



**Аутори**

**Проф. др Александар Цветановић, дипл. грађ. инж.  
Боривоје Банић, дипл. грађ. инж.**

## **1 ОДНОС ВОЗИЛА И ПУТА / 1**

- 1.1 УВОД / 1
- 1.2 ВУЧНА СИЛА И ОТПОРИ / 2
- 1.3 ОТПОР ОД ВАЗДУХА / 2
- 1.4 ОТПОР КОТРЉАЊУ / 4
- 1.5 ОТПОР ОД НАГИБА / 4
- 1.6 РАСПОЛОЖИВА ВУЧНА СИЛА / 5
- 1.6.1 МАКСИМАЛНА ВУЧНА СИЛА / 5
- 1.6.2 ПОГОНСКА ВУЧНА СИЛА / 6
- 1.7 УБРЗАЊЕ ВОЗИЛА / 6
- 1.8 ЕФИКАСНОСТ ГОРИВА / 8
- 1.9 ПРИНЦИПИ КОЧЕЊА / 8
- 1.9.1 КОЧИОНЕ СИЛЕ / 9
- 1.9.2 КОЕФИЦИЈЕНТ КОЧЕЊА И ЕФИКАСНОСТ КОЧЕЊА / 9
- 1.9.3 ТЕОРИЈСКИ ЗАУСТАВНИ ПУТ / 10
- 1.9.4 ПРАКТИЧНИ ЗАУСТАВНИ ПУТ / 10
- 1.9.5 ДУЖИНА ПУТА У ТОКУ УОЧАВАЊА / РЕАКЦИЈЕ ВОЗАЧА / 12

## **2 ПРОЈЕКТОВАЊЕ ПУТЕВА / 13**

- 2.1 УВОД / 13
- 2.2 ЕЛЕМЕНТИ ПОПРЕЧНОГ ПРОФИЛА ПУТА / 14
- 2.2.1 КАТЕГОРИЗАЦИЈА ЈАВНИХ ПУТЕВА / 16
- 2.3 ОСОВИНА ПУТА У СИТУАЦИОНОМ ПЛАНУ / 23
- 2.3.1 ПОЛУПРЕЧНИК КРИВИНЕ / 24
- 2.3.2 ЕЛЕМЕНТИ ХОРИЗОНТАЛНЕ КРИВИНЕ / 25
- 2.3.2.1 ПРИНЦИПИ ВИТОПЕРЕЊА КОЛОВОЗА / 27
- 2.3.3 УТИЦАЈ ЗАУСТАВНЕ ПРЕГЛЕДНОСТИ У ПРОЈЕКТОВАЊУ ХОРИЗОНТАЛНЕ КРИВИНЕ / 29
- 2.4 УЗДУЖНИ ПРОФИЛ / 30
- 2.4.1 ПРИНЦИПИ ВЕРТИКАЛНИХ КРИВИНА / 31
- 2.4.2 МИНИМАЛНА И ЗАХТЕВАНА ЗАУСТАВНА ПРЕГЛЕДНОСТ / 31
- 2.4.2.1 ЗАУСТАВНА ПРЕГЛЕДНОСТ У КОНВЕКСНОЈ КРИВИНИ / 32
- 2.4.2.2 ЗАУСТАВНА ПРЕГЛЕДНОСТ У КОНКАВНОЈ КРИВИНИ / 33
- 2.4.2.3 ПРЕТИЦАЈНА ПРЕГЛЕДНОСТ У КОНВЕКСНОЈ ВЕРТИКАЛНОЈ КРИВИНИ / 35
- 2.5 ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ ТРАСИРАЊА / 35
- 2.5.1 КЛАСИЧАН ПОСТУПАК ТРАСИРАЊА / 36
- 2.5.2 ПОСТУПАК ТРАСИРАЊА ПОМОЋУ РАЧУНАРА / 40
- 2.6 ДЕНИВЕЛИСАНЕ РАСКРСНИЦЕ / 41
- 2.7 ПОВРШИНСКЕ РАСКРСНИЦЕ - РАСКРСНИЦЕ У НИВОУ / 43
- 2.8 ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ САОБРАЋАЈНЕ АНАЛИЗЕ / 45
- 2.8.1 ПРОТОК, БРЗИНА И ГУСТИНА / 45
- 2.8.2 ОСНОВНИ МОДЕЛИ САОБРАЋАЈНИХ ТОКОВА / 46
- 2.8.2.1 МОДЕЛ БРЗИНА - ГУСТИНА / 46
- 2.8.2.2 МОДЕЛ ПРОТОК - ГУСТИНА / 47
- 2.8.2.3 МОДЕЛ БРЗИНА-ПРОТОК / 48
- 2.9 КАПАЦИТЕТ И НИВОИ УСЛУГЕ / 49
- 2.10 МОДЕЛ САОБРАЋАЈНОГ ПРОТОКА / 53
- 2.10 ПОАСОНОВ МОДЕЛ / 53

## **3 ПРОЈЕКТОВАЊЕ ГРАДСКИХ УЛИЦА / 55**

- 3.1 УВОД / 55
- 3.2 КЛАСИФИКАЦИЈА ГРАДСКИХ САОБРАЋАЈНИЦА / 56
- 3.3 ПОВРШИНСКЕ РАСКРСНИЦЕ / 64
- 3.4 АУТОБУСКА СТАЈАЛИШТА / 68
- 3.5 ПЕШАЧКЕ СТАЗЕ И ТРОТОАРИ / 70
- 3.6 БИЦИКЛИСТИЧКЕ СТАЗЕ / 72
- 3.7 ПАРКИРАЛИШТА / 73
- 3.8 КОНЦЕПТ УМИРЕЊА САОБРАЋАЈА / 77

## **4 АЕРОДРОМИ / 79**

- 4.1 УВОД / 79
- 4.2 КАТЕГОРИЗАЦИЈА АЕРОДРОМА / 80
- 4.3 ЗАШТИЋЕНЕ ЗОНЕ АЕРОДРОМА / 81
- 4.4 ГЕОМЕТРИЈА АЕРОДРОМА / 85
- 4.5 СИГНАЛИЗАЦИЈА / 90
- 4.6 ГАБАРИТИ АВИОНА / 92
- 4.7 МЕТОДЕ АЦН И ПЦН ЗА ОЦЕНУ НОСИВОСТИ КОЛОВОЗА / 93
- 4.8 ОРИЈЕНТАЦИЈА АЕРОДРОМА / 94

## **5 ЖЕЛЕЗНИЦЕ / 97**

- 5.1 УВОД / 97
- 5.2 ОСНОВНЕ КЛАСИФИКАЦИЈЕ ПРУГА / 98
- 5.3 СИЛЕ КОЈЕ ДЕЛУЈУ НА ВОЗ / 98
- 5.4 ЗАУСТАВНИ ПУТ / 99
- 5.5 ИСКОРИШЋЕЊЕ КИНЕТИЧКЕ ЕНЕРГИЈЕ ВОЗА / 99
- 5.6 ОСНОВНИ КОНСТРУКТИВНИ ЕЛЕМЕНТИ ЖЕЛЕЗНИЧКЕ ПРУГЕ / 100
- 5.6.1 СИТУАЦИОНИ ПЛАН И УЗДУЖНИ ПРОФИЛ / 100
- 5.6.2 ПЛАНУМ ЖЕЛЕЗНИЧКЕ ПРУГЕ / 100
- 5.6.3 СЛОБОДНИ ПРОФИЛ ПРУГЕ / 100
- 5.6.4 ГЕОМЕТРИЈСКИ ЕЛЕМЕНТИ ПЛАНА ПРУГЕ / 101
- 5.6.5 ЕЛЕМЕНТИ УЗДУЖНОГ ПРОФИЛА / 103
- 5.7 ЖЕЛЕЗНИЧКЕ СТАНИЦЕ / 104
- 5.8 ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ ГОРЊЕГ СТРОЈА / 108

## **6 КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ / 113**

- 6.1 УВОД / 113
- 6.2 ТИПОВИ САВРЕМЕНИХ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА / 114
- 6.2.1 ТИПОВИ САВРЕМЕНИХ ФЛЕКСИБИЛНИХ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА / 114
- 6.2.2 ТИПОВИ САВРЕМЕНИХ КРУТИХ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА / 117
- 6.3 СЛОЈЕВИ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА / 119
- 6.3.1 ПОСТЕЉИЦА / 119
- 6.3.2 ДОЊА ПОДЛОГА - ТАМПОН / 120
- 6.3.3 ГОРЊА ПОДЛОГА / 122
- 6.3.4 ЗАСТОР / 123
- 6.4 МАТЕРИЈАЛИ / 125
- 6.4.1 НЕВЕЗАНИ ЗРНАСТИ МАТЕРИЈАЛИ / 126
- 6.4.2 ВЕЗАНИ МАТЕРИЈАЛИ / 127
- 6.4.3 АСФАЛТ БЕТОНИ / 132
- 6.4.4 ЦЕМЕНТНИ БЕТОНИ / 133
- 6.5 УТИЦАЈИ СРЕДИНЕ НА КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ / 139
- 6.5.1 УТИЦАЈИ ТЕМПЕРАТУРЕ И ВОДЕ НА ФЛЕКСИБИЛНЕ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ / 139
- 6.5.1.1 ПРОДИРАЊЕ МРАЗА КРОЗ КОЛОВОЗНУ КОНСТРУКЦИЈУ / 143
- 6.5.1.2 ФАКТОРИ КОЈИ УТИЧУ НА ЛОМОВЕ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ ПРИ НИСКИМ ТЕМПЕРАТУРАМА / 146
- 6.5.2 УТИЦАЈИ СРЕДИНЕ НА КРУТЕ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ / 149
- 6.5.2.1 НАПОНИ ИЗВИЈАЊА У ПЛОЧИ / 149
- 6.5.2.2 НАПОНИ ТРЕЊА ИЗМЕЂУ БЕТОНСКЕ ПЛОЧЕ И ПОДЛОГЕ / 151
- 6.5.2.3 ШИРЕЊЕ ПЛОЧА / 151
- 6.5.2.4 СКУПЉАЊЕ БЕТОНСКИХ ПЛОЧА / 152
- 6.5.2.5 ПРИТАЈЕНИ НАПОНИ У БЕТОНУ / 154
- 6.5.2.6 ТЕРМИЧКЕ ПУКОТИНЕ У СВЕЖЕМ БЕТОНСКОМ КОЛОВОЗУ / 154
- 6.5.2.7 СУПЕРПОЗИЦИЈА НАПОНА КОД КРУТИХ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА / 157
- 6.6 ДИМЕНЗИОНИРАЊЕ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА / 161
- 6.6.1 ДИМЕНЗИОНИРАЊЕ ФЛЕКСИБИЛНИХ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА МЕТОДОМ AASHTO / 161
- 6.6.2 ДИМЕНЗИОНИРАЊЕ КРУТИХ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА МЕТОДОМ AASHTO / 174
- 6.7 ЗАСТОРИ ОД ПРЕФАБРИКОВАНИХ БЕТОНСКИХ ЕЛЕМЕНАТА / 192
- 6.7.1 ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ / 192
- 6.7.2 КАРАКТЕРИСТИКЕ МАТЕРИЈАЛА / 193
- 6.7.3 ДИМЕНЗИОНИРАЊЕ / 193
- 6.7.4 НАЧИН ПОСТАВЉАЊА БЕТОНСКИХ ЕЛЕМЕНАТА У КОЛОВОЗНИ ЗАСТОР / 195
- 6.7.5 ОДРЖАВАЊЕ ЗАСТОРА ОД БЕТОНСКИХ БЛОКОВА / 197
- 6.8 ОДРЖАВАЊЕ АСФАЛТНИХ ЗАСТОРА / 200
- 6.8.1 ДЕФИНИЦИЈА ПРЕВЕНТИВНОГ ОДРЖАВАЊА / 200
- 6.8.2 ПОСТУПЦИ ПРЕВЕНТИВНОГ ОДРЖАВАЊА / 200
- 6.8.3 МАТЕРИЈАЛИ И ПОСТУПЦИ ЗА ПОПРАВКУ ПУКОТИНА АСФАЛТНИМ ЗАСТОРИМА / 203 у
- 6.8.4 МАТЕРИЈАЛИ И ПОСТУПЦИ ЗА ОПРАВКЕ РУПА У АСФАЛТНИМ КОЛОВОЗИМА / 222
- 6.8.5 ОБНОВА КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА / 234
- 6.8.5.1 ПОВРШИНСКЕ ОБРАДЕ / 234
- 6.8.5.2 ОБРАДА МАЛТЕРОМ - "СЛАРИ СИЛ" / 240
- 6.8.5.3 МИКРО-ЗАСТОРИ / 244
- 6.8.6 РЕГЕНЕРАЦИЈА КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА / 246
- 6.8.7 ОДРЖАВАЊЕ КРУТИХ - БЕТОНСКИХ ЗАСТОРА / 256

# 1

# ОДНОС ВОЗИЛА И ПУТА

## 1.1 УВОД

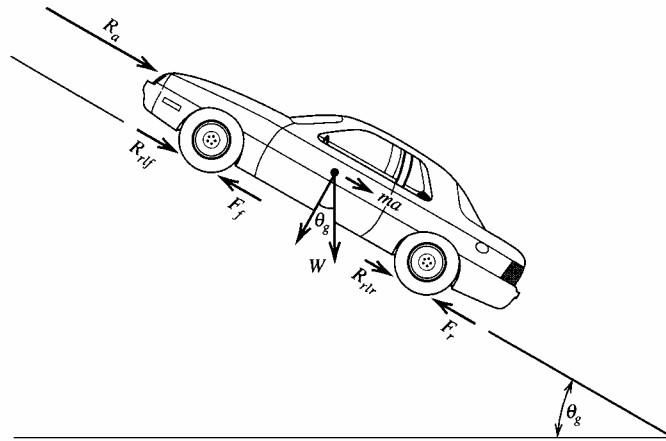
Однос између возила и пута представља основу за пројектовање путева и анализу саобраћаја. На пример, одређивање дужине трака за убрзавање и успоравање, максималног нагиба (подужног и попречног), зауставне и претицајне прегледности и др, зависе од разумевања понашања возила на путу, односно од карактеристика возила. Карактеристике возила, такође, утичу на одређивање начина контроле саобраћаја, ограничења брзине и временских интервала трајања светлосне саобраћајне сигнализације.

Проучавање карактеристика возила битно је због две основне функције. Прво, омогућава увид у пројектовање путева и компромисе које треба направити да би био задовољен широки спектар возила која ће се њиме кретати. Друго, формира основу за процену динамичких утицаја технологија савремених возила на постојеће принципе пројектовања путева и коловозних конструкција. Ова друга функција је нарочито значајна с обзиром на будуће новитете и технолошка решења возила. Такви новитети у аутомобилској индустрији ће утицати на осавремењивање начина и принципа пројектовања путева са гледишта безбедности, економичности и трајности.



## 1.2 ВУЧНА СИЛА И ОТПОРИ

Вучна сила и отпори су две основне супротстављене силе које омогућавају праволинијско кретање возила. Вучна сила је једноставно сила која омогућава да се на коловозној површини произведе рад, изражена је у њутнима [N]. Отпор (такође изражен у [N]) је дефинисан као сила која се супротставља кретању возила. Три основна отпора кретању возила су (1) аеродинамички отпор (отпор од ваздуха), (2) отпор при котрљању (односно између пнеуматика и коловозне површине), и (3) отпор од нагиба или гравитациони отпор. За илустрацију ових сила, може да послужи шема на слици 1.1.



Слика 1.1 Диспозиција сила које делују на возило

На овој слици је  $R_a$  отпор од ваздуха,  $R_{rlf}$  отпор при котрљању предњег пнеуматика,  $R_{rlr}$  отпор при котрљању задњег пнеуматика,  $F_f$  вучна сила предњих точкова,  $F_r$  вучна сила задњих точкова,  $W$  оптерећење од возила у њутнима,  $\theta_g$  нагиб равни кретања у степенима,  $m$  маса возила у килограмима и  $a$  убрзање у  $m/s^2$ .

Збиром по смеровима свих наведених сила паралелних коловозној површини добија се:

$$F_f + F_r = ma + R_a + R_{rlf} + R_{rlr} + R_g \quad (1.1)$$

где је  $R_g = W \cdot \sin \theta_g$  (отпор од подужног нагиба). Једноставности ради, све силе истог смера су груписане са десне стране знака једнакости:

$$F = ma + R_a + R_{rl} + R_g \quad (1.2)$$

## 1.3 ОТПОР ОД ВАЗДУХА

Отпор од ваздуха је стална сила која има значајан динамички утицај на карактеристике возила. При већим брзинама, кад та компонента отпора може бити

прекорачена, основну карактеристику возила чини правилно аеродинамичко решење. У данашње време, на ту карактеристику возила се полаже велика пажња. Аеродинамички отпор зависи од бројних параметара. Основни извор (85% укупног аеродинамичког отпора) је турбулентно кретање ваздушних струја око возила. Око 12% од укупног аеродинамичког отпора је трење ваздуха по каросерији возила. Коначно, око 3% од укупног аеродинамичког отпора је струјање ваздуха кроз елементе возила (хладњаци и ваздушна вентилација).

Једначина отпора од ваздуха је следећа:

$$R_a = \frac{\rho}{2} \cdot C_D \cdot A_f \cdot V^2 \quad (1.3)$$

где је  $\rho$  густина ваздуха у килограмима по кубном метру [ $\text{kg/m}^3$ ] ( $\rho = 1.2256 \text{ kg/m}^3$  на нивоу мора),  $C_D$  бездимензиони коефицијент отпора од ваздуха који је експериментално одређен у аеродинамичком тунелу,  $A_f$  фронтална површина возила у метрима квадратним [ $\text{m}^2$ ] и  $V$  релативна брзина кретања возила у односу на брзину ветра у метрима у секунди [ $\text{m/s}$ ], (али се у пракси узима да је она једнака брзини возила).

Густина ваздуха је функција надморске висине и температуре. Оријентационе вредности су наведене у табели 1.1.

Табела 1.1. Типичне вредности густине ваздуха у одређеним атмосферским условима [4]

Надморска висина [m]	Температура [°C]	Притисак [kPa]	Густина [ $\text{kg/m}^3$ ]
0	15	101.4	1.2256
1500	9.7	84.4	1.0567
3000	- 4.5	70.1	0.9096

У табели 1.2 су приказане вредности коефицијента отпора од ваздуха за карактеристична возила.

Табела 1.2. Типичне вредности коефицијента отпора од ваздуха за карактеристична возила [4]

Тип возила	Коефицијент отпора $C_D$
аутомобил	0.25 – 0.55
аутобус	0.5 – 0.7
трактор - тегљач	0.6 – 1.3
мотроцикл	0.27 – 1.8

Због пропорционалног односа отпора од ваздуха квадрату брзине кретања возила, јасно је да је отпор већи са порастом брзине. Међутим, снага потребна за савладавање отпора ваздуха је:

$$P_{Ra} = \frac{\rho}{2} \cdot C_D \cdot A_f \cdot V^3 \quad (1.4)$$

где је  $P_{Ra}$  снага у ватима [ $\text{Nm/s}$ ].

#### 1.4 ОТПОР КОТРЉАЊУ

Отпор котрљању се односи на отпор створен унутрашњим трењем у механизму возила и трењем пнеуматика о коловозну површину. Основни узрок овом отпору су деформације пнеуматика. Сила потребна да се савлада отпор ове деформације је око 90% од укупног отпора котрљању. Зависност масе возила и састава материјала у застору, пенетрација пнеуматика у застор и одговарајућа збијеност застора, такође, утичу на отпор котрљању (око 4% од укупног отпора котрљању). Проклизивање пнеуматика по коловозној површини при покретању возила и циркулисање ваздуха око пнеуматика и точка, утиче са око 6% укупног отпора котрљању [1] Таборек (Taborek 1957).

Анализирајући све изворе отпору котрљања, три фактора су вредна пажње:

1. Прво, крутост пнеуматика и застора утичу на степен пенетрације пнеуматика у застор, збијеност застора и деформацију пнеуматика. Тврд, сув и раван застор изазива најмањи отпор котрљању
2. Друго, стање пнеуматика, укључујући надуваност пнеуматика и температуру, има значајан динамички утицај на отпор котрљању. Велика надуваност пнеуматика на тврдој коловозној површини смањује отпоре котрљању, што резултује савладавању трења, али повећава отпоре котрљању на меканим, непокривеним, површинама уз додатно урањање пнеуматика у коловозну површину. Исто тако, виша температура пнеуматика повећава флексибилност али смањује отпоре пнеуматика на деформације
3. Треће, брзина возила утиче на деформације пнеуматика. Повећање брзине резултује додатним савијањима пнеуматика и вибрацијама које повећавају отпоре котрљању.

Испитивања су показала да је коефицијент отпора котрљању једнак:

$$f_{rl} = 0.01 \cdot \left( 1 + \frac{V}{44.73} \right) \quad (1.5)$$

где је  $V$  брзина возила у метрима у секунди [m/s]. Са слике 1.1 се види да је отпор котрљању у њутнима [N] једнак производу коефицијента отпора котрљању и  $W \cos \theta g$ , а оптерећење од возила делује вертикално наниже. Код аутопутева,  $\theta g$  је сувише мали и може се сматрати да је  $\cos \theta g = 1$ , што даје једначину отпора котрљању:

$$R_{rl} = f_{rl} \cdot W \quad (1.6)$$

Одатле је снага за савладавање отпора котрљању:

$$P_{R_{rl}} = f_{rl} \cdot W \cdot V \quad (1.7)$$

#### 1.5 ОТПОР ОД НАГИБА

Отпор од нагиба је гравитациона сила која делује на возило. Као што се види са слике 1.1, отпор од нагиба је:

$$R_g = W \cdot \sin \theta_g \quad (1.8)$$

Као и код једначине (1.6), због малих нагиба на аутопутевима,  $\sin \theta_g \cong \tan \theta_g$ , што би значило:

$$R_g \cong W \cdot \tan \theta_g = W \cdot G \quad (1.9)$$

где је  $G$  нагиб, дефинисан променом висине по одређеној хоризонталној дужини (нпр.  $G=5\%=0.05$ ).

## 1.6 РАСПОЛОЖИВА ВУЧНА СИЛА

Расположива вучна сила је она којом мотор возила савладава све отпоре који делују на возило. Она је функција расподеле масе возила и карактеристика контакта пнеуматика и коловозне површине.

### 1.6.1 МАКСИМАЛНА ВУЧНА СИЛА

Она вредност вучне силе до које обртни моменат делује на точак, а не изазива проклизавање на контакту пнеуматика и коловозне површине, је максимална вучна сила. За одређивање максималне вучне силе, потребно је одредити нормалне силе на подлогу по којој се возило креће из суме момената око контактне тачке А на контакту предњег пнеуматика и подлоге:

$$W_r = \frac{R_a h + W l_f \cos \theta_g + m a h \pm W h \sin \theta_g}{L} \quad (1.10)$$

где је  $L$  осовински размак точкова,  $l_f$  растојање предњег точка од тежишта возила,  $l_r$  растојање задњег точка од тежишта возила,  $W_f$  сила која делује на предњу осовину возила,  $W_r$  сила која делује на задњу осовину возила. Остали симболи одговарају оним описаним уз слику 1.1. Момент нагиба ( $W h \sin \theta_g$ ) је негативан ако се возило креће низбрдо, а позитиван ако се возило креће узбрдо. Ако су нагиби мали, тада је  $\cos \theta_g = 1$ . Преуређењем једначине и заменом у једначини 1.2 добија се:

$$W_r = \frac{l_f}{L} W + \frac{h}{L} (F - R_{rl}) \quad (1.11)$$

Према основним принципима физике, максимална вучна сила је:

$$F_{\max} = \mu \cdot W_r \quad (1.12)$$

Комбиновањем једначине (1.11) са једначином (1.12) добија се:

$$F_{\max} = \mu \left[ \frac{l_f}{L} W + \frac{h}{L} (F_{\max} - R_{rl}) \right] \quad (1.13)$$

$$F_{\max} = \frac{\mu W (l_f - f_{rl} h) / L}{1 - \mu h / L} \quad (1.14)$$

Истом логиком се долази до максималне вучне силе, сумирањем момената око контактне тачке В (контактна тачка на задњем пнеуматику):

$$F_{\max} = \frac{\mu W(l_r + f_r h) / L}{1 + \mu h / L} \quad (1.15)$$

Величине,  $h$ ,  $l_f$ ,  $l_r$  и  $L$ , у једначинама (1.14) и (1.15), могу бити у било којим дужинским јединицама (cm, m ...), због скраћивања.

### 1.6.2 ПОГОНСКА ВУЧНА СИЛА

Погонска вучна сила је последица конструкције мотора. Два најбитнија појма су обртни моменат  $M_e$  [Nm] и снага мотора  $P_e$  [kW]. Снага мотора зависи од обртног момента:

$$P_e = \frac{2\pi M_e n_e}{1000} \quad (1.16)$$

где је  $n_e$  број обртаја радилице у секунди. Помоћу елемената преноса и диференцијала, контролише се брзина обртања точка, односно спречава се проклизавање пнеуматика по контактної површини. Вучна сила мотора постиже силу на вучним точковима:

$$F_e = \frac{M_e \varepsilon_o \eta_d}{r} \quad (1.17)$$

где је  $r$  радијус точка,  $\eta_d$  коефицијент корисности преноса ( $\eta_d=0.75-0.95$ ),  $\varepsilon_o$  коефицијент редукације обртаја ( $\varepsilon_o$  је најчешће 4).

Веза између брзине возила и брзине обртања машине је:

$$V = \frac{2\pi r n_e (1-i)}{\varepsilon_o} \quad (1.18)$$

где је  $V$  брзина возила [m/s], а  $i$  је проценат проклизавања (најчешће  $i=0.02-0.05$ ).

### 1.7 УБРЗАЊЕ ВОЗИЛА

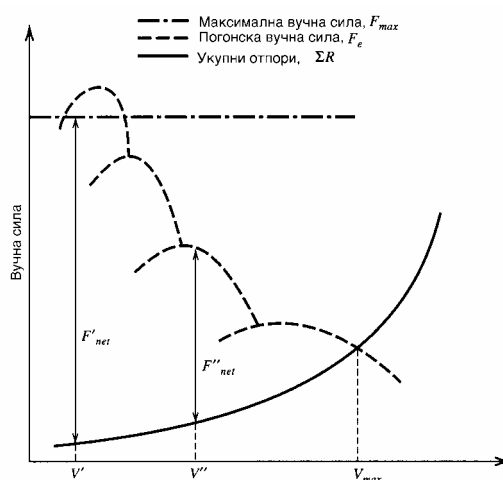
Расположива вучна сила може да се користи за одређивање бројних карактеристика возила. Неке од тих су убрзање и максимална брзина. Полазећи од једначине (1.2) добија се једначина:

$$F - \sum R = \gamma_m m a \quad (1.19)$$

где је  $\gamma_m$  фактор масе једнак  $\gamma_m = 1.04 + 0.0025 \cdot \varepsilon_o^2$ . На слици 1.2 могу се лако уочити односи између максималне вучне силе  $F_{max}$ , погонске вучне силе  $F_e$  и суме отпора  $\sum R$ .

Када је  $F_{net} \geq 0$ , (при брзинама мањим од максималне) тада је:

$$F_{net} = \gamma_m m \frac{dV}{dt} \text{ или } dt = \frac{\gamma_m m dV}{F_{net}}$$



Слика 1.2 Односи између брзинских преноса, максималне вучне силе и укупних отпора

Пошто је  $F_{net}$  функција брзине возила, интегралнењем се може добити време убрзања:

$$t = \gamma_m \cdot m \cdot \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{f(V)} \quad (1.20)$$

где је  $V_1$  почетна брзина возила, а  $V_2$  највећа брзина возила. Слично томе, може се одредити и дужина за постизање убрзања:

$$D_a = \gamma_m \cdot m \cdot \int_{V_1}^{V_2} \frac{V dV}{f(V)} \quad (1.21)$$

## 1.8 ЕФИКАСНОСТ ГОРИВА

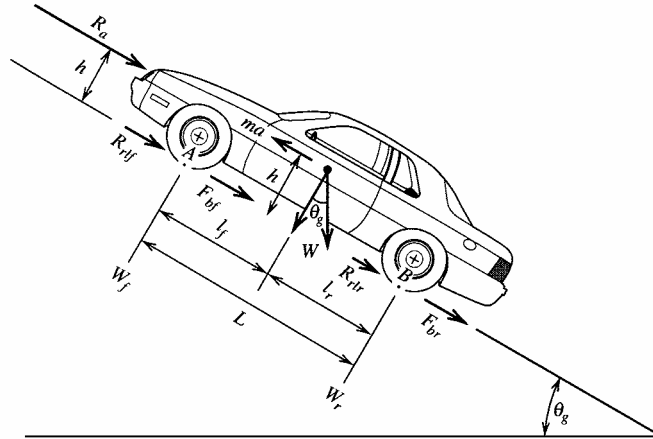
На ефикасност горива, доминантан утицај има конструкција мотора, решење механичког преноса погонске вучне силе од мотора до точкова, маса возила, квалитет и изглед пнеуматика.

## 1.9 ПРИНЦИПИ КОЧЕЊА

Са становишта пројектовања путева, кочионе карактеристике имају доминантан утицај у односу на остале карактеристике возила. Познавање понашања возила при кочењу има пресудан утицај за одређивање прегледности при заустављању, текстуре коловозне површине и спречавање несрећа.

### 1.9.1 КОЧИОНЕ СИЛЕ

На слици 1.3 је приказана диспозиција сила приликом кочења возила. Силе  $F_{bf}$  и  $F_{br}$  су кочионе силе на предњем или на задњем тачку. Остале силе су објашњене раније.



Слика 1.3 Силе које делују на возило за време кочења

Из суме момената око контактних тачака А и В, могу бити одређене нормалне силе које делују у контактним тачкама,  $W_f$  и  $W_r$ :

$$W_f = \frac{1}{L} [Wl_r + h(ma - R_a \pm W \sin \theta_g)] \quad (1.22)$$

и

$$W_r = \frac{1}{L} [Wl_f - h(ma - R_a \pm W \sin \theta_g)] \quad (1.23)$$

Сабирањем сила дуж подужне осе возила, укупна сила кочења износи:

$$F_b + f_{rl}W = ma - R_a \pm W \sin \theta_g \quad (1.24)$$

где је  $F_b = F_{bf} + F_{br}$ . Замена једначине (1.24) у једначину (1.22) и једначину (1.23), добијају се нормалне силе у контактним тачкама, у зависности од укупне кочионе силе  $F_b$ .

$$W_f = \frac{1}{L} [Wl_r + h(F_b + f_{rl}W)] \quad (1.25)$$

$$W_r = \frac{1}{L} [Wl_f - h(F_b + f_{rl}W)] \quad (1.26)$$

Укупна кочиона сила једнака је производу коефицијента адхезије и нормалне силе на површину коловоза. Тада је кочиона сила на предњим точковима једнака:

$$F_{bf \max} = \mu \cdot W_f = \frac{\mu W}{L} [l_r + h(\mu + f_{rl})] \quad (1.27)$$

а на задњим:

$$F_{br \max} = \mu \cdot W_r = \frac{\mu W}{L} [l_f - h(\mu + f_{rl})] \quad (1.28)$$

Максимална кочиона сила постиже се непосредно пред почетак проклизавања. Ако пнеуматици почну да проклизавају, долази до осетног смањења адхезије на контакту пнеуматика и коловоза. При различитим стањима на коловозу, постигнути коефицијенти адхезије су приказани у табели 1.3.

Табела 1.3 Типичне вредности коефицијента адхезије при кочењу возила [2]

Коловоз	Коефицијент адхезије $\mu$	
	Максимум	Проклизавање
храпав, сув	1.00	0.80
храпав, влажан	0.90	0.60
гладак, сув	0.80	0.55
гладак, влажан	0.60	0.30
набијен снег или лед	0.25	0.10

### 1.9.2 КОЕФИЦИЈЕНТ КОЧЕЊА И ЕФИКАСНОСТ КОЧЕЊА

На одређеној деоници пута максимално успоравање возила, помоћу кочионог система, једнако је  $\mu g$ , где је  $\mu$  коефицијент трења (адхезије), а  $g$  гравитационо убрзање ( $9.807 \text{ m/s}^2$ ). Да би било постигнуто максимално успоравање, кочиони систем возила мора равномерно да распоређује кочионе силе између кочница на предњој и задњој осовини. Максимална кочиона сила, када су пнеуматици на граници проклизавања, биће постигнута када је коефицијент кочионе силе (сила на предњој осовини / сила на задњој осовини):

$$BFR_{f/r \max} = \frac{l_r + h \cdot (\mu + f_{rl})}{l_f - h \cdot (\mu + f_{rl})} \quad (1.29)$$

где је  $BFR_{f/r \max}$  коефицијент кочионе силе.

Процент кочионе силе на предњој осовини, при максималном кочењу је:

$$PBF_f = 100 - \frac{100}{1 + BFR_{f/r \max}} \quad (1.30)$$

а на задњој је:

$$PBF_r = \frac{100}{1 + BFR_{f/r \max}} \quad (1.31)$$



### 1.9.3 ТЕОРИЈСКИ ЗАУСТАВНИ ПУТ

Уз разумевање пропорција кочионих сила (предња и задња осовина) и резултата ефикасности кочења, може се разматрати и појам минималног зауставног пута. Анализом слике 1.3, уочава се веза између зауставног пута, кочионих сила, масе и брзине возила:

$$ads = \left[ \frac{F_b + \sum R}{\gamma_b \cdot m} \right] ds = VdV \quad (1.32)$$

где је  $\gamma_b$  фактор масе у који су урачунати унутрашњи моменти током кочења (за аутомобиле је 1.04 [3] Вонг (Wong 1978)). Интеграцијом једначине (1.32), добија се зауставни пут:

$$S = \int_{V_1}^{V_2} \gamma_b \cdot m \frac{VdV}{F_b + \sum R} \quad (1.33)$$

Ако се уместо  $\sum R$  уведу сви отпори, тада је:

$$S = \gamma_b \cdot m \int_{V_1}^{V_2} \frac{VdV}{F_b + R_a + f_{rl}W \pm W \sin \theta_g} \quad (1.34)$$

где је  $V_1$  почетна брзина возила,  $V_2$  крајња брзина возила,  $f_{rl}W$  отпор котрљању, а  $W \sin \theta_g$  отпор од нагиба. Једноставности ради, нека је:

$$K_a = \frac{\rho}{2} C_D A f \quad (1.35)$$

тако да једначина (1.3) постаје:

$$R_a = K_a \cdot V^2 \quad (1.36)$$

Сређивањем једначине за зауставни пут (1.34), уз комбиновање са (1.35) и (1.36), добија се завршни облик једначине зауставног пута, који гласи:

$$S = \frac{\gamma_b \cdot (V_1^2 - V_2^2)}{2g(\gamma_b \cdot \mu + f_{rl} \pm \sin \theta_g)} \quad (1.37)$$

### 1.9.4 ПРАКТИЧНИ ЗАУСТАВНИ ПУТ

Једноставнији начин за одређивање зауставног пута, а довољно тачан, је практични зауставни пут. Полазећи од анализе слике 1.3 и занемарујући отпоре од ваздуха, котрљања, унутрашњих момената и ефикасности кочења, сума сила дуж подужне осе возила је:

$$F_b \pm W \sin \theta_g = ma \quad (1.38)$$

где је због малих нагиба на путевима  $\sin \theta g = \tan \theta g = G$ , а  $G$  проценат нагиба подељен са 100. Ако је коефицијент трења  $f$  и нека је  $Fb=f*W$  и  $m=W/g$ , убрзање може бити изражено:

$$a = -\left[\frac{g}{W}(fW \pm WG)\right] \text{ или } a = -[g(f \pm G)] \quad (1.39)$$

где знак “-“ означава успоравање. На основу закона физике:

$$V_2^2 = V_1^2 + 2ad \quad (1.40)$$

где је  $d$  дужина успоравања (практични зауставни пут) у метрима [m],  $V_1$  почетна брзина возила [m/s],  $V_2$  крајња брзина возила [m/s]. Заменом једначине (1.39) у једначину (1.40), добија се:

$$d = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g(f \pm G)} \quad (1.41)$$

Ако је  $V_2 = 0$  (долази до потпуног заустављања возила), практични зауставни пут је:

$$d = \frac{V_1^2}{2g(f \pm G)} \quad (1.42)$$

Коефицијент трења је одређен на основу експеримената при заустављању возила. У табели 1.4 су приказани коефицијенти трења који се користе при прорачуну практичног зауставног пута.

Табела 1.4 Коефицијенти трења за прорачун практичног зауставног пута [4]

Почетна брзина возила [km/h]	Коефицијент трења $f$	Дужина кочења на равном путу [m]
30	0.40	8.8
40	0.38	16.6
50	0.35	28.1
60	0.33	42.9
70	0.31	62.2
80	0.30	83.9
90	0.30	106.2
100	0.29	135.6
110	0.28	170.0
120	0.28	202.3

### 1.9.5 ДУЖИНА ПУТА У ТОКУ УОЧАВАЊА / РЕАКЦИЈЕ ВОЗАЧА

У зауставни пут улази и време (односно дужина) потребно да возач уочи и реагује на промене у саобраћају и почне да кочи. Због тога је укупни зауставни пут:

$$d_s = d_p + d \quad (1.43)$$

где је  $d_s$  укупни зауставни пут,  $d_p$  пут током кога возач уочава и реагује на промене и почиње да кочи, а који је једнак:

$$d_p = V_1 \cdot t_p \quad (1.44)$$

где је  $t_p$  време у секундима потребно да возач реагује на промене у саобраћају и почне да кочи, а  $d$  је практични зауставни пут.

Време уочавања и реаговања возача је функција разних чинилаца, укључујући године возача, физичку кондицију, емоционално стање, као и сложеност ситуације и спремност за брзо реаговање. Према критеријумима Америчког удружења за јавне путеве и транспорт (AASHTO) [5], оптимално време уочавања и реаговања је 2.5 секунде. Ради поређења, просечни возач улази у временски интервал од 1.0 до 1.5 секунде.

#### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] J.J. Taborek, "Mechanics of Vehicle", Machine Design, 1957
- [2] S.G. Shadle L.H. Emery, H.K. Brewer, "Vehicle Braking, Stability, and Control", SAE Transportations, vol. 92, papper 830562, 1983.
- [3] Wong, J.H. "Theory of Ground Vehicles". New York, Wiley, 1978.
- [4] Fred L. Mannering, Walter P. Kilaresky, "Principles of Highway and Traffic Analysis", John Wiley % Sons, Second Edition, 1998.
- [5] ASSHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets", Washington, DC, 1994.

# 2

## ПРОЈЕКТОВАЊЕ ПУТЕВА

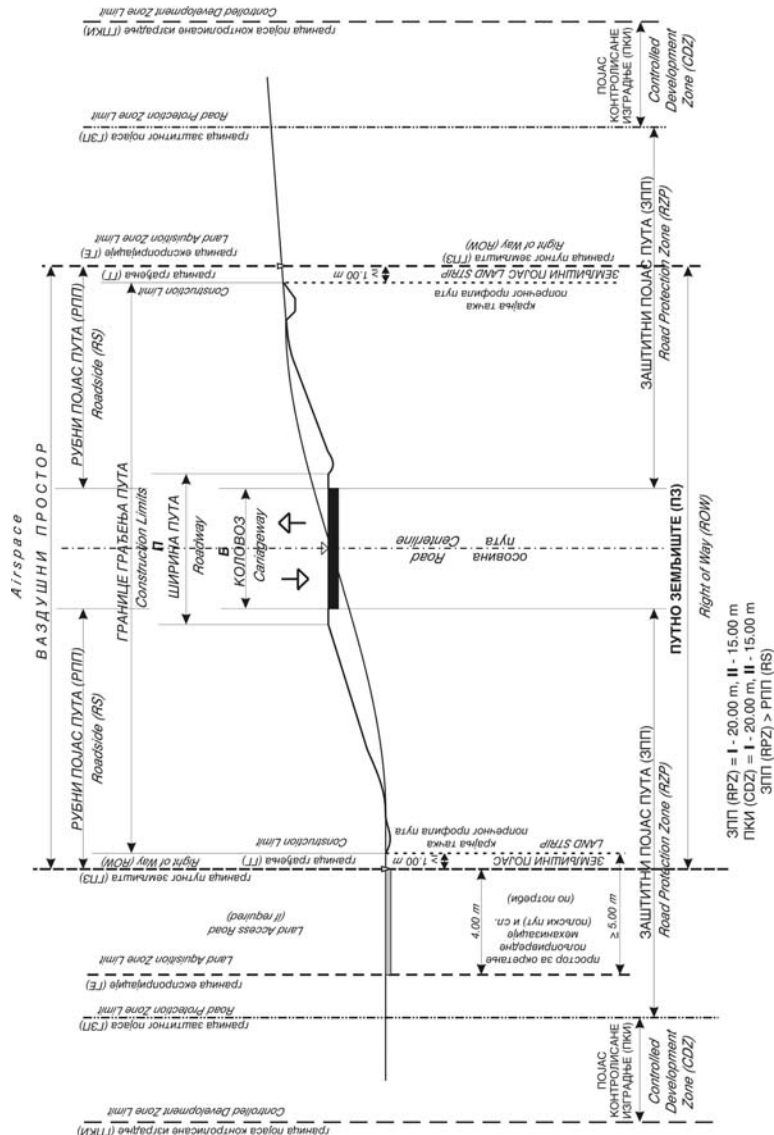
### 2.1 УВОД

Тек након схватања односа између возила и пута, може се разматрати пројектовање путева. За сам поступак пројектовања путева, потребно је дефинисати велики број специфичних елемената пута. То су број и ширина трака, ширина разделне траке (ако је има), дужина трака на рампама за убрзавање и успоравање код раскрсница, траке за спора возила на оштрим успонима, радијуси кривина у зависности скретног радијуса меродавног возила и потребне дужине зауставне и претицајне прегледности. Многи од ових конструктивних елемената пута зависе од карактеристика возила. Убрзавање и успоравање возила има директан утицај на одређивање зауставне и претицајне прегледности, а самим тим и на дужину трака које би омогућиле те радње без ремећења саобраћајног тока. Дужина траке за спора возила је, такође, у зависности од карактеристика теретних возила.

Са променама карактеристика возила, неминовно долази до промена интеракције возила и пута, а самим тим и до промене пројектних елемената пута. То значи да је пројектовање елемената пута зависно од нивоа развијености друштва.

## 2.2 ЕЛЕМЕНТИ ПОПРЕЧНОГ ПРОФИЛА ПУТА

На слици 2.1 је приказан попречни профил путног земљишта који обухвата следеће елементе простора: труп пута, земљиште обухваћено границама грађења и земљишни појас.



Слика 2.1. Просторна и физичка структура пута

При избору елемената попречног профила пута, пројектант мора да води рачуна да квалитет саобраћаја (капацитет) и безбедност зависе од

попречног профила, типа раскрсница (површинске или денивелисане), начина вођења трасе и ранга пута. Свака саобраћајница је у попречном профилу дефинисана комбинацијом конструктивних елемената. Попречни профил, као параметар за дефинисање саобраћајнице са припадајућим конструктивним елементима је приказан на слици 2.2.



Слика 2.2. Попречни профил аутопута

Опис симбола:

Ts - траке за континуалну вожњу (lane - traffic lane)

Tz - зауставна трака (stop lane)

Ti, Ti' - ивична трака (edge lane)

b - банкаина (shoulder)

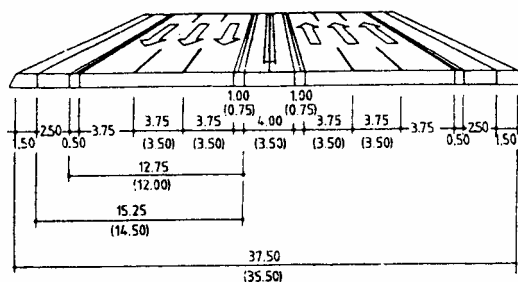
r - ригол (curb)

Sk - сегментни канал (ditch)

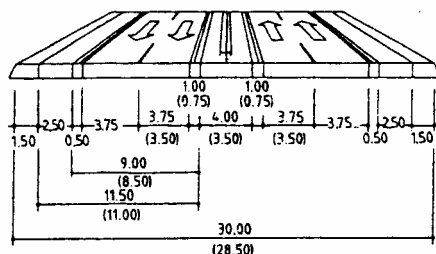
Rt - разделна трака (median)

Чест је случај да се, у зависности од природе терена и хидролошких услова, уместо сегментног канала користи ригол, који се поставља уз ивицу зауставне траке.

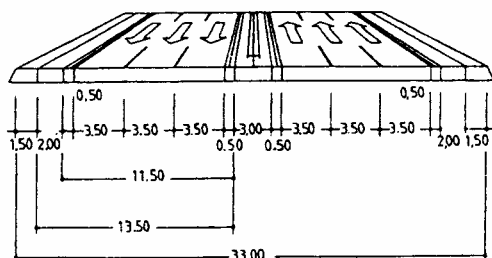
На сликама 2.3а до 2.3г су приказани неки од типских попречних профила са димензијама својих конструктивних елемената.



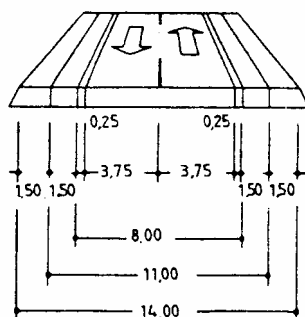
Слика 2.3а. Типски попречни профил аутопута



Слика 2.3б. Типски попречни профил аутопута



Слика 2.3в. Типски попречни профил аутопута



Слика 2.3г. Типски попречни профил двотрачног пута

### 2.2.1 КАТЕГОРИЗАЦИЈА ЈАВНИХ ПУТЕВА

Према значају за саобраћај и функције повезивања у простору, у радној верзији Закона о јавним путевима [7], јавни путеви су категорисани на:

1. Државне путеве I реда (путеви који повезују целокупну територију државе и повезују државу са мрежом европских путева)
2. Државне путеве II реда (путеви који повезују територију једног или више региона и регион са мрежом државних путева I реда, путеви

који повезују за државу важна туристичка и погранична подручја и граничне прелазе са мрежом државних путева)

3. Општинске путеве (путеви који повезују подручје општине, односно града и повезују општину, односно град са мрежом државних путева I и II реда)

Према положају у простору јавни путеви се деле на:

1. Путеве ван насеља
2. Путеве у насељу

Категоризација јавног пута у насељу, место његовог почетка (краја) где прелази у мрежу саобраћајница у насељу или његове промене, одређује се просторним, односно урбанистичким планом, а за државне путеве по прибављеној сагласности министарства надлежног за саобраћај.

Истим планом морају се одредити деонице у оквиру којих ће јавни пут садржати елементе (шири коловоз, раскрснице за потребе насеља, просторе за паркирање, јавну расвету, семафоре и другу сигнализацију, бицикличке стазе, пешачке стазе и сл), објекте и опрему који одговарају потребама насељеног места.

