahvata može se podeliti na sledeće grupe:

- **Ponovno zaptivanje i restauracija otpornosti na klizanje** – obnova vodonepropustljivosti površine kolovoza i poboljšanje otpornosti na klizanje, primenjuje se u slučaju površinskih oštećenja
- **Obnova površine kolovoza** - pored površinske obrade može, po potrebi, uključiti poboljšanje odvodnjavanja korekcijom poprečnih i podužnih nagiba, krpljenje rupa i lokalno ojačanje slabih ivica kolovoza
- **Presvlačenje kolovoza** - uključuje nivelaciju i nanošenje novog sloja od materijala sa vezivom i po potrebi korekcija nagiba površine kolovoza
- **Rekonstrukcija kolovoza** - potpuno ili delimično uklanjanje postojećih slojeva kolovoza i njihova zamena novim nosećim slojevima od materijala sa vezivom ili bez veziva uz

obezbeđenje drenaže, gde je to potrebno

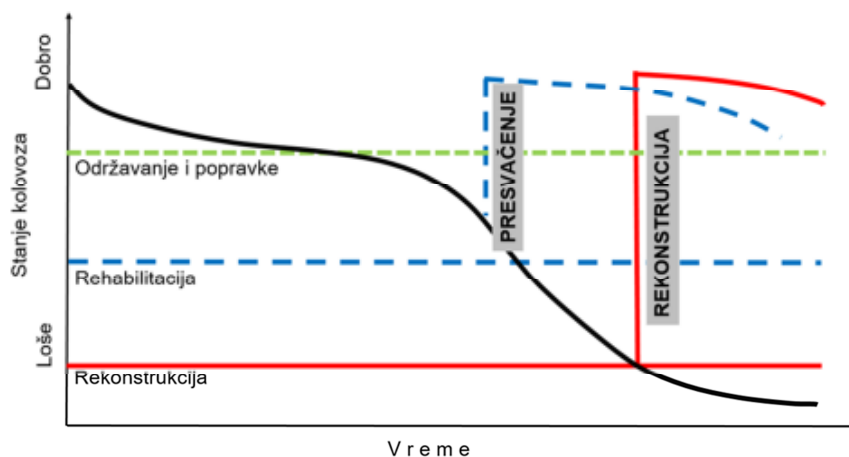
U Tabeli 39 prikazan je očekivani vek trajnosti uobičajnih tretmana za obnovu kolovozne konstrukcije.

Tabela 39: Očekivani vek trajnosti u zavisnosti od primenjenog tretmana

Tretman	Očekivani vek (godina)
1) 50 mm asfaltna presvlaka	7-10
2) 50 mm frezovanje i asfaltna presvlaka	10-15
3) Slurry seal	3-8
4) Chip seal	3-6
5) Micropresvlaka	3-8
6) Mikro frezanje i zamena dela sloja (25mm)	1-4
7) Hladna reciklaža i presvlaka	10-15
8) Topla reciklaža na licu mesta	5-7
9) Tanka presvlaka vrućom asf. masom (<50mm)	5-8
10) Lokalne popravke	3-5
11) Debela presvlaka vrućom asf. masom (125mm)	8-15
12) Duboka reciklaža i bit. presvlaka 100 mm	20+
13) Kompletna rekonstrukcija	20+

Na slici 34 je dat primer primene dva alternativna rešenja za održivost upotrebljivosti kolovozne konstrukcije puta. Prva alternativa je izrada novog površinskog sloja kolovozne konstrukcije (presvlačenje) i ona je primenjiva u slučaju da se izvede pre totalne degradacije kolovozne konstrukcije. Ukoliko se ovo rešenje ne primeni pravovremeno i dođe do dalje degradacije kolovozne konstrukcije primenjuje se drugo alternativno rešenje tj. rekonstrukcija kolovozne konstrukcije čija primena vremenski duže traje i više košta.