Јавном путу припадају:

1. Труп пута који обухвата нарочито:
  - доњи строј пута (насипи, усеци, засеци, путни објекти као што су мостови, пропусти, тунели, галерије, потпорни и обложни зидови, зидови за заштиту од буке и сл), објекти, постројења и уређаји за одводњавање пута и заштиту пута од површинских и подземних вода)
  - коловозну конструкцију и пратеће елементе коловоза (банкине, берме, разделне траке, заштитне траке и сл.)
  - пешачке и бицикличке стазе које прате коловоз пута
  - путно земљиште које обухвата површине које заузимају доњи строј пута и објекте функционалних пратећих садржаја и пратећих садржаја за потребе корисника, односно земљиште у оквиру граница грађења и земљишне појасеве са обе стране ширине најмање 1 метар, мерено на спољну страну од граница грађења
2. Ваздушни простор изнад путног земљишта
3. Објекти функционалних пратећих садржаја (базе за одржавање путева и други објекти намењени одржавању, наплатне станице, контролне станице, аутобуска стајалишта, и сл.) изграђени на путном земљишту
4. Објекти пратећих садржаја за потребе корисника пута (паркиралишта, одморишта, зелене површине и сл.)
5. Прикључци на јавни пут изграђени на путном земљишту



6. Објекти и опрема за управљање, безбедност и регулисање саобраћаја (хоризонтална и вертикална сигнализација, светлосна сигнализација, заштитне ограде, телекомуникациони стабилни уређаји, инсталације и расвета за потребе саобраћаја, уређаји за евиденцију саобраћаја и сл.)
7. Објекти и опрема за заштиту пута, саобраћаја и околине (снегобрани, ветробрани, заштита од осулина, заштита од буке и других штетних утицаја на околину и сл.)

Јавни пут мора бити уписан у јавне књиге и званичне евиденције у које се уписују права на непокретности као јавно добро у својини државе, као и право службености из члана 2. става 2. и право коришћења из члана 2. става 3. овог закона.

Битни стручни термини који се користе у закону, а самим тим и у струци, дефинисани су, такође, законом:

1. **Пут** је свака тако изграђена или утврђена површина коју као саобраћајну површину могу да користе сви или одређени учесници у саобраћају, под условима одређеним законом и другим прописима
2. **Јавни пут** је она саобраћајна површина коју надлежни орган у складу са критеријумима за категоризацију јавних путева прогласи јавним путем одређене категорије и коју свако може слободно користити на начин и под условима одређеним законом и другим прописима
3. **Државни пут** је категорисан јавни пут који повезује целокупну територију државе и повезује државу са мрежом европских путева или који повезује територију једног или више региона или повезује за државу важна туристичка или погранична подручја и граничне прелазе. Ако у оквиру таквог путног повезивања није изграђен обилазни пут ван насеља, саставни део државног пута је и његов део који пролази кроз насеље
4. **Аутопут** је државни пут који је намењен искључиво за саобраћај моторних возила са физички раздвојеним коловозима по смеровима, без укрштања у истом нивоу и са прикључивањем само на одређеним и посебно изграђеним прикључцима који су његов саставни део
5. **Општински пут** је категорисан јавни пут који повезује подручје општине, односно града и повезује општину, односно, град са мрежом државних путева
6. **Некатегорисан пут** је свака саобраћајна површина која није категорисана као јавни пут и на којој се саобраћај обавља на начин и под условима које, у складу са прописима о безбедности саобраћаја на путевима, одређује власник или лице које он овласти за управљање том саобраћајном површином (шумски путеви, пољопривредни путеви, прилазни путеви и прилази објектима и земљиштима, функционалне саобраћајне површине поред објеката, аутобуске станице, путеви у приватном власништву и слично)

7. **Државна бициклистичка стаза** је самостални државни пут који је намењен само саобраћају бициклиста и који је означен прописаном саобраћајном сигнализацијом. Државна бициклистичка стаза надовезује се на мрежу европских бициклистичких стаза, повезује центре од регионалног значаја или води до значајних туристичких подручја или центара и до подручја изузетних природних знаменитости
8. **Насеље** је изграђени функционално обједињен простор на коме су обезбеђени услови за живот и рад и за задовољавање заједничких потреба становника. Границе насеља утврђују се просторним односно урбанистичким планом и на прописан начин се сигналишу на јавном путу
9. **Пут ван насеља** је део јавног пута постављен у слободном простору изван граница насеља
10. **Пут у насељу** је део јавног пута унутар граница насеља чије се функционалне карактеристике утврђују просторним или урбанистичким планом општине, односно града
11. **Означавање јавних путева** је прописима уређени поступак једнозначног дефинисања категорије и просторног положаја трасе пута и њених делова (километарска и хектометарска стационажа) који се применом одговарајућих знакова сигналише за потребе вођења евиденције, управљања саобраћајем и путевима као и за потребе корисника путева
12. **Евиденција о јавним путевима** је прописима уређени садржај релевантних података и поступак њиховог прикупљања односно обнављања за потребе управљања путевима и саобраћајем на њима
13. **Доњи строј пута** чине објекти изграђени у природном тлу (усеци, тунели, галерије, и сл.) или од природних - земљаних и камених материјала (насипи), затим објекти изграђени од различитих материјала (бетон, камен, челик, дрво и др.) ради премештавања природних или вештачких препрека у терену (мостови, пропусти и сл.) или за осигурање тупа пута изграђеног од земљаних материјала од деструктивних спољашњих утицаја (потпорни и обложни зидови, заштитне конструкције и сл.)
14. **Коловозна конструкција** је вишеслојни крути или еластични систем који служи да прими механичка дејства возила и пренесе их на доњи строј пута. Служи да омогући безбедно, удобно и економично кретање возила (бициклиста или пешака). Завршни слој коловозне конструкције, који је директно изложен дејству оптерећења и фактора средине, назива се коловозни застор
15. **Коловоз** је изграђена површина јавног пута по којој се обавља двосмерни или једносмерни саобраћај и чине га саобраћајне траке (возне, додатне, ивичне, зауставне и сл.) за кретање и/или мировање (принудно заустављање) возила
16. **Рубни појас пута** обухвата банке (берме, риголе), косине, ободне канале и земљишни појас, као и разделну траку (појас) уколико постоји

17. **Путни објекти** су мостови (у трупу пута - подпутњаци, изнад пута - надпутњаци), пропусти, тунели, галерије, потпорни и обложни зидови, зидови за заштиту од буке и сл.
18. **Надпутњак** је објекат изнад јавног пута којим се разрешава укрштање у два нивоа са другим путем, другим инфраструктурним системом или железницом код које се овакав објекат назива подвожњак
19. **Подпутњак** је објекат испод јавног пута којим се разрешава укрштање у два нивоа са другим путем, другим инфраструктурним системом или железницом код које се овакав објекат назива надвожњак
20. **Објекти, постројења и уређаји за одводњавања** служе за скупљање, одвођење и/или преусмеравање површинских, прибрежних и подземних вода у циљу заштите јавног пута од њиховог дејства или за заштиту суседа јавног пута и реципијента од штетног дејства вода са пута
21. **Пратећи садржаји** јавног пута подразумевају површине, објекте, постројења и уређаје намењене ефикасном управљању путевима и саобраћајем (функционални садржаји) као и за пружање услуга корисницима пута (пратећи садржаји за потребе корисника). Функционални садржаји обухватају површине, објекте, постројења и уређаје у оквиру база за одржавање пута, наплату путарине, контролних станица, центара управљања саобраћајем и слично. Садржаји за потребе корисника пута подразумевају површине и објекте (паркиралишта, одморишта, зелене површине и слично) са или без грађевина за услужне делатности (мотели, ресторани, сервиси, станице за гориво, продавнице, садржаји рекреације и сл.)
22. **Аутобуско стајалиште** је посебно изграђена и означена саобраћајна површина уз коловоз пута или прикључена на коловоз, која је намењена искључиво за заустављање возила јавног превоза путника
23. **Границе грађења** су континуалне линије унутар којих се изводе сви грађевински захвати у оквиру јавног пута
24. **Земљишни појас** је континуална површина са обе стране пута ширине најмање 1 метар мерено на спољну страну од границе грађења
25. **Путно земљиште** обухвата површину коју заузимају: труп пута, раскрснице, пратећи садржаји и слично, односно, земљиште обухваћено границама грађења и земљишним појасевима
26. **Појас експропријације** обухвата путно земљиште, као и земљиште намењено за изградњу или реконструкцију других објеката да би се обезбедила функција у простору чији је поремећај узрокован изградњом или реконструкцијом јавног пута
27. **Раскрсница** је површина на којој се укрштају или спајају саобраћајни токови два или више јавних путева или шира саобраћајна површина (трг и слично) са истом саобраћајном функцијом која настаје укрштањем или спајањем јавних путева

28. **Прикључак** је део јавног пута којим се обезбеђује саобраћајна веза са некатегорисаним путем или прилаз до комплекса и објеката у заштитном појасу, појасу контролисане изградње и ширем подручју јавног пута
29. **Укрштај** јавног пута је место укрштања пута и железнице у истом нивоу или са другим инфраструктурним системима у различитим нивоима
30. **Инфраструктурни системи** обухватају транспортне (речни, железнички, путни, цевоводни и сл.) и друге системе (снабдевање водом, каналисање, даљинско грејање, снабдевање гасом, пренос и снабдевање електро-енергијом, телекомуникације и сл.)
31. **Захтевана прегледност** је потребна прегледност за безбедно заустављање возила испред непокретне сметње на коловозу пута. Ова прегледност мора бити обезбеђена на свакој тачки пута и одређује се на основу меродавних вредности пројектне брзине у оба смера вожње
32. **Потребна прегледност на раскрсници** (укрштај, прикључак и сл.) одређује се из услова одвијања саобраћаја на укрсним правцима сагласно релевантној законској и техничкој регулативи. Служи за конструкцију зоне прегледности раскрснице која мора бити ослобођена свих препрека које на било који начин могу угрозити безбедно одвијање саобраћаја
33. **Сусед** је власник или корисник земљишта и објеката или уређаја на земљишту које се најмање једном страницом граничи са путним земљиштем
34. **Заштитни појас** јесте континуална површина уз спољну ивицу коловоза чија је ширина одређена законом и служи за заштиту пута и саобраћаја на њему
35. **Појас контролисане изградње** је континуална површина уз спољну границу заштитног појаса у којем се, у циљу заштите пута и саобраћаја на њему, ограничава врста и обим изградње објеката; овај појас је исте ширине као и заштитни појас
36. **Саобраћајна сигнализација** обухвата средства и уређаје којима се обезбеђује праћење, контрола и вођење саобраћајних токова (обележавање на коловозу, саобраћајни знаци са сталним и променљивим садржајем, светлосна сигнализација и слично) са циљем остварења пројектованог режима одвијања саобраћаја
37. **Саобраћајна опрема** обухвата средства и уређаје за визуелно и сигурносно обезбеђење пута и саобраћаја на њему (смерокази, заштитне и сигурносне оgrade, огледала, рампе, маркери, купе, штапови за снег и сл.)
38. **Путна опрема** обухвата: телекомуникационе и електричне уређаје намењене безбедном одвијању саобраћаја, стационарне уређаје за праћење, контролу и регулисање саобраћаја, уређаје за контролу стања коловоза, уређаје за даљинско обавештавање и упозоравање, објекте и уређаје за наплату путарине, вентилационе и сигурносне уређаје у тунелима, објекте и уређаје за заштиту пута и путног

- саобраћаја, као и објекте и уређаје за заштиту непосредног окружења пута
39. **Управљање саобраћајем** обухвата примену посебних мера и активности праћења, контроле и вођења саобраћаја на мрежи путева или дуж појединачног путног потеза са циљем обезбеђења захтеваног нивоа ефикасности и безбедности саобраћаја и удобности возње
  40. **Обустава саобраћаја** подразумева потпуни прекид саобраћаја на путу свих врста возила о чему се мора обавестити јавност и на прописан начин сигнализирати. Обустава саобраћаја траје док постоје разлози за увођење овакве мере
  41. **Ограничење саобраћаја** подразумева забрану кретања појединих врста возила која могу бити штетна за одређену деоницу пута или путни објекат или ако то захтевају разлози који се односе на заштиту пута и безбедност саобраћаја на њему. О овој мери се мора обавестити јавност и на прописан начин извршити сигнализација. Ограничење саобраћаја траје док постоје разлози за увођење овакве мере
  42. **Ванредни превоз** је превоз возилима која сама или заједно са товаром прекорачују било који од прописаних дозвољених елемената (осовинско оптерећење, укупна маса, ширина, дужина или висина). Ванредним превозом сматра се и превоз код кога је возило само или заједно са товаром у границама прописом дозвољених мера, масе или оптерећења, али прекорачује ограничење било ког од ових елемената које је на јавном путу или његовом делу одређено саобраћајном сигнализацијом
  43. **Прекомерно коришћење јавног пута** или његовог дела представља више од 50-постотна привремено или трајно учешће у свим извршеним превозима робе тим путем, које је последица обављања инвестиционих радова или природе производње или услужне делатности у вези са којом се врше превози (експлоатација камена, минерала и слично). Учешће превоза се утврђује у просечном дневном годишњем саобраћају теретних возила оптерећења по осовини већег од 100 KN, што се утврђује најмање четвороструким бројањем саобраћаја на изворној-циљној локацији прекомерног корисника пута. Прекомерни корисник пута је правно или физичко лице које врши инвестиционе радове или делатности из претходног става
  44. **Одржавање пута** јесте процес очувања и заштите његових функционалних и конструктивних карактеристика у стању што је могуће сличнијем стању које је било у тренутку његове изградње или реконструкције са циљем минимизације укупних трошкова експлоатације, саобраћајних незгода и утицаја на животну средину уз минимум уложених средстава за одржавање пута
  45. **Заштита пута** обухвата неопходне мере за заштиту пута и безбедност корисника пута које се реализују кроз ограничавање допуштених интервенција у путном земљишту, заштитном појасу и

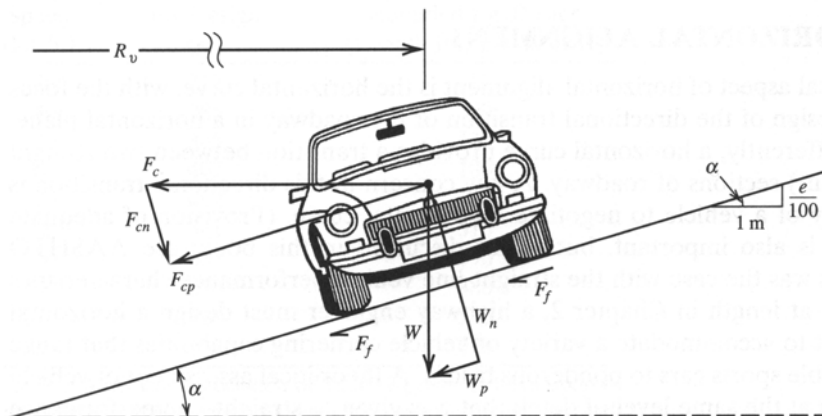
- појасу контролисане изградње, односно, контролу и регулисање учесника у саобраћају
46. **Коришћење путева** обухвата ефикасно, безбедно и удобно одвијање саобраћаја, као и друге активности у оквиру путног земљишта сагласно закону
  47. **Развој путева** обухвата техничке, економске, финансијске, организационе и друге активности у циљу унапређења путне мреже или појединачних путних потеза у погледу капацитета, квалитета, безбедности саобраћаја и животне средине
  48. **Управљање путевима** јесте скуп мера и активности којима се обезбеђује рационално одржавање, заштита, коришћење и развој јавних путева и саобраћаја на њима
  49. **Концесија** подразумева разне облике преношења одређених права и обавеза за дефинисани временски период у домену изградње, коришћења, одржавања или управљања јавним путем, домаћем или страном правном или физичком лицу од стране надлежног државног органа, закључењем уговора
  50. **Изградња пута** јесте скуп мера и активности које обухватају: претходне радове, израду и контролу инвестиционе и техничке документације, грађење, стручни надзор и друге законом предвиђене обавезе за пуштање пута у саобраћај
  51. **Реконструкција пута** јесте скуп мера и активности на постојећем путу којима се унапређује животна средина, функционалне и конструктивне карактеристике пута у целини или његових појединих елемената или објеката
  52. **Класификација путева** подразумева даљу разраду категоризације дефинисане законом, односно поделу јавних путева по геополитичком, функционалном и техничком критеријуму сагласно значају и функцији пута у путној мрежи и топографији терена
  53. **Употребна вредност пута** подразумева садашњу вредност јавног пута, као целовитог инвестиционог објекта, с обзиром на степен очуваности његових пројектованих карактеристика
  54. **Техничка регулатива** обухвата стандарде, техничке прописе, техничка упутства и техничке услове (спецификације) којима се једнозначно дефинишу релевантни параметри за рационално и квалитетно планирање, пројектовање, грађење, одржавање, коришћење и управљање путевима

### 2.3 ОСОВИНА ПУТА У СИТУАЦИОНОМ ПЛАНУ

Критични услов конструисања осовине у хоризонтали је кружна кривина. Она повезује два тангентна правца. Главни циљ промене правца је везан за могућност возила да при одговарајућој брзини савлада одређену кривину, а не излети са пута. Због тога, кривине треба пројектовати према карактеристикама меродавног возила, које оно поседује у кривини. Теоријски приступ тим параметрима су дали Кембел (Campbell 1978) [2], и Вонг (Wong 1978) [3].

### 2.3.1 ПОЛУПРЕЧНИК КРИВИНЕ

На слици 2.4 је приказана диспозиција сила које делују на возило док је оно у кривини.



Слика 2.4. Диспозиција сила које делују на возило у кривини

На слици се види да је  $\alpha$  угао нагиба коловоза,  $W$  оптерећење од возила (у њутнима),  $W_n$  компонента оптерећења управна на равни кретања возила,  $W_p$  компонента оптерећења паралелна равни кретања возила,  $F_f$  сила бочног трења (центрипетална сила у њутнима),  $F_c$  центрипетална сила (последица производа масе возила и убрзања, у њутнима),  $F_{cp}$  компонента центрипеталне силе која делује паралелно равни кретања,  $F_{cn}$  компонента центрипеталне силе која делује управно на равни кретања,  $R_v$  радијус кривине (у метрима).

Основна једначина сила које делују на возило у хоризонталној кривини је:

$$W_p + F_f = F_{cn} \quad (2.1)$$

Помоћу појмова елементарне физике, ова једначина се може написати и на следећи начин:

$$F_f = f_r (W_n + F_{cn}) \quad (2.2)$$

или у отвореном облику:

$$W \sin \alpha + f_r (W \cos \alpha + \frac{WV_r^2}{gR_v} \sin \alpha) = \frac{WV_r^2}{gR_v} \cos \alpha \quad (2.3)$$

где је  $f_r$  коефицијент бочног трења,  $g$  гравитациона константа,  $V_r$  рачунска брзина возила у метрима у секунди. Ако се обе стране једначине 2.3 поделе са  $W \cos \alpha$ , добије се:

$$\operatorname{tg} \alpha + f_r = \frac{V_r^2}{gR_v} (1 - f_r \cdot \operatorname{tg} \alpha) \quad (2.4)$$

где је  $\operatorname{tg} \alpha$  попречни нагиб коловоза, који се из практичних разлога означава са  $i_{pk}$ , а изражава у процентима. Из наведених једначина следи да је полупречник кривине једнак:

$$R_v = \frac{V_r^2}{g \cdot (f_r + i_{pk})} = \frac{V_r^2}{127 \cdot (f_r + i_{pk})} \quad (2.5)$$

где се рачунска брзина  $V_r$  уноси у километрима на сат, а добијени полупречник  $R_v$  је у метрима. ( $127 = (1 / (1000/3600)^2) \cdot 9.807$  - последица претварања km/h у m/s и множења са гравитационим убрзањем).

### 2.3.2 ЕЛЕМЕНТИ ХОРИЗОНТАЛНЕ КРИВИНЕ

Елементи хоризонталне кривине су кружни део (кружна кривина) и прелазни део (најчешће клотоида). Елементи кружног дела хоризонталне кривине су:

$$\text{- тангента - } T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \text{ бисектриса - } B = R \cdot \left[ \sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right]$$

$$\text{- дужина кружног лука - } L = \frac{R \cdot \pi \cdot \alpha}{180^\circ}$$

$$\text{- положај тачке на кружној кривини - } y = R - \sqrt{R^2 - x^2}$$

где је  $x$  координата тачке на тангентном правцу почев од почетка кружне кривине.  $PC$  је почетак кружне кривине,  $PT$  је крај кружне кривине, а  $R$  је полупречник кружне кривине. На слици 2.5 су приказани конструктивни елементи кружне кривине.

Узимајући у обзир једначину (2.5), у табели 2.1 су приказани минимални радијуси хоризонталне кривине за  $\max i_p = 7\%$  и  $\max f_r$  у зависности од брзине.

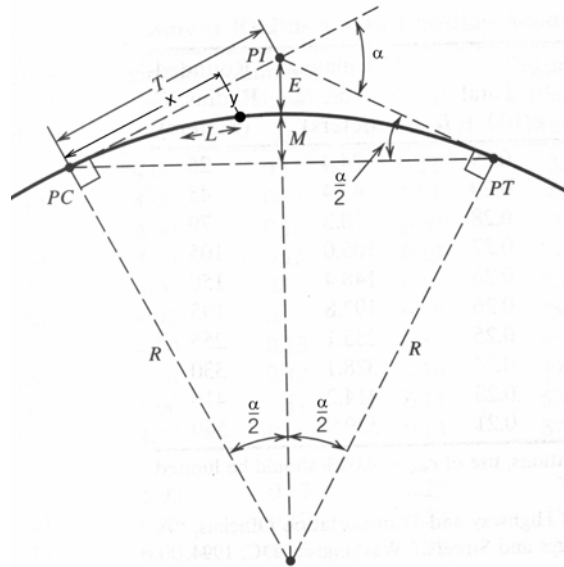
Табела 2.1 Коефицијенти трења и минимални радијуси кружне кривине

V [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$f_r$	0.44	0.41	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.29	0.28
$f_r^*$	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08
min R** [m]	50	80	120	180	250	350	450	600	750

\* Службени лист СФРЈ, 26.06.1981.

\*\* Вредности за min R су заокружене на целих 5, односно 10 m.





Слика 2.5. Конструктивни елементи кружне кривине

Следећи конструктивни елемент хоризонталне кривине је прелазна кривина и то најчешће клотоида (у САД се користи Селерсова парабола, а на железницама кубна парабола). Она се поставља у хоризонталну кривину после правца, а пре почетка кружног лука и после завршетка кружног лука, а пре правца. Њени елементи су:

параметар клотоиде -  $A^2 = R \cdot L = const.$  и  $\frac{R}{3} \leq A \leq R$ , дужина клотоиде -  $L$ ,

скретни угао (угао отклона) -  $\tau = \frac{L}{2 \cdot R} = \frac{L^2}{2 \cdot A^2}$ .

Елементи за одређивање тачака клотоиде "x" и "y", могу да се израчунају на следећи начин:

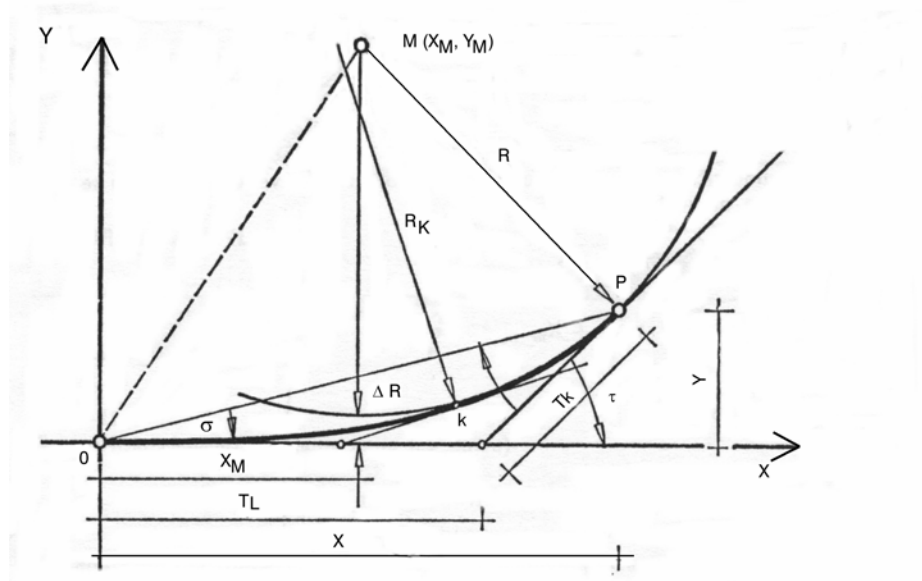
$$x = L \cdot \left( 1 - \frac{L^4}{5 \cdot 4 \cdot 2! \cdot A^4} + \frac{L^8}{9 \cdot 16 \cdot 4! \cdot A^8} - \dots + \dots \right) \text{ и}$$

$$y = L \cdot \left( \frac{L^2}{6 \cdot A^2} - \frac{L^6}{7 \cdot 8 \cdot 3! \cdot A^6} + \frac{L^{10}}{11 \cdot 32 \cdot 5! \cdot A^{10}} - \dots + \dots \right)$$

Клотоида, као конструктивни елемент хоризонталне кривине, служи за ублажавање бочних сила које делују на возило при преласку са правца на кружни лук кривине, тј. за поступно повећање или смањење бочних сила при

уласку или изласку возила из кружног лука кривине и за поправљање перспективне слике контакта правац-круг.

На слици 2.6 су приказани елементи клотоиде, тј. прелазног дела кривине.



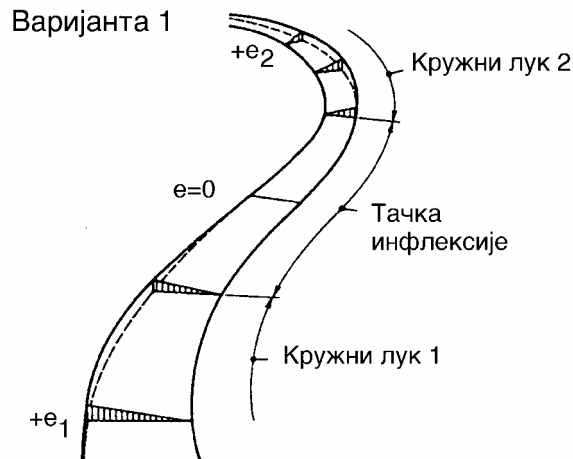
Слика 2.6 Клотоида и њени геометријски параметри

### 2.3.2.1 ПРИНЦИПИ ВИТОПЕРЕЊА КОЛОВОЗА

Витоперење је битан конструктивни посао при конструисању хоризонталне кривине. То је обртање коловоза око неке од линија - ивичне или осовине, на дужини прелазне рампе, да би се постигао попречни нагиб који је одређен за ту кривину. Дужина прелазног дела кривине која се користи за витоперење коловоза назива се прелазна рампа. Витоперење може да се изводи само у оквиру прелазне кривине (дужина прелазна рампе је мања или једнака прелазној кривини). Најчешће се витоперење ради око унутрашње ивице или осовине коловоза. Код аутопутева или путева са раздвојеним коловозима витоперење се ради око ивица разделног појаса, унутрашњих ивица коловоза или осовина коловоза.

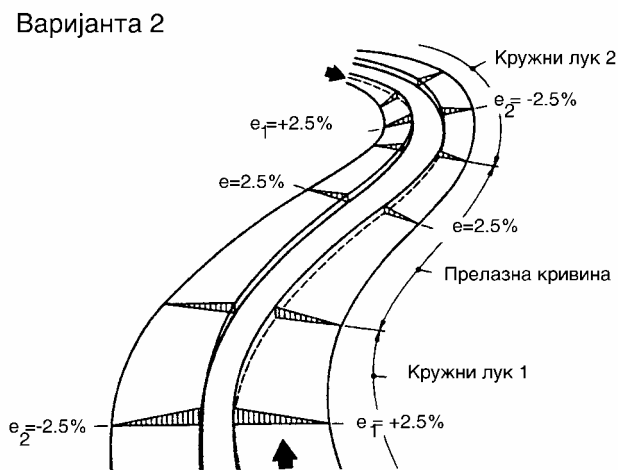
На сликама 2.7а, 2.7б и 2.7ц су приказани неки од карактеристичних начина витоперења коловоза.

На слици 2.7а је приказан поступак витоперења коловоза око унутрашње ивице коловоза. То је у неким пројектантским захватима једноставнији корак, када се ради о двотрачном путу, због ограничења која поставља околина кроз коју пролази пут.



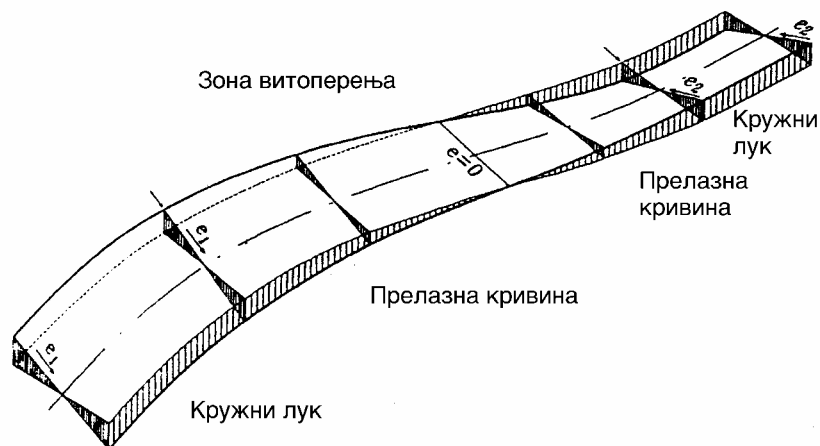
Слика 2.7а Витоперење око унутрашње ивице двотрачног пута

Код аутопутева витоперење се изводи око оне ивице дуж које се води осовина. То је најчешће око ивица разделне траке, осовина сваког коловоза или унутрашњих ивица сваког коловоза.



Слика 2.7б Витоперење коловоза на аутопуту

На слици 2.7ц је приказана варијанта витоперења двотрачног пута око осовине трасе.



Слика 2.7ц Витоперење двотрачног пута око осовине коловоза

### 2.3.3 УТИЦАЈ ЗАУСТАВНЕ ПРЕГЛЕДНОСТИ У ПРОЈЕКТОВАЊУ ХОРИЗОНТАЛНЕ КРИВИНЕ

Најједноставнији начин за одређивање бочне прегледности у кривини је приказан следећим једначинама. Дужина зауставног пута у кружном луку је:

$$L_{ZP} = \frac{\pi \cdot \alpha \cdot R_v}{180^\circ} \quad (2.6)$$

где је:

$R_v$  - полупречник кружне кривине [m]

$\alpha$  - скретни угао у степенима

$L_{ZP}$  - дужина кружног лука [m]

Ако изразимо једначину (2.6) преко  $\alpha = \frac{180^\circ \cdot L_{ZP}}{\pi \cdot R_v}$  и тако изражено  $\alpha$

заменимо у једначини  $b_p = R_v \cdot (1 - \cos \frac{\alpha}{2})$ , добијамо одстојање тетиве круга по коме се креће возило, односно бочну прегледност у кривини

$b_p = R_v \cdot (1 - \cos \frac{90^\circ \cdot L_{ZP}}{\pi \cdot R_v})$ . Детаљнији приступ овом конструктивном

елементу упућује на поштовање времена уочавања и реаговања возача на промену у саобраћају. Тада зауставна прегледност бива изражена преко:

$$P_{ZP} = \frac{t_r \cdot V_P}{3.6} + \frac{V_P^2}{254 \cdot (f + w_k \pm G + v_v)} + \Delta L \quad (2.7)$$

где је:  $P_{ZP}$  - захтевана прегледност [m],  $V_P$  - пројектна брзина [km/h],  $f$  - коефицијент тангенцијалног трења,  $w_k$  - отпор котрљању,  $G$  - подужни нагиб,  $v_v$  - отпор од ваздуха (занемарује се),  $\Delta L$  - сигурносни размак возила од препреке (5-10 m) и  $t_r$  - време реаговања возача [s].

Тада бочна прегледност бива изражена помоћу израза:

$$b_p = \frac{P_{ZP}^2}{8 \cdot R} \left( \frac{B}{2} - 1.5 \right) \quad (2.8)$$

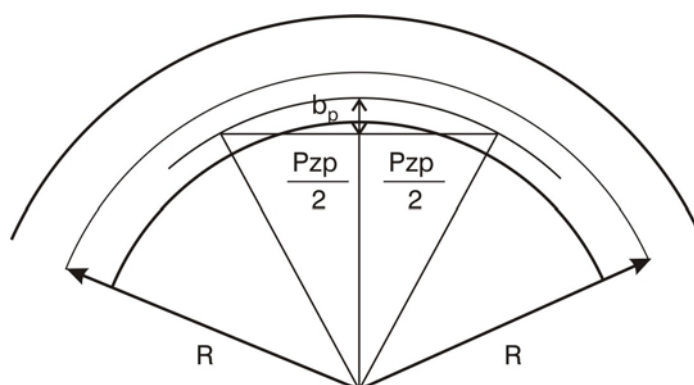
где је:

$P_{ZP}$  - захтевана прегледност [m]

$R$  - полупречник кривине у којој се возило налази [m]

$b_p$  - бочна прегледност [m]

$B$  - ширина коловоза [m]



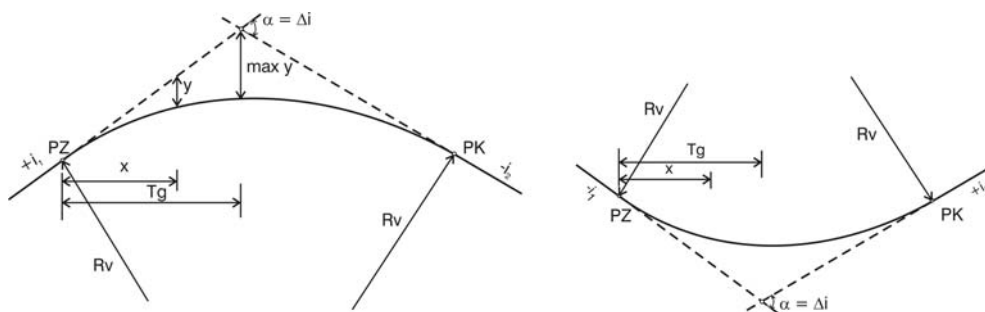
Слика 2.7 Диспозиција бочне прегледности

## 2.4 УЗДУЖНИ ПРОФИЛ

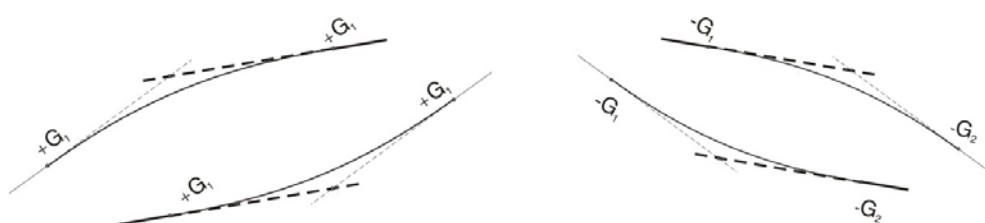
Уздужни профил служи за дефинисање тачака дуж пута у вертикалној равни. Висински положај тачака из попречног профила пута служи за одређивање и правилно постављање дренажног система - уклањања воде из трупа пута и околних површина које спадају под путно земљиште. Основни задатак уздужног профила је дефинисање прелаза између два подужна нагиба. Ти прелази регулишу се вертикалним кривинама.

### 2.4.1 ПРИНЦИПИ ВЕРТИКАЛНИХ КРИВИНА

Постоји шест облика прелома нагиба. На слици 2.8 су приказани преломи нивелете на врху успона и у дну долине, док су на слици 2.8а приказани преломи нивелете по падини.



Слика 2.8. Преломи са оштрим углом



Слика 2.8а. Преломи по падини

Оштрина прелома нивелете се означава са  $\alpha = \Delta G = |G_1 - G_2|$ , тангента са

$Tg = R_v \cdot \frac{\Delta G}{2}$ , максимална ордината заобљења ( $\max y$ ), према функцији

заобљења  $y = \frac{x^2}{2 \cdot R_v}$  и смени  $x = Tg$ , је једнака  $\max y = R_v \cdot \frac{\Delta G^2}{8}$ . Уместо

једначине круга користи се једначина квадратне параболе због једноставнијег прорачуна (у домену примене параболе, практично не постоји разлика у односу на једначину круга).

### 2.4.2 МИНИМАЛНА ЗАХТЕВАНА ЗАУСТАВНА ПРЕГЛЕДНОСТ

Конструкцијом вертикалне кривине потребно је обезбедити да прегледност са положаја возачевог ока буде довољна да се обезбеди сигурно и безбедно маневрисање возилом и тиме избегну нежељене последице.

Минимална захтевана зауставна прегледност израчунава се према изразу (1.43) из првог поглавља, који у зависности од брзине може да се напише у облику (2.9):

$$P_{zp} = \frac{t_r \cdot V_1}{3.6} + \frac{V_1^2}{254 \cdot (f + w_k \pm G + v_v)} + \Delta L \quad (2.9)$$

где је  $V_1$  брзина при почетку кочења, док су остали симболи већ објашњени.

Приликом прорачуна и одређивања дужина које морају бити испоштоване, корисни подаци су приказани у табели 2.2. [1]

Табела 2.2. Заустановка прегледност - минимална захтевана за влажне коловозе

Пројектна брзина [km/h]	Брзински оквир за дате услове [km/h]	Реаговање возача при кочењу		Коеф. трења $f$	$\Delta L$ [m]	Минимална захтевана заустановка прегледност [m]
		време [s]	дужина [m]			
30	30 - 30	2.5	20.8 - 20.8	0.40	8.8 - 8.8	29.6 - 29.6
40	40 - 40	2.5	27.8 - 27.8	0.38	16.6 - 16.6	44.4 - 44.4
50	47 - 50	2.5	32.6 - 34.7	0.35	24.8 - 28.1	57.4 - 62.8
60	55 - 60	2.5	38.2 - 41.7	0.33	36.1 - 42.9	74.3 - 84.6
70	63 - 70	2.5	43.7 - 48.6	0.31	50.4 - 62.2	94.1 - 110.8
80	70 - 80	2.5	48.6 - 55.5	0.30	64.2 - 83.9	112.8 - 139.4
90	77 - 90	2.5	53.5 - 62.5	0.30	77.7 - 106.2	131.2 - 168.7
100	85 - 100	2.5	59.0 - 69.4	0.29	98.0 - 135.6	157.0 - 205.0
110	91 - 110	2.5	63.2 - 76.4	0.28	116.3 - 170.0	179.5 - 246.4
120	98 - 120	2.5	68.0 - 83.3	0.28	134.9 - 202.3	202.9 - 285.6

#### 2.4.2.1 ЗАУСТАВНА ПРЕГЛЕДНОСТ У КОНВЕКСНОЈ КРИВИНИ

Два су питања на која треба дати одговор. Прво: шта урадити ако је дужина визуре возачевог ока дужа од дужине вертикалне конвексне кривине ( $S = Pz > L$  конвек), друго; шта урадити ако је дужина визуре возачевог ока краћа од дужине вертикалне конвексне кривине ( $S = Pz < L$  конвек). Скица тог проблема је на слици 2.9.

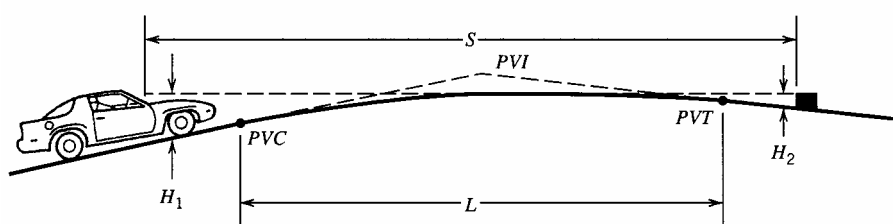
Одговор на прво питање је ( $S > L$ ):

$$L_{\min} = 2 \cdot S - \frac{200 \cdot (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})}{\Delta G} \quad (2.10)$$

а на друго ( $S < L$ ):

$$L_{\min} = \frac{\Delta G \cdot S^2}{200 \cdot (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})^2} \quad (2.11)$$

где је минимална дужина вертикалне конвексне кривине  $L_{min}$  у метрима, висина возачевог ока  $H_1$  је 1.07 m [1], висина објекта на путу  $H_2$  је 0.15 m [1], испред ког треба зауставити возило да не дође до колизије, преломни угао  $\Delta i_N$  у процентима и дужина возачеве визуре  $S$  у метрима.



Слика 2.9. Заустановка прегледност у конвексној кривини

Применом једначина (2.10) и (2.11) за одређивање минималне дужине вертикалне кривине, да би била задовољена заустановка прегледност, дужина возачеве визуре се изједначаје са дужином заустановне прегледности  $S = Pz$  и тада је ( $Pz > L$ ):

$$L_{min} = 2 \cdot Pz - \frac{404}{\Delta G} \quad (2.12)$$

и ( $Pz < L$ )

$$L_{min} = \frac{\Delta G \cdot Pz^2}{404} \quad (2.13)$$

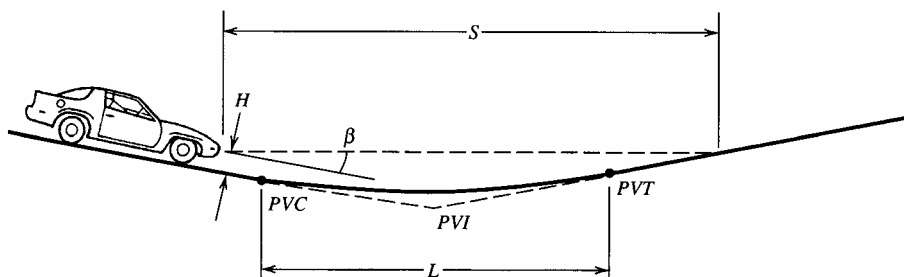
За одређивање минималног полупречника конвексне кривине користи се формула:

$$\min R_v = 0.25 \cdot Pz \quad (2.14)$$

#### 2.4.2.2 ЗАУСТАВНА ПРЕГЛЕДНОСТ У КОНКАВНОЈ КРИВИНИ

Разлика између конвексне вертикалне кривине и конкавне вертикалне кривине је у анализи видљивости током ноћних услова вожње. Наиме, дању је видљивост у конкавној вертикалној кривини неограничена, док се у ноћним условима јављају ограничења видљивости проузрокована рефлексијом светлости фарова возила од коловоза. На слици 2.10 је приказана диспозиција конкавне вертикалне кривине.





Слика 2.10. Конкавна вертикална кривина са својим конструктивним елементима

Аналогно претходном случају, поставља се питање шта учинити када је возачева визура дужа од дужине конкавне кривине ( $S = Pz > L_{konk}$ ), односно шта, ако је краћа ( $S = Pz < L_{konk}$ ).

Одговор на прво питање је следећи:

$$L_{min} = 2 \cdot S - \frac{200 \cdot (H + S \cdot \operatorname{tg} \beta)}{\Delta G} \quad (2.15)$$

а на друго:

$$L_{min} = \frac{\Delta G \cdot S^2}{200 \cdot (H + S \cdot \operatorname{tg} \beta)^2} \quad (2.16)$$

где је  $H=0.6$  висина фара на возилу у метрима [1], угао који заклапа централни зрак фара са хоризонталном равни  $\beta$  ( $\beta = 1^\circ$ ) у степенима. Остали симболи су објашњени у претходном поглављу.

Применом једначина (2.15) и (2.16) за одређивање минималне дужине вертикалне конкавне кривине, да би била задовољена зауставна прегледност, дужина возачеве визуре се изједначује са дужином зауставне прегледности  $S = Pz$  и тада је (за  $Pz > L$ ):

$$L_{min} = 2 \cdot Pz - \frac{120 + 3.5 \cdot Pz}{\Delta G} \quad (2.17)$$

и (за  $Pz < L$ )

$$L_{min} = \frac{\Delta G \cdot Pz^2}{120 + 3.5 \cdot Pz} \quad (2.18)$$

За одређивање минималног полупречника конкавне кривине користи се формула:

$$\min R_{v, konk} = \frac{P_Z^2}{2 \cdot (H + P_Z \cdot \sin \beta)} \quad (2.19)$$

где се за угао расипања светлости фарова  $\beta$  узима  $1^\circ$ .

#### 2.4.2.3 ПРЕТИЦАЈНА ПРЕГЛЕДНОСТ У КОНВЕКСНОЈ ВЕРТИКАЛНОЈ КРИВИНИ

У неким случајевима је потребно одредити и претицајну прегледност у конвексној вертикалној кривини, која може бити веома важна код двосмерних путева. Она је битна само код конвексних вертикалних кривина да би било избегнуто "ОТВОРЕНО НЕБО". За одређивање вертикалне претицајне прегледности користе се исти елементи као за зауставну прегледност, с тим, што је  $H_2 = 1.3 \text{ m}$  [1]. Минимална дужина претицајне прегледности је за услов да је возачева визура, дужа од дужине кривине ( $S > L$ ):

$$L_{\min} = 2 \cdot P_Z - \frac{946}{\Delta G} \quad (2.20)$$

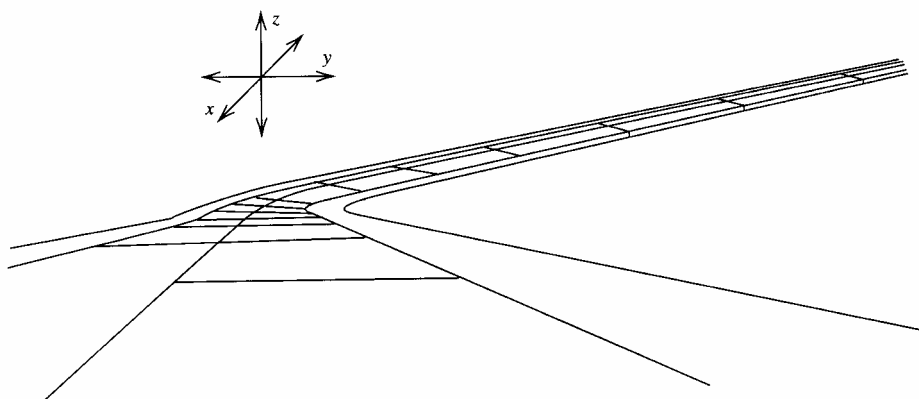
а за случај да је возачева визура краћа од дужине кривине ( $S < L$ ):

$$L_{\min} = \frac{\Delta G \cdot P_Z^2}{946} \quad (2.21)$$

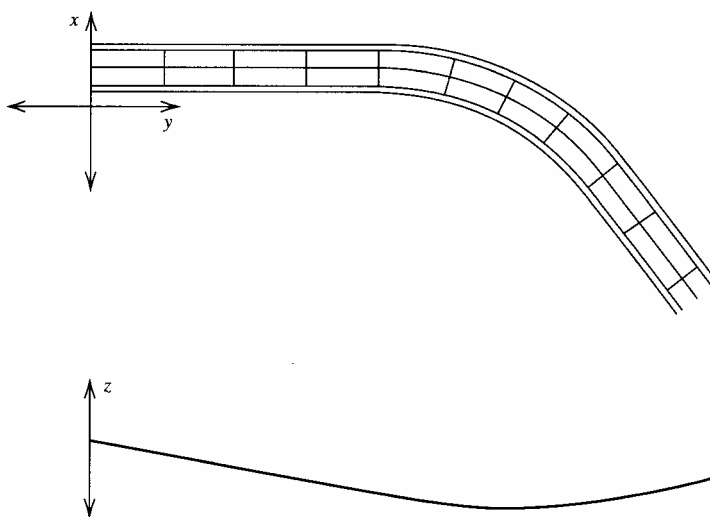
## 2.5 ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ ТРАСИРАЊА

Траса пута је тродимензионални елемент представљен у  $x$ ,  $y$ , и  $z$  координатном систему. То је илустровано, из перспективе возача, на слици 2.11. Тродимензионални приступ пројектовању пута је тежак, али веома важан задатак. Због практичних тешкоћа у таквом приступу решавању проблема трасирања, најчешће се приступа дводимензионом решавању овог сложеног проблема. Уведен је један дводимензионалан приказ - ситуационо решење (осовина пута) и један једнодимензиони приказ - уздужни профил (нивелета пута). На слици 2.12 је приказано наведено рашчлањивање комплексног тродимензионог проблема.

Досадашња инжењерска пракса указује на два начина пројектовања путева - **класичан** - помоћу лењира, кривуљара, корачала и шестара и - **савремен** - рачунарски, применом савремених рачунарских програма. У овом поглављу ће у најкраћим цртама бити објашњен класичан поступак, а затим и принцип пројектовања помоћу рачунарских програма.



Слика 2.11. Тродимензиони приказ из перспективе возача



Слика 2.12. Осовина у ситуационом плану и уздужном профилу

### 2.5.1 КЛАСИЧАН ПОСТУПАК ТРАСИРАЊА

За правилан поступак трасирања морају бити задовољени услови који представљају закључак генералног пројекта:

- категорија пута
- меродавно саобраћајно оптерећење
- састав саобраћајних токова (путничка возила, камиони, аутобуси, ...)
- рачунске брзине по деоницама, као и пројектне брзине за целу трасу
- начин експлоатације (слободан или комерцијални)

- положај раскрсница према захтеву путне мреже
- тип коловозне конструкције (крута или флексибилна)

На основу ових услова приступа се дефинисању граничних пројектних параметара:

- максималне дужине правца -  $max L$
- минималног радијуса хоризонталне кривине -  $min R$
- максималног подужног нагиба -  $max G$
- минималног подужног нагиба -  $min G$
- минималног параметра прелазне кривине -  $min A$
- минималног радијуса конвексног заобљења -  $min Rv$
- минималног радијуса конкавног заобљења -  $min Rv$
- минималне зауставне прегледности -  $min Pz$
- минималне претицајне прегледности -  $min Pp$

Ови гранични елементи представљају полазне вредности приликом трасирања. Међутим, да би трасирање могло правилно да се ради, мора постојати дефинисана подлога, а њу чине:

- инжењерско-геолошке карте
- карте намена површина
- топографске карте или аерофотограметријски снимци

Инжењерско-геолошка карта пружа податке везане за савремене геолошке процесе, карактеристике стенских маса, геомеханичке карактеристике и хидрологију површинских и подземних вода.

Карта намене површина приказује будући развој подручја, врсте и обим изградње и парцелизацију земљишта. На њој, поред постојећег стања, мора бити приказан и планирани развој путне мреже и примарних инфраструктурних објеката.

Топографска карта је основа по којој будућа траса добија свој облик, у графичком смислу. Ако ових подлога нема, треба их обезбедити накнадним снимањем у појасу датог коридора.

Када су све претходне подлоге обезбеђене, може се почети са постављањем трасе дуж разматраног коридора. Поступци су следећи:

- груба осовина
- нулта линија
- пројектна осовина

Груба осовина је правац ваздушне линије између почетне и крајње тачке између којих треба повући трасу. На основу ње се траже повољније варијанте док се не дође до финалног решења.

Нулта линија је линија константног нагиба која спаја две фиксне тачке. Она лежи на терену и изазива минималне земљане радове. Са становишта изградње пута то је идеална линија, али у пракси то није тако, јер на карти

она изгледа као изломљени полигон који наводи пројектанта ка складним геометријским облицима.

На основу познатог растојања две суседне тачке одређује се нагиб одсека:

$$\Delta G = \frac{\Delta H \cdot 100}{\alpha \cdot \Delta L}, \text{ где је } \Delta H \text{ висинска разлика посматраних тачака, } \Delta L$$

растојање по ваздушној линији између посматраних тачака, а  $\alpha$  коефицијент развијања трасе који је код стандардних падинских траса  $\alpha \approx 1,05 - 1,15$ . Помоћу овако одређеног нагиба израчунава се "к - корак за трасирање" који представља хоризонталну дужину потребну за савладавање константне висинске разлике (еквидистанце)  $E$  [m] између две тачке:  $K = \frac{E \cdot 100}{G(\%)}$  [m].

Одмеравањем по карти помоћу шестара - корачала, преносимо корак од изохипсе до изохипсе. На тај начин добија се нулта линија. На слици 2.13. је приказан пример постављања трасе корачањем.

Да би траса била што боље постављена по карти се корача у два смера - од доње тачке ка горњој и обратно. У том микрочоридору треба дефинисати трасу.

Пројектна осовина чини комбинацију пројектних елемената (правци, прелазне кривине и кружни лукови). Ови елементи равномерно прате нулту линију, а при том, испуњавају одређене геометријске законитости. Први корак у дефинисању пројектне осовине је уклапање праваца и кружних лукова тако, да нулта линија равномерно осцилује око кружних лукова. Тиме је количина земљаних радова уједначена (усек - насип). Преломни углови тангентног полигона, који се повлачи по кружним луковима, као и дужина међуправаца, треба да омогуће постављање прелазних кривина. После ових поступака, поставља се графичка стационажа са кораком од 100 m и прелази се на анализу трасе у уздужном профилу.

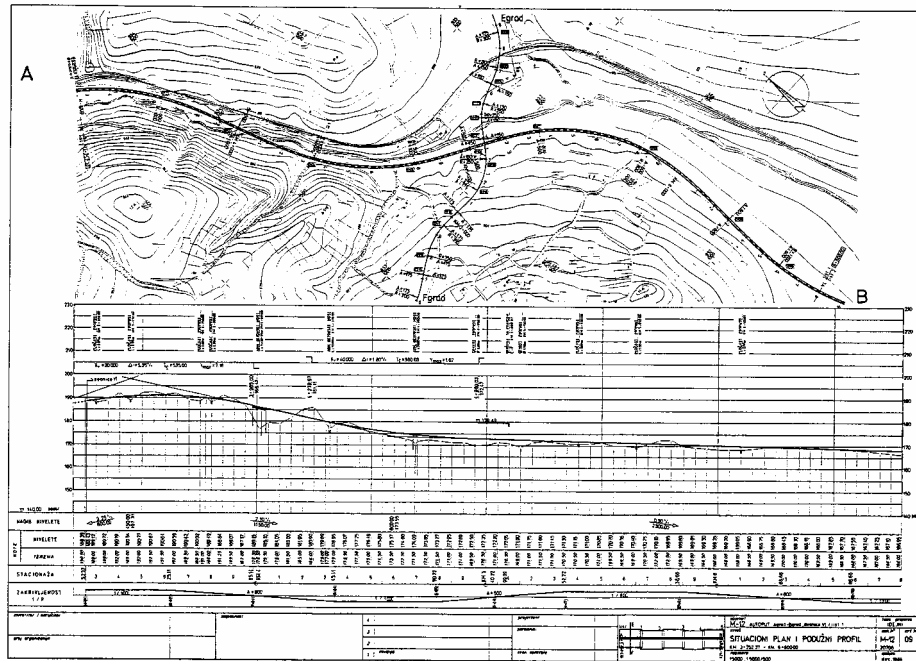
При дефинисању трасе у уздужном профилу, прво се "скидају" коте терена на стометарским стационажама, које су графички одређене на осовини у ситуационом плану. Када је на тај начин дефинисан терен посматране деонице, повлачи се нивелета тако да се избегну сувишни земљани радови. Наиме, линија терена у уздужном профилу има исти смисао као нулта линија у ситуационом плану. На уздужном профилу треба дефинисати, поред кота терена и стационажа и дијаграм закривљености. Овај радни уздужни профил служи као основа за дефинисање нивелете са свим њеним елементима - вертикалним конвексним и конкавним кривинама, правцима, подужним нагибима сходно рангу пута и категорији терена. Овим је могуће истовремено сагледавање трасе у ситуационом плану и уздужном профилу, а и омогућено је кориговање трасе.

На слици 2.14 је приказан један пример уздужног профила трасе пута са погледом на ситуациони план трасе - осовину, са свим потребним елементима.



Слика 2.13 Нулта линија и корак

Завршна варијанта уздужног профила садржи следеће рубрике којима је дефинисана осовина - нагиб нивелете, коте нивелете, коте терена, стационаже и дијаграм закривљености. На уздужном профилу се шематски исцртавају и канали за одводњавање испод и изнад осовине пута, пропусти као и грађевине попут мостова и тунела, које су неопходне да траса савлада одређене препреке, попут стрмих попречних речних токова и брда. Такође се шематски приказују и денивелисане раскрснице и прикључци.



Слика 2.14. Уздужни профил трасе пута

### 2.5.2 ПОСТУПАК ТРАСИРАЊА ПОМОЋУ РАЧУНАРА

Поступак пројектовања путева је далеко краћи употребом компјутерских програма. Суштина је у примени нумеричких података о терену и обради истих. Наиме, да би тај поступак био у потпуности обављен како треба, терен мора бити снимљен савременим електронским геодетским инструментима, да би карта која је потребна за трасирање била "активна".

Први корак у овом поступку је дефинисање попречног профила пута. Он може бити различит по деоницама. Треба да садржи све елементе који су потребни, а већ раније наведени.

Следећи корак је да по таквој подлози, која је приказана у виду изохипси, које су иначе један од видова приказа терена, трасу треба повлачити уз комбиновање потребних конструктивних елемената - праваца, кружних лукова и прелазних кривина. Означавањем места за попречне профиле по осовини, задаје се команда за исцртавање подужног профила терена. Затим се по таквом уздужном профилу поставља нивелета према принципу најмањих земљаних радова. То је поступак који се ради итеративно, али далеко брже него класичним путем. У зависности од типа софтвера, може се израчунати, кубатура и распоред земљаних маса.

Поступак исцртавања попречних профила је далеко бржи. Пружа уштеду у времену за неке друге активности током поступка пројектовања. Начин котирања зависи од типа софтвера и земље у којој је настао.

Што се графике тиче, много је прецизнија од класичног поступка, нарочито приликом приказивања завршних фаза пројектовања у тродимензионалном виду. Могућа је, чак, и симулација кретања возила и провера прегледности са нивоа ока возача, како бочне, тако и претицајне и зауставне, а нарочито појма “отвореног неба”, који се јавља на прелому конвексне кривине.

## 2.6 ДЕНИВЕЛИСАНЕ РАСКРСНИЦЕ

Денивелисане раскрснице су чворна места на путној мрежи која омогућавају промене смерова кретања саобраћајних токова континуалним кретањем уз прилагођавање брзине и евентуално, минимално заустављање. Њихова оправданост примене мора бити доказана саобраћајном анализом.

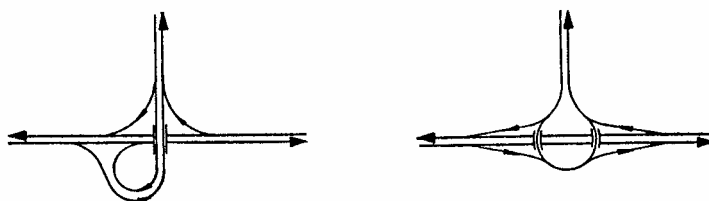
Стартна инвестициона вредност, за денивелисану раскрсницу је знанто већа него за површинску, али предности су следеће:

1. *Укрштаји на аутопуту.* Изградњом аутопута са комплетном контролом приступа аутоматски захтева денивелисане раскрснице ради осигурања брзог протока саобраћаја
2. *Елиминација постојећих уских грла.* Немогућност обезбеђења потребног капацитета на површинским раскрсницама је сам по себи довољан разлог за изградњу денивелисане раскрснице
3. *Услови безбедности.* На неким површинским раскрсницама се увек догађају саобраћајне незгоде, без обзира на густину саобраћаја који туда пролази. То је довољан разлог да се изгради денивелисана раскрсница
4. *Економски аспект.* На површинским раскрсницама долази до великих економских губитака услед прекида саобраћајних токова и заустављања саобраћаја. Ту су велики трошкови горива, гума, моторног уља, поправки услед удеса, а и потрошеног времена корисника пута. Ако се овакве раскрснице преведу у денивелисане, трошкови експлоатације се смањују без обзира на већа стартна улагања
5. *Топографске тешкоће.* На појединим локацијама природна топографија или цена земљишта могу захтевати много већа средства за изградњу површинске раскрснице

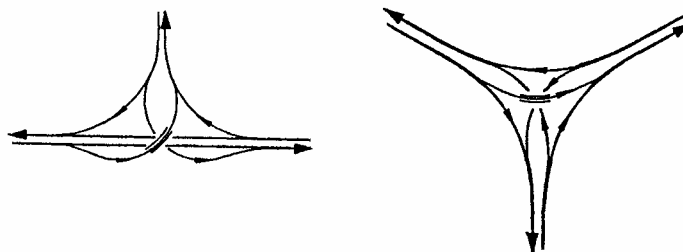
Карактеристични типови денивелисаних раскрсница, у грубој подели, су прикључци и укрштаји.

Прикључци су денивелисане раскрснице трокраког типа и могу бити облика трубе, крушке, троугла и рачве. На слици 2.15 и 2.16 су приказане скице трокраких раскрсница.



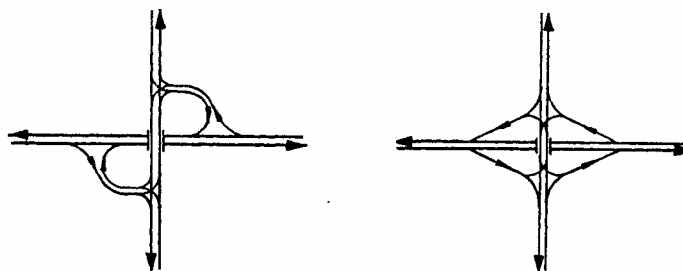


Слика 2.15 Трокраки прикључци - труба и крушка

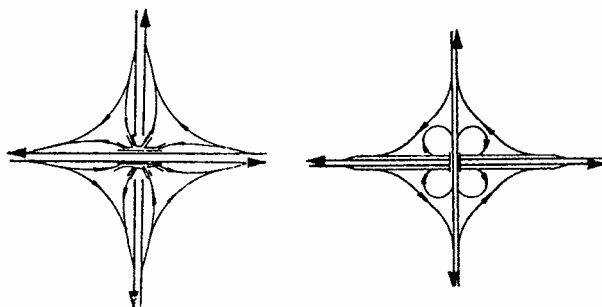


Слика 2.16 Трокраки прикључци - троугао и рачва

Четворокраке раскрснице или укрштаји су доминантни облик у путној мрежи. Карактеристични типови су ромб, пола детелине, кружни подеоник, детелина, малтешки крст итд. На сликама 2.17 и 2.18 су приказани неки од примера четворокраких денивелисаних раскрсница.



Слика 2.17 Четворокраки укрштаји - ромб и пола детелине



Слика 2.18 Четворокраки укрштаји - детелина и малтешки крст

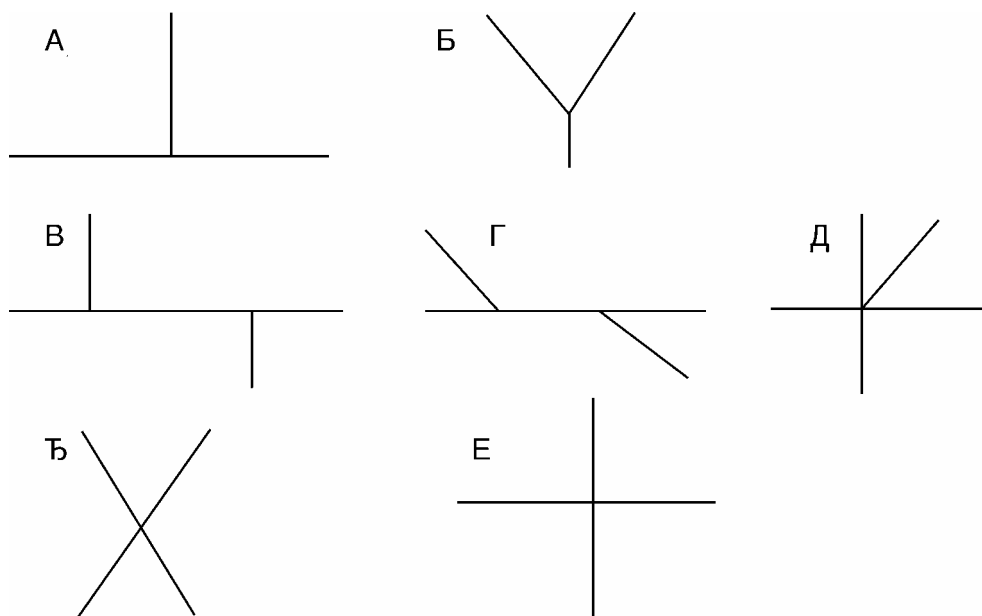
Према функционалности денивелисане раскрснице су подељене у пет нивоа:

- функционални ниво **А** је приликом повезивања аутопутева приближних експлоатационих карактеристика
- функционални ниво **Б** је код повезивања путева истог саобраћајног режима, али различитог саобраћајног оптерећења
- функционални ниво **Ц** је приликом повезивања путева различитог саобраћајног режима и веома различитог саобраћајног оптерећења
- функционални ниво **Д** је код повезивања путева различитог ранга и великих разлика у саобраћајном оптерећењу
- функционални ниво **Е** је приликом просторног раздвајања праваца али без њиховог физичког повезивања.

## 2.7 ПОВРШИНСКЕ РАСКРСНИЦЕ - РАСКРСНИЦЕ У НИВОУ

Посматрајући путну мрежу, доминантну групу раскрсница чине - раскрснице у нивоу (површинске). То је тип раскрсница код којих се промена смерова саобраћајних токова обавља на једној заједничкој површини. Та сложена функција површинске раскрснице је решива једино помоћу грађевинске и саобраћајне регулативе, која од учесника у саобраћају захтева одређено маневрисање ради усклађивања са читавим системом раскрснице. На слици 2.19 су приказани неки основни облици раскрсница у нивоу.

На слици 2.19 можемо препознати следеће типове раскрсница у нивоу [8]: "А" Т, "Б" У ипсилон, "В" смакнута, "Г" смакнута и искошена, "Д" више праваца, "Ђ" маказе и "Е" укрштај. Ови типови раскрсница су најчешћи у градским саобраћајницама. Оне су последица веома великих ограничења у погледу расположивог простора.



Слика 2.19 Основи облици раскрсница у нивоу

Површинске раскрснице су категорисане према функционалним нивоима:

1. **Функционални ниво Д** је највиши ниво у градским условима и поставља се на пресечним тачкама главних саобраћајница, приближно истог ранга (сличног саобраћајног оптерећења учесника у саобраћају). Каналисање саобраћајних токова је обавезно, исто као и сигнализација. Има два поднивоа **Д1** и **Д2**. Подниво **Д1** има каналисану лева и десна скретања у зони раскрснице, а подниво **Д2** каналисану лева скретања из главног и споредног правца
2. **Функционални ниво Е** је ниво на коме се пресецају саобраћајнице са знатно различитим функционалним рангом и саобраћајним оптерећењем. Такође постоје два поднивоа, **Е1** и **Е2**. Код поднивоа **Е1** су каналисани уливни и изливни токови (скретања десно из главног и споредног правца). На споредном правцу сигнализације може бити али и не мора. У поднивоу **Е2** разлика у функционалном рангу саобраћајница је мања. Забрањена су лева скретања из споредног правца уз пресецања главног саобраћајног тока. Семафорска сигнализација мора да ради у ритму главног саобраћајног тока
3. **Функционални ниво Ф** је ниво пресека саобраћајница са мањим значајем и мањим саобраћајним оптерећењем. Код поднивоа **Ф1** светлосна сигнализација може бити примењена уз минимални ниво каналисања саобраћајних токова. У поднивоу **Ф2** нема ни светлосне сигнализације ни каналисања саобраћајних токова

Приликом пројектовања раскрсница треба водити рачуна да се могућност колизије саобраћајних токова сведе на минимум, тј. да се пројектују тако, да могућност судара два возила буде минимална или да је нема.

## 2.8 ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ САОБРАЋАЈНЕ АНАЛИЗЕ

Важно је схватити да је основна функција пута да обезбеди транспортне услуге. Са инжењерског становишта, транспортне услуге се мере појмом да пут омогући безбедан и сигуран саобраћај при прихватљивим брзинама возила.

Саобраћајна анализа омогућава сагледавање основних параметара саобраћајних токова - протока, капацитета, густине и брзине.

### 2.8.1 ПРОТОК, БРЗИНА И ГУСТИНА

Проток, брзина и густина су променљиве које чине основне елементе саобраћајне анализе. Основне дефиниције ових појмова су:

- *ПРОТОК САОБРАЋАЈА* ( $Q$ ) је број возила ( $n$ ) који пролази кроз посматрани саобраћајни профил у јединици времена ( $t$ ).

$$Q = \frac{n}{t} \text{ [возила/сату]} \quad (2.22)$$

- *СРЕДЊА БРЗИНА* је аритметичка средња вредност брзина посматраних тачака (возила) у посматраном попречном пресеку пута и изражава се помоћу израза:

$$\bar{V}_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (2.23)$$

где је  $V_i$  брзина посматране тачке (брзина возила у посматраном попречном пресеку на путу, може бити одређена радарским снимањем)  $i$ -тог возила. Друга дефиниција средње брзине је кориснија са становишта саобраћајне анализе и одређује се на основу времена потребног да возило пређе познату дужину пута  $l$ . Та мера средње вредности брзине саобраћајног тока је:

$$V = \frac{\left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n l_i}{t} \text{ [km/h]} \quad (2.24)$$

где је  $l_i$  дужина пута коришћена за мерење брзине  $i$ , а време је:

$$\bar{t} = \frac{1}{n} [t_1(l_1) + t_2(l_2) + \dots + t_n(l_n)] \quad (2.25)$$

где је  $t_n^*/n$  време потребно да  $n$ -то возило пређе деоницу пута дужине  $l$  ( $L = l_1 = l_2 = l_n$ ). Коначни израз за брзину је:

$$V = \frac{1}{\left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{(L/t_i)} \right]} \text{ [km/h]} \quad (2.26)$$

Овај израз за брзину се користи као средња брзина саобраћајног тока.

- *Густина саобраћајног тока* је број возила који се налази на одређеној деоници током одређеног времена и изражава се помоћу:

$$G = \frac{n}{l} \text{ [возила/km]} \quad (2.27)$$

## 2.8.2 ОСНОВНИ МОДЕЛИ САОБРАЋАЈНИХ ТОКОВА

По истој логици из претходног поглавља може бити једноставно објашњен и однос протока, брзине и густине саобраћаја.

Проток је изражен помоћу:

$$Q = V \cdot G \quad (2.28)$$

где је јединица за проток  $Q$  у броју возила по сату [возила/h], јединица за брзину  $V$  у километрима по сату [km/h], а за густину  $G$  у броју возила по километру [возила/km]. То је основна једначина која повезује специфичне моделе саобраћаја у јединствен модел.

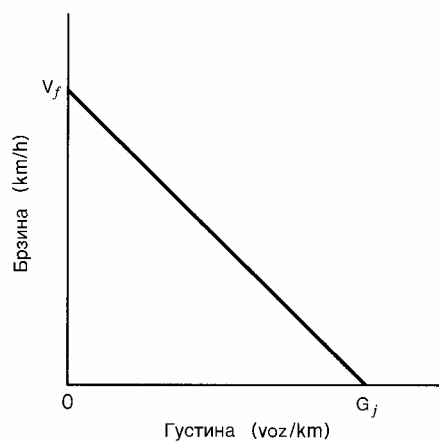
### 2.8.2.1 МОДЕЛ БРЗИНА - ГУСТИНА

Најбитнија почетна тачка за стварање слике о саобраћајном моделу је схватање односа брзине и густине. Посматрајмо једно возило на деоници пута. У тим условима, густина је веома мала (возила/km) и возач може слободно да вози брзином блиском пројектној за ту деоницу. То је брзина слободног саобраћајног тока  $V_f$  јер, брзина возила није ограничена постојањем других возила на деоници. Међутим, уколико се број возила на деоници повећава, брзина посматраног возила опада да би било омогућено маневрисање међу осталим возилима. Може се догодити да брзина на посматраној деоници буде једнака нули ( $V = 0$ ) и да густина саобраћаја може бити одређена на основу дужине возила и њиховог међусобног растојања, што условљава застој - односно гужву у саобраћају,  $G_f$ .

Један од могућих приказа описаног стања је помоћу следећег израза:

$$V = V_f \cdot \left(1 - \frac{G}{G_j}\right) \quad (2.29)$$

где је  $G$  посматрана густина саобраћајног тока. Предност линеарног приказа односа брзине и густине је у томе, што омогућава суштинску везу између саобраћајног тока, брзине и густине занемарујући комплексност коју има нелинеарна веза брзине и густине. Јер, важно је напоменути, да су теренска испитивања понашања саобраћаја показала, да однос брзине и густине тежи нелинеарности при малим и великим густинама. У ствари, укупну везу брзине и густине је најбоље приказати са три односа: (1) нелинеарне везе при малим густинама када брзина полако опада у односу на брзину слободног тока, (2) линеарне везе приликом велике средње вредности густине и (3) нелинеарне везе када је густина блиска загушењу, односно брзина бива минимална или једнака нули. Због једноставнијег приказа овог проблема, овде је приказан само линеаран (слика 2.20) однос брзине и густине. Нелинеарна варијанта овог односа је детаљно приказана у раду Дрјуа 1965 (Drew 1965) [9] и Пајпса 1967 (Pipes 1967) [10].



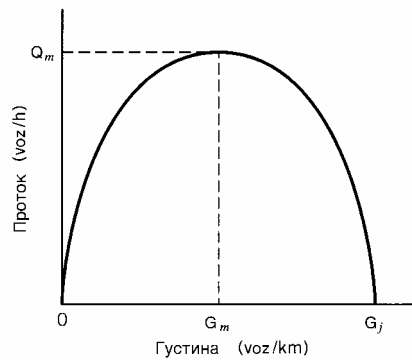
Слика 2.20 Однос брзине и густине

### 2.8.2.2 МОДЕЛ ПРОТОК - ГУСТИНА

Користећи усвојени линеарни приказ односа брзине и густине (2.29) и приказани основни облик протока (2.28), може бити приказан параболични модел односа протока и густине:

$$Q = V_f \cdot \left(G - \frac{G^2}{G_j}\right) \quad (2.30)$$

Општи облик овог израза је приказан на слици 2.21. Може се уочити да се диференцирањем претходног израза по густини, добија максимална вредност протока, који представља највећи проток који деоница може да поднесе, а да не дође до застоја.



Слика 2.21 Приказ односа густина - проток

Та вредност представља капацитет деонице. Густина саобраћаја која одговара максималној вредности (критичној вредности)  $G_m = G_{krit}$  везује се за максималну брзину  $V_m = V_{krit}$  при којој се саобраћај одвија без ометања.

$$\frac{dQ}{dG} = V_f \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot G}{G_j}\right) = 0 \quad (2.31)$$

Из израза (2.31) може да се закључи да је брзина слободног саобраћајног тока  $V_f$  различита од нуле, а да је максимална густина (критична густина) једнака:

$$G_m = \frac{G_j}{2} \quad (2.32)$$

што заменом у једначини (2.29) даје:

$$V_m = \frac{V_f}{2} \quad (2.33)$$

Употребом израза (2.32) и (2.33) у изразу (2.28) добија се вредност за максимални проток:

$$Q_m = \frac{V_f \cdot G_j}{4} \quad (2.34)$$

### 2.8.2.3 МОДЕЛ БРЗИНА - ПРОТОК

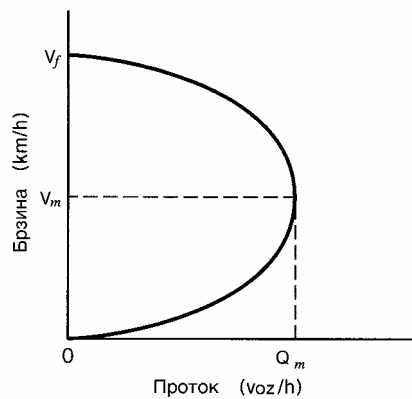
Ако погледамо линеарни приказ односа брзине и густине (2.29) и прекомпонујемо га, добијамо зависност густине од брзине:

$$G = G_j \cdot \left(1 - \frac{V}{V_f}\right) \quad (2.35)$$

Заменом израза (2.35) у изразу (2.28) добија се зависност протока од густине и брзине:

$$Q = G_j \cdot \left(V - \frac{V^2}{V_f}\right) \quad (2.36)$$

На слици 2.22 се види зависност протока од брзине саобраћајног тока, што је дефинисано изразом (2.36).



Слика 2.22 Зависност протока од брзине

На слици 2.22 се може приметити да за било који проток мањи од максималног, одговарају две брзине саобраћајног тока, што је последица констатације да за проток мањи од максималног, одговарају две густине (слика 2.21).

## 2.9 КАПАЦИТЕТ И НИВОИ УСЛУГЕ

Капацитет представља максимални проток одређеног састава (пешака или возила) који може да пропусти одређени попречни пресек саобраћајнице у току датог временског периода, под преовлађујућим условима пута, саобраћаја и контроле. Другим речима капацитет представља пропусну моћ посматраног попречног профила саобраћајнице.



Највећи капацитет износи:

$$C = \frac{1000V}{L_s}$$

где је:

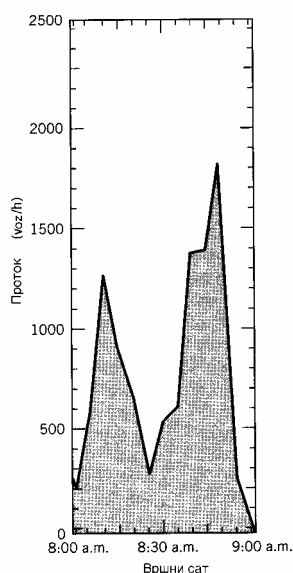
- C капацитет на једној саобраћајној траци, (возила/сату) под изабраним условима
- V брзина (km/h)
- L<sub>s</sub> просечно растојање слеђења возила (растојање између два узатопна возила у саобраћајном току и мери се од предњег браника једног до предњег браника другог возила)

Анализом нивоа услуге могуће је квантификовати карактеристике пута с обзиром на пропусну моћ пута и средњу брзину саобраћајног тока. Ови параметри саобраћајног тока могу бити анализирани и мерени у условима успоравања саобраћаја (повећања густине, смањења брзине). Упоређивање перформанси различитих путних елемената (на пр. саобраћајна анализа) је важно јер, резултати таквих анализа могу бити искоришћени као основа за утврђивање оштећености коловозних конструкција и оправдавање финансијских средстава за њихову оправку.

Капацитет и проток, изражени у возилима по сату, су два карактеристична параметра саобраћајне анализе који су битни за дефинисање нивоа услуге. Може лако бити показано да је капацитет пута функција типа пута, брзине слободног тока, броја саобраћајних трака, ширине саобраћајних трака и банкина.

Постоје два разлога због којих се проток изражава у возилима по сату. Први, јер у саобраћају учествују разни типови возила са потпуно различитим карактеристикама на које утиче путна геометрија (подужни нагиб - који има значајан утицај на брзину кретања одређених типова возила). Овај став треба допунити чињеницом да проток треба изразити и према врсти возила која се налазе у саобраћајном току. Други разлог се односи на привремену расподелу саобраћајног тока. У практичним условима, анализа путног саобраћаја се односи на део двадесетчетворосатног интервала у коме је густина саобраћаја највећа. У овим периодима, вршним сатима, саобраћајни проток је неуједначен и због тога је битно дефинисати поступке мерења неуједначености (слика 2.23).

Теоријски, највећа вредност капацитета износи 2750 возила/сату при оптималној константној брзини од 75 km/h. Практични капацитет је очигледно мањи с обзиром на утицаје фактора пута и саобраћаја. Извршена мерења указују на разлику у капацитетима на градским и ванградским путевима. Тако на градским путевима практично измерени капацитет износи око 1500 путничких возила по траци у једном сату. На ванградским путевима он се креће од 800 до 1200 путничких возила по траци у једном сату.



Слика 2.23 Пример неуједначеног протока у ввршном сату

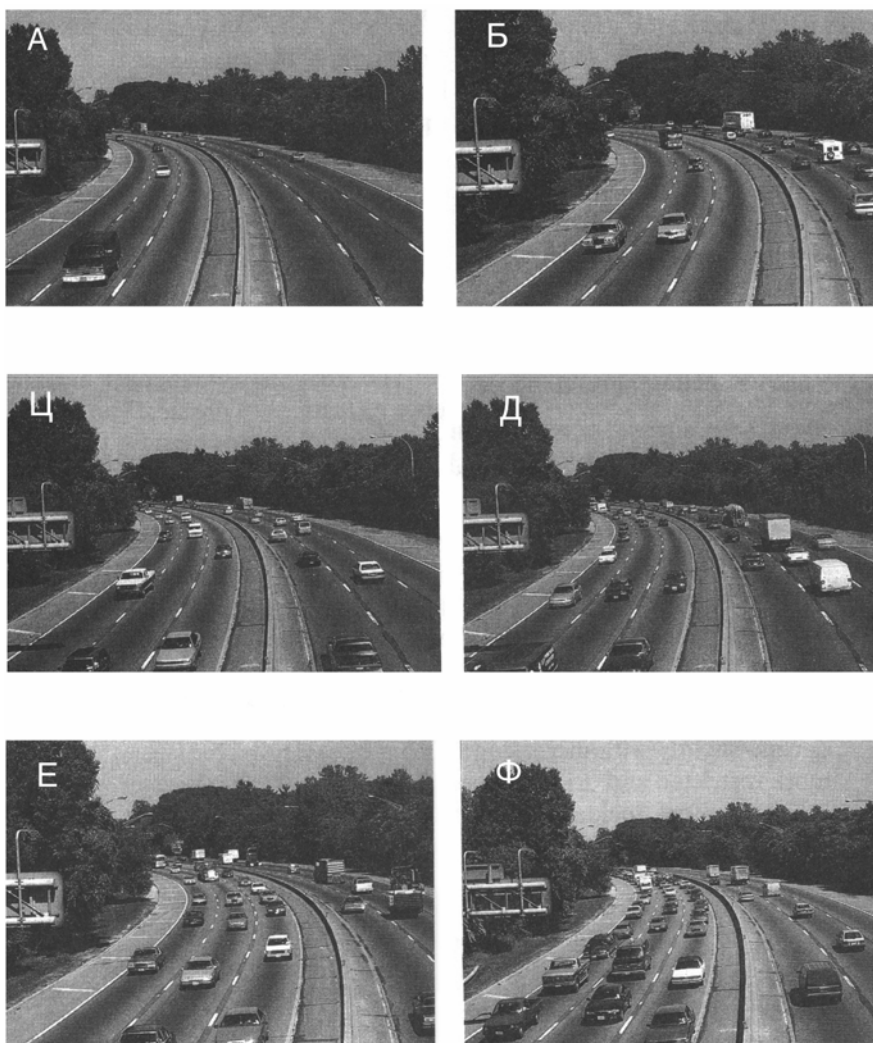
Квантитативно одређивање величине густине саобраћајног тока и квалитативно изражавање саобраћајних услова је први корак у задовољењу возачевих потреба. Те мере се односе на ниво услуге, и намера им је да повежу: брзину и време путовања, слободу маневрисања и сигурност вожње. У садашњој пракси је дефинисано шест нивоа, од А до Ф [11]:

**Ниво услуге А** - представља услове слободног тока при великим брзинама у којима корисници могу слободно да маневришу. Општи ниво комфора је одличан.

**Ниво услуге Б** - допушта брзине блиске или једнаке брзини слободног тока, али је присуство других корисника приметно. Слобода избора брзине је релативно непоремећена, али је мало опала слобода маневрисања у саобраћајном току, у односу на ниво услуге А.

**Ниво услуге Ц** - допушта брзине блиске или једнаке брзини слободног тока, али је присуство других корисника приметно, а самим тим је могућност маневрисања ограничена. Општи ниво комфора је нижи у односу на ниво услуге Б. Ометеност саобраћајног тока инцидентима може резултирати значајнијим успорењем саобраћаја. У односу на претходна два нивоа, могућност догађања инцидената је минимална.

**Ниво услуге Д** - представља услове где брзина саобраћајног тока почиње значајније да опада са повећањем протока. Слобода маневрисања постаје ограниченија у односу на ниво Ц, а на то утичу искуство возача као и његово психофизичко стање. Инциденти се догађају због веће густине саобраћаја и смањеног одстојања између возила, узрокованог повећаним протоком.



Слика 2.24 Нивои услуге

**Ниво услуге E** - представља оперативне услове блиске или једнаке капацитету пута. Чак и мали поремећај саобраћајног тока, као што је прикључивање са прикључних рампи или промена саобраћајне траке, може успорити маневрисање околних корисника. У општем случају, маневрисање је екстремно ограничено и возачи се осећају некомфорно на психофизичком плану.

**Ниво услуге Ф** - описује тотални застој у саобраћајном току. Редови се брзо формирају иза тачке на путу где је дошло до поремећаја саобраћајног тока.

Такве тачке у саобраћајном току изазивају мање незгоде при прикључивању са прикључних рампи услед знатно веће густине. Возила се крећу разумним брзинама, а онда нагло стану, што представља цикличну појаву. Ова појава, “крени па стани”, је карактеристика за ниво услуге  $\Phi$ .

Ради визуелног доживљаја, на слици 2.24 су приказани сви нивои услуге, од  $A$  до  $\Phi$ . Кад се ради са нивоом услуге, важно је знати да капацитет пута увек бива остварен на нивоу услуге  $E$ . Ово, свакако није пожељан услов, јер ниво услуге  $E$  изазива нелагодност код возача која може смањити возну способност и повећати могућност за догађање инцидента и успорити саобраћајни ток.

При пројектовању путева, треба избећи, по сваку цену, могућност деградације нивоа услуге  $E$ . То није увек могуће због финансијских услова и ограничења природне околине која може условити брзину, број саобраћајних трака и осталих чинилаца који утичу на капацитет пута.

## 2.10 МОДЕЛ САОБРАЋАЈНОГ ПРОТОКА

Математички модел за израчунавање протока није базиран на простом пребројавању возила која пролазе кроз посматрани пресек у току временског интервала, већ се тражи такав модел који ће одредити временски интервал наиласка група возила која се прате. Најједноставнији такав приступ је да су возила подједнако удаљена једна од других. То би представљало равномерну расподелу. По тој претпоставци, проток чини 360 воз/х, број возила у петоминутном интервалу је 30, а растојања између чела возила је 10 секунди. Овај модел није реалистичан, јер у неким петоминутним интервалима има мање возила него у другим. Због тога је равномерна расподела у овим анализама увек под знаком питања.

### 2.10.1 ПОАСОНОВ МОДЕЛ

Модел који узима у обзир неравномерност протока је математичка вероватноћа:

$$P(n) = \frac{(\lambda \cdot t)^n \cdot e^{-\lambda t}}{n!} \quad (2.37)$$

где је  $t$  трајање временског интервала током којег траје бројање возила,  $P(n)$  је вероватноћа да ће број возила  $n$  доћи у том посматраном временском интервалу  $t$ , а  $\lambda$  је средња вредност протока (број возила у временском интервалу).

Емпиријска анализа Поасоновог модела је показала да је он реалистичан при мањим густинама саобраћајног тока. Међутим, ограничење овог модела је у изједначавању средње вредности посматраног временског периода и варијансе. Ако су ове две вредности приближно једнаке, модел је одговарајући, збивањима у реалности. Међутим, ако је варијанса значајно

већа од посматране средње вредности, резултати су сувише расути (дисперговани). Ако је, пак, варијанса значајно мања од посматране средње вредности, резултати су сувише згуснути. У оба та случаја, Поасонова расподела не одговара реалном стању саобраћајног тока. Овај проблем је детаљно обрађен у радовима Поча и Манеринга (Poch and Mannering 1996) [12] и Удружења за истраживање саобраћаја [13].

Задовољавајућа решења, применом Поасонове расподеле, су уочена при анализама броја саобраћајних трака у раскрсницама и наплатним местима на аутопутевима када је потребно знати вероватноћу наиласка одређеног броја возила у датом временском интервалу.

Постоје и други математички модели за анализу саобраћајних токова који изучавају формирање редова у саобраћајним токовима, загушења, али они нису предмет овог курса.

#### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] ASSHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets", Washington, DC, 1994.
- [2] Campbell, C. The Sports Car: Its Design and Performance, Cambridge, MA: Robert Bentley, Inc., 1978.
- [3] Wong, J.H. "Theory of Ground Vehicles", New York, Wiley, 1978.
- [4] Carl F. Meyer, David W. Gibson, ROUTE SURVEYING AND DESIGN, Fifth edition, Copyright 1980 by Harper & Row Publishers, Inc
- [5] Fred L. Mannering, Walter P. Kilareski, Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis, Second Edition 1998.
- [6] Ruediger Lamm, Basil Psarianos, Theodor Mailaender, HIGHWAY DESIGN AND TRAFFIC SAFETY ENGINEERING HANDBOOK, McGRAW-HILL 1999.
- [7] ЗАКОН О ЈАВНИМ ПУТЕВИМА, радна верзија
- [8] C.A. O'Flaherty, Highways and Traffic, Vol 1, second edition 1974.
- [9] Drew, D.R. "Deterministic Aspects of Freeway Operations and Control", Highway Research Record 99, 1965.
- [10] Pipes, L.A. "Car Following Models and the Fundamental Diagram of Road Traffic", Transportation Research, vol. 1, no. 1, 1967.
- [11] The Highway Capacity Manual, Transportation Research Board 1994.
- [12] Poch M, and F. Mannering, "Negative Binominal Analysis of Intersecion-Accident Frequencies", Journal of Transportation Engineering, vol. 122, no. 2, March/April 1996.
- [13] Transportation Research Board, "Traffic Flow Theory: A Monograph", Special Report 165, National Research Council, Washington, DC, 1975.

# 3

## ПРОЈЕКТОВАЊЕ ГРАДСКИХ УЛИЦА

### 3.1 УВОД

Ако се посматра сложеност функционисања града лако се може уочити да је решење саобраћајних комуникација једно од важнијих, ако не и најважније питање у просторном решењу. Избор транспортних система - шински или друмски, надземни или подземни, представља врхунац инжењерске довитљивости тимова стручњака. Да би надземни, шински и друмски системи били успешно решени потребно је правилно димензионисати попречне профиле саобраћајница у градским зонама или прецизније речено, правилно решити зоне регулације.

Треба напоменути да је земљиште у зони регулације у потпуности препуштено пројектантима саобраћајница. Они треба да воде рачуна и о инфраструктурним инсталацијама које пролазе кроз земљиште испод коловозне конструкције. Исто тако треба да сарађују са инжењерима других техничких дисциплина чије специјалности помажу да се реше проблеми који се јављају приликом планирања и изградње инфраструктурних инсталација као што су водовод, телекомуникациони водови, канализација, електроводови, гасовод, топловод и итд. Једино таква врста сарадње може да доведе до правилног решења комплексних захвата који чине изградњу градских улица.

У овом поглављу дати су основни приципи и правила пројектовања градских саобраћајница.

### 3.2 КЛАСИФИКАЦИЈА ГРАДСКИХ САОБРАЋАЈНИЦА

Градске саобраћајнице су према попречном профилу, који зависи од саобраћајног оптерећења и рачунске брзине, класификоване на:

- градске аутопутеве и градске магистрале са денivelисаним раскрсницама и елементима:

брзина [km/h]	возна трака, tv [m]	зауоставна трака, tz [m]	ивична трака, ti [m]	разделна трака, tr [m]	банкина, b [m]	ранг улице
$V_r \geq 100$	3.75	2.50	1.00	3.00	2.50	ГА, ГМд
$V_r \geq 80$	3.50	2.25	0.50	2.50	2.00	ГА, ГМд
$V_r \geq 60$	3.25	2.00 (0.00)	0.00	2.00 (1.50)*	1.50	ГМд

\* Ако постоји бетонска разделна ограда типа Њу Џерси (New Jersey)

- градске магистрале и градске саобраћајнице са површинским раскрсницама и раздвојеним коловозима са елементима:

брзина [km/h]	возна трака, tv [m]	трака за скретање, tm [m]	ивична трака, tr [m]	средња разделна трака, tr' [m]	ивична разделна трака, tri [m]	ранг улице
$V_r \geq 80$	3.50	3.00	5.00	2.00	6.00 <sup>1</sup>	ГМп, ГС
$V_r \geq 60$	3.25	2.75	4.50	1.75	4.00 <sup>3</sup>	ГС

<sup>1</sup> мин 4.00 m; <sup>2</sup> мин 2.00 m; <sup>3</sup> могућ зелени појас у оквиру пешачке стазе проширене за 1.00 m.

- градске саобраћајнице и сабирне улице са нераздвојеним коловозним површинама чији су елементи:

брзина [km/h]	возна трака, tv [m]	возна трака, tv* [m]	ивична разделна трака, tri [m]	пешачка стаза, p [m]	ранг улице
$V_r \geq 60$	3.25 3.25	3.50 3.50	4.00 <sup>1</sup> 2.00 <sup>2</sup>	$\geq 3.00$ $\geq 3.00$	ГС, СУ

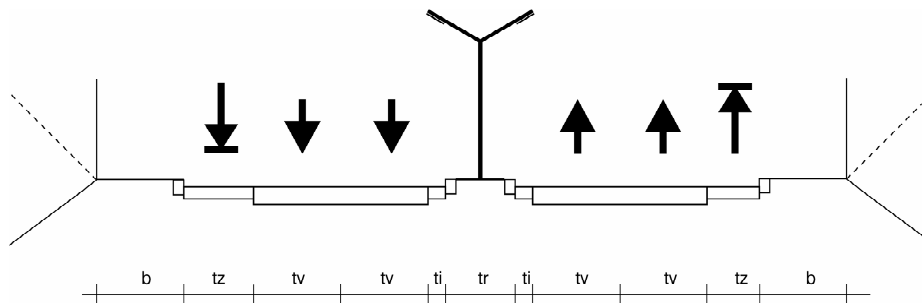
<sup>1</sup> мин 2.00 m или високо зеленило у оквиру пешачке стазе проширене за 1.00 m;

<sup>2</sup> могуће високо зеленило у оквиру пешачке стазе проширене за 1.00 m.

- сабирне улице са елементима:

брзина [km/h]	возна трака, tv* [m]	зауоставна трака, tz [m]	ивична разделна трака, tri [m]	пешачка стаза, p [m]	ранг улице
$V_r < 60$	3.50	2.00	5.00 <sup>1</sup>	$\geq 3.00$	СУ

Геометријски попречни профил градске саобраћајнице ранга ГА (градски аутопут) и ГМд (градска магистрала) се изводи са физички одвојеним коловозима по смеровима и обавезним зауставним тракама. Денивелисане раскрснице су обавезан елемент. Комбинације елеманата који чине попречни профил, број и ширина трака, зависе од третмана јавног градског превоза. На слици 3.1 је приказан геометријски попречни профил. Ако просторни услови дозвољавају, ГА би требало да буде у усеку, дубине довољне да својим косинама (или вертикалним зидовима) апсорбује буку која се јавља као последица велике фреквенције саобраћаја.



Слика 3.1 Геометријски попречни профил саобраћајнице ранга ГА и ГМд

На слици 3.1, возне траке су означене са  $tv$ , зауставне траке са  $tz$ , ивичне траке са  $ti$ , разделни појас са  $tr$ , док је берма означена са  $b$ .

Вертикалне линије, на слици 3.1, на крају берме, представљају напомену да на тим местима, према садашњим настојањима еколошких стручњака, треба постављати вертикалне елементе који апсорбују буку. Друге две линије представљају ознаку усека или насипа. Градска деоница аутопута може имати и варијанту издвајања јавног градског превоза у саобраћајне траке, које су физички раздвојене од осталих трака у истом смеру, слика 3.2.

Постоје и друге варијанте издвајања јавног градског превоза као, на пример, издвајање у засебну траку на истој коловозној површини слика 3.3, или издвајање у траку која је одузета од супротног смера, када је велики проток саобраћаја у осталим возним тракама истог смера, слика 3.4.