Slika 32: Izbor tretmana u zavisnosti od stanja kolovozne konstrukcije



Kako je ranije navedeno, klimatske promene imaju značajan uticaj na održivost funkcionalnih i strukturnih karakteristika kolovoznih konstrukcija. Usled povećanja temperature vazduha i inteziteta padavina, što ima za posledicu povećanje temperature u strukturi kolovozne konstrukcije i povećanja vlažnosti tla, potrebno je izvršiti odgovarajuće korekcije u postupcima dimenzionisanja da bi se sprečili negativni uticaji klimatskih promena. Dok se ne izvrše ove modifikacije, u projektnim zadacima za izgradnju i rekonstrukciju lokalnih puteva potrebno je

posebno naglasiti neophodnost sprovođenja mera u cilju sprečavanja negativnog uticaja klimatskih promena na kolovoznu konstrukciju.

## 9.2 Savremeni postupci obnove kolovozne konstrukcije

Savremeni postupci obnove kolovozne konstrukcije koncipirani su u skladu sa koncepcijom održivog razvoja sa ciljem zaštite okoline i uštede energije. Osnovna karakteristika ovih postupaka je maksimalna upotreba materijala iz kolovozne konstrukcije koja je predmet obnove.

Prema primenjenoj tehnologiji ovi postupci se dele na postupke sa:

- Recikliranjem – uklonjeni materijal se uz prethodnu obradu/poboljšanje ponovo koristi pod istim funkcionalnim uslovima
- Ponovnom upotrebom (Reuse) – materijal se ponovo koristi bez posebne obrade/poboljšanja pod nižim funkcionalnim uslovima

Za oba postupka je razvijeno niz tehnologija sa svojim specifičnostima na osnovu kojih se vrši izbor odgovarajućeg tehnološkog postupka u zavisnosti od konkretnog slučaja.

Kod primene reciklaže vrši se podela na sledeće tehnološke postupke:

- prema mestu na kome se vrši dorada materijala na:
  - reciklažu na licu mesta i
  - reciklažu u centralnom postrojenju,
- prema postupku obrade na:
  - topao postupak i
  - hladan postupak,
- prema intezitetu zahvata na:
  - površinsku reciklažu i
  - duboku reciklažu

Tokom postupka reciklaže vrši se poboljšanje kvaliteta materijala kolovozne konstrukcije koja je predmet obnove dodavanjem aditiva i modifikatora za regeneraciju veziva i dodavanjem agregata za popravku sastava mineralne ispuhe.

Primena reciklaže na licu mesta moguća je ukoliko se vrši intervencija na kolovozu homogene strukture u pogledu kvaliteta i sadržaja veziva, granulometrijskog sastava, debljine sloja, sa ograničenim površinama popravki. Prednost primene reciklaže na licu mesta je potpuno korišćenje materijala iz postojeće konstrukcije i ušteda u transportu materijala.

Reciklaža u centralnom postrojenju se primenjuje kada usled nehomogenosti materijala u postojećim slojevima kolovozne konstrukcije nije moguće primeniti reciklažu na licu mesta ili kada je na raspolaganju deponovani RAP (Reclaimed Asphalt Pavement). U tehnološkom postupku hladne reciklaže u centralnom postrojenju RAP se drobi i separiše u frakcije, dodaje novi agregat vodeći računa od odnosa u mešavini i meša (obično u kontinualnom postrojenju) uz dodavanje veziva (bitumenska emulzija ili penušavi bitumen). Ovako proizvedeni materijal se najčešće koristi za izradu stabilizovanih podloga.

Površinska reciklaža po toplom postupku najčešće se koristi za popravku funkcionalnog stanja kolovozne konstrukcije, tj. za popravku površinskih karakteristika zastora. Ovim postupkom se ne povećava nosivost kolovozne konstrukcije.

Postupak hladne reciklaže na licu mesta posebno je pogodan za preradu gornjih slojeva kolovozne konstrukcije pod uslovom homogenosti materijala na površinama koje se obrađuju. Primenom ovog postupka dobijaju se noseći slojevi čije karakteristika zavise od karakteristika recikliranog materijala i upotrebljenog veziva. Pre donošenja odluke o primeni ovog postupka potrebno je izvršiti prethodna ispitivanja karakteristika materijala koji se obrađuju da bi se potvrdila pogodnost primene ovog postupka. Najčešće se koristi za sanaciju nosećih slojeva kolovozne konstrukcije, pa je nakon primene potrebna izrada habajućeg sloja po vrućem postupku.