Издавањем јавног градског превоза у засебне траке постиже се брже и временски тачније пребацивање већег броја људи, када је мобилност становништва велика, односно када много људи користи путничке аутомобиле, а саобраћајнице својим профилем тешко могу да задовоље потребе саобраћајних токова.





Слика 3.2 Физичко раздвајање јавног градског превоза - ЈГП  
(аутопут у Вашингтону)



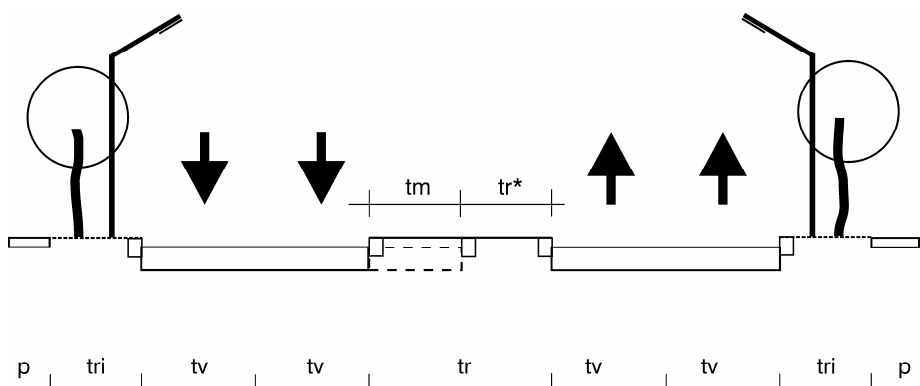
Слика 3.3 Засебна трака за ЈГП на истој коловозној површини и истом смеру  
(аутопут у Сан Франциску)



Слика 3.4 Посебна трака за кретање у супротном смеру на аутопуту (Њујорк)

Денивелисане раскрснице су једини могући објекти који омогућавају континуалне токове са минималним променама брзина и довољним уштедама за кориснике саобраћајног система.

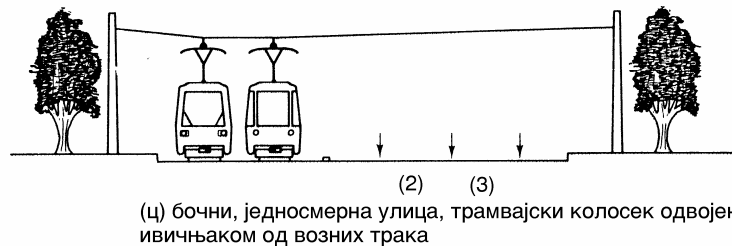
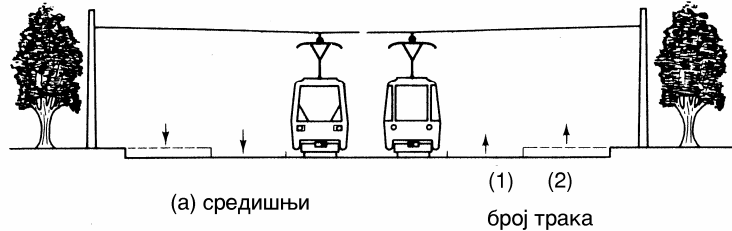
Код градских саобраћајница ранга ГМ (градска магистрала) и ГС (градска саобраћајница) са обавезним површинским раскрсницама могуће су следеће варијанте попречних профила. Попречни пресек градске магистрале може бити састављен од 2+2 или од 3+3 траке. Исто се односи и на ГС. Манипулативна трака за лева скретања је обавезан елемент у зонама свих површинских раскрсница. На слици 3.5 је приказана скица попречног профила са припадајућим елементима.



Слика 3.5 Геометријски попречни профил саобраћајница ранга ГМп и ГС

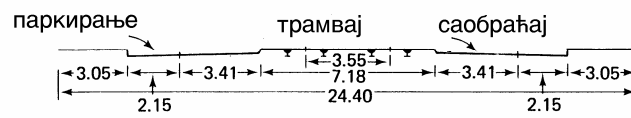
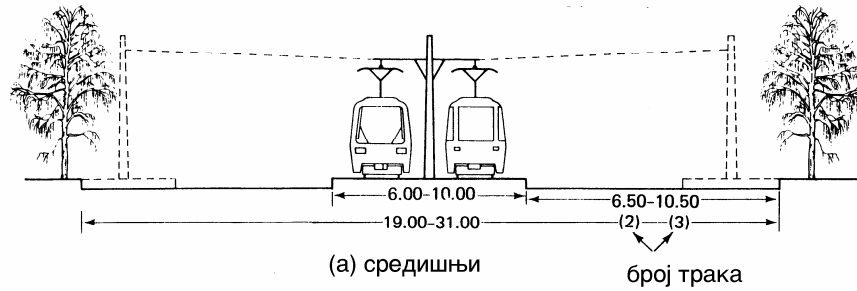
У ивичној разделној траци означеној са  $tr_i$ , могуће је поставити зелени појас са стаблима, која се наизменично смењују са уличном расветом, тако да стабла не сметају светлосним стубовима. Трака за лева скретања је означена са  $tm$  и она се појављује само у зонама раскрсница, док  $tr^*$  представља минималну ширину пешачког острва у зони раскрснице.

Код градских саобраћајница ранга ГМ и ГС могуће је издвајање трака за ЈГП (јавни градски превоз) у прву возну траку, док су друге две траке, средња и лева, намењене осталим учесницима у саобраћају, ако су попречни профили компоновани са по три возне траке. Шински саобраћај је могуће поставити у разделној траци, с тим да се станична стајалишта постављају иза површинских раскрсница. Варијанте постављања шинских траса су приказане на слици 3.6.

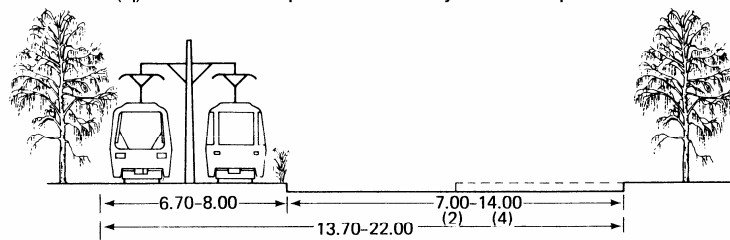
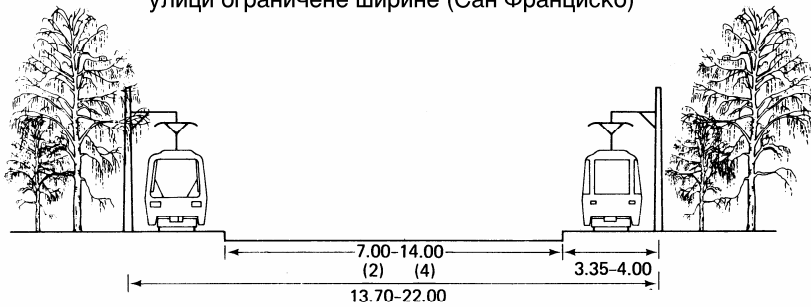


Слика 3.6 Варијанте постављања шинског система ЈГП у попречном профилу у нивоу коловоза

Следећа могућност је постављање шинских траса изнад нивоа коловоза, за висину ивичњака (слика 3.7).



(б) средишњи положај шинске тресе у улици ограничене ширине (Сан Франциско)

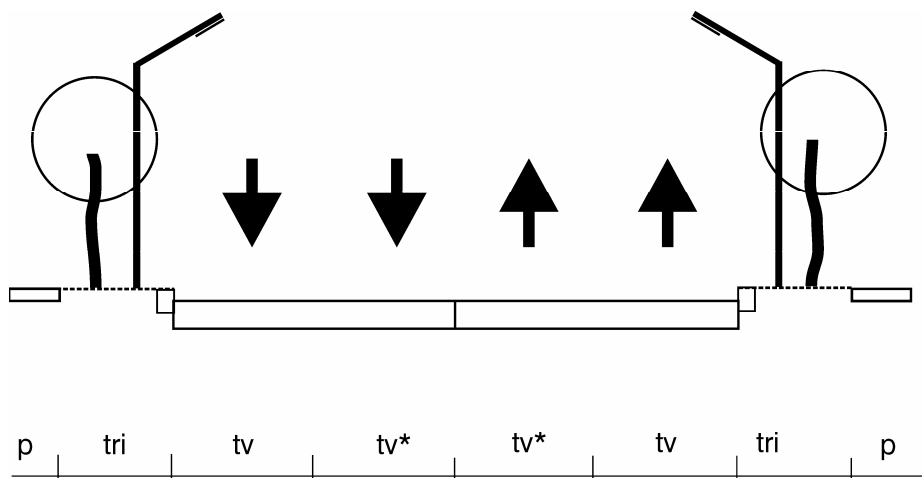


Слика 3.7 Издвојене тресе шинског саобраћајног система

Предности и недостаци диспозиције са слике 3.7 у односу на диспозицију са слике 3.6 су:

- + знатно виши ниво услуге
- + смањени трошкови због веће продуктивности
- + није потребан надзор полиције
- + много боља визуелна идентификација
- + већа атрактивност за путнике
- + боља естетика када се користи зеленило
- потребна је нешто шира траса
- већи инвестициони трошкови у појединим случајевима
- захтева додатно одржавање ако се користи зеленило

Попречни профили градских саобраћајница ГС и сабирних улица СУ су компоновани са по две траке у сваком смеру или са по три траке од којих је трећа трака, прва уз ивични разделни појас, зауставна. Попречни профил је приказан на слици 3.8.

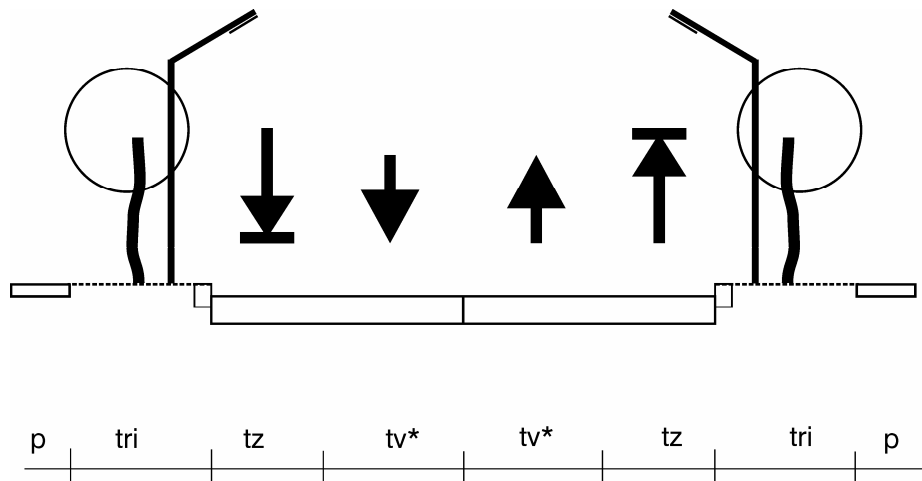


Слика 3.8 Геометријски попречни профил саобраћајница ранга ГС и СУ

Код овог ранга саобраћајница коловоз може бити јединствен. Варијације у попречном профилу су могуће ако је предвиђено косо паркирање. Тада се додаје зауставна трака ради једноставнијег маневрисања приликом уласка и изласка са паркинга без ремећења токова у возним тракама. Као и у претходном рангу, могућа је ивична трака са зеленим појасом у коме може по потреби бити и дрвеће. Обавезна је улична расвета, као и површинске раскрснице.

Код последњег ранга градских саобраћајница, сабирних улица СУ, геометријски попречни профил чине две возне траке, две зауставне траке и

ивичне разделне траке са зеленим појасом, који је комбинован са косим паркирањем. На слици 3.9 је приказан попречни профил СУ.



Слика 3.9 Геометријски попречни профил саобраћајница ранга СУ

Варијације у попречном профилу су могуће. Оне зависе од простора између регулационих линија. Може се догодити да нема места ни за ивичну разделну траку, ни за зауставну траку. Тада се попречни профил састоји од две возне траке минималне ширине од 3.5 m, а површину између коловоза и грађевинске линије, која се најчешће поклапа са регулационом линијом, заузима пешачка стаза - тротоар.

За све врсте градских саобраћајница важно је рећи да је минимални попречни нагиб коловоза  $i_p = 2.5\%$ . Витоперење, о којем је било речи у поглављу о пројектовању путева, спроводи се једино у зони раскрсница и то у најмањој могућој мери. Највећи могући попречни нагиби, где је то могуће, износе 6.0% (у кривинама са континуалним саобраћајем ГА и ГМд) и 4.0% са прекинутим токовима (ГМп, ГС и СУ). Нагиб коловоза је оријентисан ка центру кривине, али ако услови захтевају, може бити и супротно "контра пад".

Попречни нагиб зеленог појаса у ивичним разделним тракама је 4% ка коловозној површини. Вода, која падне на површину зеленог појаса, бива једним делом упијена у тло, једним делом испари, а остатак бива прикупљен у сливнички систем који се налази уз ивичњаке.

### 3.3 ПОВРШИНСКЕ РАСКРСНИЦЕ

Пошто су у поглављу о пројектовању путева приказани типови површинских раскрсница и нивои услуга, овде ће бити речи о њиховом геометријском обликовању. Решавањем простора у зонама површинских раскрсница обезбеђује се габарит меродавном возилу за безбедно маневрисање приликом окретања. Треба, на сваки начин, избећи могућност реализовања колизионих тачака, које постоје у зонама свих типова површинских раскрсница, услед пресека линија кретања. Геометријски поступци за то су разнолики и зависе од радијуса скретања меродавног возила.

Један од тих поступака је помоћу сложених троцентричних кривина које апроксимирају криву трагова возила. Други начин је помоћу обичних, кружних кривина. Оба ова поступка зависе од ранга раскрснице.

Једна од варијаната троцентричне криве је следећег облика:

$$R1 : R2 : R3 = 2.5 : 1 : 5.5$$

$$\alpha : \beta : \delta = 1 : 5.5 : 1$$

где су:

$R1$  и  $\alpha$  – први полупречник [m] са својим централним углом [°]

$R2$  и  $\beta$  – централни полупречник [m] са својим централним углом [°]

$R3$  и  $\delta$  – трећи полупречник [m] са својим централним углом [°]

$\gamma$  – скретни угао кривине [°]

с тим да је:

$$\alpha^{\circ} = x^g \cdot \frac{9^{\circ}}{10^g}, \quad x^g = \alpha^{\circ} \cdot \frac{10^g}{9^{\circ}}$$

поступак за претварање центезималне поделе - градусних степени у сексагезималну поделу - степене [2].

Изрази за геометријско дефинисање положаја тачака у овој варијанти су следећи:

$$X1 = R1 * \sin \alpha$$

$$Y1 = R1 * (1 - \cos \alpha)$$

$$X3 = R3 * \sin \delta$$

$$Y3 = R3 * (1 - \cos \delta)$$

$$L1 = 0.015708 * R1 * \alpha$$

$$L2 = 0.015708 * R2 * \beta$$

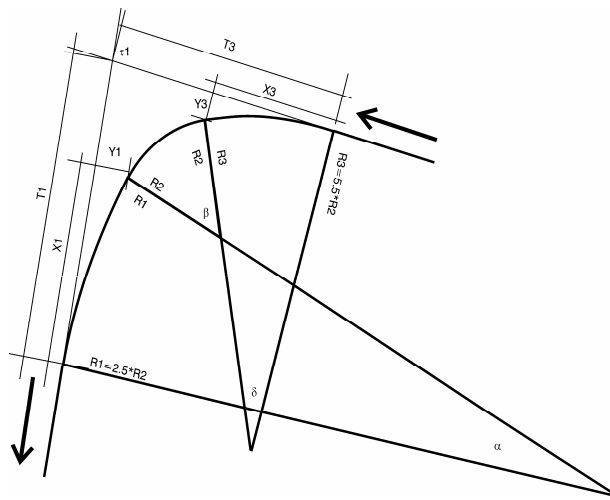
$$L3 = 0.015708 * R3 * \delta$$

$$T1 = (R1 - R2) * \sin \alpha + \frac{R3 - (R3 - R2) * \cos \beta}{\sin \gamma} - \frac{R1 - (R1 - R2) * \cos \alpha}{\tan \gamma}$$

$$T3 = (R3 - R2) * \sin \beta + \frac{R1 - (R1 - R2) * \cos \alpha}{\sin \gamma} - \frac{R3 - (R3 - R2) * \cos \beta}{\tan \gamma}$$

где су  $T_1$  и  $T_2$  тангентни правци изражени у метрима. У свим наведеним изразима угловне мере се уносе у градусним степенима. На слици 3.10 је приказана троцентрична крива.

Важно је напоменути да полупречник  $R_2$  може бити одређен на основу полупречника скретања меродавног возила које је одабрано за посматрану раскрсницу. На слици 3.11 је приказан поступак одређивања полупречника  $R_2$ .



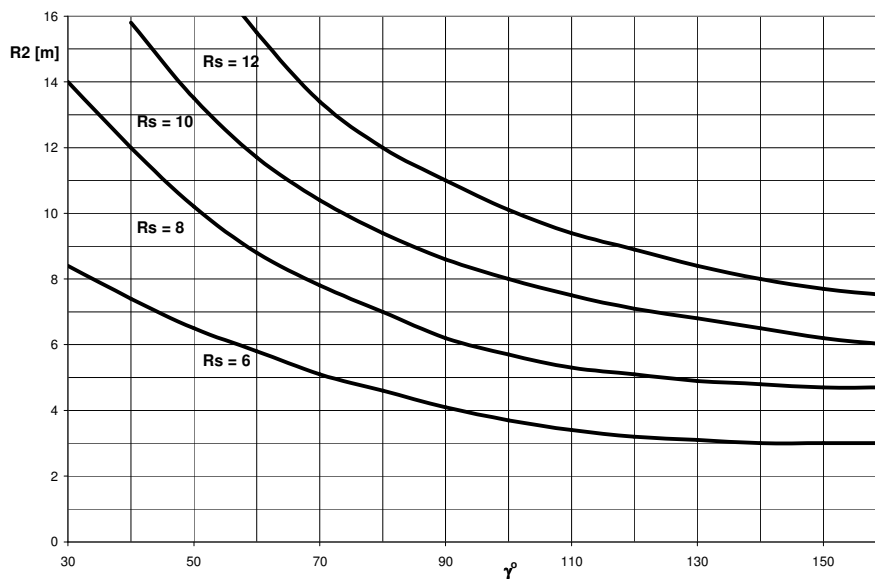
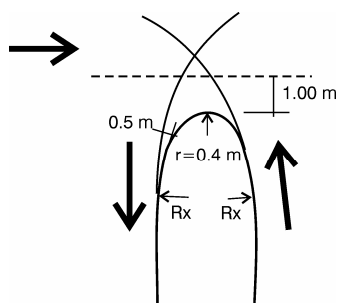
Слика 3.10 Троцентрична крива

На основу скретног угла кривине  $\gamma$ , који се на слици 3.11 налази на апсциси, повлачи се вертикала до пресека са неком од линија радијуса скретања наведених меродавних возила. Затим се из те тачке пресека повлачи хоризонтала до ординате, која представља вредност централног полупречника троцентричне криве. Помоћу те вредности могу бити одређена друга два полупречника, а потом и сви остали елементи троцентричне криве.

Постоје и друге варијанте троцентричне криве. Једна од њих је са односима полупречника:  $R_1 : R_2 : R_3 = 2 : 1 : 3$  и угловима  $\alpha = 17.5^\circ$ ,  $\beta = \gamma - 40^\circ$  и  $\delta = 22.5^\circ$ .

Следећи елемент површинске раскрснице су острва којима се каналишу саобраћајни токови. Она по облику одговарају положају у раскрсници. Најважнији геометријски корак при обликовању острва је прецизно дефинисање геометрије дела острва који је окренут ка центру раскрснице. Њиме се дефинишу правци кретања возила која скрећу лево. Диспозиција је приказана на слици 3.12.

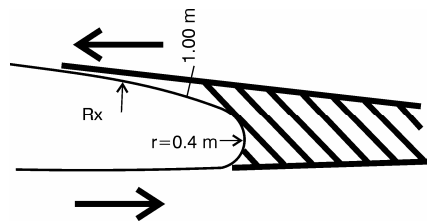


Слика 3.11 Одређивање радијуса  $R_2$  троцентричне криве

Слика 3.12 Детаљ врха острва окренутог ка центру раскрснице

Испрекидана линија на слици 3.12 представља ивицу саобраћајне траке у односу на коју је врх острва померен, да не би дошло до контакта између точкова и ивичњака, при скретању. Овај елемент је на коловозу означен пуном белом линијом (хоризонталном сигнализацијом).

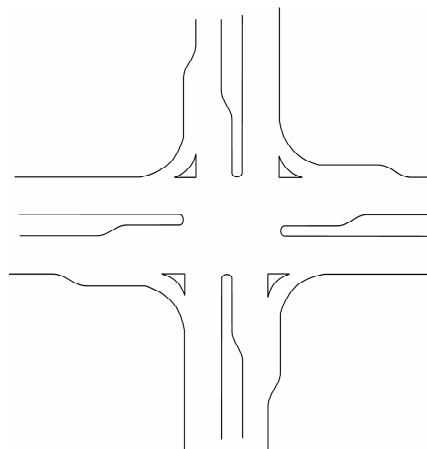
Следећи елемент острва је део на који возила наилазе при уласку у раскрсницу. Хоризонталном сигнализацијом је наглашено физичко раздвајања смерова и токова, што се може видети на слици 3.13.



Слика 3.13 Врх острва којим се раздвајају токови

Трећи елемент физичког раздвајања су троугаона острва, површина већих од  $10.0 \text{ m}^2$ . Она се постављају приликом физичког раздвајања десних скретања од левих и правца у који се улива десно скретање.

Тек након утврђивања свих ових елемената приступа се пројектовању раскрсница. Први корак је дефинисање саобраћајних токова и потреба за променом правца кретања. Затим се одреди меродавно возило и дефинишу геометријске линије за лева скретања уз помоћ скретних габарита меродавног возила. У зависности од ранга саобраћајнице, формирају се и манипулативне траке за лева скретања, чија дужина зависи од саобраћајне слике, односно броја возила која скрећу лево. Површине морају бити тако дефинисане, да не дође до додиривања бочних ивица возила, која истовремено врше лева скретања, ако се ради четворокраке раскрснице. Код трокраке раскрснице тај корак отпада. По завршетку конструкције линија за лева скретања, приступа се контрукцији линија за десна скретања, с тим да се испоштују габаритне површине за троугаона острва, ако простор допушта. Следећи корак у конструисању раскрснице је дефинисање путања пешака. На слици 3.14 је приказана скица једне четворокраке раскрснице.



Слика 3.14 Скица четворокраке раскрснице

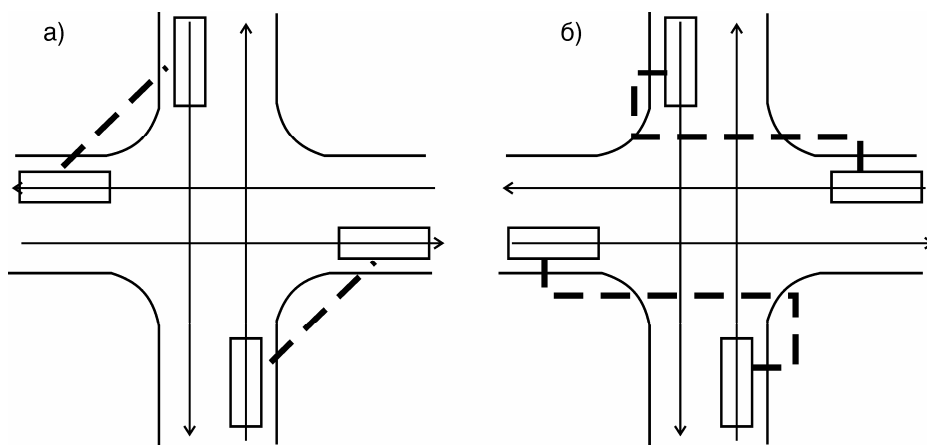
На слици 3.14 су приказане само грађевинске линије раскрснице. Следећи корак у пројектовању је израда нивелационог плана, а затим постављање хоризонталне и вертикалне сигнализације.

### 3.4 АУТОБУСКА СТАЈАЛИШТА

Врло битан грађевински, а и саобраћајно-планерски корак је одређивање позиција аутобуских станица у улицама којима је предвиђено кретање возила ЈГП. Растојање између станица би требало да покрије ону раздаљину, коју просечни пешак у развијеном свету не жели да прелази ходањем. Та растојања су од 400 до 600 m, али никако краћа од 300 m [3].

Укрштање саобраћајних смерова је место на којем најчешће долази до преседања путника који користе ЈГП. Зато је битно да се концепцијски добро одреде позиције станица ЈГП. Постоје три типа локација за стајалишта: блиска, на раскрсницама пре прелажења попречне улице; даља, на раскрсницама после преласка попречне улице; и усред блока, станбених или пословних објеката, даље од раскрснице [3].

На позицију стајалишта утичу: координација саобраћајних сигнала, путнички прилаз укључујући и могућност за преседање између линија, услови аутомобилског и пешачког саобраћаја на раскрсницама и геометрија скретања и заустављања аутобуса. На слици 3.15 су приказане могуће варијанте постављања станица у зони раскрснице у зависности од кретања путника.

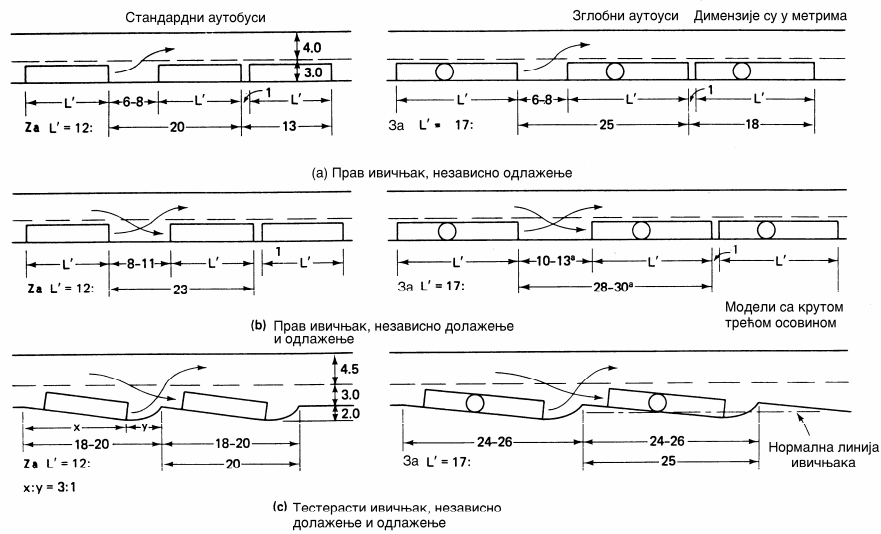


Слика 3.15 Могући положаји станица

На слици 3.15 а) приказан је коректан положај стајалишта у односу на кретање путника који преседају и у односу на сигнализацију и прегледност

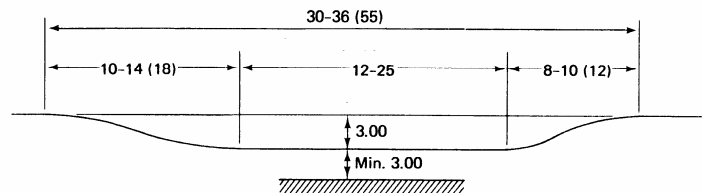
раскрснице. На слици 3.15 б) је приказан неправилан положај стајалишта, како у погледу кретања путника који преседају, тако и са становишта саобраћајне проходности саме раскрснице.

Геометријска решења стајалишта дуж ивица улица, тј. ивичних стајалишта, су разнолика. На слици 3.16 су приказане варијанте, како за обичне аутобусе, тако и за зглобне.



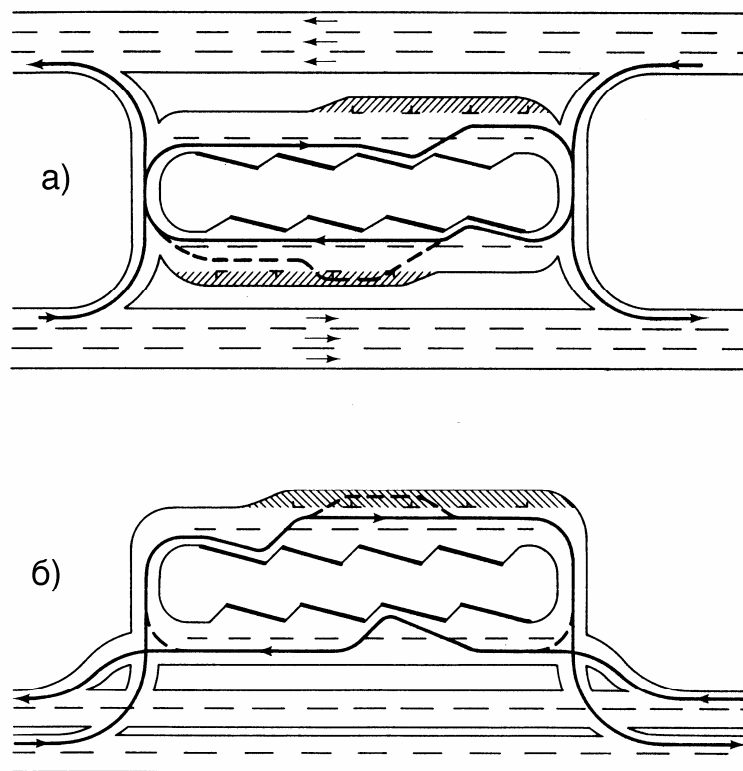
Слика 3.16 Варијанте геометријских решења ивичних стајалишта [3]

Уколико се, због потреба саобраћаја и околног простора, предвиђа аутобуско стајалиште као издвојени простор, таква геометрија је приказана на слици 3.17 за два аутобуса у низу.



Слика 3.17 Геометрија издвојеног линијског аутобуског стајалишта [3]

У градске саобраћајнице спадају и велики аутобуски терминуси који се разликују и по функционалном и по геометријском облику. На слици 3.18 је приказан један од типова аутобуских терминуса.



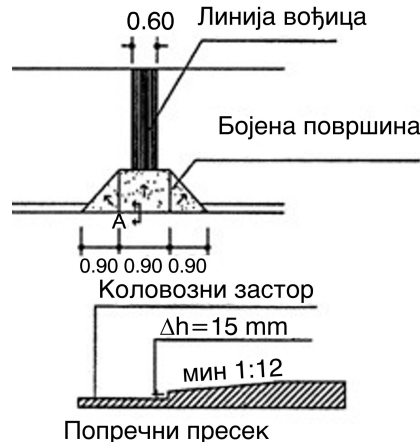
Слика 3.18 Аутобуски терминус

На слици 3.18 а) је приказана шема паралелне станице између две једносмерне улице, а под б) паралелна станица са стране двосмерне улице.

### 3.5 ПЕШАЧКЕ СТАЗЕ И ТРОТОАРИ

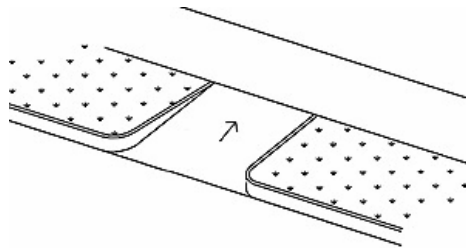
Основни појам помоћу кога може да се дефинише пешачка стаза је габарит. За просечног пешака је усвојена габаритна ширина од 0.75 m. То значи да је простор за пешачку стазу једнак  $n \times 0.75 + 0.50$  m, односно довољан број ширина пешака са додатним заштитиним одстојањем од ивице коловоза. Посебну пажњу треба посветити хендикепираним учесницима у пешачком саобраћају, као што су слепе особе и инвалиди који су везани за колиџа. Пешачке стазе треба да буду њима прилагођене тако да се крећу са што

мање напора. Ивичњаке у зонама пешачких прелаза треба конструисати тако, да обе претходно наведене групе учесника могу да савладају висинске разлике између пешачких стаза и коловозних површина. То се постиже разним варијантама рампи. Једна од тих је приказана на слици 3.19.



Слика 3.19 Рампа за савладавање денивелације између тротоара и коловозне површине на пешачком прелазу

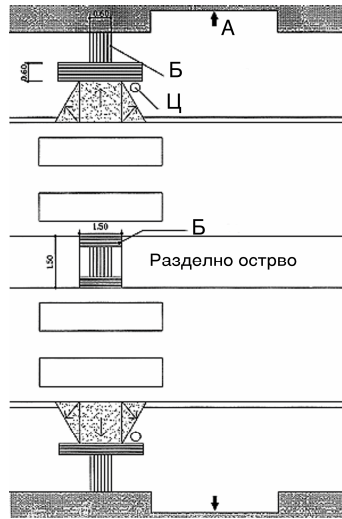
Могућа је и варијанта којом је коловозна површина повезана рампом са тротоаром, што је повољније за инвалидска колица јер не изазива поскакивање.



Слика 3.20 Континуална рампа

На слици 3.21 приказан је пешачки прелаз модификован за потребе инвалида везаних за колица и слепих људи. Линије вођице испред и иза рампе својом друкчијом текстуром упозоравају хендикепиране особе да се налазе у зони пешачког прелаза. Исти систем, друкчије текстуре, користи се у средини пешачке стазе. Њом се користе слепи људи, јер их она наводи да се крећу по средини тротоарске површине, довољно далеко од ивице

тротоара и коловозне површине, што за такве кориснике пешачких стаза представља систем безбедности.



Слика 3.21 Пешачки прелаз (А - улаз у зграду, Б - линије вођице, Ц - Саобраћајни сигнал са командном таблом)

### 3.6 БИЦИКЛИСТИЧКЕ СТАЗЕ

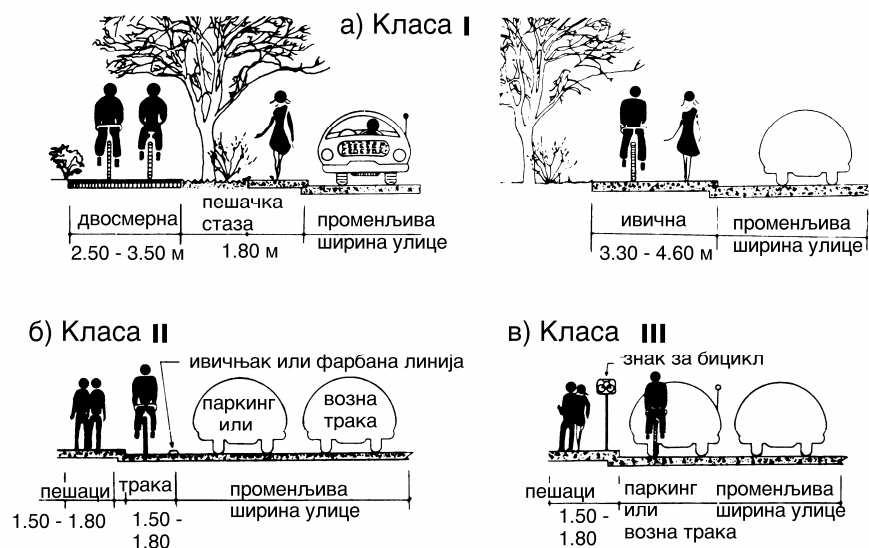
Бициклом могу бити решене, на лак начин, растуће потребе транспорта у урбаним срединама. Међутим, треба на прави начин разумети његове могућности у будућем планирању саобраћаја. Бициклом се може путовати до школе, колеџа, факултета, великих пословних центара, рекреационих центара. Ова врста путовања у сваком случају зависи од многих променљивих чинилаца: типа насеља, врста делатности које су на располагању, топографских фактора и временских услова.

Бицикличке стазе су подељене на:

- **Класу I** коју чине бицикличке стазе које су у потпуности физички одвојене од моторног саобраћаја, а њихово путно земљиште се налази у зони регулације целе саобраћајнице
- **Класу II** коју чине бицикличке стазе које се налазе на коловозној површини, али су од моторног саобраћаја одвојене бојеним маркерима или линијом у боји
- **Класу III** коју чине бицикличке стазе које деле коловозну површину са моторним возилима и обележене су једино вертикалним сигнаlima

Већина бицикличких стаза припада, из практичних разлога, класи **II**. У цивилизованим земљама, бицикличке стазе су саобраћајним прописима заштићене, као учесници у саобраћају.

На слици 3.22 су приказане бициклическе стазе у оквиру саобраћајница за моторна возила.



Слика 3.22 Класе бициклических стаза

Величина габарита за бицикlistу је 0.60 x 2.25 m, а габарит бициклическе стазе је 1.00 x 2.50 m.

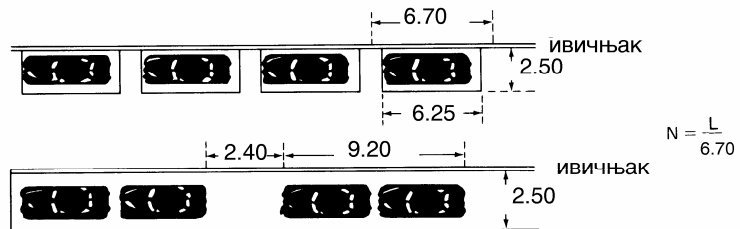
### 3.7 ПАРКИРАЛИШТА

Један од већих проблема сваког града је простор за паркирање путничких аутомобила. У развијеним земљама важи принцип да се до градова долази колима која бивају остављана на великим паркинг просторима по ободу града, а одатле да се користи ЈГП - шински или аутобуски и тролејбуски. Међутим, наслеђе већег броја градова диктира друкчије услове - долазак колима до радног места које се налази у неком од пословних центара града. Та, наслеђена непогодност, доводи до стварања великих гужви у вршним периодима, а самим тим и до проблема паркирања великог броја возила. На који начин тај проблем може бити решен?

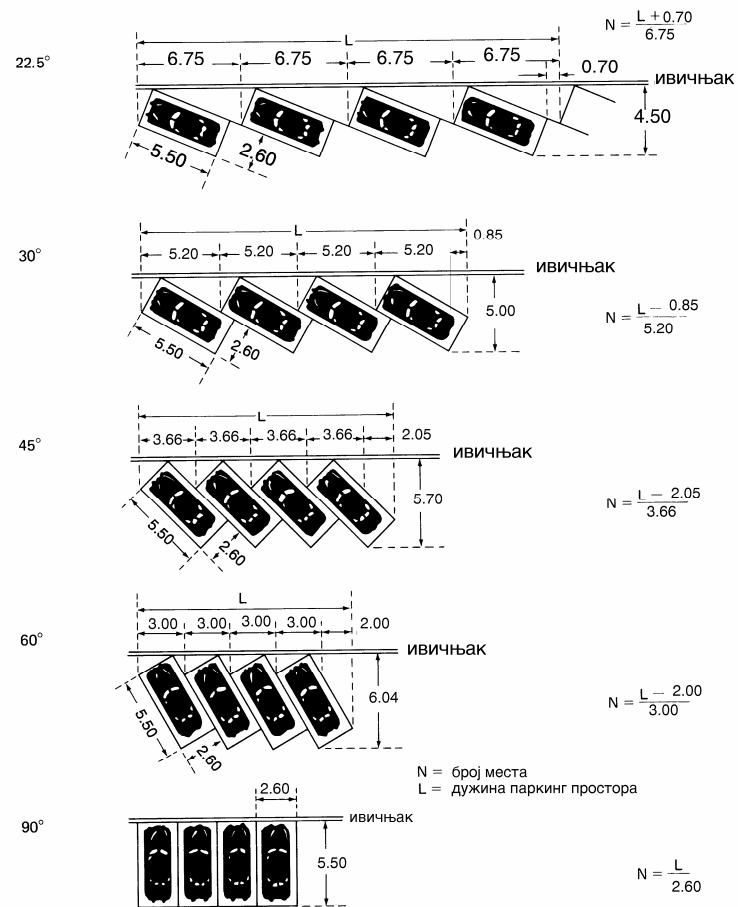
Један од неминовних, али превазиђених начина је ивично паркирање:

- паралелно ивичњаку, слика 3.23
- под углом од 22.5°, 30°, 45°, 60° и 90°, слика 3.24.





Слика 3.23 Паралелно паркирање [5]

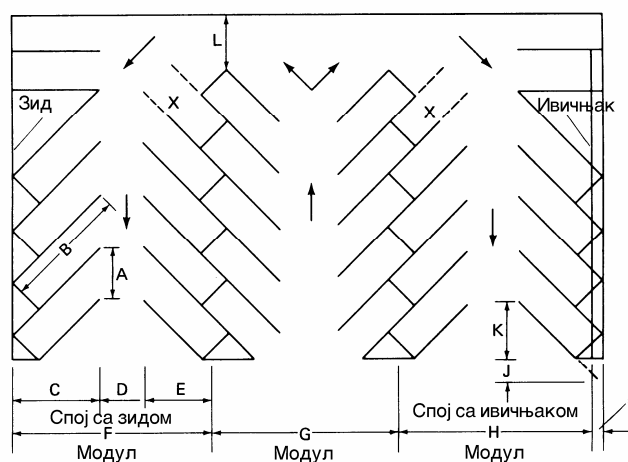


Слика 3.24 Варијанте косог паркирања [5]

Са становишта безбедности, паралелно паркирање је најчешћи облик ивичног паркирања. Паркирање под углом, пак, омогућава већи број паркинг места од паралелног ивичног паркирања, али оно заузима већу површину и одузима простор од саобраћајне траке.

Међутим, у данашње време су интересантније могућности паркирања на мањим слободним површинама, али у више нивоа. То изискује изграђивање вишеспратних, надземних или подземних објеката који могу “прогутати” велики број путничких возила. Такви објекти могу бити изграђени или у зонама трговинских центара или у зонама пословних објеката.

На слици 3.25 је приказана диспозиција могућих модуларних решења при различитим угловима паркирања на великим паркинзима.

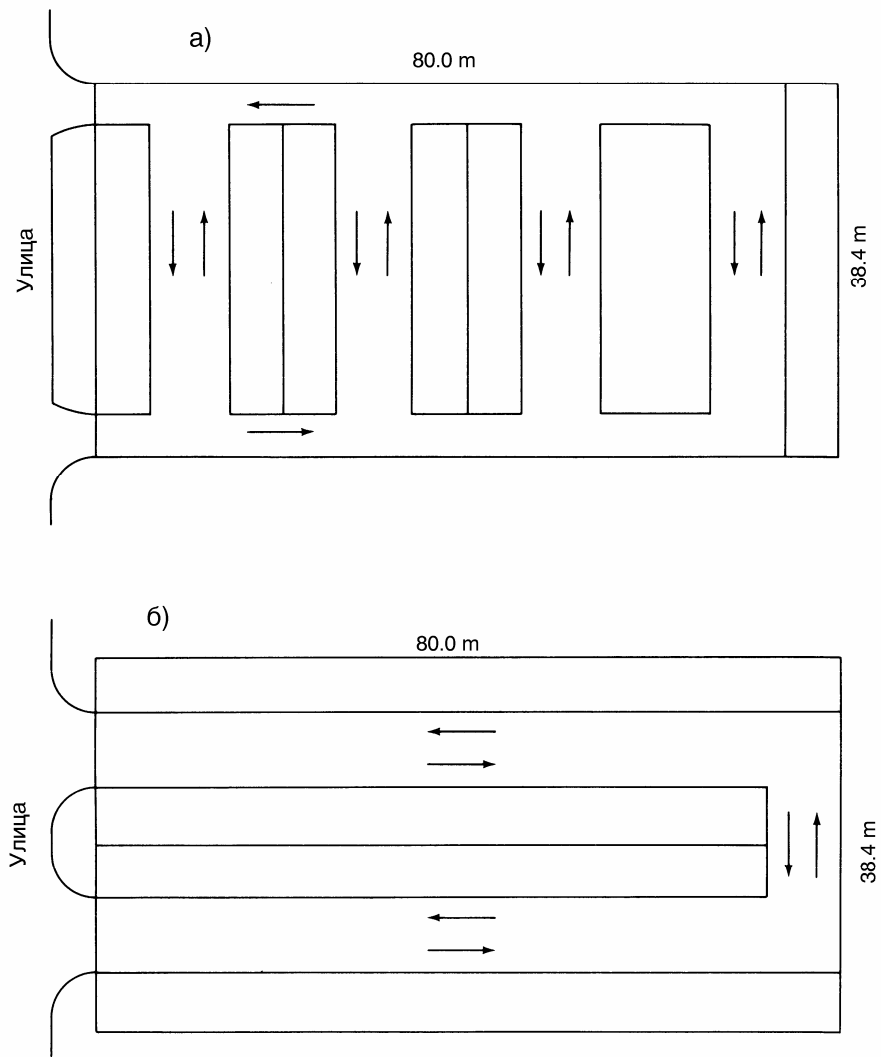


Слика 3.25 Диспозиција паркиралишта [6]

Модуларне димензије, које одговарају диспозицији са слике 3.25 су:

	на слици	45°	60°	75°	90°
димензије [m]	<b>A</b>	3.90	3.20	2.85	2.75
	<b>B</b>	7.65	6.70	6.00	5.65
	<b>C</b>	5.35	5.80	5.95	5.65
	<b>D</b>	3.70	4.90	7.00	7.95
	<b>E</b>	4.70	5.35	5.75	5.65
	<b>F</b>	13.70	16.00	18.70	19.20
	<b>G</b>	13.00	15.60	18.60	19.20
	<b>H</b>	13.00	15.30	17.90	18.50
	<b>I</b>	0.60	0.70	0.76	0.76
	<b>J</b>	1.90	0.85	0.15	0.00
	<b>K</b>	3.40	2.55	1.55	0.00
	<b>L</b>	4.30	4.30	4.30	4.30
	<b>-</b>	7.30	7.30	7.30	7.30

Паркинг простори могу бити и следећег облика, уколико су намењени кратком задржавању корисника. То су објекти који се налазе у близини тржних центара. На слици 3.26 су приказана два таква типа паркинга на истој површини. Први са капацитетом од 91 места (а), а други са капацитетом од 110 места (б).



Слика 3.26 Високофреквентни паркинг простори [6]

Паркинг простори могу бити и вишеетажни. Најпогоднији облик таквог паркинг простора су подземне паркинг гараже, испод стамбених и пословних објеката. Паркинг места су димензионисана на исти начин као и паркинг места на отвореним паркиралиштима. Треба једино водити рачуна о нагибима узлазно-силазних рампи, који не смеју бити већи од 12 %. Ширине правих рампи су 2.75 m, а у кривини 5 m. Максимално витоперење рампи у кривини је 4%.

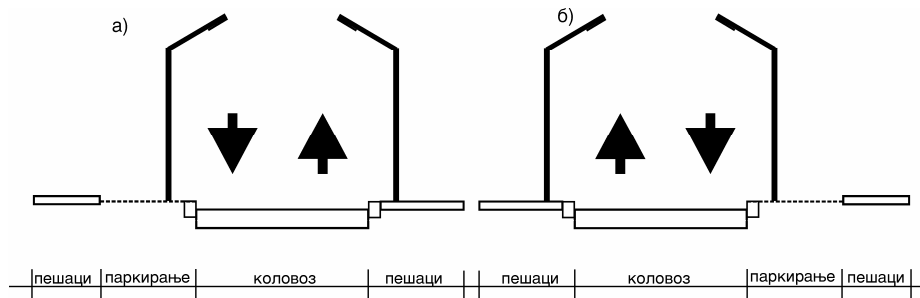
Гараже могу бити и механичке. Помоћу хидрауличних лифтова аутомобили бивају постављани на паркинг места. Овај тип гаража је веома ефикасан за велики број возила на једном месту, а на релативно малој површини земљишта. Ефекат оштећења возила је елиминисан, јер возачи не врше маневрисање у паркинг простору, већ предају кола и кључеве оператеру. Због тога, механичке гараже функционишу са малим бројем запослених радника.