Duboka reciklaža po hladnom postupku koristi se za povećanje nosivosti postojeće kolovozne konstrukcije preradom gornjih slojeva. Obzirom da je zahvat reciklaže do dubina većih od 20 cm, primenom ovog postupka moguće je značajno povećanje nosivosti degradirane kolovozne konstrukcije. Može se primeniti za:

- Rehabilitaciju gornjeg nosećeg sloja
- Rehabilitaciju donjeg nosećeg sloja
- Poboljšanje posteljice
- Nivelaciju površine i rehabilitaciju gornjeg nosećeg sloja

## Spisak literature

1. SRPS U.C4.010 – Određivanje ukupnog ekvivalentnog saobraćajnog opterećenja za dimenzionisanje asfaltnih kolovoznih konstrukcija (1981)
2. Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji (Smernice – „Putevi Srbije“ 2012)
3. EU Direktie 96/53/EC laying down for certain road vehicles circulating within the Community the maximum authorized dimensions in national and international traffic and the maximum authorized weights in international traffic
4. Zakon o putevima član 9 i 10 -"Sl. glasnik RS", br. 41/2018 i 95/2018
5. SRPS U.B9.012 – Procena osetljivosti kolovozne konstrukcije na dejstvo mraza i tehničke mere za sprečavanje oštećenja
6. SRPS U.C4.016 - Projektovanje i građenje puteva - Klimatski i hidrološki uslovi
7. SRPS U.E1.012- Projektovanje i građenje puteva - Osetljivost materijala – tla na dejstvo mraza
8. SRPS U.B9.010- Projektovanje i građenje puteva – Merenje dubine smrzavanja
9. Podaci o izmerenim maksimalnim dubinama smrzavanja na nekoliko mernih mesta u Republici Srbiji (izveštaj Instituta za saobraćajnice i geotehniku Građevinskog fakulteta u Beogradu, br. 53076-2/1992. god).
10. SRPS U.E8.010 - Projektovanje i građenje puteva – Nosivost i ravnost na nivou posteljice (povučen)
11. SRPS U.B1.042 – Geomehanička ispitivanja – Laboratorijsko određivanja kalifornijskog indeksa nosivosti
12. SRCS Tehnički uslovi za građenje puteva u republici Srbiji
13. SRPS U.B1.001- Geomehanička ispitivanja – Opšta klasifikacija tla
14. SRPS EN ISO 124688-1 Geomehaničko istraživanje i ispitivanje – Identifikacija i klasifikacija tla – Deo 1: Identifikacija i opis
15. SRPS EN ISO 124688-2 Geomehaničko istraživanje i ispitivanje – Identifikacija i klasifikacija tla – Deo 2: Principi klasifikacije
16. SRPS U.B1.046 – Geomehanička ispitivanja – Određivanje modula stišljivosti metodom kružne ploče
17. SRPS U.B1.047– Geomehanička ispitivanja – Određivanje modula deformacije pomoću opterećenja kružnom pločom
18. SRPS EN 12591- Bitumen i bitumenska veziva — Specifikacije za bitumene za puteve
19. SRPS EN 14023 - Bitumen i bitumenska veziva — Okvir za izradu specifikacija za bitumene modifikovane polimerom
20. SRPS EN 15322 - Bitumen i bitumenska veziva — Okvir za izradu specifikacije za razređena i omekšana bitumenska veziva