### 3.8 КОНЦЕПТ УМИРЕЊА САОБРАЋАЈА

Овим концептом су обухваћена последња два типа градских улица:

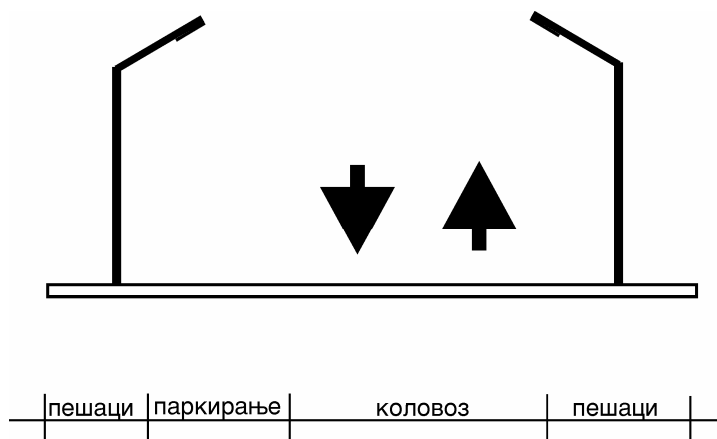
- приступне улице I реда
- приступне улице II реда

Приступне улице I реда (ПУ - I) су оне у којима је у ширини регулације обухваћен двосмерни коловоз, управно паркирање и тротоари са обе стране коловоза, а уз стамбене објекте. Карактеристика овог типа улица су мале брзине возила и често смицање попречног профила у односу на осовину. Такво вођење трасе, уз постављање лежећих полицајаца, не дозвољава веће брзине од 30 km/h. На слици 3.27 је приказан попречни профил приступне улице I реда.



Слика 3.27 Приступна улица I реда

Приступне улице II реда (ПУ - II), за разлику од ПУ - I, немају денивелисане површине коловоза, паркинга и тротоара. Основни концепт је да се све три површине налазе у једном нивоу, као што је приказано на слици 3.28.



Слика 3.28 Приступна улица II реда

У овом рангу улица, доминантну улогу имају пешаци. Путнички аутомобили или лака теретна возила ту залазе једино ради паркинг места испред стамбених објеката, односно ради селидби. Такође, габаритно решење мора да задовољи захтеве комуналних и ватрогасних возила. Што се димензија паркинг места тиче, оне су исте као за већ наведене паркинг просторе у поглављу 3.7. Ширине коловозних површина и тротоара морају одговарати модуларним величинама, које су тагође раније објашњене.

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1] ASSHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets", Washington, DC, 1994.
- [2] Слободан Контић, **Геодезија**, V издање, Научна књига, Београд 1987.
- [3] Вукан Р. Вучић, **Јавни Градски Превоз**, Научна књига, Београд 1987.
- [4] JASON C. YU, Transportation Engineering - Introduction to planning, design, and operations, 1982 by Elsevier North Holland, Inc.
- [5] Homburger, W.S., and Kell, J.H., 1981. **Fundamentals of Traffic Engineering**, tenth Edition, Berkeley, CA: Institute of Transportation Studies.
- [6] **Parking Principles**. Highway Research Board, 1971. Special report 125. Washington, DC.

# 4

## АЕРОДРОМИ

### 4.1 УВОД

Појам авијације је стар свега 100 година. Настао је почетком двадесетог века, после првог лета браће Рајт (Orville Wright, Wilbur Wright) 1903. године поред места Кити Хоук (Kitty Hawk) у Северној Каролини. Први аеродроми су били на травнатим ливадама, али каснијим развијањем авиоиндустрије настала је потреба, у годинама пре другог светског рата, да се са ливада (airfields), пређе на модерне коловозне површине са свим потребним пратећим објектима. Можемо казати да је права орагнизација и масовна изградња ваздушних лука, аеродрома (airports), почела непосредно после рата, масовним развојем путничког авиообраћаја и тежњом да се за што краће време савладају што веће раздаљине. Интересантан је податак да је 1939. године регистровано 4.5 милиона путника, који су користили авионе као превозно средство.

Према Анексу 14 ИКАО (ICAO), аеродром је одређена површина на копну или води која обухвата зграде, инсталације и опрему, а намењена је у целини или делом: слетању, узлетању и кретању авиона.

Суштински, аеродроми су објекти који служе за одвијање ваздушног саобраћаја на земљи.

## 4.2 КАТЕГОРИЗАЦИЈА АЕРОДРОМА

Према намени, аеродроми су подељени на:

- цивилне аеродроме и то за јавни ваздушни саобраћај, спортско-туристичке потребе, летачку обуку и пољопривредну авијацију
- војне аеродроме који су намењени само за војне потребе
- мешовите аеродроме који су у суштини војни аеродроми, али су у одређеном обиму намењени цивилном саобраћају

Међународно цивилно удружење авијатичара (International Civil Aviation Organization ICAO) је, у свом Анексу 14, аеродроме категоризовало према степену опремљености за слетање авиона.

Према опремљености полетно слетних стаза ПСС (runways), аеродроми могу бити коришћени за визуелно (неинструментално) слетање и инструментално слетање. Ознаку категоризације чине кодни број и кодно слово. Кодним бројем је означена референтна дужина потребна за полетање меродавног авиона, а кодним словом распон крила и распон спољње ивице спољњег точка стајног трапа меродавног авиона. У табели 1 је приказан распоред кодних бројева и кодних слова.

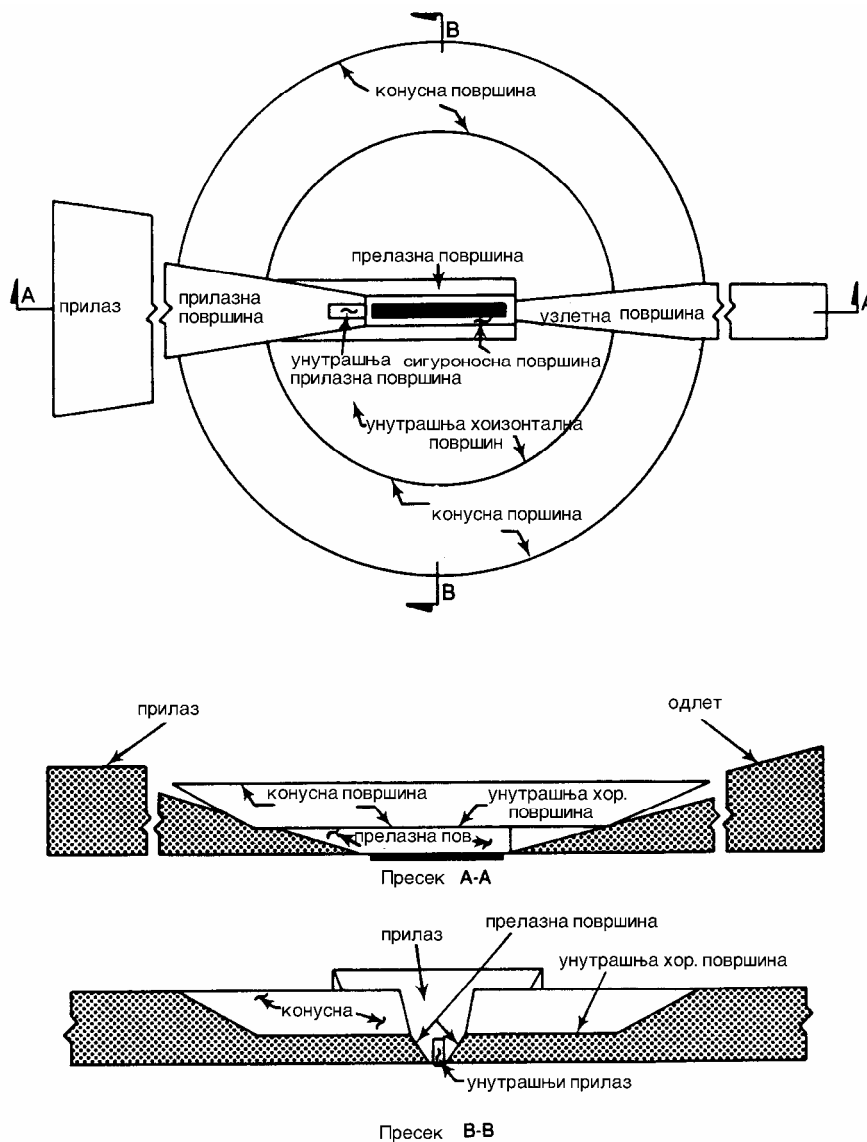
Табела 1. Рефрентни кодови аеродрома

Кодни елемент 1		Кодни елемент 2		
Кодни број	Референтна дужина за полетање	Кодно слово	Распон крила	Распон спољњег точка стајног трапа
<b>1</b>	краћа од 800 m	<b>A</b>	до 15 m, али не укључујући 15 m	до 4.5 m, али не укључујући 4.5 m
<b>2</b>	од 800 m до 1200 m, али не укључујући 1200 m	<b>B</b>	од 15 m до 24 m, али не укључујући 24 m	од 4.5 m до 6.0 m, али не укључујући 6.0 m
<b>3</b>	од 1200 m до 1800 m, али не укључујући 1800 m	<b>C</b>	од 24 m до 36 m, али не укључујући 36 m	од 6.0 m до 9.0 m, али не укључујући 9.0 m
<b>4</b>	1800 m и преко	<b>D</b>	од 36 m до 52 m, али не укључујући 52 m	од 9.0 m до 14.0 m, али не укључујући 14.0 m
		<b>E</b>	од 52 m до 65 m, али не укључујући 65 m	од 9.0 m до 14.0 m, али не укључујући 14.0 m

Треба истаћи да подужни нагиб, код ПСС са кодним бројем 3 и 4 износи до 1%, а код ПСС са кодним бројем 1 и 2 до 2%. Минимални радијус вертикалног заобљена код ПСС са кодним бројем 4 је 30000 m, са кодним бројем 3 је 15000 m и са кодним бројем 1 и 2 је 7500 m. Промена подужног нагиба је до 1.5% код ПСС са кодним бројем 3 и 4, а 2% код ПСС са кодним бројем 1 и 2.

### 4.3 ЗАШТИЋЕНЕ ЗОНЕ АЕРОДРОМА

Да би било омогућено сигурно маневрисање авиона у зони аеродрома, неопходно је дефинисати ваздушни простор у коме нема физичких природних или вештачких препрека. Потребне зоне ограничења утврђене су системом површина којима је ограничена дозвољена висина објекта у зони аеродрома. Те површине су приказане на слици 1:



Слика 1. Заштићене зоне аеродрома



conical - конусна површина, transitional - прелазна површина, strip - сигурносна површина, approach - прилазна површина, inner approach - унутрашња прилазна површина, inner horizontal - унутрашња хоризонтална површина, take-off climb - узлетна површина.

Прилазна површина (approach) је замишљена површина за сигурно слетање авиона и састоји се из једне равни или комбинације две равни под углом у односу на тло испред полетно слетне стазе.

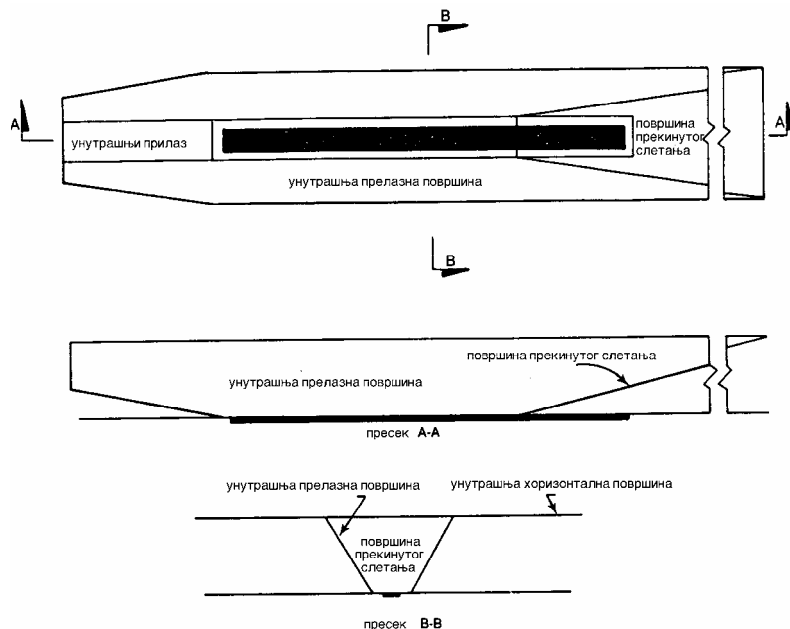
Узлетна површина (take-off climb) је замишљена површина за сигурно узлетање авиона и има одређене контуре.

Унутрашња хоризонтална површина (inner horizontal) је замишљена кружна површина изнад референтне тачке аеродрома. Њом је одређена релевантна висина изнад које може бити изведен сигуран маневар авиона у кругу изнад аеродрома.

Конусна површина (conical) је прелазна површина хоризонталне равни.

Прелазна површина (transitional) је бочна површина под нагибом с обе стране ПСС, а изван крајева сигурносне површине до висине унутрашње хоризонталне површине. Нагиб прелазне површине зависи од категоризације аеродрома.

На слици 2 су приказане додатне површи за ограничење препрека код аеродрома са прецизним инструменталним полетно слетним стазама.



Слика 2. Додатне површи са прецизним инструменталним слетањем

inner approach - унутрашња прилазна површина, inner transitional - унутрашња прилазна површина, balked landing - површина за прекинуто слетање

У табели 1 су приказане карактеристичне димензије прилазних површина према кодном броју аеродрома.

Табела 1.

кодни број	неинструментално кодни број				непрецизан прилаз кодни број			прецизан прилаз категорије		
	1	2	3	4	1.2	3	4	I	II и III	3.4
кодни број	1	2	3	4	1.2	3	4	1.2	3.4	3.4
Површина и димензије <sup>a</sup>										
КОНУСНА										
нагиб (%)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
висина (m)	35	35	75	100	60	75	100	60	100	100
УНУТРАШЊА ХОРИЗОНТАЛНА										
висина (m)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
полупречник (m)	2000	2500	4000	4000	3500	4000	4000	3500	4000	4000
УНУТРАШЊА ПРИЛАЗНА										
ширина (m)	-	-	-	-	-	-	-	90	120	120
одстојање од прага (m)	-	-	-	-	-	-	-	60	60	60
дужина (m)	-	-	-	-	-	-	-	900	900	900
нагиб (%)	-	-	-	-	-	-	-	2.5	2	2
ПРИЛАЗНА										
дужина унутрашње ивице (m)	60	80	150	150	150	300	300	150	300	300
одстојање од прага (m)	30	60	60	60	60	60	60	60	60	60
бочна дивергенција са обе стране (%)	10	10	10	10	15	15	15	15	15	15
ПРВА ДЕОНИЦА										
дужина (m)	1600	2500	3000	3000	2500	3000	3000	3000	3000	3000
нагиб (%)	5	4	3.33	2.5	3.33	2	2	2.5	2	2

ДРУГА ДЕОНИЦА										
дужина (m)	-	-	-	-	-	3600 <sup>6</sup>	3600 <sup>6</sup>	12000	3600 <sup>6</sup>	3600 <sup>6</sup>
нагиб (%)	-	-	-	-	-	2.5	2.5	3	2.5	2.5
ХОРИЗОНТАЛНА ДЕОНИЦА										
дужина (m)	-	-	-	-	-	8400 <sup>6</sup>	8400 <sup>6</sup>	-	8400 <sup>6</sup>	8400 <sup>6</sup>
укупна дужина (m)	-	-	-	-	-	15000	15000	15000	15000	15000
ПРЕЛАЗНА										
нагиб (%)	20	20	14.3	14.3	20	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3
УНУТРАШЊА ПРЕЛАЗНА										
нагиб (%)	-	-	-	-	-	-	-	40	33.3	33.3
ПОВРШИНА ЗА НЕУСПЕЛО СЛЕТАЊЕ										
дужина унутрашње ивице (m)	-	-	-	-	-	-	-	90	120	120
одстојање од прага (m)	-	-	-	-	-	-	-	4	1800 <sup>a</sup>	1800 <sup>a</sup>
бочна дивергенција са обе стране (%)	-	-	-	-	-	-	-	10	10	10
нагиб (%)	-	-	-	-	-	-	-	4	3.33	3.33

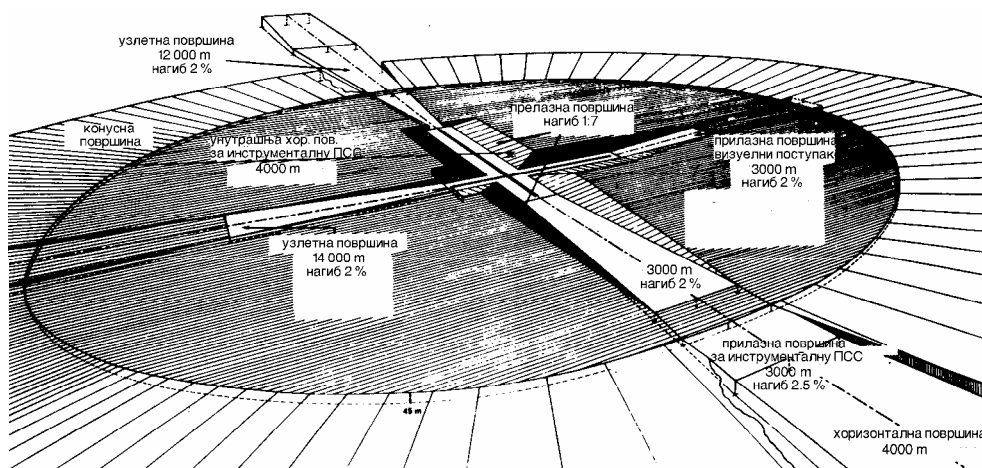
<sup>a</sup> Све димензије су мерене хоризонтално осим ако друкчије није назначено

<sup>6</sup> Променљиве дужине (прилазна површина може бити хоризонтална иза тачке у којој је 2.5% пресечни нагиб)

<sup>4</sup> Растојање до краја сигурносне површине

<sup>a</sup> Или крај ПСС који је краћи

Да би лакше било уочено шта заштићене зоне аеродрома представљају у просторном смислу, може се видети на слици 3, на којој је приказана скица заштићених зона аеродрома са две ПСС, од којих је једна опремљена за инструментално слетање и полетање, а друга за визуелно слетање и полетање (неинструментално).



Слика 3. Заштићене зоне аеродрома са две ПСС

#### 4.4 ГЕОМЕТРИЈА АЕРОДРОМА

Геометрија ПСС и рулних стаза, као и платформи и стајанки дефинисана је према меродавном авиону за одређени аеродром. Избор меродавног авиона зависи од укупне слике циљних путовања и области коју аеродром треба да покрије.

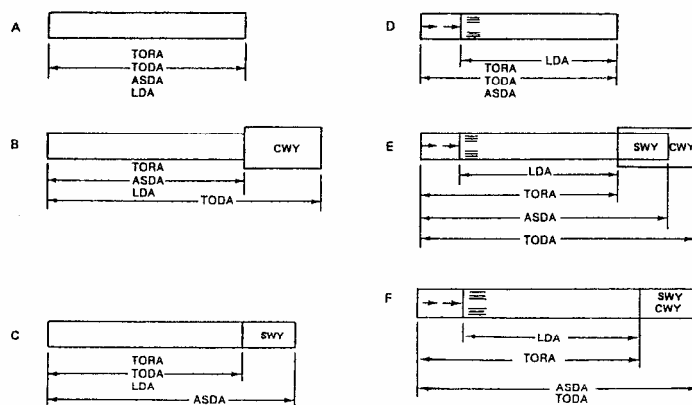
Фактори који утичу на дужину ПСС су следећи:

- карактеристике меродавног авиона
- временски услови, нарочито ветар и температура
- карактеристике ПСС са становишта нагиба и коловозне површине
- фактори локације аеродрома, надморска висина, топографија околног простора, ефекти барометарског притиска

Обавезне димензије за заустављање, продужетак стазе за заустављање и употребу помереног прага ПСС су одређене према меродавном авиону за који се пројектује аеродром. Дефиниције тих дужина су:

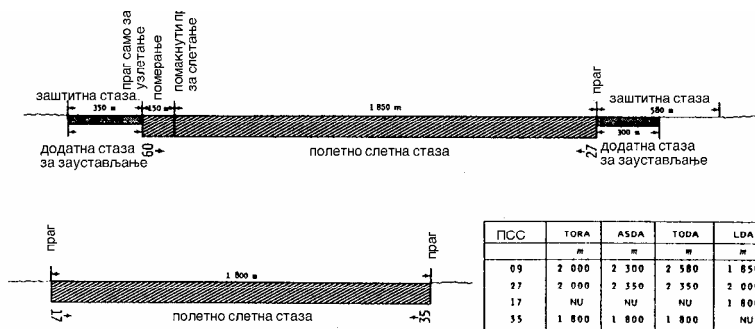
- ТОРА (TORA - take-off run available) је прописана дужина потребна за безбедан залет и полетање
- ТОДА (TODA - take-off distance available) је дужина потребна за полетање и још додатни продужетак за заустављање (clearway), ако је предвиђен
- АСДА (ASDA - accelerate stop distance available) је дужина потребна за заустављање авиона при неуспелом полетању
- ЛДА (LDA - landing distance available) је дужина ПСС потребна за безбедно спуштање авиона

На слици 4 су приказане наведене обавезне дужине ПСС.



Слика 4. Обавезне дужине ПСС

На слици 5 су приказане скице на којима се одређују обавезне дужине на примеру две ПСС.



Слика 5. Приказ обавезних дужина ПСС

У табели 2 су приказане ширине ПСС према кодном слову и кодном броју.

Табела 2.

Кодни број	Кодно слово				
	A	B	C	D	E
1 <sup>a</sup>	18 m	18 m	23 m	-	-
2 <sup>a</sup>	23 m	23 m	30 m	-	-
3	30 m	30 m	30 m	45 m	-
4	-	-	45 m	45 m	45 m

Ширина ПСС са прецизним прилазом не би смела да буде мања од 30 m за кодни број 1 и 2.

У табели 3 су приказане димензије рулних стаза РС:

Табела 3.

Физичке карактеристике	Кодно слово				
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
мин. ширина коловоза (m)	7.5	10.5	18 <sup>a</sup> 15 <sup>b</sup>	23 <sup>a</sup> 18 <sup>a</sup>	23
коловоз и банкина (m)	-	-	25	38	44
сигурносна зона (m)	27	39	57	85	93
сигурносна зона под нагибом (m)	22	25	25	38	44
минимално одстојање од спољне ивице трапа до ивице РС (m)	1.5	2.25	4.5 <sup>a</sup> 3 <sup>b</sup>	4.5	4.5
Минимално растојање између осовине РС и:					
осовине инструменталне ПСС					
кодни број 1	82.5	87	-	-	-
кодни број 2	82.5	87	-	-	-
кодни број 3	-	-	168	176	-
кодни број 4	-	-	-	176	182.5
осовине неинструменталне ПСС					
кодни број 1	37.5	42	-	-	-
кодни број 2	47.5	52	-	-	-
кодни број 3	-	-	93	101	-
кодни број 4	-	-	-	101	107.5
осовине РС (m)	23.75	33.5	44	66.5	80
објекта					
на РС <sup>o</sup> (m)	16.25	21.5	26	40.5	47.5
авиона на чекању (m)	12	16.5	24.5	36	42.5
максимални подужни нагиби РС:					
застор (%)	3	3	1.5	1.5	1.5
промена нагиба (%) / (m)	1/25	1/25	1/30	1/30	1/30
максимални попречни нагиб:					
коловоза РС (%)	2	2	1.5	1.5	1.5
нагнутих делова заштитне зоне на горе (%)	3	3	2.5	2.5	2.5
нагнутих делова заштитне зоне на доле (%)	5	5	5	5	5
минимални радијус вертикалне кривине (m)	2500	2500	3000	3000	3000
минимална дужина прегледности (m)	150 са висине од 1.5	200 са висине од 2	300 са висине од 3	300 са висине од 3	300 са висине од 3

<sup>a</sup> РС коју ће користити авиони са растојањем кабине од средишта стајног трапа  $\geq 18$  m.

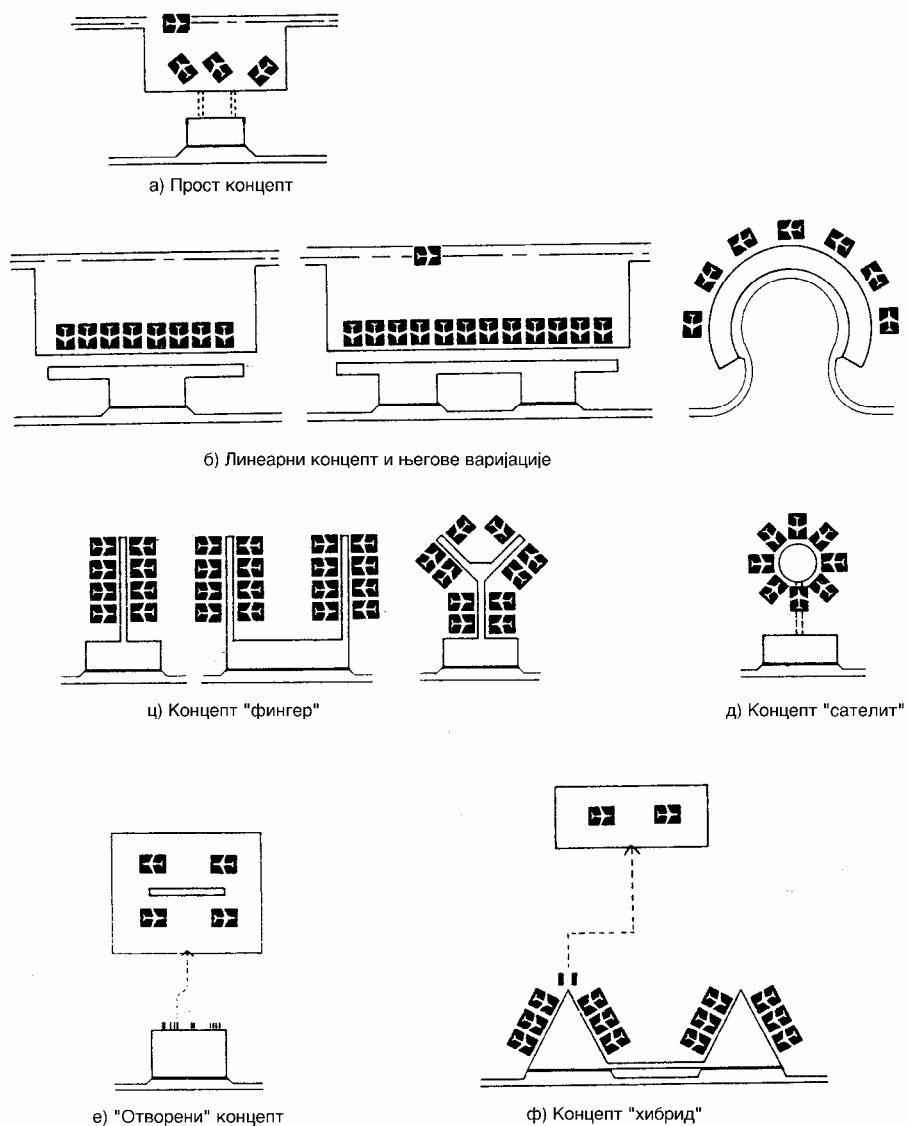
<sup>b</sup> РС коју ће користити авиони са растојањем кабине од средишта стајног трапа  $< 18$  m.

<sup>ч</sup> РС коју ће користити авиони спољним распоном стајног трапа  $\geq 9$  m.

<sup>А</sup> РС коју ће користити авиони спољним распоном стајног трапа  $< 9$  m.

<sup>е</sup> растојање друге РС од авиона који већ стоји на једној РС.

На слици 6 су приказани могући начини формирања пристанишних платформи.

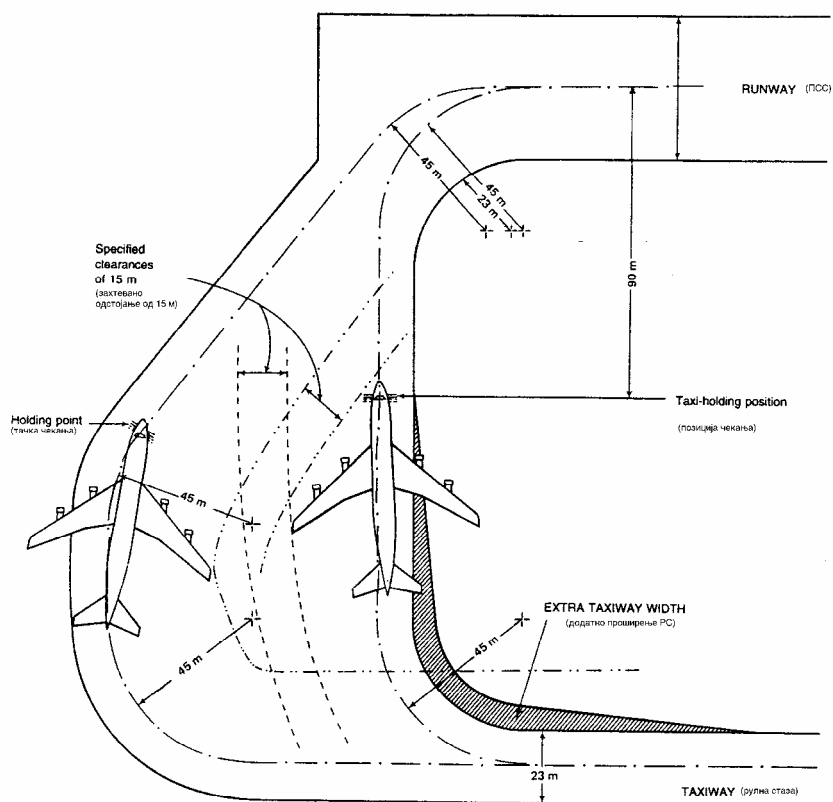


Слика 6. Варијације пристанишних платформи

Величине платоа зависе од следећих параметара:

- величине и маневарских особина авиона за које је пројектована платформа
- обима саобраћаја на платформи
- захтеваног слободног простора
- начина приласка и одласка авиона са платформе
- композиције излазних пунктова из терминала
- захтева за опслуживањем авиона
- рулних стаза и сервисних саобраћајница

На крају скоро сваке ПСС постоји место на коме је предвиђено да авиони сачекују да се ослободи ПСС. То је позиција чекања (holding bay). На слици 7 је приказан један пример позиције чекања за два Б-747.



Слика 7. Позиција чекања

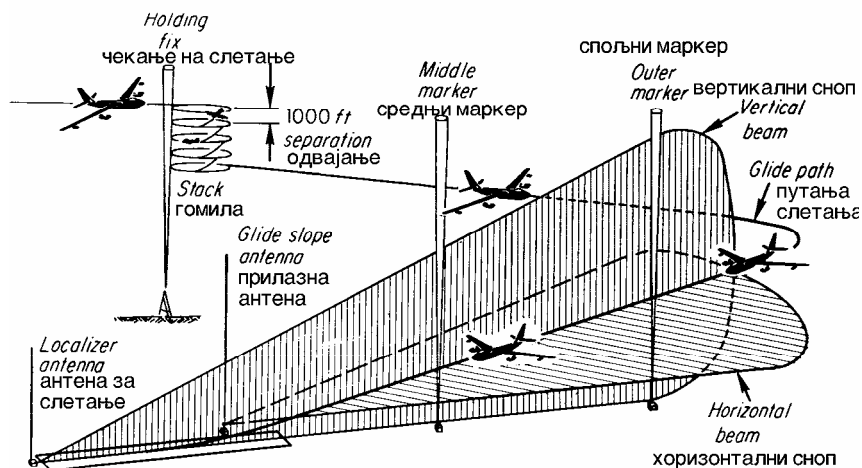


#### 4.5 СИГНАЛИЗАЦИЈА

Веома битну улогу у дефинисању простора за кретање авиона, како на пистама тако и у ваздуху има систем сигнализације.

Навигациони системи служе за вођење авиона током лета изнад воде, копна и у близини аеродрома. Најзначајнији такав навигациони уређај је VOR (VOR - Very-High Frequency Omnidirectional Station) који шаље радио сигнале у свим правцима. Сваки такав сигнал се односи на одређени курс којим лети одређени авион. За мерење одстојања служи опрема под називом ДМЕ (DME Distance-Measuring Equipment) коју треба инсталирати у близини VOR-станица и она сигнализује пилоту растојање од авиона до VOR станице. Следећи битан навигациони систем је развијан и у почетку намењен искључиво војној авијацији, али га је касније преузела цивилна авијација, а то је ТАКАН, ВОТАК и VOR-ДМЕТ (TACAN, VORTAC, VOR-DMET). Ови системи служе, такође, за мерење одстојања од VOR станица. Радар дугог домета за контролисање кретања авиона у ваздуху познат под називом ARSR (ARSR - Air Route Surveillance Radar) служи контролорима лета да прате и воде авионе жељеним курсевима.

У другу групу инструмената за навођење спада систем за контролисање приземљења авиона ИЛС (ILS - Instrument Landing System). Њега чине два предајника на аеродрому. Један се зове "локалајзер" (localizer) и емитује поруку пилоту да ли је лево или десно од линије слетања, а други емитује косу равну (чији нагиб варира од 2 до 3 степена) прилаза ПСС. На слици 8 се види улога ИЛС система за навођење.

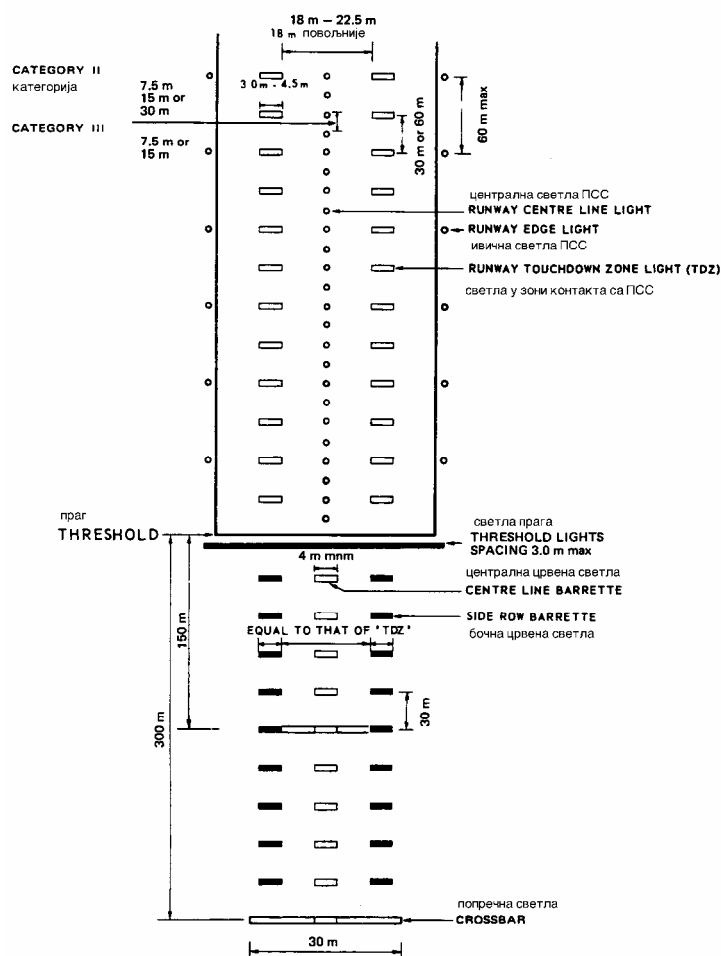


Слика 8. Уређаји за инструментално слетање авиона (ILS)

Holding fix - тачка чекања за прилаз операцији слетања, Localizer antenna - антена "локалајзера", Middle marker - средњи маркер, Outer marker - спољни маркер, Glide slope antenna - антена за равну слетања, Vertical beam -

вертикални зрак, Horizontal beam - хоризонтални зрак, Glide path - путања слетања.

Следећи битни елемент сигнализације су прилазна светла која се налазе испред прага ПСС. На слици 9 је приказан распоред прилазних светала.



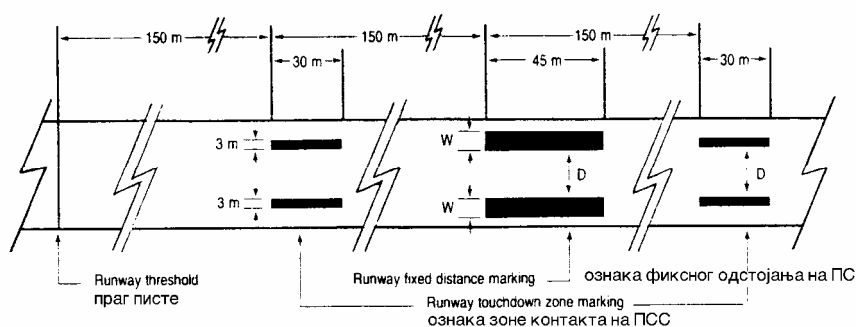
Слика 9. Распоред прилазних светала и светала у ПСС

На слици је приказана светлосна сигнализација за инструментално слетање категорије II и III. Светла која означавају осовину ПСС (Runway centre line light) су беле боје. Ивична светла (Runway edge light) су бела. Светла у зони додира точкова при слетању (Runway touchdown zone light) су бела. Светла која означавају праг ПСС (Threshold lights) су зелена из смера прилаза при спуштању, а црвена при заустављању авиона. Ивична светла у зони прилаза

(Side row barrette) су црвена. Светла која у прилазној зони означавају осовину (Center line barrette) и попречна светла (Crossbars) су бела.

Светла у рулној стази РС (Taxiway) која означавају осовину су зелена. Ивична светла у кривинама су плава. Светла у линији на позицији чекања су црвена.

За визуелно дневно слетање служи хоризонтална маркација на ПСС и то белом фарбом, што је приказано на слици 10.

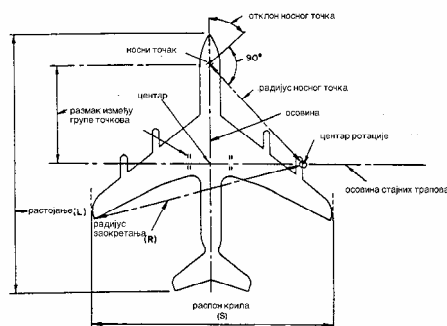


Слика 10. Хоризонтална маркација фарбом

Хоризонталном маркацијом, у виду бројева, се на почетку ПСС означава њена оријентација у односу на азимут. Додатно слово указује на положај ПСС уколико их има више паралелних.

#### 4.6 ГАБАРИТИ АВИОНА

Пројектовање аеродромских површина, пре свега зависи од димензија авиона - могућег меродавног авиона. На слици 11 су приказане основне димензије авиона, а у табели 4 су приказане димензије за актуелне типове авиона.



Слика 11. Димензије авиона

Nose wheel angle - отклон носног точка, Nose gear - носни точак, Wheel base - распон стајног трапа, Length - дужина, Wing span - распон крила, Turning radius - радијус окрета.

Табела 4

Тип авиона	Дужина (m)	Распон крила (m)	Отклон носног точка	Радијус окретања (m)
A300B-B2	46.70	44.80	50°	38.80 <sup>a</sup>
B727-100	40.59	32.92	75°	21.90 <sup>ч</sup>
B727-200	46.68	32.92	75°	25.00 <sup>ч</sup>
B737-100	28.65	28.35	70°	18.40 <sup>a</sup>
B737-200	30.58	28.35	70°	18.70 <sup>a</sup>
B747	70.40	59.64	60°	60.20 <sup>a</sup>
B747-400	70.67	64.90	60°	60.20 <sup>a</sup>
B757	47.32	37.95	60°	27.90 <sup>a</sup>
B767	48.51	47.63	60°	36.00 <sup>a</sup>
DC9-80	45.02	32.85	75°	25.10 <sup>б</sup>
DC10-10	55.55	47.35	65°	35.60 <sup>a</sup>
DC10-30	55.35	50.39	65°	37.30 <sup>a</sup>
DC10-40	55.54	50.39	65°	36.00 <sup>a</sup>
L1011	54.15	47.34	60°	35.59 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> У односу на крило

<sup>б</sup> У односу на нос

<sup>ч</sup> У односу на реп

#### 4.7 МЕТОДЕ ACN И PCN ЗА ОЦЕНУ НОСИВОСТИ КОЛОВОЗА

Aircraft Classification Number (ACN) - је број који изражава релативни ефекат авиона на коловозну конструкцију у односу на стандардизовану категорију постељице. Тај број је одређен у односу на центар критичне масе авиона која се преноси на критични точак. Нормално, на стајни трап делује максимална маса авиона, док је на платформи. Она се узима за одређивање ACN броја. У изузетним случајевима носни точак може имати критичније оптерећење.

Pavement Classification Number (PCN) - је број којим је изражена носивост коловоза за неограничен број операција.

Преоптерећење коловозне конструкције је последица или великог оптерећења или сталног повећања броја операција (броја полетања и слетања) или комбинације ова два утицаја. Оптерећења већа од пројектом предвиђеног скраћују век трајања коловозне конструкције, док мања оптерећења од пројектног продужавају век трајања. Са изузетком претераног преоптерећења, коловозна конструкција може да издржи тренутна већа оптерећења од пројектованог, а да се не догоди њен слом. Коловозна конструкција је пројектована тако да издржи одређени број

понављања преласка авиона са повећаним оптерећењем током пројектног периода. Резултат повремених малих преоптерећења је прихватљив, уколико је очекивано мало скраћење века трајања коловозне конструкције и релативно низак степен њене оштећености. За оне операције у којима је магнитуда учестаности преоптерећења детаљно анализирана, треба прихватити следеће предлоге:

- за флексибилне коловозе, повремени маневри авиона са ACN бројем мањим од 10%, преко регистрованог PCN броја, не би требало негативно да утичу на коловозну конструкцију
- за круте и комбиноване коловозе, у којима је крути коловоз доњи слој конструкције, повремени маневри авиона са ACN бројем мањим од 5%, преко регистрованог PCN броја, не би требало негативно да утичу на коловозну конструкцију
- ако је коловозна конструкција непозната, 5% је ограничавајући фактор и мора бити испоштован
- годишњи број маневара авиона тежих од меродавног можда неће прећи 5% од укупног годишњег броја операција

Такви маневри авиона тежих од меродавног нису дозвољени по коловозима на којима су видљива оштећења или ломови конструкције. Такви маневри треба да буду избегнути током периода отапања леда који је увучен у поре коловоза или кад је носивост коловоза или постељице ослабљена деловањем воде. Кад овакви маневри не могу да се избегну, овлашћене институције треба да прегледају и установе стање коловозне конструкције. Такође, треба да провере критеријум за повремено понављање маневара са тежим авионима од меродавног, који може да изазове значајно скраћење века коловозне конструкције и да захтева њену рехабилитацију.

#### 4.8 ОРИЈЕНТАЦИЈА АЕРОДРОМА

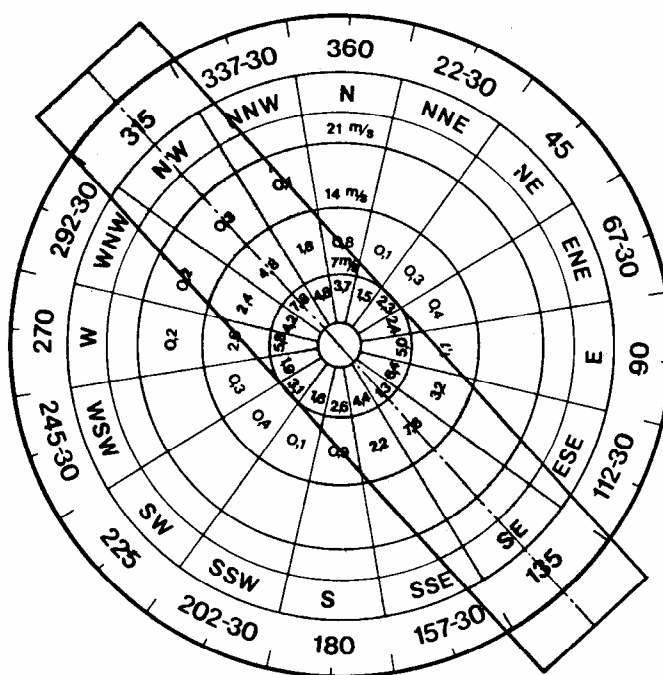
На оријентацију ПСС утичу следећи чиниоци:

- топографија терена, ради одређивања прилазних и узлетних површина
- употребљивост ПСС у односу на ветрове

Јачина и учестаност ветра из појединих смерова има доминантан утицај на употребљивост ПСС. Правила налажу да се узлетање и слетање авиона одвија у смеру супротном од смера ветра. Бочни ветар у овим фазама кретања авиона представља опасност. Он на авион делује различитим јачинама. Деловање ветра на авион зависи и од перформанси авиона. Према Анексу 14, допуштене су следеће јачине бочног ветра:

- 37 km/h за аеродроме са кодним словом А и В
- 24 km/h за аеродроме са кодним словом С
- 19 km/h за аеродроме са кодним словом D и E

Фактор употребљивости аеродрома не сме да буде мањи од 95% за авионе којима је намењен, у односу на појаву ветрова у области у којој се налази. Да би била правилно одређена оријентација ПСС, израчунава се покривеност ветровима простора на коме треба изградити аеродром. То се ради аналитички и графички. Резултат графичке обраде података о ветровима је приказан на слици 12.



Слика 12. Графички поступак обраде података о ветровима

Овим поступком је потребно средити податке о учестаности ветрова по правцу и интензитету. Обрађене вредности треба унети у одговарајуће поделе у систему кругова, на слици 12, који одговарају појединим брзинама ветрова и радијалних линија које указују на смерове ветрова. Преко тако урађене подлоге одреди се доминантни смер ветра, који указује на могућу оријентацију ПСС у односу на бочне ветрове.

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1] International Civil Aviation Organization ICAO Anex 14 to the Convention on International Civil Aviation, Volume I, Aerodrome Design and Operations, First Edition - July 1990
- [2] Aerodrome Design Manual, Doc 9175-AN/901, ICAO, Part I, Runways, 2<sup>nd</sup> edition - 1984.
- [3] Aerodrome Design Manual, Doc 9175-AN/901, ICAO, Part II, Runways, 3<sup>rd</sup> edition - 1991.
- [4] Robert Horonjeff, Planning & design of airports, second edition 1975.

# 5

## **ЖЕЛЕЗНИЦЕ**

### **5.1 УВОД**

Први кораци ка железничком транспорту датирају из прве половине деветнаестог века, када је између Балтимора и Охаја постављена пруга на којој су коњи били основни вучни погон. Крајем 1830. године железничка компанија Јужне Каролине је била прва која је почела да користи пару као погонску енергију.

При крају деветнаестог века, између 1870. и 1890. године, у Америци, овај вид транспорта је нагло почео да се шири у мрежу, ка западним деловима континента. Основни мотив је било освајање западних области, насељавање, гајење производа и њихов транспорт на источна тржишта [1].

У Енглеској, пак, после Стивенсоновог изума - локомотиве 1814. године, 27. септембра 1825. године је пуштена у сервис пруга између Стоктона и Дарлингтона. Вучу на тој прузи су чинили коњи и парна машина. Године 1830. је пуштена у промет пруга између Ливерпула и Манчестера. На тој прузи, дугој 31 миљу, једино вучно средство била је Стивенсонова "Ракета" [2].

У данашње време, железница конкурише осталим видовима саобраћаја, друмском и речном, захваљујући знатном повећању брзина и носивости. У данашње време транспорт путника железницом достиже брзине око 200 до 250 km/h.