21. SRPS U.M3.022 - Anjonska bitumenska emulzija za puteve - Uslovi kvaliteta
22. SRPS EN 13808 - Bitumen i bitumenska veziva — Okvir za izradu specifikacije katjonskih bitumenskih emulzija
23. SRPS EN 197-1 - Cement — Deo 1: Sastav, specifikacije i kriterijumi usaglašenosti za obične cemente
24. Pravilnik o tehničkim zahtevima za frakcionisani agregat za beton i asfalt ("Sl. glasnik RS", br. 78/2020)
25. SRPS ISO 6783 - Krupni agregati za beton – Određivanje stvarne zapreminske mase i upijanja vode - Metoda pomoću hidrostatičke vage
26. SRPS ISO 7033 - Sitni i krupni agregati za beton - Određivanje stvarne zapreminske mase i upijanja vode - Piknometarska metoda
27. SRPS EN 12620:2010 - Agregati za beton, za upotrebu kao sastojka za spravljanje betona;
28. SRPS EN 13043:2007 - Agregati za bitumenske mešavine i površinsku obradu kolovoza, aerodrome i drugih saobraćajnih površina, za upotrebu kao sastojka za bitumenske mešavine i površinsku obradu kolovoza, aerodroma i drugih saobraćajnih površina
29. SRPS U.C4.012/1981 - Projektovanje i građenje puteva - Dimenzionisanje novih asfaltnih kolovoznih konstrukcija
30. SRPS U.C4.014/1994 - Projektovanje i građenje puteva - Dimenzionisanje novih cementnobetonskih nearmiranih kolovoznih konstrukcija
31. SRPS U.C4.015/1994 - Projektovanje i građenje puteva - Dimenzionisanje novih fleksibilnih kolovoznih konstrukcija
32. SRPS U.E3.020 - Projektovanje i građenje puteva - Tehnički uslovi za izradu cementnobetonskog kolovoza (povučen)
33. SRPS U.E9.024 – Izrada nosećih slojeva kolovoznih konstrukcija puteva od materijala stabilizovanih cementom i sličnim vezivima
34. SRPS EN 13036-6 - Površinske karakteristike puteva i aerodromskih saobraćajnih površina – Metode ispitivanja –Deo 6: Merenje poprečnih i podužnih profila u opsezima talasnih dužina za ravnost i megateksturu
35. SRPS EN 13036-1- Površinske karakteristike puteva i aerodromskih saobraćajnih površina – Metode ispitivanja – Deo 1: Merenje dubine makroteksture površine kolovoza pomoću metode zapreminske ispune
36. SRPS EN 13036-4 - Površinske karakteristike puteva i aerodromskih saobraćajnih površina – Metode ispitivanja – Deo 4: Metoda za merenje otpornosti površine na proklizavanje/klizanje - Ispitivanje klatnom
37. SRPS EN 12697-1 - SRPS EN 12697-56 - Asfaltne mešavine — Metode ispitivanja
38. Pravilnik o radovima na rehabilitaciji javnog puta (Službeni glasnik RS, broj 23/19)

39. Road condition and maintenance data, Department for transport, London, UK
40. Guidelines on the Depth of Overlay to be used on Rural Regional and Local Road, e Department of Transport, Tourism and Sport, Dublin, Ireland, 2014
41. Mechanistic–Empirical Pavement Design Guide (MEPDG), A Manual of Practice, AASHTO, July 2008
42. COST 354 Performance Indicators for Road Pavements, WP 2 "Selection and assessment of individual performance indicators" Report, European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research, 2007
43. Prof. Goran Mladenović, Kolovozne konstrukcije, predavanja na građevinskom fakultetu u Beogradu
44. Uvod u izradu smernica za projektovanje asfaltnih kolovoznih konstrukcija državnih puteva prvog i drugog reda, Beograd 2020
45. RVS 03.08.63, Road Planning, Pavement Design, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (FSV), Wien, Austria, 2016
46. A Guide to the use of Otta Seals, Directorate of Public Roads, Road Technology Department, Oslo, Norway 1999
47. Uputstvo i tehnički uslovi za duboku reciklažu na licu mesta po hladnom postupku kod rehabilitacije kolovoznih konstrukcija, Republička direkcija za puteve 2002.
48. Tehnička uputstva za primenu tehnologije toplog i hladnog recikliranja kolovoza, površinskih obrada i mikroasfalta, Republička direkcija za puteve 2002
49. Report on the Impact of Climate Change on Road Infrastructure, with a Proposal for Adaptation Measures, Goran Mladenović, PhD, Jelena Ćirilović Stanković PhD, Beograd 2022