## 5.2 ОСНОВНЕ КЛАСИФИКАЦИЈЕ ПРУГА

Да би железничка пруга била исправно пројектована мора претходно да се утврди количина терета, који одређеним коридором треба да буде превезен - фиктивна оптерећеност  $T_f$  (бр.т/дан) [3]:

$$T_f = T_V \cdot \frac{V}{100} + T_M \cdot \frac{P}{18 \cdot D}$$

где је:

$T_V$  - просечна дневна оптерећеност путничког саобраћаја у бруто тонама по дану (бр.т/дан)

$V$  - највећа дозвољена брзина на прузи

$T_M$  - просечна дневна оптерећеност теретног саобраћаја у бр.т/дану

$P$  - највећа дозвољена оптерећеност по осовини од кола у тонама

$D = 0.9$

За главне пруге I реда  $T_f \geq 25\ 000$  бр.т/дан

За главне пруге II реда  $T_f = 6\ 000 - 25\ 000$  бр.т/дан

За споредне пруге  $T_f \leq 6\ 000$  бр.т/дан

Следећи параметар на који треба обратити пажњу је намена пруге. Да ли је само за теретни саобраћај, путнички саобраћај или мешовити саобраћај. Наслеђени погледи на транспорт роба и људи железницом су усмеравали конструкторе на пројектовање пруга за мешовит и теретни саобраћај. Међутим, данашњи принципи, услед великог повећања брзина путничких возова, доводе до раздвајања пруга. Путнички возови којима су намењене пруге за велике брзине захтевају савременији приступ пројектовању геометријских елемената при трасирању, док с друге стране, теретни саобраћај, услед знатно већих маса које превози и мањих брзина, захтева друкчије критеријуме, како у погледу геометрије, тако и у погледу на динамичке утицаје које такви возови изазивају својим кретањем.

Пруге су класификоване, најчешће према саобраћајној вредности и значају. Основна подела је на главне и споредне пруге. У групу главних пруга спадају пруге нормалног колосека I и II реда, док су у групу споредних пруга стављене пруге I и II реда узаног колосека.

Пруге нормалног колосека I реда служе међународном транзитном саобраћају, док за унутрашње повезивање значајнијих привредних центара служе пруге I и II реда. Све остале пруге нормалног и узаног колосека су споредне.

## 5.3 СИЛЕ КОЈЕ ДЕЛУЈУ НА ВОЗ

На воз делују следеће спољне силе:

- вучна сила  $Z_e$
- сила отпора кретању  $W$

- сила кочења  $V_k$

Сила помоћу које се воз покреће је вучна сила. Она се ствара у локомотиви и увек делује у правцу кретања, односно ствара се у погонском мотору локомотиве и изазива кретање воза савлађујући све његове отпоре.

Силе отпора кретању воза су последица разноликих утицаја који делују на воз. Оне делују и у смеру кретања воза и у супротном смеру. Отпори су сврстани у основне (сталне) и накнадне (повремене). Основни отпори су они који се супротстављају кретању воза по правом и хоризонталном путу. То су унутрашњи отпори у возилима, отпори које изазива колосек и отпори које изазива ваздух. Унутрашњи отпори су отпори од трења. Отпори од колосека су последица котрљања точкова по шинама, угибања колосека под вертикалним оптерећењем, трења клизања точкова о површине глава шина, и удара на саставима шина. Отпор од ваздушне средине је последица притиска ваздуха на чеону површину воза и израчунава се емпиријским путем. У основне отпоре спадају, такође, основни отпори од кола и основни отпори од локомотиве, који у збиру чине основне отпоре целог воза, као и отпори при покретању воза из места. У накнадне отпоре спадају отпори од успона и од кривина.

Кочионе силе стварају уређаји за кочење. Оне увек делују у супротном смеру од смера кретања воза.

#### **5.4 ЗАУСТАВНИ ПУТ**

Врло битан параметар за пројектовање трасе железничке пруге је одређивање зауставног пута. Дужина зауставног пута зависи од брзине кретања воза и бива све већа у складу са повећањем брзина и износи:

$$S_z = S_p + S_k \quad (\text{m})$$

где је:

$S_z$  - дужина зауставног пута

$S_p$  - пређени пут од тренутка повлачења ручице кочнице до тренутка њеног активирања (припремни пут)

$S_k$  - стварна дужина пута кочења

#### **5.5 ИСКОРИШЋЕЊЕ КИНЕТИЧКЕ ЕНЕРГИЈЕ ВОЗА**

Догађа се да на пругама у експлоатацији има деоница на којима је највећи успон на веома малим дужинама. Због тога се воз креће неравномерном брзином дуж целе деонице. Такви случајеви су инспирисали конструкторе да одреде тежину воза према неком мањем успону на већој дужини. Кад је у питању већи успон краће дужине, воз га савлађује вучном силом и кинетичком енергијом.

## **5.6 ОСНОВНИ КОНСТРУКТИВНИ ЕЛЕМЕНТИ ЖЕЛЕЗНИЧКЕ ПРУГЕ**

Познато је да железничку пругу чине доњи строј, горњи строј и сигнално сигурносни уређаји.

Доњи строј пруге чине насипи, усеци, пропусти, мостови, потпорни зидови, тунели, службене и стамбене зграде намењене потребама експлоатације пруге. Сви ови објекти служе да се савлада терен и постави нивелета онако како је пројектована, т.ј. да се постави труп пруге.

У горњи строј пруге спадају колосеци, скретнице, окретнице и преноснице. Пошто је колосек састављен од шина и прагова, који су постављени у туцанички застор, може се казати да и прагови и колосечни застор спадају, такође у горњи строј.

Сигнално сигурносни и телекомуникациони уређаји служе за безбедно одвијање саобраћаја на прузи, односно помоћу њих се управља кретање возова по прузи.

### **5.6.1 СИТУАЦИОНИ ПЛАН И УЗДУЖНИ ПРОФИЛ**

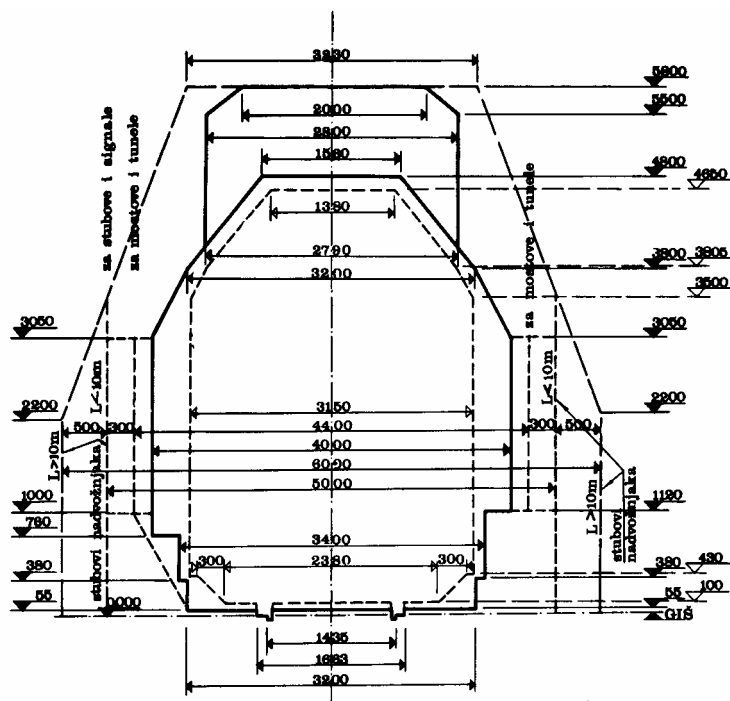
Ситуационим планом се назива хоризонтална пројекција трасе пруге, а уздужним профилем њена вертикална пројекција. Уздужни профил се црта у карикираним размерама ради лакшег сагледавања терена и положаја трасе на њему. Размере су  $R = 1: \frac{200}{2000}$ ,  $R = 1: \frac{1000}{10000}$  и  $R = 1: \frac{1000}{25000}$  и зависе од размере ситуационог плана. Висину насипа, односно дубину усека представља разлика између нивелете трасе и терена.

### **5.6.2 ПЛАНУМ ЖЕЛЕЗНИЧКЕ ПРУГЕ**

Горња површина земљаног трупа пруге је планум, а замишљена линија по његовој средини је осовина планума. Ширина планума, димензије засторне призме и дужина прага зависе од железничких управа. У неким земаљама се те димензије разликују, мада је тежња да на целом Континенту буде примењен исти димензиони систем.

### **5.6.3 СЛОБОДНИ ПРОФИЛ ПРУГЕ**

Слободни профил пруге представља простор изнад колосека у коме не сме да се налази никаква препрека која би ометала кретање воза - локомотива и вагона. На слици 5.1 је приказана шема слободног и товарног профила.



Слика 5.1. Слободни и товарни профил

#### 5.6.4 ГЕОМЕТРИЈСКИ ЕЛЕМЕНТИ ПЛАНА ПРУГЕ

Геометријски елементи плана пруге су правци, кривине, прелазне кривине и међуправци. Сви ови елементи у комбинацији чине трасу пруге.

Полупречници кривина зависе од брзина возова који се крећу неком пругом. Кружне кривине се никад не изводе без прелазног дела кривине, те су елементи за прорачун кружних кривина са прелазницама следећи:

- дужина тангенте је  $T = (R + f) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + a$  [m]
- дужина целе кривине  $D = R \cdot \frac{\pi \cdot (\alpha - 2 \cdot \tau)}{180} + 2 \cdot L$  [m]
- бисектриса  $B = (R + f) \cdot (\sec \frac{\alpha}{2} - 1) + f$  [m]
- апсциса средине кривине  $x = R \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + a$  [m]
- ордината средине кривине  $y = R \cdot (1 - \cos \frac{\alpha}{2}) + f$  [m]

где је:

- $R$  – полупречник кривине  
 $f$  – размак за који треба паралелно померити кружну кривину ка центру кривине да би могла да се убаци прелазна кривина  
 $a$  – удаљеност додирне тачке кружне кривине полупречника  $(R+f)$  од почетка или краја прелазнице  
 $\tau$  – угао који захвата тангента у тачки на почетку или крају кружне кривине  
 $L$  – дужина прелазне кривине  
 $\alpha$  – скретни угао

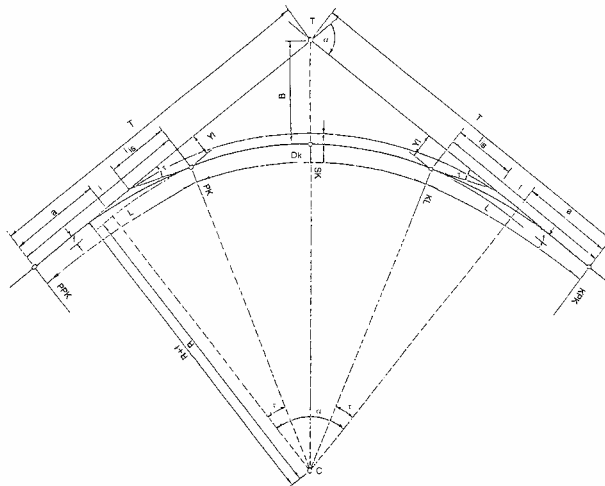
Вредности  $f$ ,  $a$  и  $\tau$  могу бити израчунате помоћу формула:

$$f = y_l + R \cdot \cos \tau - R \text{ [m]}, a = l - R \cdot \sin \tau \text{ [m]}, \operatorname{tg} \tau = \frac{3 \cdot y_l}{l} \text{ [m]}, \text{ где је}$$

$y_l$  удаљеност почетка, односно краја кружне кривине од тангенте и може бити израчуната помоћу формуле:

$$y_l = \frac{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{l}{2 \cdot R}\right)^2\right]^3}}{6 \cdot R} \cdot l^2 \text{ [m]}, l = L - \frac{L^3}{40 \cdot L^2} \text{ [m]}.$$

На слици 5.2 су приказани елементи прелазне кривине облика поправљене кубне параболе.



Слика 5.2. Кружна кривина са прелазном кривином облика поправљене кубне параболе

Надвишење спољне шине у кривини, које се изводи на дужини прелазне кривине, а служи за анулирање центрифугалне силе, је:

$$h_{\max} = 11.8 - \frac{V_{\max}^2}{R} \text{ [mm]}$$

где је  $v_{\max}$  највећа брзина у кривини.

Иначе, у зависности од карактера рељефа терена постоје следећи начини трасирања:

- слободно вођење трасе
- принудно вођење трасе
- вештачко развијање трасе

Слободно вођење трасе се примењује у оним случајевима кад је природни пад терена мањи од меродавног нагиба на траси.

Поступак принудног вођења трасе је у примени, кад највећи успон на траси не сме да прекорачи вредност меродавног успона.

У тешким теренским условима, у брдовитим и планинским пределима, где је потребно трасу водити нагибом који је мањи од нагиба терена, примењује се поступак вештачког развијања трасе.

Сам карактер трасе, који зависи од рељефа терена је вододелнички, попречно-вододелнички, долињски и падински.

#### 5.6.5 ЕЛЕМЕНТИ УЗДУЖНОГ ПРОФИЛА

У елементе уздужног профила спадају успони и падови различитих дужина, помоћу којих се савлађују висинске разлике терена. Успони и падови су изражени у промилима ( $\text{‰}$ ).

Успон може бити меродаван, фиктивни, успон за појачану запрегу и уравнотежени успон.

Меродавни успон ( $i_m$ ) је највећи фиктивни успон на прузи који доминира по својој дужини, а према коме се одређује маса воза при простој запрези.

Фиктивни успон је алгебарски збир отпора од успона и отпора од кривина.

Успон за појачану запрегу је последица савладавања велике висинске разлике успоном већим од меродавног. Да би воз могао да га савлада, неопходно је појачати запрегу (број вучних средстава).

Због неуједначености теретног саобраћаја по смеровима често се прибегава решењу да мање оптерећени возови савлађују оштрије успоне. Да би била искоришћена вучна сила локомотиве, неопходно је уравнотежити укупне отпоре применом јачег успона на мање оптерећеном смеру.

Воз врши рад док се пење по успону. Ако се, пак, на том путу појави деоница која има пад на коме воз троши рад на кочење, под претпоставком да ти нагиби нису већи од пада кочења, онда су то – нештетни нагиби. Сви остали нагиби, који су већи од пада кочења су штетни нагиби, јер се троши већи механички рад за кретање воза него по хоризонтали исте дужине.

Положаји прелома нивелете не смеју бити на мањем растојању од оног који је прописала одређена железничка управа.

У уздужном профилу прелом нивелете мора бити заобљен. У неким земљама Европе, заобљење прелома нивелете је ограничено вертикалним убрзањем и одређује се помоћу формуле:

$$\min \rho = \frac{V_{\max}^2}{3.6^2 \cdot p_v} \text{ [m]}$$

где је:

$V$  – максимална брзина на прузи [км/х]

$p_v$  – допуштено вертикално убрзање [м/сек<sup>2</sup>]

Ублажавање успона у кривинама се изводи повећавањем полупречника кривине и постављањем преломних углова, тако да њихов збир буде што мањи.

Ублажавање успона се врши и испред тунела, тако да се у тунелу избегну негативни утицаји влаге и ваздушног чепа, познатог под називом – тунелски ефекат.

## 5.7 ЖЕЛЕЗНИЧКЕ СТАНИЦЕ

Можемо казати да је станица представник железнице који остварује контакт са привредом и путницима и са њима закључује уговоре о превозу. Можемо је схватити и као организатора и непосредног извршиоца највећег дела техничких задатака у транспорту робе, путника и у саобраћању возова [4].

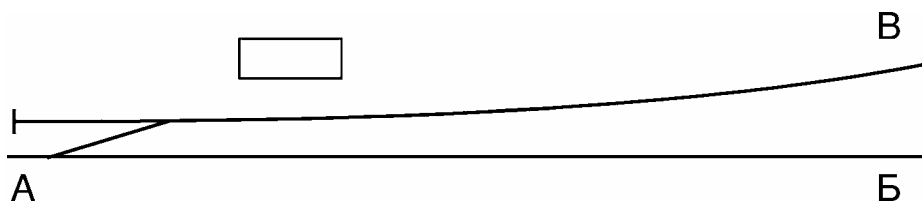
Услед различите намене и функције станица и осталих службених места у железничком саобраћају постоје и разне класификације станица према разним параметрима. Полазни параметри за класификацију станица су:

- задатак и техничка средства станице
- карактер рада станице
- положај станице у мрежи
- шема станице
- значај станице итд.

Станице и службена места, према задатку који треба да изврше у саобраћајном систему и расположивим техничким средствима, подељене су на осам врста:

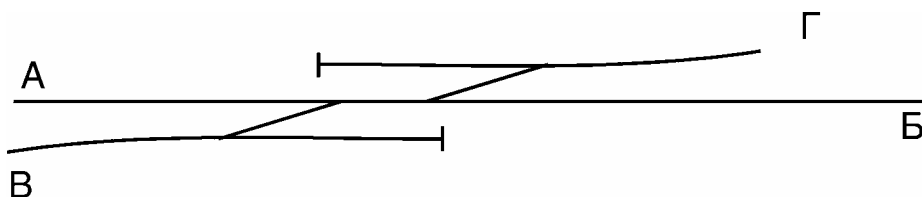
1. **Постаја или стајалиште** је службено место које служи само за саобраћај локалних путника. Постаја обично нема никаквих техничких средстава. У случају интензивног локалног саобраћаја, постаја може имати перон и надстрешницу за путнике, па чак и билетарницу за продају карата
2. **Блокарница и одјавница** су службена места која обављају регулисање хода узастопних возова. Од техничких средстава имају само сигнална средства и средства везе. На савременим пругама ово се обавља помоћу аутоматског пружног блока.

3. **Распутница** је службено место на отвореној прузи одакле се одваја нека друга пруга. Што се тиче техничке опремљености, мора имати бар једну скретницу и сигнално сигурносне уређаје за осигурање тог места.



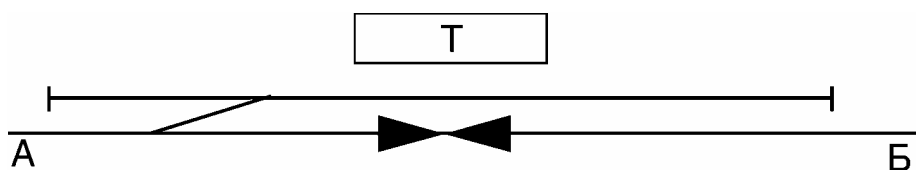
Слика 5.3. Распутница

4. **Раскрсница** је службено место у којем се секу у нивоу две пруге исте или различите ширине. Раскрсница мора имати сигнално сигурносна постројења за обезбеђење тог места и средства везе. По правилу мора бити поседнута службеним лицем и укључена у диспечерски систем управљања саобраћајем из централног места.



Слика 5.4. Раскрсница

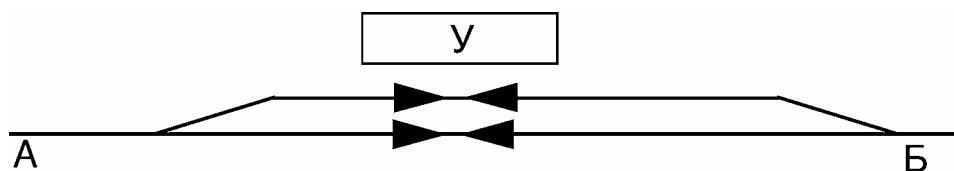
5. **Товариште** је службено место где се са главног колосека одваја један или више споредних колосека на којима се обавља утовар, односно истовар робе. Ово место мора имати бар једну скретницу. Товариштем управља суседна станица.



Слика 5.5. Товариште

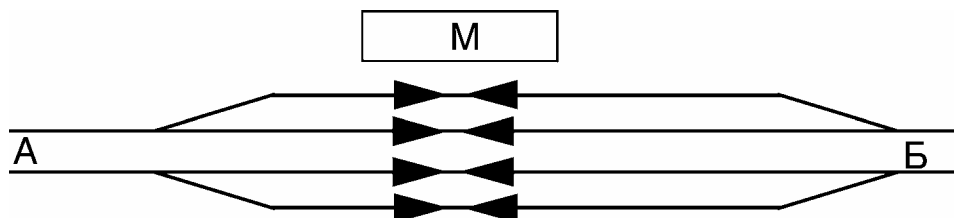
6. **Укрсница** је службено место на једноколосечној прузи које служи за укрштање и претицање возова. На укрсници се мора налазити, поред главног пролазног колосека, бар још један колосек обострано (веома ретко једнострано) везан. Ово место мора да има сигнално сигурносна постројења за осигурање са обе стране, као и средства везе. Укрсница може обављати саобраћај локаних путника и пртљага.





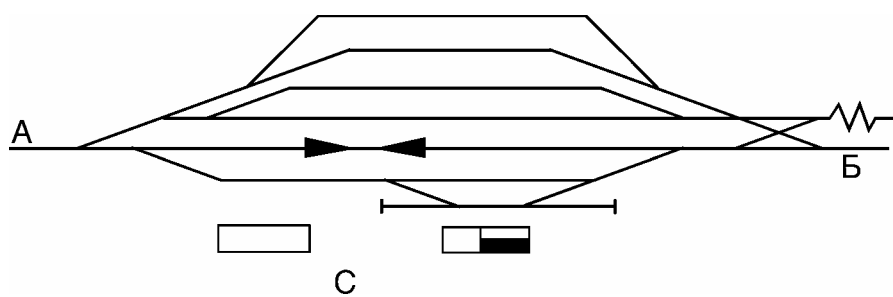
Слика 5.6. Укрсница

7. **Мимоилазница** је службено место на двоколосечној прузи које служи за претицање (мимоилажење) возова. Поред два главна пролазна колосека мора имати бар још један, а обично два колосека обострано везана, као и сигнално сигурносне уређаје за осигурање и средства везе. Може обављати саобраћај локалних путника и пртљага.



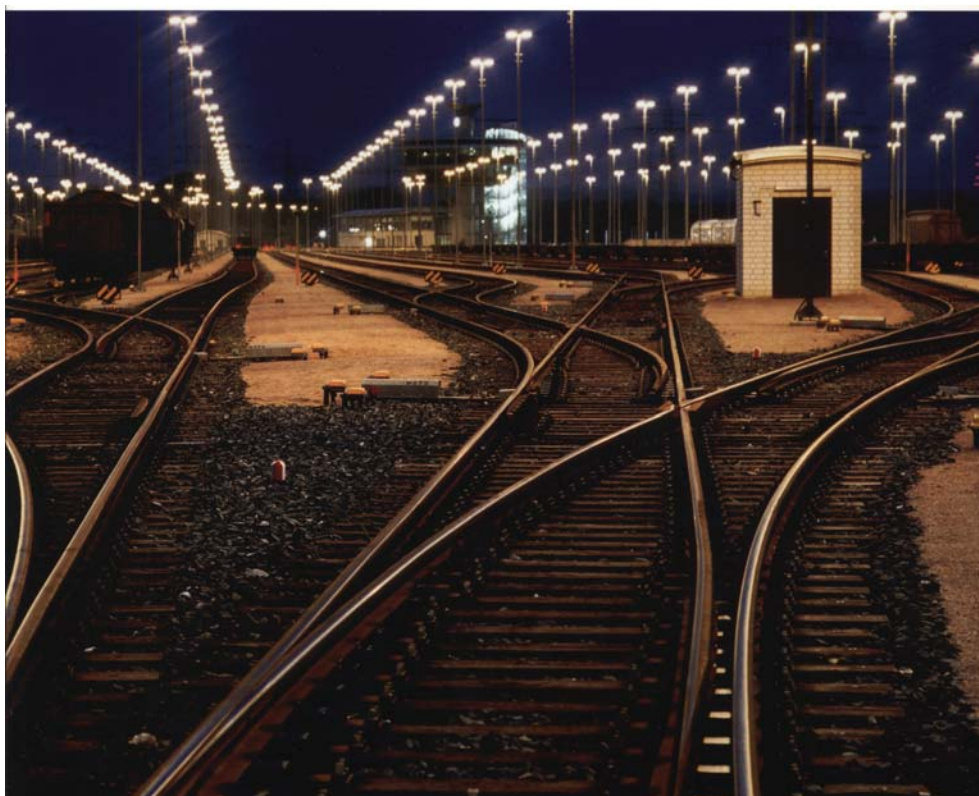
Слика 5.7. Мимоилазница

8. **Станица** је службено место на једноколосечној или двоколосечној прузи које обавља укрштање и претицање возова, саобраћај путника и робе у свим комерцијалним операцијама. Станица мора имати одређен број колосека, сигнално сигурносна средства, средства везе, постројења за локални робни рад, за путнички саобраћај и постројења за специјалне функције. Према задатку који треба да обаве а према техничким средствима којима располажу, станице могу бити подељене на међустанице и специјализоване станице. Међустанице обављају стандардне задатке, а специјализоване станице посебне задатке - састављање и растављање теретних возова (ранжирне станице), утовар и истовар робе (робне станице), путнички саобраћај већег обима (путничке станице), претовар робе са железничког на водни саобраћај (лучке станице) и др.



Слика 5.8. Станица

Укрснице, мимоилазнице и станице могу да буду укључене у диспечерски систем за управљање из једног централног места. На слици 5.9 је приказано једно станично постројење из перспективе службеног лица.



Слика 5.9. Станично постројење

Постоји више класификација станица, а једна од тих је и према положају у мрежи:

- почетне или крајње станице
- међустанице
- прикључне станице
- спојне, разделне станице
- додирне станице
- чворне станице

Према карактеру рада станице су класификоване у три групе:

- путничке станице
- теретне станице
- мешовите станице за теретни и путнички саобраћај

Сам поступак пројектовања станица је састављен из три фазе.

- израде претходне студије или предпројекта
- израде идејног пројекта
- израде главног пројекта

## **5.8 ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ ГОРЊЕГ СТРОЈА**

Основни елементи горњег строја су шине, колосечни прибор, прагови или армирано-бетонске конструкције и туцанички застор.

Шине су непосредни ослонац точковима и служе за вођење шинских возила. Оне примају хоризонталне и вертикалне силе од возила, као и подужне силе од температурних утицаја и преносе их преко причвршћења на прагове, застор и земљани труп.

Колосечним прибором се шине међусобно спајају (спојни колосечни прибор) и причвршћују за прагове (причврсни колосечни прибор). Елементи спојног колосечног прибора су везице, спојни вијци са наврткама, прстенасте еластичне подлошке. Елементи причврсног колосечног прибора су котве и стезаљке. Остали колосечни прибор служи за ублажавање утицаја као што су подужна померања колосека, попречна померања колосека, ублажавање динамичких утицаја возила.

Прагови представљају ослонце шинама. Кроз њих се преносе хоризонталне и вертикалне силе са шина на застор. Пошто су шине причвршћене за прагове причврсним колосечним прибором тиме је обезбеђено њихово константно растојање дуж колосека. Прагови, који данас представљају последицу савременог приступа анализе ефеката сила које се преносе преко шина и причвршћења, могу бити бетонски или, пак, челични, постављени на бетонске темеље на слици 5.10.



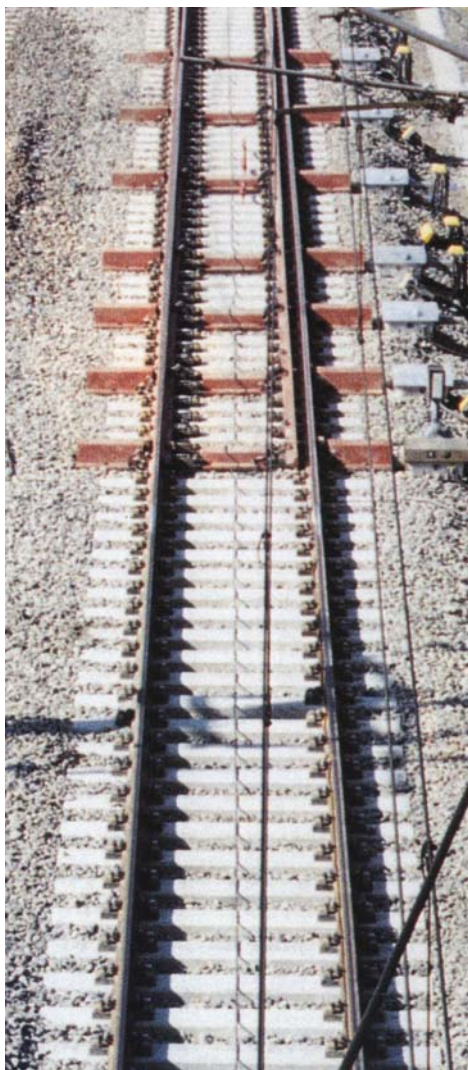
Слика 5.10. Челични прагови у тунелу

Ова врста  $\Upsilon$  - челичних прагова има предност у односу на остале типове прагова. Ове прагове треба постављати на масивну бетонску подлогу. У поређењу са праговима класичног облика, ови прагови имају одређене економске предности: по километру дужном  $\Upsilon$  - прагова је 50% мање од прагова класичног облика, мање су масе, дужи им је употребни век, пружају велики отпор бочном померању, имају висок степен торзионе крутости у колосеку, олакшавају кретање воза захваљујући смакнутом положају ослоначких тачака.

Застор има улогу да евакуише воду, која може негативно да делује на дрвене прагове и земљани труп, чиме штити земљани труп од трајних деформација и расквашавања. Посматрано са статичког гледишта, прихвата велике притиске прагова и преноси их на земљани труп у виду смањених и уједначених притисака. Међутим, постоје деонице са бетонском подлогом и то на пругама намењеним великим брзинама.

Колосек, пак, чине шине и прагови. Статички посматрано, то је роштиљ са континуалним подужним гредама оптерећеним покретним оптерећењем и еластично укљештеним попречним штаповима. Оваквој конструкцији застор представља еластичну подлогу.

На слици 5.11 могу се уочити савремени елементи колосека - бетонски прагови, причвршћења и уређаји за померање језичака скретнице - мењалице.



Слика 5.11. Елементи савременог колосека

Типова шина има разних и зависе од намене пруге и оптерећења које се по њој креће. На слици 5.12 су приказани неки карактеристични типови шина.



Слика 5.12. Карактеристични типови шина које производи ThyssenKrupp

Захваљујући напретку технологије производње, данашње шине имају дужине и до 120 метара. Шине толиких дужина могу лако да се транспортују пругом до места уграђивања.

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Robert G. Hennes & Martin Ekse, **Fundamentals of Transportation Engineering**, second edition, 1969. McGraw-Hill, Inc.
- [2] William W. Hay, **An Introduction to Transportation Engineering**, 1961. John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Душан Бајић, **Основи пројектовања железничких пруга**, Грађевински Факултет Београд, Београд 1978.
- [4] Саво Јањић, **Железничке станице I**, Грађевински Факултет Београд, Београд 1983.

# 6

## КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

### 6.1 УВОД

У досадашњем развоју људског друштва највећи напредак у грађењу путева су направили Римљани. Разгранали су систем војних путева до најудаљенијих крајева империје, тако да је дужина путева у средњој Европи износила око 150 000 километара, укључујући вијадукте, галерије, мостове и тунеле. Многи од ових путева су били саграђени од камених плоча, дебљине конструкције и преко 90 сантиметара, чији се остаци још могу наћи на континенту. Неки од њих су послужили као подлога за касније саграђене савременије путеве. Стагнација у путоградњи је почела падом Римске империје и трајала све до осамнаестог века, када је француски инжењер Трезаге (Tresaquet 1716 - 1796) унапредио поступак грађења. Он је преко подлоге од крупног дробљеног камена сатављао ситнији. У Енглеској, у исто време, Томас Телфорд (Thomas Telford) и Џон Макадам (John McAdam), развијају сличан тип коловозне конструкције. Телфорд ставља у подлогу крупније камење у које утискује застор од ситнијег камена. Макадам користи дробљени камен у више слојева који бива збијан у влажном стању. Тај поступак је задржан и до данашњих дана. Прва флексибилна коловозна конструкција је изграђена 1870. године у Америци (Newar "New Jersey").

Џон Смитон (John Smeaton), Енглец, је 1756. године открио портланд цемент, а 1875. године у Инвернсу (Inverness) је саграђена прва бетонска коловозна конструкција.



## 6.2 ТИПОВИ САВРЕМЕНИХ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА

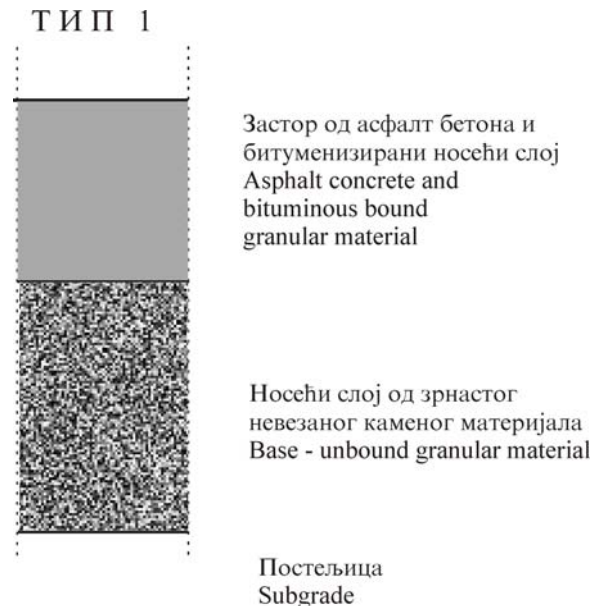
### 6.2.1 ТИПОВИ САВРЕМЕНИХ ФЛЕКСИБИЛНИХ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА

Савремене флексибилне коловозне конструкције су вишеслојне конструкције састављене од слојева битуменом везаних материјала - асфалтног застора и носећих слојева. Носећи слојеви су сачињени од невезаног зрнастог каменог материјала, везаног зрнастог каменог материјала погодном врстом везива или од комбинације ових материјала. Поједини од ових материјала су произведени и уграђени савременим техничким поступцима.

Састав, дебљина и распоред слојева за поједине типове флексибилних коловозних конструкција зависе највише од саобраћајног оптерећења, својстава тла и климатско-хидролошких услова.

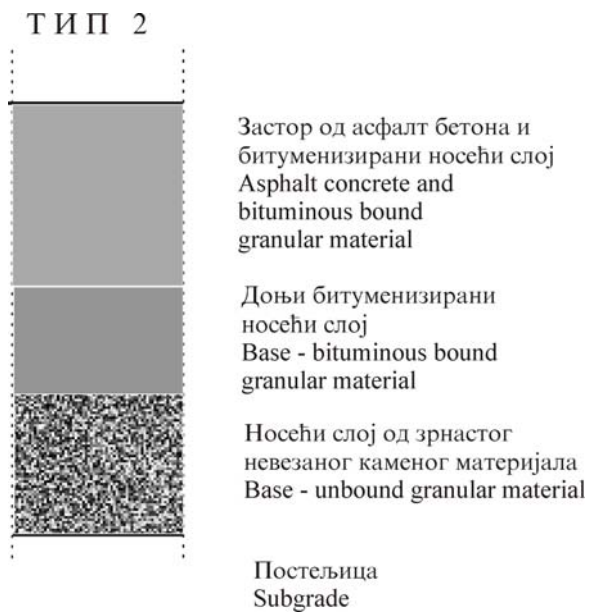
Зависно од примене и комбинације одређених врста материјала и њиховог квалитета, састав флексибилних коловозних конструкција се у принципу разликује према врсти подлоге испод битуменом везаних материјала у застору.

На следећим сликама су приказана типска решења савремених флексибилних коловозних конструкција.

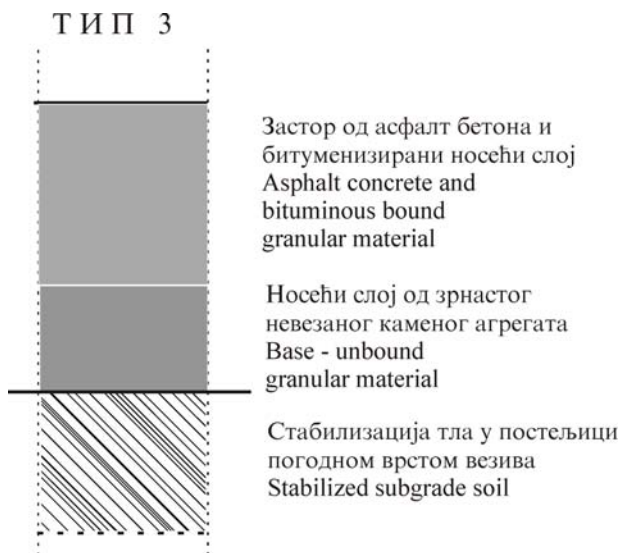


Слика 6.1. Савремене типске коловозне конструкције - ТИП 1

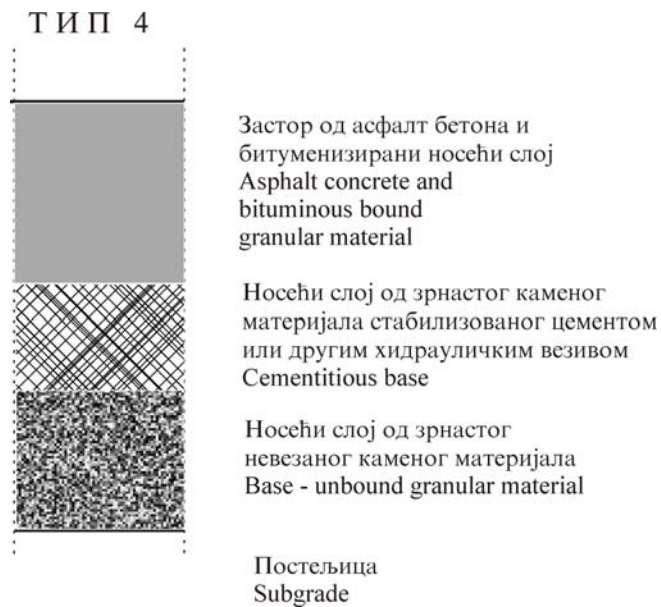




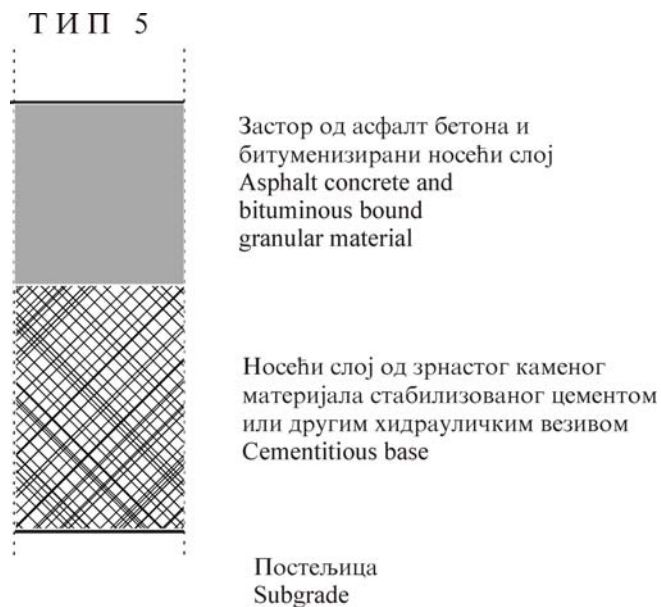
Слика 6.2. Савремене типске коловозне конструкције - ТИП 2



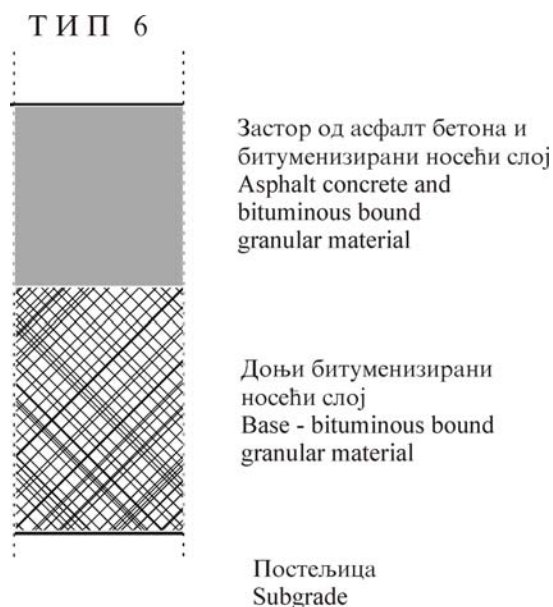
Слика 6.3. Савремене типске коловозне конструкције - ТИП 3



Слика 6.4. Савремене типске коловозне конструкције - ТИП 4



Слика 6.5. Савремене типске коловозне конструкције - ТИП 5



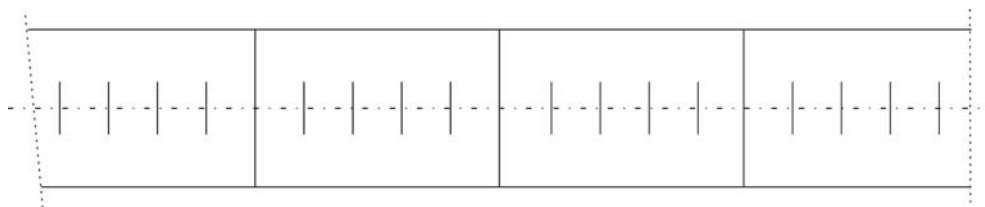
Слика 6.6. Савремене типске коловозне конструкције - ТИП 6

### 6.2.2 ТИПОВИ САВРЕМЕНИХ КРУТИХ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА

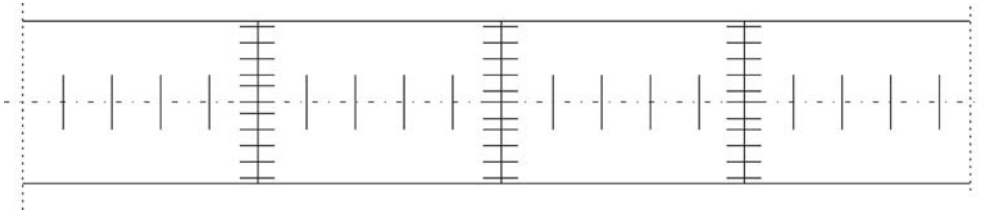
Бетонске коловозне конструкције спадају у групу крутих коловозних конструкција. Оне су састављене од неармиране бетонске плоче или армиране бетонске плоче положене преко подлоге или директно преко постељице.

Због своје крутости и великог модула еластичности, у односу на флексибилне коловозне конструкције, оптерећење преносе на велику површину подлоге. С обзиром на ову чињеницу, носивост подлоге има мали утицај на носивост коловоза.

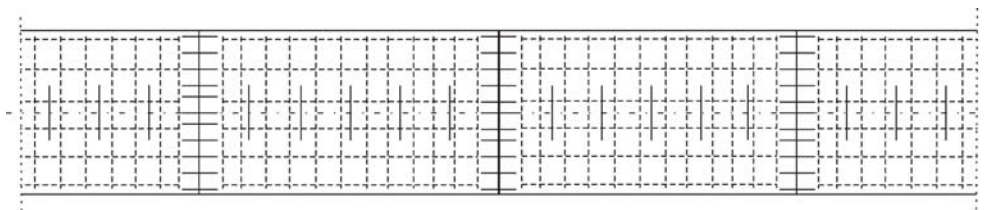
На следећим сликама су приказани неки типови бетонских коловозних конструкција.



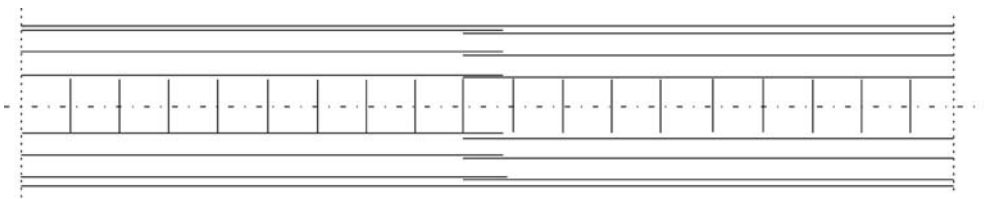
Слика 6.7. Неармирана бетонска плоча без попречних можданика



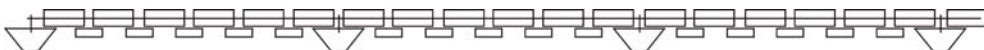
Слика 6.8. Неармирана бетонска плоча са можданицима у попречним спојницама



Слика 6.9. Армирана бетонска плоча



Слика 6.10. Непрекидно армирана бетонска плоча



Слика 6.11. Преднапрегнуте бетонске плоче

Основни типови крутих - бетонских коловозних конструкција су неармиране (слике 6.7 и 6.8), армиране (слика 6.9), непрекидно армиране (слика 6.10) и преднапрегнуте (слика 6.11).

Код неармираних бетонских коловозних конструкција не постоји арматура којом би се могло утицати на настајање пукотина или преношење оптерећења на подлогу, осим код неких спојница. Због тога ове конструкције имају релативно мало растојање између контракционих спојница.

Растојање спојница код армираних бетонских коловозних конструкција је знатно веће, а за преношење оптерећења преко спојница се примењују, као и код неармираних, можданици (dowels) (немају везе са арматуром).

Непрекидно армиране бетонске коловозне конструкције садрже велики проценат арматуре (0.6% од површине попречног пресека плоче и више), а веома мали број спојница, изузев конструкционих и дилатационих, код суседних објеката.

**Основна улога арматуре код армираних и непрекидно армираних коловозних конструкција је да спречава отварање пукотина али не и њихово настајање.**

С обзиром на улогу арматуре да контролише рад пукотина, а не и преношење оптерећења (арматуру постављати у неутралну зону), дебљине неармираних и армираних коловозних конструкција скоро да су идентичне.

Преднапрезањем бетонских коловозних конструкција постиже се смањење њихове дебљине и повећава отпорност на савијање.

### **6.3 СЛОЈЕВИ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА**

Основни слојеви коловозних конструкција су постељица (subgrade), доња подлога (sub-base), горња подлога (upper-roadbase) и застор (surface). Нијансе у распореду слојева постоје и зависе од типа примењене коловозне конструкције.

#### **6.3.1 ПОСТЕЉИЦА**

Постељица представља “темељ” коловозне конструкције. Она је у усеку од природног тла, док је у насипу од природног тла транспортованог из усека или позајмишта у околини трасе.

Ако је носивост постељице задовољавајућа, у извесним случајевима, преко ње се директно полажу слојеви од битуменом или цементом везаних материјала. Доња подлога се најчешће поставља преко постељице ради заштите од дејства мраза.

Са економске тачке гледишта се више исплати улагање у побољшање носивости постељице, него у повећање дебљине или квалитета слојева изнад ње.

Најважнија карактеристика постељице код крутих коловозних конструкција је уједначена носивост, док је њена нумеричка вредност мање значајна.

Постељице су класификоване у три типа: слабе, нормалне и врло чврсте (табела 6.1).

Чврстоћа слабо носивих постељица може бити побољшана механички и хемијски.

Механички поступак се састоји од побољшања гранулометријског састава темељног тла и његовог сабијања. Хемијски поступак користи везива као што су: цемент, креч, пепео итд.

Табела 6.1 Класификација постељице

Тип постељице		Минимална дебљина доње подлоге [cm]
Слаба	Све постељице чији је $CBR \leq 2\%$	15
Нормална	$2 < CBR \leq 15\%$	8
Врло чврста	Све постељице чији је $CBR > 2\%$	0

Заштита постељице од дејства мраза може се постићи спуштањем нивоа подземне воде или изолационим превлакама.

Сабијањем тла у постељници се повећава чврстоћа на смицање, смањује консолидација, водопропустљивост и апсорпција воде.

Дубина сабијања тла у постељници је од 15 до 30 cm.

Површина постељице се изводи са минималним попречним нагибом од 4 (3)%, што зависи од карактеристика тла и услова одводњавања. Дозвољено одступање равности је  $\pm 3$  cm на равњачи од 3 m.

Основна улога постељице је:

- да омогући правилну изградњу слојева изнад ње
- заштити труп пута до почетка градње виших слојева
- да пружи уједначену носивост

Носивост постељице је најчешће изражена Калифорнијским индексом носивости CBR (California Bearing Ratio), модулом стишљивости, повратним модулом Е и модулом реакције тла К.

### 6.3.2 ДОЊА ПОДЛОГА - ТАМПОН

По завршетку постељице, што је могуће брже, приступа се изради доње подлоге. Њу чине један или више слојева од природног или механички и хемијски стабилизованог тла, дробљеног агрегата, шљунковито-песковитог агрегата или отпадног материјала као што су дробљени бетон и шљака.

Основна улога доње подлоге у коловозној конструкцији је да пружи уједначену носивост, повећа носивост конструкције, смањи негативне утицаје настале због промене запремине у постељници и смањи или спречи дејство мраза или пумпања. У ствари, њена улога је да повећа дебљину коловозне конструкције на најеконичнији начин.

У зависности од саобраћајног оптерећења, дејства мраза и квалитета материјала, дебљина доње подлоге је од 15 до 30 cm. Ако је носивост постељице велика ( $CBR \geq 10\%$ ) и нема опасности од дејства мраза, доња подлога се може изоставити као слој коловозне конструкције. Избор типа подлоге (табела 6.2) зависи од расположивих материјала и саобраћајног оптерећења. Увек треба тежити отвореним мешавинама које омогућавају одводњавање у свим условима.

Табела 6.2 Типови доњих подлога

Спецификација	Тип А отворена мешавина	Тип Б затворена мешавина	Тип Ц стабилиз. цементом	Тип Д стабилиз. кречом	Тип Е стабилиз. битуменом	Тип Ф зрнасти агрегати
пролаз кроз сито у % [m/m]						
37.5	100	100	100	-	-	100
19.0	60 - 90	85 - 90	-	*	*	-
4.75	35 - 60	50 - 80	65 - 100	-	-	65 - 100
0.425	10 - 25	20 - 35	25 - 50	-	-	25 - 50
0.075	0 - 7	5 - 12	5 - 20	-	-	0 - 15
Чврстоћа на притисак после 28 дана [МПа] Стабилност по маршалу [кН] Течење по Маршалу [mm]			2.8 - 5.2	0.7	min. 2.25	max. 5

\* Одређује се на основу лабораторијских резултата

Носивост доње подлоге изражава се истим показатељима као и носивост постелјице (повратни модул, модул реакције, модул стишљивости итд).

У зависности од носивости постелјице, а на основу искуства, потребне дебљине доње подлоге за бетонске коловозне конструкције су приказане у табели 6.3.

Табела 6.3 Потребне дебљине доње подлоге код бетонских коловозних конструкција

CBR на постелјици [%]	Дебљине доње подлоге [cm]
< 2.0	28
2 - 4	18
4 - 6	13
6 - 15	8
> 15	0

С обзиром на велику цену бетона и потребу за одржавањем константне дебљине бетонских плоча, највећа одступања у висини кота на површини доње подлоге не би смела да прелазе границу од + 10 до - 30 mm (на равњачи дужине 3 m).

Код неармираних бетонских коловозних конструкција ставља се одговарајућа фолија да би трење између плоче и подлоге, које се јавља при дилатирању плоче због промене температуре или влаге, било мање. Напротив, код непрекидно армираних се захтева да трење плоче и подлоге да буде што веће. Та фолија, такође, спречава губитак финих честица из мешавина кроз порозну доњу подлогу и везивање за њу. Фолије се најчешће праве од полиетилена дебљине од 65  $\mu\text{m}$  до 125  $\mu\text{m}$ , који се преклапа на

ширини од 300 mm. Употреба распршених битумена у ову сврху је недопустива (повећава трење). Код доњих подлога од цементом везаних стабилизаних материјала, могу се употребити емулзије као одвајајуће фолије.

### 6.3.3 ГОРЊА ПОДЛОГА

Горња подлога представља један или више слојева који су постављени непосредно испод застора. За горњу подлогу може бити употребљен сваки материјал који има  $CBR \geq 80$  %, а отпоран је на дејство воде и мраза. Најчешће употребљавани материјали су дробљени агрегати, мршави бетони, цементом и битуменом стабилизани материјали (за лако оптерећене путеве). Понекад се, код крутих коловозних конструкција, слој испод бетонске плоче назива доњом подлогом.

Улога горње подлоге зависи од типа коловоза. Код крутих коловозних конструкција горња подлога се користи да спречи пумпање и дејство мраза, одводњава, смањи негативно дејство промене запремине у постелици и повећа носивост конструкције.

Код флексибилних коловозних конструкција улога горње подлоге је да повећа носивост коловоза, побољша одводњавање и спречи дејство мраза.

Најпознатије врсте горњих подлога су макадамске, бетонске и од цементом или битуменом везаних материјала.

Термин макадам означава подлогу састављену од дробљеног агрегата. Три основне врсте макадамске подлоге су суво везани макадами, водом везани макадами и пенетрисани макадами.

Суво везани макадам се ради од крупнијег дробљеног агрегата (најчешће кречњака) величине од 4 до 7 cm и ситнозрнијег, гранулације од финих честица до 0.5 cm. У први слој, дебљине од 7 до 10 cm, се после почетног ваљања, вибрирањем утискује ситнозрнији агрегат.

Код водом везаних макадама, вода (износи 2 до 5% по маси) се додаје заједно са ситнијим агрегатом да би се олакшало његово утискивање у основни слој. Стабилност мешавине зависи од постигнутог укљештења зрна агрегата и везујућих карактеристика ситнозрних фракција.

Пенетрисани макадам добија се кад се у основни крупнозрни слој агрегата после почетног сабијања, пенетрише битуменско везиво. Пенетрација може бити потпуна или делимична. Употребљавају се мекши битумени пенетрације између 90 и 150 pen°. По завршеном продирању везива и ваљању, површина се најчешће затвара ситнозрним фракцијама агрегата.

Подлоге од цементом везаних материјала могу бити од мршаваг бетона и стабилизације цементом.

Мршави бетон изгледа као нормални бетон изузев што је однос агрегата и цемента од 20:1 до 15:1, односно 100 до 140 kg/m<sup>3</sup>. Чврстоћа на притисак



после 28 дана износи око  $10 \text{ MN/m}^2$ . Најмања дебљина горње подлоге не може бити мања од 15 cm, нити већа од 30 cm.

Подлоге од цементом везаних материјала су сличне по саставу са материјалима у застору, изузев што користе мање количине везива. Дебљина горње подлоге је у пракси најчешће од 6 до 30 cm.

У погледу метода испитивања физичкомеханичких карактеристика, нема битних разлика од поступака који се користе за мешавине код застора. Ограничавајући фактор је најчешће максимална величина зрна агрегата која важи за поједине методе испитивања.

#### 6.3.4 ЗАСТОР

Овај слој директно прима утицаје од оптерећења и фактора средине. То значи:

- са једне стране, дејства пнеуматика (вертикално и тангенцијално) и хабања
- са друге, дејства температуре, сунчевих зрака (оксидација везива) и воде

Од пнеуматика возила, интензитет вертикалних напона на притисак, износи од 0.5 до 0.8  $\text{MN/m}^2$  (код авиона до 1.4  $\text{MN/m}^2$ ), а напон на смицање у близини површине хабајућег слоја од 0.5 до 2 интензитета притиска у пнеуматцима (0.35 до 1.6  $\text{MN/m}^2$ ). У зонама кочења или убрзања напони достижу вредност од 3 до 5 пута већу од притиска у пнеуматику (2.0 до 3.0  $\text{MN/m}^2$ ).

Температурне разлике могу износити и до 30°C у току дана, а годишње и до 80°C (+60°C лети и -20°C зими; површина хабајућег слоја се загреје и до 30°C изнад температуре ваздуха).

У највећем броју случајева ови слојеви се пројектују и граде код флексибилних коловозних конструкција од битуменом везаних материјала (тзв. асфалт бетона), а код крутих од портланд цементних бетона.

Застор флексибилних коловозних конструкција сачињен је од хабајућег и везног слоја.

Улога везног слоја је да повеже хабајући слој са подлогом. Такође, он повећава носивост, отпорност на трајне деформације, чини промену квалитета материјала од хабајућег ка нижим слојевима постепенијом и пружа услове за квалитетнију изградњу хабајућег слоја.

Што се тиче квалитета материјала, нема битнијих разлика од хабајућег слоја. Када се примењује, (може и без њега) то је најчешће "асфалт бетонска мешавина". Дебљина везног слоја је од 5 до 10 cm.

Дебљина хабајућег слоја од асфалт бетона (поред асфалт бетона у употреби су и "ливени асфалти" и површинске обраде) крећу се у пракси од 2.5 до 8 cm.

Дебљина застора код крутих коловоза, односно бетонских плоча, је од 10 до 35 (40) см. Код путева дебљина плоча у пракси је од 20 до 25 см, а код аеродрома око 35 см. У принципу је то најквалитетнији слој у коловозној конструкцији, чије су најмање вредности прецизиране стандардима (требало би да су последица димензионарања). Дозвољено одступање у равности застора на равњачи дужине од 4 м је  $\pm 4$  мм.

Попречни нагиб коловоза у правцу је 2.0 (2.5)%.

#### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Александар Цветановић, **КОЛОВОЗНЕ** КОНСТРУКЦИЈЕ, Научна књига, Београд 1992.

## 6.4 МАТЕРИЈАЛИ

Материјали које примењујемо у коловозним конструкцијама на основу њиховог понашања под оптерећењем делимо на:

- невезане зрнасте материјале
- везане материјале
- асфалт бетоне
- цемент бетоне

Карактеристике наведених материјала су приказане у табели 6.4.

Табела 6.4. Врсте и карактеристике материјала

Карактеристике	М а т е р и ј а л и			
	Невезани зрнасти материјали	Везани материјали	Асфалт бетони	Цемент бетони
Врста материјала	Дробљни камен Шљунак Тло Механички стабилизирани материјали Битуменом стабилизирани материјали Хемијски модификовани материјали Цементом, кречом или пепелом модификовани материјали	Кречом стабилизирани материјали Цементом стабилизирани материјали Пепелом стабилизирани материјали	Асфалт бетони Ливени асфалти	Цемент бетони
Битне карактеристике	Укљештењем зрна агрегата ствара се чврстоћа на смицање Безначајна чврстоћа на затезање	Хемијским везивањем и укљештењем зрна настаје отпорност на смицање Поседују значајну чврстоћу на затезање	Везиво и укљештење зрна дају значајну чврстоћу на смицање Својства зависе од температуре	Везиво и укљештење зрна дају велику чврстоћу на смицање
Облици оштећења	Деформације и дезинтеграције	Пукотине и чупање агрегата	Пукотине и трајне деформације	Пукотине
Пројектни параметри	Модули, Поасонови коеф. степен анизотропије	Модули, Поасонови коеф.	Модули, Поасонови коеф.	Чврстоће на затезање и притисак
Критеријуми понашања	Параметри из техничких услова	Отпорност на замор	Отпорност на замор	Отпорност на замор и чврстоће

#### 6.4.1 НЕВЕЗАНИ ЗРНАСТИ МАТЕРИЈАЛИ

Невезане зрнасте материјале чине песковито шљунковити или дробљени камени материјали дефинисаног гранулометријског састава који омогућује њихову механичку стабилизацију, уградљивост и збијеност. Карактеристике ових материјала у погледу гранулометријског састава и механичких својстава дефинисане су стандардима.

Модификовани зрнасти материјали представљају зрнасте материјале чије су карактеристике (нпр. пластичност - крутост) побољшане додатком неког везива.

Максималне и минималне величине зрна за поједине врсте материјала су:

- шљунак - зрна између 60 и 2 mm
- песак - зрна између 2 и 0.06 mm
- прашина - зрна између 0.06 и 0.002 mm
- глина - сва зрна мања од 0.002 mm

Песак и прашина су разврстани на крупнозрне, средње и ситне фракције:

- крупнозрни песак - зрна између 2 и 0.6 mm
- средњезрни песак - зрна између 0.6 и 0.2 mm
- ситнозрни песак - зрна између 0.2 и 0.06 mm
- крупнозрна прашина - зрна између 0.06 и 0.02 mm
- средњезрна прашина - зрна између 0.02 и 0.006 mm
- ситнозрна прашина - зрна између 0.006 и 0.002 mm

Карактеристични гранулометријски састави невезаних зрнастих материјала у доњој и горњој подлози (по ААSНТО препорукама М147-65 - 1980), приказани су у табели 6.5. Појас гранулометријског састава А првенствено се користи за подлоге, Б, Ц и Д за доње подлоге, а Е и Ф за засторе код путева који немају хабајући слој од везаних материјала.

Табела 6.5. Гранични појасеви гранулометријског састава невезаних материјала

Величина сита	Проценти пролаза					
	А	Б	Ц	Д	Е	Ф
50 mm	100	100				
25 mm		75-95	100	100	100	100
9.5 mm	30-60	40-75	50-85	60-100		
4.75 mm	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
2 mm	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
425 μm	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
75 μm	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20	8-25

Остали захтеви:

1. Крупнозрни агрегати (>2 mm) да по Лос Анђелес-у имају хабање мање од 50.
2. Да фракције које пролазе сито 425  $\mu\text{m}$  имају границу течења не већу од 25% и индекс пластичности не већи од 6%.

Граничне криве просејавања за материјале у доњој и горњој подлози за аутопутеве и аеродроме по ASTM препорукама D2490-74 - 1985, су приказане у табели 6.6.

Табела 6.6. Гранични појасеви просејавања за аутопутеве и аеродроме

Величина сита	Проценти пролаза	
	Подлога	Доња подлога
50 mm	100	100
37.5 mm	95-100	90-100
19 mm	70-92	
9.5 mm	50-70	
4.75 mm	35-55	30-60
600 $\mu\text{m}$	12-25	
75 $\mu\text{m}$	0-8	0-12

Остали захтеви:

1. Крупнозрни агрегати да буду чврсти и дуготрајни
2. Да фракције које пролазе кроз сито од 75  $\mu\text{m}$  не прелазе 60 процената од фракција које пролазе кроз сито од 600 $\mu\text{m}$
3. Да фракције које пролазе кроз сито од 425  $\mu\text{m}$  имају границу течења не већу од 25 процената и индекс пластичности не већи од 4 процента

Поасонов коефицијент је од 0.1 до 0.5 (најчешће 0.35). Повратни или неки други модул, зависе од збијености и нивоа подземних вода.

Модул директно зависи од нивоа примењеног напона:

$$E = K_1 \cdot \theta^{K_2}$$

где је: E - модул [MPa]

$\theta$  - модул [MPa]

$K_1, K_2$  - експериментално одређени коефицијенти

#### 6.4.2 ВЕЗАНИ МАТЕРИЈАЛИ

Везане материјале добијамо мешањем зрнастих материјала са неким од везива као што су цемент, креч или неко друго хидрауличко везиво, која значајно побољшавају чврстоће на затезање основног материјала.

Граничне криве просејавања за зрнасте материјале цементом стабилизоване, приказане су у табели 6.7. Чврстоћа на притисак после 7

дана требало би да буде између 5 и 7 N/mm<sup>2</sup>. Учешће количине цемента по маси стабилизације зависи од гранулометријског састава. Код песковитог шљунка или дробљеног материјала износи од 3.5 до 7%, а код песковитих и прашинасто глиновитих од 7 до 10%.

Табела 6.7. Гранични појасеви за материјале цементом стабилизоване

Величина сита	Проценти пролаза по маси
50 mm	100
37.5 mm	95-100
20 mm	45-100
10 mm	35-100
5 mm	25-100
mm	15-90
600 μm	8-65
300 μm	5-40
75 μm	0-10

Граничне криве просејавања за агрегате (дробљене, песковито-шљунковите, шљаку) са максималном величином зрна од 40 до 20 mm, приказане су у табели 6.8.

Табела 6.8. Гранични појасеви за мршаве бетоне

Величина сита	Проценти пролаза по маси	
	40 mm	20 mm
50 mm	100	
37.5 mm	95-100	100
20 mm	45-80	95-100
5 mm	25-50	35-55
600 μm	8-30	10-35
150 μm	0-8 <sup>+</sup>	0-8 <sup>+</sup>

<sup>+</sup> 0-10 за дробљене агрегате

Чврстоћа на притисак после 7 дана би требало да износи између 6 (10) и 10 (15) N/mm<sup>2</sup>. Чврстоће цементом стабилованих материјала и мршавог бетона, због поузданости резултата, требало би у принципу испитивати на цилиндрима основе од 15 cm (међутим, у пракси је уобичајено 10 cm). Утицај неговања и старења на цементом стабиловане материјале и мршаве бетоне приказан је на слици 6.12.

Поасонов коефицијент мало зависи од дебљине слоја и приближно износи око 0.20.

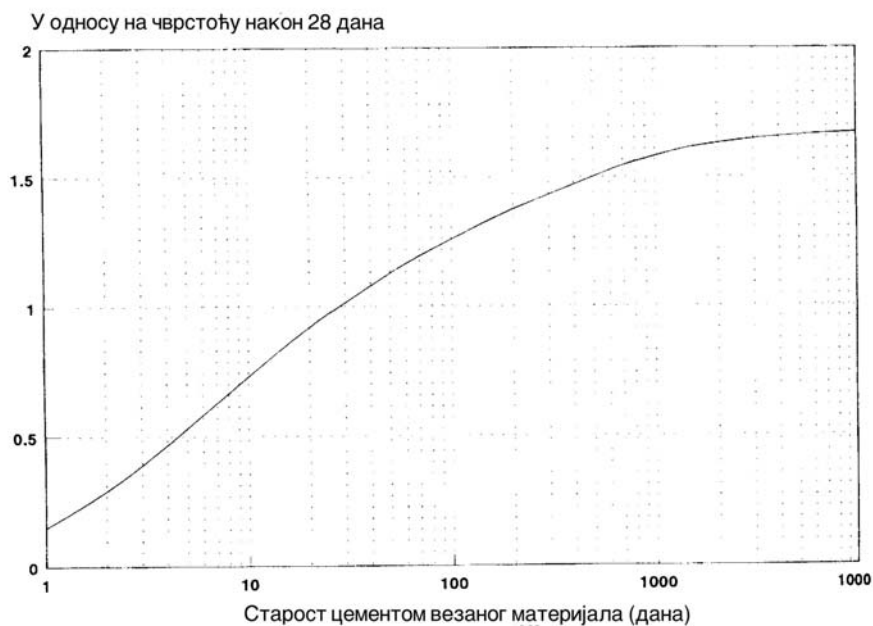
Типичне корелације између модула еластичности и чврстоће на притисак са слободним бочним ширењем су:

- $E = 1814 UCS^{0.88} + 3500$  за дробљене материјале везане цементом
- $E = 2240 UCS^{0.88} + 1100$  за природне шљунковите материјале везане цементом

где је:

$E$  - модул еластичности [МПа]

$UCS$  - чврстоћа на притисак са неспреченим бочним померањем [МПа]



Слика 6.12. Утицај старости на чврстоћу на притисак цементно везаних материјала

Оријентационе вредности модула еластичности за цементно везане материјале приказане су у табели 6.9.

Табела 6.9. Оријентационе вредности модула еластичности за цементно везане материјале

Стабилизовани материјали цементом	Модул еластичности, [GPa]		
	Динамички	Статички	Средњи
Стаб. зрнасто тло	18	10	14
Стаб. прашинасто тло, $PI < 10$	7	4	5
Стаб. глиновито тло, $PI > 10$	1	0	0.5
Стаб. песковито-шљунковит материјал	23	13	18
Нормални мршави бетон	27	19	23
Јачи мршави бетон	30	34	27

Индијектна чврстоћа на затезање износи 1/8 до 1/10 од  $UCS$ . Карактеристичне вредности модула су приказане у табели 6.10. Оријентациона вредност дилатација за један милион понављања оптерећења износи 50 процената од статичке дилатације при лому узорка.

Табела 6.10. Оријентационе вредности еластичних карактеристика

Карактер. материјала	Невезани зрнасти материјали						Везани материјали <sup>1</sup>		
	Квалитетни дробљени камени материјали		Квалитетни шљунковити материјали у подлози		Шљунковити материјал у тампону				
Карактер.	Невезани	Везани	Невезан	Везан	Невезан	Везан	Дробљени камени материјал са 2-3% везива	Шњунак у подлози са 4-5% везива	Шљунак у тампону са 4-5% везива
Вертикални модул, [МПа]	150-550	200-700	150-500	200-500	150-400	150-450	3000-8000	3000-7000	1500-3000
Типичне вредности вертикалног модула, [МПа]	500 <sup>2</sup> 350	500 <sup>2</sup> 350	400 <sup>2</sup> 300	400 <sup>2</sup> 300	300 <sup>2</sup> 250	300 <sup>2</sup> 250	5000	5000	2000
Степен анизотропије <sup>3</sup>	2	2	2	2	2	2	1	1	1
Поасонов коефицијент	0.25-0.4	0.25-0.4	0.25-0.4	0.25-0.4	0.25-0.4	0.25-0.4	0.1-0.3	0.1-0.3	0.1-0.3
Типичне вредности Поасоновог коефицијенти	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.2	0.2	0.2

1. Основно везиво је цемент, али може креч, летећи пепео или зрнаста згура  
2. Модификовани метод збијања, остале вредности важе за стандардно збијање  
3. Степен анизотропије = вертикални/хоризонтални модул

У просеку модул од око 2000 МПа имају стабилизовани цементом шљунковито песковити материјали, крупнозрни дробљени агрегати или "лако" стабилизовани квалитетни дробљени камени материјали. Стабилизовани квалитетни дробљени камени материјали или квалитетни шљунковито песковити материјали имају модул око 5000 МПа. Мршави и ваљани бетони имају модул око 10000 МПа и чврстоћу на притисак после 28 дана од 5 до 7 МПа.

Битуменом везани материјали, по месту и начину справљања су подељени у две основне групе: мешавине које се производе у постројењима за справљање по врућем и мешавине справљане по хладном поступку и мешавине које се производе на лицу места (површинске обраде, пенетрисани макадама, микроасфалти и битуменизирани малтери).



Најпознатији материјали добијени по врућем поступку су: асфалт бетони, битуменизирани материјали и ливени асфалти. У табели 6.11. су приказани гранични појасеви за битуменизиране материјале.

Табела 6.11. Гранични појасеви за битуменизиране материјале  
(ЈУС У.Е9.021/86)

Величина квадратног отвора сита, [mm]	БХНС-16	БНС-22 *	БНС-22с	БНС-32	БНС-32с	ДНС крупнозрни	ДНС средње зрни	ДНС ситнозрни
	пролази кроз сита, %							
0.09	5-12	4-14	5-11	3-12	4-10	2-15	2-20	6-20
0.25	9-30	7-37	8-17	5-18	7-15	5-23	8-32	10-65
0.71	15-40	12-53	13-27	9-27	12-23	9-30	16-45	38-90
2.00	26-55	21-65	24-40	17-40	20-35	15-40	30-65	60-100
4.00	38-70	30-74	34-53	24-52	29-46	24-52	46-81	67-100
8.00	58-88	44-85	50-70	34-68	41-62	37-68	64-94	75-100
11.2	74-98	54-92	61-81	42-78	50-71	47-80	75-100	78-100
16.0	95-100	70-100	75-94	53-90	61-82	59-95	85-100	83-100
22.4	100	97-100	97-100	70-100	76-94	73-100	90-100	90-100
31.5		100	100	97-100	97-100	87-100	97-100	100
45.0				100	100	100	100	
Технол. дебљине, [mm]	мин 4.5 мак 6.5	мин 6.0 мак 10	мин 6.0 мак 10	мин 6.0 мак 14	мин 7.0 мак 14	мин 12	мин 10	мин 10

\* БНС - битуменизирани носећи слој

Најпознатији материјали добијени по хладном поступку су: површинске обраде (једноструке и двоструке), микро асфалти, битуменски малтери (slurry seal) и мешавине за крпљење рупа у коловозима.

### 6.4.3 АСФАЛТ БЕТОНИ

Асфалт бетон је мешавина битумена и агрегата који чврстоћу остварује трењем између зрна агрегата и везивањем битумена за агрегат. Најчешћи облик оштећења застора од асфалт бетона су трајне деформације - колотрази и пукотине изазване замором.

Гранични појасеви гранулометријског састава мешавина за асфалт бетоне су приказани у табели 6.12.

Табела 6.12. Гранични појасеви мешавина за асфалт бетоне  
(ЈУС У.Е4.014/90)

Величина квадратног отвора сита, [mm]	АБ-4	АБ-8	АБ-11	АБ-11с	АБ-16	АБ-16с	АБ-22с
	пролази кроз сита, %						
0.09	8-18	4-12	3-12	3-11	3-12	3-10	2-8
0.25	17-33	11-27	8-28	8-18	8-25	8-17	7-14
0.71	55-75	20-41	16-38	16-30	15-36	15-28	11-23
2.00	95-100	38-56	31-54	31-48	27-49	27-43	20-36
4.00	100	56-74	49-69	49-65	40-62	40-56	30-47
8.00		96-100	75-90	75-87	60-80	60-75	46-64
11.2		100	97-100	97-100	74-90	74-86	57-75
16.0			100	100	97-100	97-100	72-87
22.4					100	100	97-100
31.5							100
Технолошке дебљине, [mm]	мин 2.0 мак.3.0	мин 3.0 мак.4.0	мин 3.5 мак.5.0	мин 4.0 (5.0) мак.6.0	мин 5.0 мак.6.0	мин 6.0 мак.7.5	мин 7.0 мак.8.5

Типичан однос између збијања и шупљина испуњених ваздухом приказан је на слици 6.13.

Савремени поступци испитивања асфалт бетона захтевају динамичке опите. Њима се испитује отпорност на замор и одређује динамички модул. Дужина трајања оптерећења за дату брзину саобраћаја одређује се из односа:

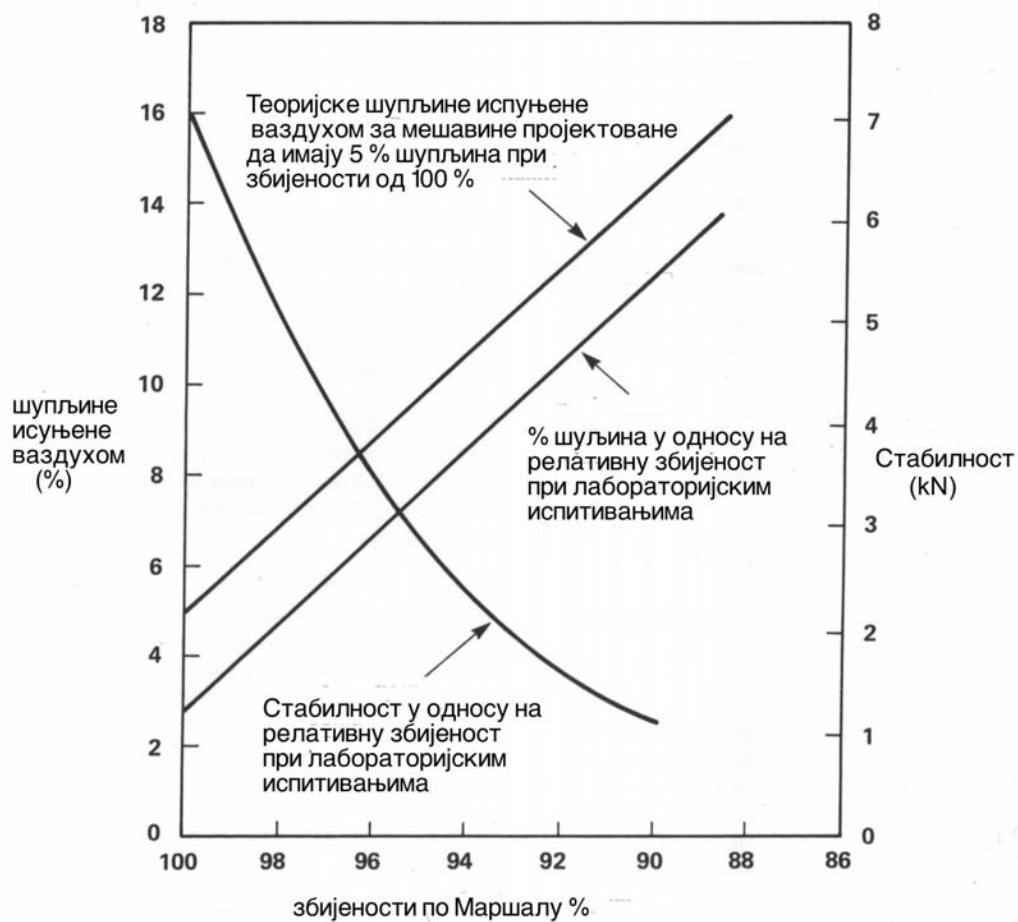
$$t = \frac{1}{V}$$

где је:

$t$  - дужина трајања оптерећења [s]

$V$  - брзина саобраћаја [km/h]

Најчешће се узима да оптерећење траје 0.1 секунду, а период између два оптерећења 0.9 секунди.



Слика 6.13. Типичан однос између збијености, стабилности и шупљина испуњених ваздухом за одређену асфалт бетонску мешавину

#### 6.4.4 ЦЕМЕНТНИ БЕТОНИ

Бетони представљају мешавину Портланд везива, агрегата, воде, хемијских додатака (за успоравање везивања, убрзавање везивања и увлачење ваздуха). Максимална величина зрна агрегата (код коловоза) је од 10 до 40 mm. За справљање бетона најчешће се користи мешавина крупнозрног (табела 6.13) и ситнозрног (табела 6.14) агрегата у односу који треба експериментално утврдити.

Табела 6.13. Граничне криве крупнозрног агрегата по енглеским прописима

Величина сита, mm	Проценти пролаза кроз сита по маси							
	Више фракцијски агрегат			Једнофракцијски агрегат				
	40-5 [mm]	20-5 [mm]	14-5 [mm]	40 [mm]	20 [mm]	14 [mm]	10 [mm]	5 [mm] <sup>+</sup>
50.0	100			100				
37.5	90-100	100		85-100	100			
20.0	35-70	90-100	100	0-25	85-100	100		
14.0			90-100			85-100	100	
10.0	10-40	30-60	50-85	0-5	0-25	0-50	85-100	100
5.0	0-5	0-10	0-10		0-5	0-10	0-25	45-100
2.36							0-5	0-30

<sup>+</sup> Користи се најчешће за преднапрегнуте бетоне

Табела 6.14. Граничне криве за ситнозрни агрегат

Сито, [mm]	Маса, % пролаза
9.5	100
4.75	95-100
1.18	45-80
0.300	10-30
0.150	2-10

За потребе коловозних конструкција према литератури [2], за крупнозрни агрегат важе следећа 4 појаса (табела 6.15), а за ситнозрни агрегат је гранична линија приказана у табели 6.16.

Табела 6.15. Гранични појасеви према Прописима Америчке војске

Сита [mm]	Линија А [%]	Линија Б [%]	Линија Ц [%]	Линија Д [%]
63			100	100
45		100	96 – 100	70 – 89
31.5		97 – 100	57 – 78	16 – 43
22.4	100	83 – 93	12 – 35	0 – 13
16	95 – 100	47 – 75	0 – 12	
11.2	60 – 80	20 – 56	0 – 8	0 – 5
8	15 – 43			
4	0 – 9	0 – 9		
2	0 – 6	0 – 6		

Табела 6.16. Гранулометријски појас за ситнозрни агрегат

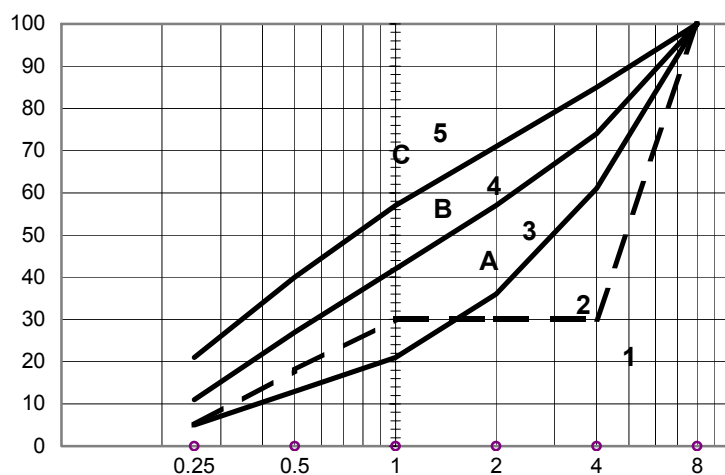
Сита [mm]	Линија песка [%]
8.0	100
4.0	91 – 98
2.0	75 – 88
1.0	52 – 75
0.71	37 – 65
0.50	25 – 52
0.25	8 – 24
0.125	0 – 6

Према немачком стандарду DIN 1045, ситнозрни агрегат треба да се налази у следећем појасу приказаном у табели 6.17.

Табела 6.17. Гранулометријски појас за ситнозрни агрегат према DIN 1045

Сита [mm]	A [%]	Б [%]	В [%]
8	100	100	100
4	61	74	85
2	36	57	71
1	21	42	57
0.25	5	11	21

На слици 6.14 се види употребљивост одређених зона које чине граничне линије за ситнозрну мешавину.

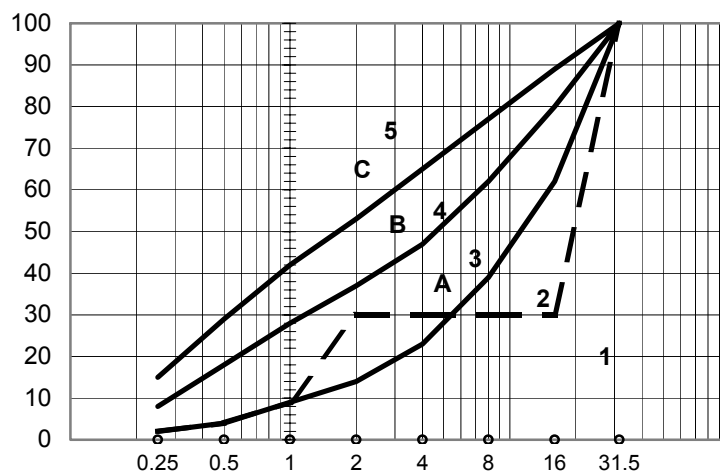


Слика 6.14. Гранични појасеви за ситнозрну мешавину према DIN 1045

Анализом површина које формирају криве може се закључити да:

- подручје (1) није подесно, јер се бетони са таквом композицијом тешко уграђују
- подручје (2) се употребљава за дисконтинуалне агрегате
- подручје (3) представља оптимално решење, јер бетони направљени са овим учешћем ситнозрне фракције захтевају мале количине воде и цемента за лаку уградњу
- подручје (4) је употребљиво, али агрегат захтева повећану употребу воде и цемента за уградљив бетон
- подручје (5) се избегава, јер агрегат захтева доста воде и велику количину цемента

На слици 6.15 је приказана употребљивост одређених зона које чине граничне линије за крупнозрну мешавину према DIN 1045.



Слика 6.15. Гранични појасеви за крупнозрну мешавину (0 до 31.5 mm) према DIN 1045

Анализом површина које формирају криве може се закључити да:

- подручје (1) није подесно, јер се бетони са таквом композицијом тешко уграђују
- подручје (2) се употребљава за дисконтинуалне агрегате
- подручје (3) представља оптимално решење, јер бетони направљени са овим учешћем ситнозрне фракције захтевају мале количине воде и цемента за лаку уградњу
- подручје (4) је употребљиво, али агрегат захтева повећану употребу воде и цемента за уградљив бетон
- подручје (5) се избегава, јер агрегат захтева доста воде и велику количину цемента

Количина воде треба да је што мања, тј. минимална са гледишта уградљивости, с тим да водоцементни фактор не прелази 0.5. С обзиром да је 1 kg воде потребан за хидратацију 4 kg цемента, са гледишта очвршћавања мешавине потребан је водоцементни фактор 0.25 (остатак се користи за олакшано уграђивање). По Енглеским прописима чврстоћа на притисак (на коцкама) после 7 дана треба да је  $31 \text{ N/mm}^2$  ( $44 \text{ N/mm}^2$  после 28 дана). Нормално је да овај однос чврстоћа за квалитетне коловозе од бетона износи 0.7:1.

Величина мехура убаченог ваздуха (због повећања отпорности бетона на дејство леда и средстава за одлеђивање) је између 0.025 до 0.075 mm. Експериментално је утврђено да око 9% шупљина испуњених ваздухом (у малтеру) пружају адекватну заштиту, што је приказано у табели 6.18.

Табела 6.18. Промена шупљина испуњених ваздухом с обзиром на величину агрегата

Максимална величина крупнозрног агрегата, [mm]	Приближни проценат малтера у мешавини	Укупан садржај шупљина (9% у малтеру)
75	50	4.5
40	55	5.0
20	60	5.4
10	75	6.8

Мршави бетони изгледају као нормани бетони, једино што је однос агрегата и цемента 15 (20):1, односно 100 до 140  $\text{kg/m}^3$ . Чврстоћа на притисак износи од 5 до 10  $\text{MN/m}^2$ . Најмања дебљина горње подлоге од мршавог бетона не може бити мања од 15 cm, нити дебљина једног слоја већа од 30 cm.

Бетони који се употребљавају за засторе треба после 28 дана да имају чврстоћу при савијању од 3 до 5 МПа, а дозвољени напон на затезање при савијању око 0.25 МПа. Оријентационе вредности разних чврстоћа су приказане у табели 6.19.

Табела 6.19. Оријентационе вредности чврстоћа у бетону

Количина цемента, [kg]	МВ	Чврстоћа на затезање при савијању, [МПа]	Дозвољени напон на затезање при савијању, [МПа]	Модул еластичности бетона, [GPa]
150	10	2.1	1.6	21
200	15	2.7	2.0	27
250	20	3.4	2.6	28.5
или више	25	3.8	2.9	30
	30	4.3	3.2	31.5
	35	4.8	3.5	33
	40			34.5

Захтеване чврстоће (по JUS U.E3.020) за предвиђена саобраћајна оптерећења су приказане у табели 6.20.

Табела 6.20. Захтеване чврстоће

Предвиђено саобраћајно оптерећење	МБ [МПа]	Чврстоћа на затезање при савијању $\beta_{zs}$ , [МПа]
врло тешко	40	5.0
тешко	35	4.5
остало	30	4.0

Дозвољени нормални напони у бетону зависе од марке бетона и врсте напона. Међутим, у коловозним конструкцијама најинтересантнији са гледишта димензионирања су дозвољени напони на затезање при савијању  $\sigma_{zs}$ . Просечна вредност чврстоће на затезање при савијању бетона износи око 4.8 МПа. Дозвољени напон на затезање при савијању се израчунава помоћу обрасца:

$$\sigma_{zs} = \frac{\beta_{zs}}{F_s}$$

где је:

$\sigma_{zs}$  - дозвољени напон на затезање при савијању [МПа]

$\beta_{zs}$  - чврстоћа на затезање при савијању (оптерећење делује у трећинама распона) [МПа]

$F_s$  - фактор сигурности (најчешће 1.33), табела 6.21.

Табела 6.21. Коефицијенти сигурности

Број понављања оптерећења који изазива лом конструкције	Коефицијенти сигурности $F_s$
5000	1.33
10000	1.52
25000	1.68
50000	1.84
75000	1.94
100000 или више	2.00

#### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Александар Цветановић, **КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ**, Научна књига, Београд 1992.
- [2] **Standard Practice For Concrete Pavements** - Departments of The Army And The Air Force Technical Manual, ARMY TM 5-822-7 AIR FORCE AFM 88-6, Chap. 8, August 1987.



## 6.5 УТИЦАЈИ СРЕДИНЕ НА КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

### 6.5.1 УТИЦАЈИ ТЕМПЕРАТУРЕ И ВОДЕ НА ФЛЕКСИБИЛНЕ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

Под природном средином (environment) подразумевамо простор у коме треба изградити пројектом предвиђену коловозну конструкцију. Фактори којима природна средина делује на коловозну конструкцију доводе до следећих промена у материјалима и међу материјалима од којих је она сачињена:

- мењају се физичкомеханичке карактеристике материјала - чврстоћа на притисак (compressive strength) и затезање (tensile strength)
- мењају се особине хемијских веза у везиву (битумену) и везе између везива и агрегата од кога је сачињена мешавина, као и време физичкомеханичке разградње
- мења се запремина као и резултујући унутрашњи напони

Коловозна конструкција, посматрана као физичко тело, прима и емитује топлоту према Фуријеовом закону:

$$dT/dt = (\lambda/cp) \times [(\delta^2T/\delta^2_x) + (\delta^2T/\delta^2_y) + (\delta^2T/\delta^2_z)]$$

где је:

T - температура тела - коловозне конструкције [°C]

t - време [сати]

c - специфична топлота тела [J/kg°C]

p - густина масе [kg/cm³]

λ - термичка проводљивост тела [W/m°C]

x, y - координате у равни [m]

z - координата управна на раван (x, y) [m]

Из практичних потреба ова једначина је сведена само на вертикалну компоненту и изгледа овако:

$$dT/dt = (\lambda/cp) \times (\delta^2T/\delta^2_z)$$

Разрадом овог Фуријеовог закона добијено је неколико образаца помоћу којих се одређује температура асфалтног коловоза. Неки од тих су:

- Витцаков образац

$$MPT = 1.07 MAT + 4.53$$

где је:

MPT - температура асфалтног коловоза [°C]

MAT - температура ваздуха [°C]

- Томпсонов образац

$$T_{AC} = (0.76 \times Z - 1.7) + (1.18 - 0.017 \times Z) \times \text{ММАТ}$$

где је:

Z - дубина у асфалт бетону [in] (1 in = 2.54 cm)

$T_{AC}$  - температура у асфалт бетону [°F] ( $^{\circ}\text{F} = (9/5)(^{\circ}\text{C}) + 32$ )

ММАТ - средња месечна температура ваздуха [°F]

- образац Института за асфалт

$$\text{ММРТ} = \text{ММАТ} \times [1 + 1/(Z + 4)] - 34/(Z + 4) + 6$$

где је:

ММРТ - средња месечна температура асфалтног коловоза [°F]

ММАТ - средња месечна температура ваздуха [°F]

Z - дубина у асфалт бетону [in]

- Хвенгов образац

$$T_{P1} = T_a \times [1 + 3/(h_1 + 12)] - [102/(h_1 + 12)] + 6$$

$$T_{P2} = T_a \times [1 + 3/(3 \times h_1 + h_2 + 12)] - [102/(3h_1 + h_2 + 12)] + 6$$

где је:

$T_{P1}$  и  $T_{P2}$  - температура првог и другог слоја асфалтног коловоза [°F]

$T_a$  - температура ваздуха [°F]

$x_1$  - дебљина застора [in]

$x_2$  - дебљина подлоге [in]

Сваки од наведених израза се користи на одређени начин у неколиким методима за димензионарање.

На продирање температуре кроз коловозну конструкцију утичу следеће карактеристике материјала од којих је она сачињена:

- специфични топлотни капацитет по јединици запремине и термичка проводљивост за различите слојеве конструкције
- коефицијент сунчеве рефлексије од површине застора
- ниво посматране тачке у коловозу и величина временског интервала
- температура на дну везаних слојева
- почетна температура застора и постелице

У табели 6.22 су приказане термичке особине асфалт бетона, а у табели 6.23 оријентационе вредности капацитета загревања и термичке проводљивости.

За доњу подлогу, топлотна проводљивост може бити одређена из израчунатих вредности за песак и глину.

Табела 6.22. Термичке особине асфалт бетона

$\kappa$ [ $W/m^{\circ}C$ ]	$\alpha$ [ $m^2/s$ ]	$\rho \cdot c$ [ $J/m^3^{\circ}C$ ]	Примедба
1.454	-	$1.44 \times 10^6$	-
2.88	$14.4 \times 10^{-7}$	$2.00 \times 10^6$	18 °C, сув
2.28	$11.5 \times 10^{-7}$	$1.97 \times 10^6$	38 °C, сув
1.21	$5.75 \times 10^{-7}$	-	из Института за асфалт
0.74 - 0.76	-	-	20 °C - 56 °C
0.167 - 0.172	-	-	чист битумен 20 °C - 80 °C
0.65 - 0.75	-	-	асф. мешавина употребљена на улици
1.37 - 1.75	$7.8 \times 10^{-7}$	$C = 879-963$	-
		$C = 879$	100 °C
1.21	-	$C = 920$	-
1.2	$5.9 \times 10^{-7}$	$2.07 \times 10^6$	80 °C - 149 °C
		$C = 921$	-
1.5	-	-	-
0.85 - 2.32	-	-	-
			битумен без парафина
0.14 - 0.17	-	$C = 1852 - 2561$	0 °C - 300 °C

$\kappa$  [ $W/m^{\circ}C$ ] - топлотна проводљивост слојева,  $c$  [ $J/kg^{\circ}C$ ] - специфични топлотни капацитет  
 $\rho$  [ $kg/m^3$ ] - густина,  $\alpha$  [ $m^2/s$ ] =  $K/(\rho \cdot c)$  - коефицијент распрострања

Табела 6.23. Оријентационе вредности капацитета загревања и термичке проводљивости

Слој у коловозној конструкцији	Капацитет загревања по јединици запремине	Густина слоја	Процентна по маси појединих саставних елемената			Специфични топлотни капацитет појединих саставних елемената			Термичка проводљивост
			Вл	Ве	Аг	Вл	Ве	Аг	
	[ $MJ/m^3^{\circ}C$ ]	[ $Mg/m^3$ ]				[ $kJ/kg^{\circ}C$ ]			[ $W/m^{\circ}C$ ]
Застор (хабајући и везни слој)	1.93	2.40		6.4	9.36		1.75	0.76	2.28
Горња подлога од битуменом везаног шљунка	1.95	2.40		5.4	94.6		1.75	0.76	1.79
Доња подлога - тампон од шљунковитог материјала	2.30	2.29	7		93	4.19		0.76	2.47
Глиновита постељница	2.83	2.25	1.45		85.5	4.19		0.76	2.08

Вл - влаге, Ве - везива, Аг - агрегата

Топлотну проводљивост битуменом везаних материјала можемо израчунати за одређену дневну амплитуду синусоидне промене просечних дневних температура (последња колона у табели 6.23). Температуру у коловозној конструкцији региструјемо на сваких 10 mm и на 1 m од површине коловоза у интервалима од 1 сата.

Температурни утицај на битуменом везане материјале је манифестован преко промене модула крутости (*stiffness modulus*), односно носивости.

Коефицијент дилатције асфалтног застора је веома мали и износи око  $2.3 \times 10^{-5}$  [ $1/^\circ\text{C}$ ].

При оштрим зимама, када су температуре ниже од  $-15^\circ\text{C}$ , може доћи до појаве термичких напона и у флексибилним коловозним конструкцијама. Максималан напон затезања је од 50 до 100 кПа. У табели 6.24 су приказане оријентационе вредности термичких карактеристика материјала, који се примењују у коловозним конструкцијама.

Табела 6.24. Оријентационе термичке вредности агрегата

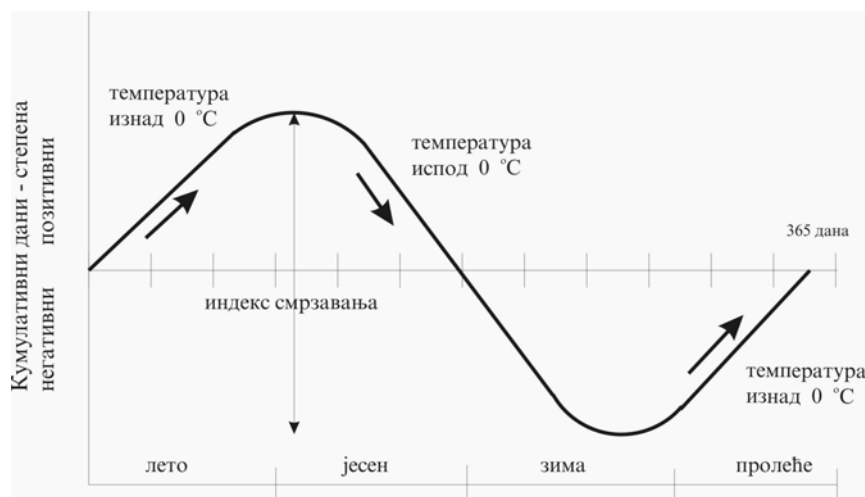
<b>Агрегат</b>	<b><math>\kappa</math> [<math>\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}</math>]</b>	<b><math>\alpha</math> [<math>\text{m}^2/\text{s}</math>]</b>	<b><math>c</math> [<math>\text{J}/\text{kg}^\circ\text{C}</math>]</b>
Калцит 0 $^\circ\text{C}$ 200 $^\circ\text{C}$			790 1000
Доломит 60 $^\circ\text{C}$			930
Кварц 0 $^\circ\text{C}$ 200 $^\circ\text{C}$			698 969
Кречњак 58 $^\circ\text{C}$ Кречњак, ср. вредност од 3 $^\circ\text{C}$ до 50 $^\circ\text{C}$			1000 680
Кречњак, ср. вредност од 10 $^\circ\text{C}$ до 65 $^\circ\text{C}$			830
Кварцит 0 $^\circ\text{C}$ 200 $^\circ\text{C}$			700 970
Гранит 0 $^\circ\text{C}$ 200 $^\circ\text{C}$			650 950
Базалт 0 $^\circ\text{C}$ 200 $^\circ\text{C}$			850 1040
Пешчар 59 $^\circ\text{C}$			930
Дијабаз 0 $^\circ\text{C}$ 200 $^\circ\text{C}$			700 870
Шкриљац 0 $^\circ\text{C}$ 200 $^\circ\text{C}$			710 1000
Просечна вредност за песак и шљунак	1.82		
Калцит 100 $^\circ\text{C}$	2.86		
Кварц 100 $^\circ\text{C}$	6.45		
Гранит 100 $^\circ\text{C}$	2.37		
Базалт	1.82 - 2.2		
Компактан кречњак	2.0 - 3.4		
Порозни кречњак	1.1 - 2.2		
Шкриљац 100 $^\circ\text{C}$	1.8		
Доломит 100 $^\circ\text{C}$	3.99		
Кварцит 100 $^\circ\text{C}$	5.2		
Гранит - гнајс	1.8 - 2.8		
Гранит - шкриљац	2.7		
Тврди пешчар	2.6 - 4.5		

### 6.5.1.1 ПРОДИРАЊЕ МРАЗА КРОЗ КОЛОВОЗНУ КОНСТРУКЦИЈУ

Мраз делује на коловозну конструкцију на два начина. Током смрзавања, од воде која је продрла у коловозну конструкцију формирају се кристали леда. Услед тога се повећава запремина и издиже коловозни застор. Током периода отопљавања, лед се топи смањујући запремину и повећавајући влажност. Тиме бивају изазване трајне деформације коловозне конструкције и њен лом.

Мржњење тла зависи од дужине трајања ниских температура. Температура и дужина њеног трајања је изражена у дан - степенима. Један дан - степен приказан је једним даном са средњом температуром ваздуха од 1°C испод температуре мржњења. Једница је прилично неодређена, јер 10 дана-степени може бити 10 дана са температуром ваздуха од -1°C, а може бити и 1 дан са температуром од -10°C.

Индекс смрзавања представља разлику између максимума и минимума на дијаграму “дана - степени” који је приказан на слици 6.16.



Слика 6.16. Одређивање индекса мраза

Дубина дејства мраза одређена је помоћу Олдричове формуле, која гласи:

$$Z = \Lambda \times \{(1000 \times k \times F)/L\}^{0.5}$$

где је:

Z - дубина дејства мраза у униформној средини [cm]

k - топлотна проводљивост [W/cm°C]

F - индекс смрзавања [дан-степен]

$L$  - латентна запреминска топлота (то је количина топлоте која се ослобађа при смрзавању јединице запремине тла [ $J/cm^3$ ] и одређује се помоћу израза:  $L = 3335.25 \times W \times \gamma_d$ )

$W$  - природна влажност [%]

$\Lambda$  - корекциони коефицијент (слика 6.17)

Корекциони коефицијент је одређен помоћу формуле:

$$\Lambda = (V_o \times t) / F$$

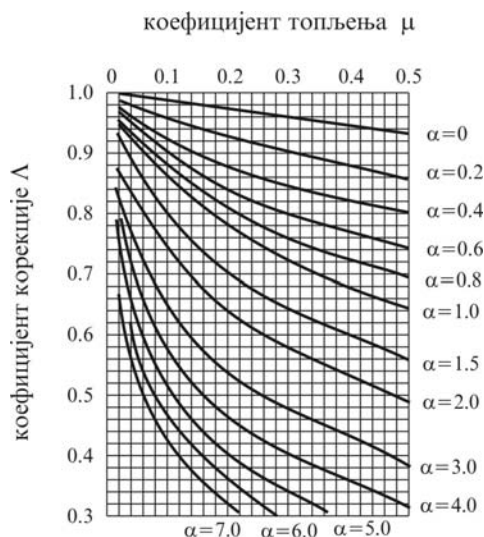
$$\mu = (C \times F) / (L \times t)$$

где је:

$t$  - трајање мрза [дан]

$C$  - запреминска топлота [ $J/m^3 \text{ } ^\circ C$ ]

$V_o$  - разлика између средње годишње температуре и тачке смрзавања тла [ $^\circ C$ ]



Слика 6.17. Корекциони коефицијенти за Олдричову формулу

Корекционим коефицијентом се коловозна конструкција апроксимира у једнолику средину, што она у суштини није, јер је вишеслојна и од различитих материјала. Затим, уз већ познате дебљине слојева и њихове термичке карактеристике, одређујемо латентне запреминске топлоте по слојевима, као однос  $L/K$  из израза:

$$L/K = (2 / Z^2) \times [(h_1 / k_1) \times (0.5 \times L_1 \times h_1 + \sum L_i h_T) + (h_2 / k_2) \times (0.5 \times L_2 \times h_2 + \sum L_i h_T) + \dots + (h_n / k_n) \times (0.5 \times L_n \times h_n)]$$

$h_i$  - дебљине слојева у коловозној конструкцији [cm]

Ломови коловозне конструкције настају услед дејства замора (последица саобраћајног оптерећења, понављања температурних циклуса), дејства ледених сочива у коловозној конструкцији, рефлектовања пукотина испод коловозне конструкције и услед деловања ниских температура.

Термичким дејством изазвани ломови у флексибилној коловозној конструкцији су проблем, како у климатским подручјима са ниским температурама, тако и у климатским зонама где је велика промена дневних температура. Два различита типа термичких ломова су занимљива за посматрање:

- ломови који су настали услед термичког замора материјала од којих је сачињена коловозна конструкција
- ломови као последица ниских температура

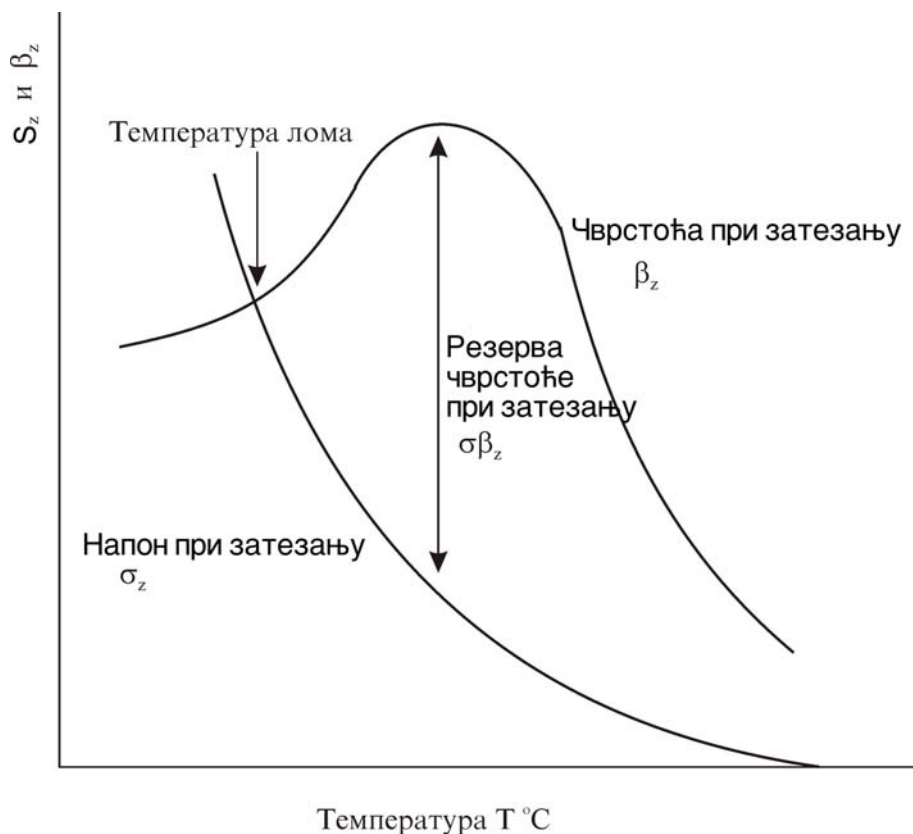
Наиме, температурним дејством изазвани напони у коловозној конструкцији су током дана углавном испод чврстоће употребљених материјала, те стога нема последица по коловоз. Међутим, долази до појаве заосталих напона, чијим акумулирањем после довољно дугог периода може доћи до појаве лома у конструкцији. Тај процес називамо термичким замором материјала.

Услед дејства ниских температура, термички напони бивају изједначени са чврстоћом при затезању материјала од којих је коловоз сачињен. На тај начин долази до кидања везе у битумену и веза битумена и агрегата - лома конструкције.

Упркос чињеници да истраживања деловања ниских температура на флексибилне коловозне конструкције трају више од пола века, садашња знања нису довољна да би тај проблем могао бити контролисан. Употреба досадашњих сазнања и процедура испитивања, не пружају адекватну могућност спречавања ломова флексибилних коловоза при ниским температурама.

Температура лома је графички приказана на слици 6.18. Чврстоћа при затезању асфалтне мешавине, као функција температуре може да се експериментално одреди у лабораторији, употребом како директног тако и индиректног опита на затезање, Винсон 1989 (Vinson 1989). Веза термичког напона показана на слици 6.18 може бити приказана експериментално и теоријски, употребом поступка који су описали Хилс и Брин 1966 (Hills, Brien). Утврђивање је базирано, поред осталог, на одређивању чврстоће везива помоћу ван дер Половог номографа (van der Poel) и чврстоће одговарајуће мешавине, употребом релације коју су прописали Хукелом и Кломп 1964 (Heukelom, Klomp). Касније су Хилс и Брин дорадили поступак сазнањем о термичком контракционом коефицијенту. Обадве линије су приказане на слици 6.18.

Тај концепт може се сматрати као мера капацитета асфалтног коловоза да издржи напоне изазване саобраћајем на температури лома.



Слика 6.18. Одређивање чврстоће при затезању у зависности од температуре

#### 6.5.1.2 ФАКТОРИ КОЈИ УТИЧУ НА ЛОМОВЕ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ ПРИ НИСКИМ ТЕМПЕРАТУРАМА

Велики број ефеката различитог типа, у току промене четири годишња доба, уочен је приликом посматрања понашања флексибилних коловоза. Високе температуре смањују драстично чврстоћу битуменом везаних материјала, а ниске (око  $-15^\circ$ ) изазивају пукотине у асфалтним засторима. У табели 6.25 је приказана комбинација фактора и значајност утицаја ниских температура на сваки од фактора.

Примера ради, истраживањима рађеним на Краљевском институту за технологију (Шведска) и Орегонском државном универзитету (САД), посебна пажња је посвећена деловању материјала једног на други у коловозној конструкцији.

Установљено је да се асфалтне мешавине са полимеризованим битуменима боље понашају на ниским температурама од асфалтних мешавина са



обичним битуменима. То се нарочито примећује код старијих мешавина. Код њих полимери одређеног типа могу да снизе температуру лома, иако се по природи ствари старије мешавине лакше ломе.

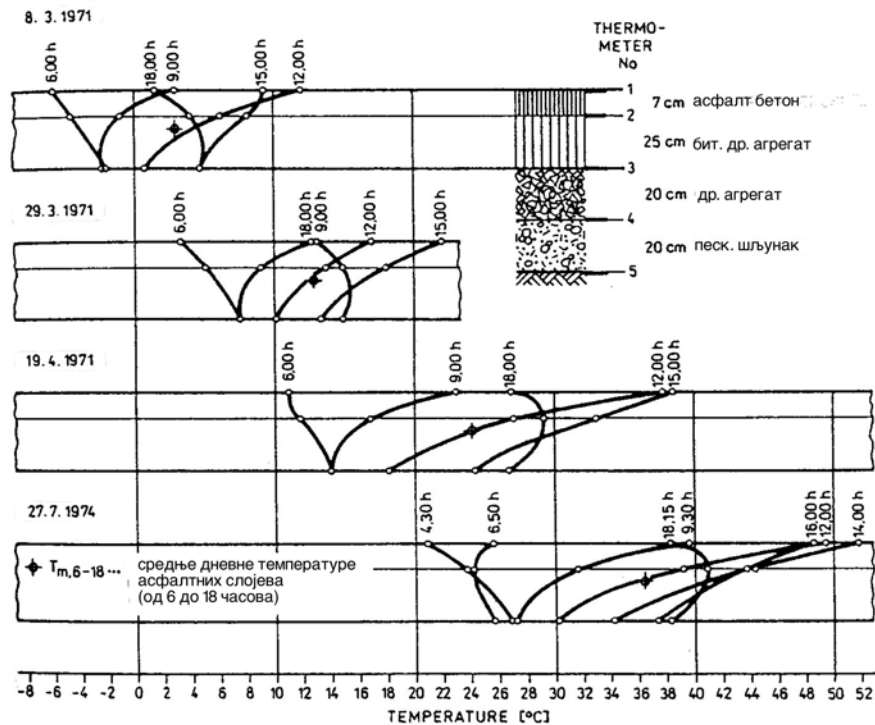
Сем тога, установљено је да највећи утицај на температуру лома има дужина старости мешавине. Код старијих мешавина температура лома је виша него код млађих мешавина.

Табела 6.25. Утицајни фактори на ломове при ниским температурама

Фактори	Утицаји
<b>1. Материјал</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>асфалтно везиво – битумен (нпр. густина, вискозитет и пенетрација) температурна осетљивост</li> <li>врста агрегата (нпр. оштроивични, површинска текстура и порозност)</li> <li>асфалтна мешавина садржај везива гранулација агрегата</li> <li>садржај филера</li> <li>садржај порног ваздуха</li> <li>својства асфалтне мешавине чврстоћа затезна чврстоћа коефицијент термичке дилатације</li> <li>додаци везиву (нпр. полимери)</li> </ul>	врло висок врло висок низак до незнатан низак низак (свеж агрегат) висок (стар агрегат) виши садржај везива, виши напони на затезање низак (свеж агрегат) висок (стар агрегат) врло висок низак висок средњи
<b>2. Утицаји околине</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>температура</li> <li>степен хлађење</li> <li>старост коловоза</li> </ul>	врло висок висок врло висок
<b>3. Утицаји коловозне конструкције</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>ширина коловозне конструкције</li> <li>дебљина коловозне конструкције</li> <li>фрикциони коефицијент између асфалтног слоја и слоја од невезаног агрегата</li> <li>постељица</li> </ul>	непозната средњи до висок средњи низак
<b>4. Остали фактори</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>конструкциони ефекти (нпр. пукотине)</li> <li>утицај саобраћаја</li> </ul>	непознат непознат

Значајан утицај на температуру лома има и тип мешавине. Коришћене су: ситнозрна мешавина (АБТ), порозна мешавина (АБД) и камено пунило (АБС). Употребљено је пет типова полимера (SBS1, APP, EBA, Stirelf и SBS2) као побољшање битумена, као и битумени из Русије, Венецуеле, Кувајта и Мексика.

На слици 6.19 су приказане промене температуре кроз флексебилну коловозну конструкцију у марту, априлу и јулу.



Слика 6.19. Линије промене температуре у асфалтним слојевима

#### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Александар Цветановић, **КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ**, Научна књига, Београд 1992.
- [2] I. GSCHWEND and I. Paliček, **PAVEMENT DESIGN OPTIMIZATION BY AN ANALYTICAL METHOD**, Mechanical Tests for Bituminous Materials, A.A. BALKEMA / ROTTERDAM / BROOKFIELD / 1987
- [3] Ulf Isacsson, Ted S. Vinson, Huayang Zeng, **The influence of material factor on the low temperature cracking asphalt**, FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE STRUCTURAL DESIGN OF ASPHALT PAVEMENTS, The University of Michigan and The Delft University of Technology 1982

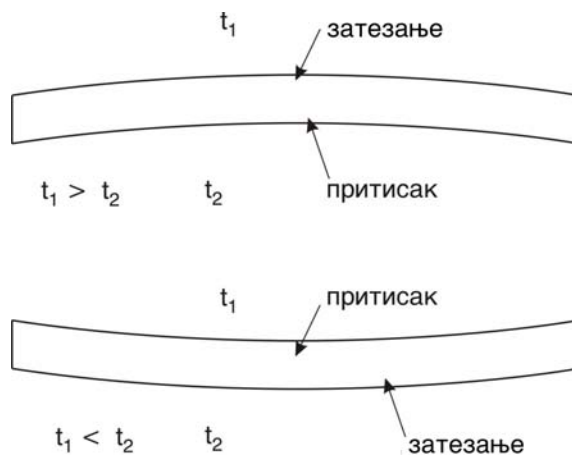
### 6.5.2 УТИЦАЈИ СРЕДИНЕ НА КРУТЕ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

Фактори средине (environment) утичу на круте коловозне конструкције преко:

- стварања напона савијања у плочи, услед деловања температурног градијента (разлике у температурама на површини и на дну плоче)
- изазивања напона трења између плоче и подлоге (ономогућавања скупљања - ширења плоча), услед једнолике промене температуре
- изазивања напона савијања услед промене влажности (на површини и дну плоче)
- изазивања напона притиска услед продора нестишљивих материјала у спојнице (ономогућавања скупљања) између плоча (притајени напони у бетону)
- изазивања напона савијања услед саобраћајног оптерећења

#### 6.5.2.1 НАПОНИ САВИЈАЊА У ПЛОЧИ (CURLING STRESSES)

Услед различитих температура на површини и на дну бетонске плоче, долази до напона савијања, који изазивају деформисање бетонске плоче. При загревању, средишњи део плоче тежи да се издигне увис, док крајеви плоче бивају померани наниже. Та појава бива спречавана сопственом масом плоче, а последица су напони затезања у средини плоче. При хлађењу, средишњи део плоче тежи да се угне, док се ивице издижу. На слици 6.20 су ове појаве графички приказане.



Слика 6.20. Савијање бетонске плоче

На основу радова Вестергарда и Бредберија (Westergaard, Bredberry) у употреби су следећи обрасци за израчунавање напона при савијању плоче:

- на ивици плоче

$$\sigma = \frac{\alpha \cdot E \cdot \Delta t}{2} \cdot C$$

- унутар плоче

$$\sigma = \frac{\alpha \cdot E \cdot \Delta t}{2 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot (C_1 + \nu \cdot C_2)$$

где је:

$\alpha$  - коефицијент термичког ширења бетона,  $7 \times 10^{-6}$  [cm/cm/°C]

$E$  - модул еластичности бетона [MN/m<sup>2</sup>]

$\nu$  - Поасонов коефицијент

$L_x$  и  $L_y$  - одговарајуће слободне дужине или ширине плоча [m]

$C$ ,  $C_1$  - коефицијент за правац у коме се тражи напон при савијању, одређен са слике 6.21.

$C_2$  - коефицијент за управан правац

$\Delta t$  - разлика у температури на врху и у дну плоче [°C]

$l$  - радијус релативне крутости [m]

$$l = 4 \sqrt{\frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot K}}$$

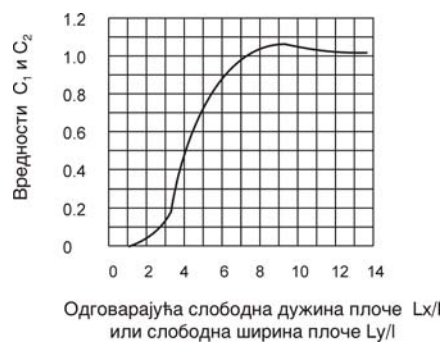
$h$  - дебљина плоче [m]

$K$  - модул реакције тла [MN/m<sup>3</sup>]

$$K = \frac{Mr}{0.4928}$$

$Mr$  - повратни модул [MN/m<sup>2</sup>]

$Mr = 10.342 \cdot \text{CBR}$



Слика 6.21. Коефицијенти за одређивање напона при лому

### 6.5.2.2 НАПОНИ ТРЕЊА ИЗМЕЂУ БЕТОНСКЕ ПЛОЧЕ И ПОДЛОГЕ

Услед једнолике промене температуре, долази до појаве напона трења између подлоге и бетонске плоче насталих због термичког понашања бетона. Према дефиницији трења:

$$F = f \times W$$

где је:

$F$  - подужна сила [кN]

$f$  - коефицијент трења између плоче и подлоге

$W$  - нормална сила (или маса плоче) [кN] [кg]

може се комбиновањем изразити следећа формула за напон трења.

Ако силу  $F$  изразимо у виду производа напона  $\sigma$  и попречног пресека плоче  $A=d \times L_y$ , а нормалну силу  $W$  као производ попречног пресека, дужине плоче и запреминске масе бетона, добија се следећи израз:

$$\sigma \cdot d \cdot L_y = \gamma_m \cdot d \cdot L_y \cdot L \cdot f$$

где је:

$d$  - дебљина бетонске плоче [m]

$L_y$  - ширина плоче [m]

$L$  - дужина плоче [m]

$\gamma_m$  - запреминска маса бетона [кg/m<sup>3</sup>]

Сређивањем претходног израза се добија:

$$\sigma = \gamma_m \cdot L \cdot f$$

### 6.5.2.3 ШИРЕЊЕ ПЛОЧА

Да би дошло до лома плоче, напон на затезање мора бити критичан. Ако је:

$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

где је:

$\sigma$  - напон у бетону коме није остављен простор за ширење [MN/m<sup>2</sup>]

$\alpha$  - коефицијент линеарне термичке дилатације

$\Delta t$  - разлика у температури у току посматраног периода [°C]

То значи да је највећи напон при притиску, услед ширења бетонске плоче, знатно мањи од чврстоће на притисак. Према Енглеским прописима, најмања чврстоћа на притисак бетона за путеве, минималне дебљине од 15 cm, после 28 дана износи 28 MN/m<sup>2</sup> или на затезање при савијању 2.3 MN/m<sup>2</sup>. У пракси је чест случај да чврстоћа на притисак у просеку износи око 40

MN/m<sup>2</sup>). До издизања коловоза може доћи само при екстремним температурама и погрешно постављеним експанзионим спојницама.

У климатским условима сличним нашим, важи принцип да се експанзионе спојнице обавезно граде у периоду од октобра до априла.

У летњем периоду, када је разлика између температуре уграђивања и најтоплијег дела године мања од 10 °C, напон при притиску је мањи од 3.5 МПа. С обзиром да не постоји ризик од издизања плоча, експанзионе спојнице у овом случају могу бити изостављене.

У табели 6.26 су приказани коефицијенти термичког ширења бетона, а у табели 6.27 коефицијент трења на контакту између бетонске плоче и подлоге.

Табела 6.26. Коефицијенти термичког ширења бетона

Агрегат	Коефицијент термичког ширења $\alpha$ (по °C * 10 <sup>-6</sup> )	
	од до	средина
кварцит	11.7 - 14.6	13.2
кварц	9.0 - 13.2	11.1
пешчар	9.2 - 13.3	11.3
мермер	4.1 - 7.4	5.8
силикатни кречњак	8.1 - 11.0	9.6
гранит	8.1 - 10.3	9.2
базалт	7.9 - 10.4	9.2
кречњак	4.2 - 10.3	7.3
шљунак	9.0 - 13.7	11.4

Табела 6.27. Коефицијенти трења на контакту између бетонске плоче и подлоге

Тип подлоге	Коефицијент трења
површинска обрада	2.2
стабилизација битуменом	1.8
стабилизација цементом	1.8
шљунковити песковит материјал	1.5
дробљени агрегат	1.5
песак	1.2
природна постелјица	0.9

#### 6.5.2.4 СКУПЉАЊЕ БЕТОНСКИХ ПЛОЧА

Приликом скупљања плоча бивају изазвани напони затезања услед трења између плоче и подлоге,

$$\sigma = \gamma_m \cdot \frac{L}{2} \cdot f$$

где је:

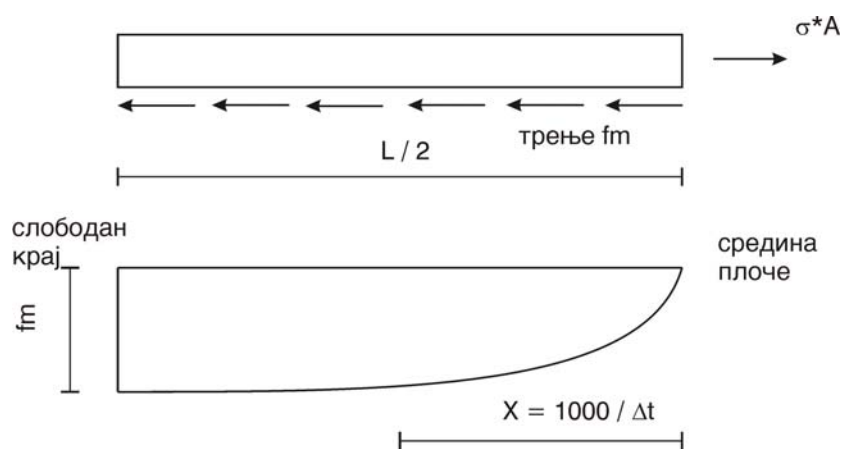
$\sigma$  - напон при затезању [ $\text{MN}/\text{m}^2$ ]

$\gamma_m$  - запреминска маса бетона [ $\text{t}/\text{m}^3$ ]

$L / 2$  - половина дужине плоче [m]

$f$  - коефицијент трења између плоче и подлоге

На слици 6.22 је приказан смер деловања напона при скупљању плоче.



Слика 6.22. Напони при скупљању плоче

Тачнији прорачун, помоћу коригованог коефицијента трења услед његове неједнаке ангажованости по посматраној половини плоче, је:

за  $x < L / 2$ :

$$f_K = f \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot x}{3 \cdot L}\right)$$

за  $x > L / 2$ :

$$f_K = \frac{2 \cdot f}{3} \cdot \sqrt{\frac{L}{2 \cdot x}}$$

Ако плоча не би имала спојнице, на дужини "L" би дошло до појаве пукотина услед прекорачења напона затезања. Природни интервал између пукотина насталих због скупљања бетона износи око  $2 \times L$ . Али, непосредно при уграђивању када бетон има малу чврстоћу на затезање, под утицајем температуре могу се јавити пукотине на 6.5 m. Због тога у року од 16 часова по уграђивању бетона спојнице морају у бити исечене.

Моћ бетона да "гура" је око 10 пута већа од "способности вучења". Ако бетон има чврстоћу на притисак  $20 \text{ MN}/\text{m}^2$  у стању је да гура 900 m коловоза у оба

смера од посматране тачке. Нормални интервал између издигнутих или тешко изломљених спојница износи од 1800 до 2750 метара (чврстоћа на притисак је  $30 \text{ MN/m}^2$ ). Наизменични циклуси “гурања” и “вучења”, до којих долази сваког дана, доводе до замора ако настали напони превазилазе пола чврстоће на затезање.

#### 6.5.2.5 ПРИТАЈЕНИ НАПОНИ У БЕТОНУ

Упадањем страних материјала у спојнице, као што су песак, камена ситнеж или нешто слично, који се користе у зимском периоду за борбу против поледице, спречава се ширење плоча - пројектовани размак се вишеструко смањује. Услед тога настају попречне пукотине и локална оштећења на ивицама спојница.

#### 6.5.2.6 ТЕРМИЧКЕ ПУКОТИНЕ У СВЕЖЕМ БЕТОНСКОМ КОЛОВОЗУ

Ова врста пукотина током првих неколико дана по уграђивању бетона првенствено зависи од доба дана и годишњег доба, па тек онда од дужине плоча и коефицијента термичког ширења агрегата у мешавини. У свежем бетонском коловозу настају следеће пукотине без утицаја саобраћаја:

- пластичне пукотине, које настају непосредно по уграђивању бетона као резултат превеликог испаравања воде из површине бетона, наглог губљења влаге у доњој зони и због лошег уграђивања финишером
- љуспање застора које, у суштини, представља низ малих неправилних пукотина
- контракционе и витоперне пукотине, које настају у периоду очвршћавања бетона као резултат промене запремине због варирања влажности и температуре

Опасност од термичких пукотина у свежем неармираном бетонском коловозу може се изразити коефицијентом лома:

$$C_F = \frac{T_O}{T_L} = \frac{(R_S \cdot T_1 + R_W \cdot T_W + R_i \cdot T_i)}{T_L}$$

где је:

$C_F$  - коефицијент лома

$T_O$  - ефективна промена температуре, која се добија прорачуном међусобно зависних температура у време “очвршћавања” бетона

$T_L$  - гранична промена температуре

$T_1$  - средња температура у бетонској плочи која утиче на подужно ширење или скупљање плоче. Овом кретању се супротставља трење између плоче и подлоге

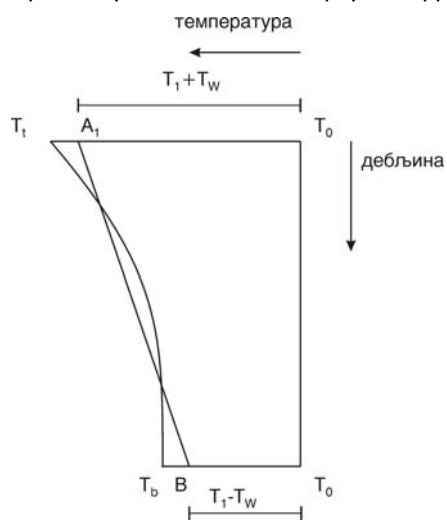
$T_W$  - разлика у температури на површини и дну бетонске плоче, која проузрокује њено савијање или извијање



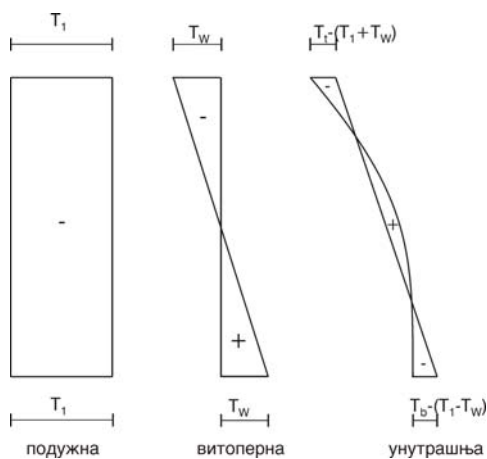
$T_i$  - нелинеарна промена температуре по дубини плоче која изазива напоне као резултат различитог запреминског ширења појединих делова унутар плоче

$R_s, R_w, R_i$  - коефицијенти који ограничавају подужно померање плоча преко подлоге, савијање и унутрашње напоне због промене запремине

На слици 6.23 је приказана расподела температуре кроз коловозну конструкцију, а на слици 6.24 различити облици расподеле температуре.



Слика 6.23. Расподела температуре кроз коловозну конструкцију



Слика 6.24. Различити облици расподеле температуре

Табела 6.28. Коefицијенти којима подлога ограничава кретање плоче

Дужина плоче [m]	Модул еластичности [N/mm <sup>2</sup> * 10 <sup>4</sup> ]	Коefицијент ограничавања подлоге, R <sub>S</sub> *	
		Коefицијент трења 1.0 за померање од 5 [mm]	Коefицијент трења 2.0 за померање од 0.75 [mm]
30	2.1	0.04 - 0.05	0.13 - 0.23
	3.4	0.02 - 0.03	0.08 - 0.14
60	2.1	0.10 - 0.15	0.26 - 0.48
	3.4	0.06 - 0.09	0.16 - 0.30
150	2.1	0.30 - 0.48	0.66 - 0.98
	3.4	0.18 - 0.31	0.40 - 0.74
300	2.1	0.60 - 0.95	1.0
	3.4	0.38 - 0.64	0.79 - 1.00

\* Израчунат за слободно термичко дилатирање између 120 и 240 \* 10<sup>-6</sup>

Табела 6.29. Коefицијенти који ограничавају савијање (извијање)

Дужина плоче [m]	Модул еластичности [N/mm <sup>2</sup> * 10 <sup>4</sup> ]	Коefицијент ограничавања подлоге, R <sub>W</sub> *		
		Модул реакције тла [N/mm <sup>2</sup> ]		
		0.0271	0.109	0.191
6.6	2.1	0.53 - 0.70	0.58 - 0.80	0.65 - 0.88
	3.4	0.32 - 0.48	0.38 - 0.59	0.40 - 0.64
7.6	2.1	0.80 - 0.95	0.88 - 1.00	0.94 - 1.00
	3.4	0.51 - 0.73	0.60 - 0.85	0.63 - 0.92
9.1	2.1	1.0	1.0	1.0
	3.4	0.77 - 1.00	0.84 - 1.00	0.90 - 1.00

\* Израчунат за дебљину плоче од 0.25 m и слободно термичко дилатирање између 120 и 240 \* 10<sup>-6</sup>

#### Важне напомене за употребу коefицијената:

За коловозе, код којих се на сваких приближно 6.0 метара налазе попречне спојнице треба узети:

$$R_S = 0, R_W = 0.5 \text{ и } R_i = 1;$$

код армираних коловоза са размаком спојница од 30 метара, треба узети:

$$R_S = 0.10, R_W = R_i = 1;$$

код непрекидно армираних коловоза, са дужином плоча од 400 метара (нормални дневни учинак), треба узети:

$$R_S = R_W = R_i = 1.$$

За граничну промену температуре T<sub>i</sub> треба узети:

- 5°C за бетоне који садрже кварцни агрегат
- 8°C за бетоне који садрже гранитни агрегат
- 15°C за бетоне који садрже кречњачки агрегат

Да би смањили могућност настајања пукотина у свежем бетонском коловозу, треба се придржавати следећих препорука:

- применом рефлектујућих пигмената и мембрана за негу бетона, треба смањити апсорпцију сунчевих зрака
- нејвеће температурне разлике на горњој и доњој површини бетонске плоче се јављају у току пролећа и раног лета
- примена покривки у сваком случају даје ефекте
- укупно повећање температуре и разлике у температури између горње и доње површине највеће у код плоча бетонираних у току јутра
- у току првих 24 сата по уграђивању, најчешћи узрок појави термичких пукотина су различите температуре на горњој и доњој површини, које изазивају савијање плоча. Овој нормалној појави супротстављају се маса плоче и адхезија између плоче и подлоге
- ако је плоча дужа од 400 метара и садржи кварцни агрегат, у току првих 24 сата при ведром јутру у пролеће или лети, доћи ће до појаве термичких пукотина и поред покривања. Ово важи и за плоче дужине од 30 метара
- код краћих плоча, око 6 метара, ране термичке пукотине могу да се јаве једино под изразито неповољним условима средине и застора који добро упија сунчеве зраке
- жљебове спојница обавезно треба резати у раној фази очвршћавања бетона
- ризик од термичких пукотина код свежег бетонског коловоза може се значајно смањити, ако се примене мембране са рефлектујућим особинама и агрегати са малим коефицијентом термичког ширења (кречњак или гранит)

#### **6.5.2.7 СУПЕРПОЗИЦИЈА НАПОНА КОД КРУТИХ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА**

У поступку димензионирања, поред напона од оптерећења, треба водити рачуна и о напонима од температуре, јер ти напони могу бити истог реда величине, а по некад и већи.

Поступак комбиновања напона од оптерећења и температуре, према Лабораторији за путеве из Лондона (Transport and Road Research Laboratory), је приказан на следећем примеру:

- А.** Одреди се промена температуре на површини коловоза у току године. Затим се израчунају напони од савијања - извијања за различите периоде дана и године. Ови напони се комбинују са подацима расподеле учешћа теретних возила у току дана (табела 6.31) да би се добио годишњи просек прелаза возила у току дана. У периодима највећих напона од температуре, саобраћајно оптерећење је приказано у табели 6.30.

Табела 6.30. Расподела учешћа теретних возила у току дневног саобраћајног тока по једној саобраћајној траци

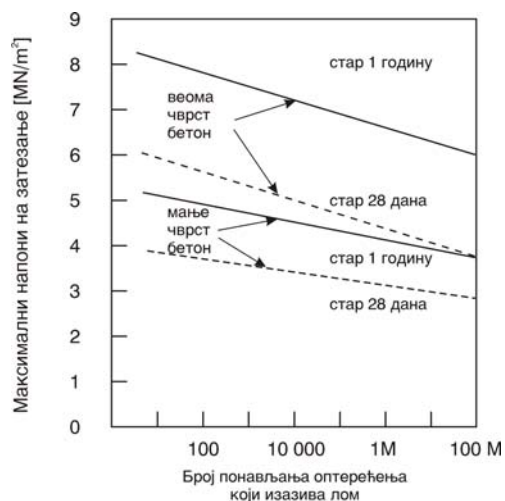
Час	Проценти учешћа теретних возила у 24 часовном саобраћајном току
24 - 1	1.3
1 - 2	0.8
2 - 3	0.8
3 - 4	0.8
4 - 5	0.8
5 - 6	0.8
6 - 7	2.4
7 - 8	4.4
8 - 9	5.4
9 - 10	5.6
10 - 11	6.4
11 - 12	7.0
12 - 13	7.0
13 - 14	6.5
14 - 15	6.5
15 - 16	6.1
16 - 17	6.7
17 - 18	7.0
18 - 19	6.6
19 - 20	4.4
20 - 21	3.9
21 - 22	2.6
22 - 23	3.5
23 - 24	2.6
Σ	100 %

Табела 6.31. Проценти прелаза теретних возила (дневни годишњи просек) који одговарају одређеном нивоу напона при савијању (термички напони)

Напони при савијању на дну плоче [MN/m <sup>2</sup> ]	Проценти пролаза теретних возила при овом термичком напону при савијању
<b>Напони при затезању</b>	
1.2 - 1.4	7
0.9 - 1.2	12
0.5 - 0.9	22
0 - 0.5	36
<b>Напони при притиску</b>	
1.2 - 1.4	0.1
0.9 - 1.2	2
0.5 - 0.9	5
0 - 0.5	16

**Б.** Ако се комбинују напони од оптерећења (табела 6.32) са напонима од температуре (табела 6.31) и дозвољеним напонима (слика 6.25), очигледно је да оптерећење од једне половине осовине (оптерећење

точкова једне и друге стране осовине од  $2 \times 40$  kN се не суперпонирају) не изазива критична напрезања са гледишта замора.



Слика 6.25. Максимални напони на затезање у зависности од чврстоће бетона

Табела 6.32. Напони при затезању од оптерећења у бетонској плочи дебљине 18 cm на шљунковито песковитој подлози

Половина осовинског оптерећења [kN]	Процент прелаза осовина по саобраћајној траци	Највећи напони на затезање $[MN/m^2]$
4.5	14.0	0.17
13.6	38.9	0.49
22.7	24.2	0.85
31.8	9.7	1.19
40.8	7.9	1.54
49.9	3.8	1.88
59.0	1.25	2.22
68.0	0.19	2.56
77.1	0.02	3.02
86.2	0.04	3.25

**Ц.** Комбинујући податке из табела 6.31 и 6.32 добијају се понављања суперпонираних напона на затезање (од оптерећења и температуре) у односу на милион прелаза осовина, а у оквиру одређених граница (табела 6.33).

Табела 6.33. Број понављања суперпонираних напона на затезање (од оптерећења и температуре) на милион прелаза теретних возила, у оквиру одређених нивоа напона

Оптерећење од половине осовине* [кN]	Број прелаза милион осовина**	Одговарајући број понављања суперпонираних напона у оквиру одређених граница [MN/m <sup>2</sup> ]				
		2.5 - 3.0	3.0 - 3.5	3.5 - 4.0	4.0 - 4.5	4.5 - 5.0
40.8	79000	15010***				
49.9	38000	4560	2660			
59.0	12500	2750	2375			
68.0	1900	684	418	361		
77.1	200	32	72	68	14	
86.2	400	84		232	48	28
Укупно		23120	5525	661	62	28

\* Подаци преузети из колоне I табеле 6.31

\*\* Подаци преузети из колоне II табеле 6.31

\*\*\* Напони при затезању из табеле 6.31 се суперпонирају са напонима на затезање од оптерећења из табеле 6.32 [ $1.4 \text{ MN/m}^2$  (7%) +  $1.54 \text{ MN/m}^2 = 2.94 \text{ MN/m}^2$  и  $1.2 \text{ MN/m}^2$  (12%) +  $1.54 \text{ MN/m}^2 = 2.74 \text{ MN/m}^2$ ]. Резултујући напон се налази у границама  $2.5 - 3.0 \text{ MN/m}^2$  и сагласан је са процентом прелаза теретних возила ( $7 + 12 = 19\%$ ) при овим термичким напонима. Број прелаза на милион осовина 79000 се множи са 19% и добија одговарајући број понављања суперпонираних напона од 15010.

**Д.** Ако се упореде подаци из табеле 6.33 са дозвољеним напонима са слике 6.25, види се да и код бетона мање чврстоће напони од  $2.5$  до  $3.0 \text{ MN/m}^2$  не могу да изазову пукотине у плочи - коловозној конструкцији. Напони између  $3.0$  и  $3.5 \text{ MN/m}^2$  могу у раној фази (првих 28 дана старости бетона) да изазову по неку пукотину. Напони већи од  $3.5 \text{ MN/m}^2$  могу у првих 6 месеци да изазову, такође, тек по неку пукотину, али у принципу анализирани бетонски коловоз може да одоли суперпонираним напонима од оптерећења и температуре.

#### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Александар Цветановић, **КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ**, Научна књига, Београд 1992.
- [2] Бранислав А. Мишић, **УТИЦАЈ ФАКТОРА СРЕДИНЕ НА ЦЕМЕНТНО-БЕТОНСКЕ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ**, Магистарски рад, Грађевински факултет, Београд 1991.

## **6.6 ДИМЕНЗИОНИРАЊЕ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА**

### **6.6.1 ДИМЕНЗИОНИРАЊЕ ФЛЕКСИБИЛНИХ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА МЕТОДОМ AASHTO**

Метода удружења за јавне путеве и транспорт - AASHTO [1] заснива се на резултатима опита AASHO обављених у држави Илиноис 1959. и 1960. године. Прво упутство за димензионирање по методу AASHTO објављено је 1961., а последње допуњено издање 1986. У припреми је најновија верзија (требало би да се појави 2004. или најкасније 2005.) у којој су сви параметри за прорачун физички повезани помоћу рачунарског програма.

Меродавни параметри за димензионирање су:

- период трајања до првог ојачања
- пројектни период
- саобраћајно оптерећење
- утицај средине
- критеријуми квалитета
- особине материјала
- карактеристике коловозних конструкција

#### **ПЕРИОД ДО ПРВОГ ОЈАЧАЊА**

Период трајања ојачања или реконструкције представља време од тренутка пуштања у саобраћај до првог ојачања или време између два ојачања. Најчешће су то периоди од 10 до 15 година (најмање 5 година).

#### **ПРОЈЕКТНИ ПЕРИОД**

Пројектни период је временско раздобље у годинама за које коловозну конструкцију треба пројектовати. У зависности од важности пута пројектни периоди су следећих распона:

- градски аутопутеви - 30 до 50 година
- аутопутеви и путеви првог разреда - 20 до 50 година
- остали путеви - 15 до 25 година
- остали путеви са засторима од невезаних материјала - 10 до 20 година

#### **САОБРАЋАЈНО ОПТЕРЕЋЕЊЕ**

Укупно еквивалентно саобраћајно оптерећење у пројектном периоду, за возну траку коју треба димензионирати, је изражено помоћу броја прелаза "стандардног возила" од 80 kN по осовини:

$$ESO_{80} = R_S \cdot R_t \cdot eso$$

где је:

- $ESO_{80}$  - укупно еквивалентно саобраћајно оптерећење од 80 кН по осовини за возну траку у току пројектног периода
- $R_S$  - коефицијент расподеле саобраћаја по смеровима; за већину путева  $R_S = 0.5$  (50 процената)
- $R_t$  - коефицијент расподеле саобраћаја по тракама ако их у једном смеру има две или више
- $eso$  - укупно еквивалентно саобраћајно оптерећење од 80 кН по осовини у оба смера за одређену деоницу пута у пројектном периоду. Коефицијенти еквивалентног оптерећења су приказани у табелама 6.34 и 6.35.

Табела 6.34. Коефицијенти еквивалентног оптерећења. Једноосовинско оптерећење,  $p_t = 2.5$ .

Осовинско оптерећење [кН]	Конструкциони број $SN$					
	2.5	5	7.5	10	12.5	15
8.9	0.0004	0.0004	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
17.8	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.002
26.7	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
35.6	0.03	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03
44.5	0.08	0.10	0.12	0.10	0.09	0.08
53.4	0.17	0.20	0.23	0.21	0.19	0.18
62.3	0.33	0.36	0.40	0.39	0.36	0.34
71.2	0.59	0.61	0.65	0.65	0.62	0.61
80.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
89.0	1.61	1.57	1.49	1.47	1.51	1.55
97.9	2.48	2.38	2.17	2.09	2.18	2.30
106.8	3.69	3.49	3.09	2.89	3.03	3.27
115.7	5.33	4.99	4.31	3.91	4.09	4.48
124.6	7.49	6.98	5.90	5.21	5.39	5.98
133.4	10.31	9.55	7.94	6.83	6.97	7.79
142.3	13.90	12.82	10.52	8.85	8.88	9.95
151.2	18.41	16.94	13.74	11.34	11.18	12.51
160.1	24.02	22.04	17.73	14.38	13.93	15.50
169.0	30.90	28.30	22.61	18.06	17.20	18.98
177.9	39.26	35.89	28.51	22.50	21.08	23.04



Табела 6.35. Коефицијенти еквивалентног оптерећења. Двоосовинско оптерећење,  $p_c = 2.5$ .

Осовинско оптерећење [кN]	Конструкциони број $sN$					
	2.5	5	7.5	10	12.5	15
44.5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
53.4	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
62.3	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02
71.2	0.04	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04
80.1	0.07	0.10	0.11	0.09	0.08	0.07
89.0	0.11	0.14	0.16	0.14	0.12	0.11
97.9	0.16	0.20	0.23	0.21	0.18	0.17
106.8	0.23	0.27	0.31	0.29	0.26	0.24
115.7	0.33	0.37	0.42	0.40	0.36	0.34
124.6	0.45	0.49	0.55	0.53	0.50	0.47
133.4	0.61	0.65	0.70	0.70	0.65	0.63
142.3	0.81	0.84	0.89	0.89	0.86	0.83
151.2	1.06	1.08	1.11	1.11	1.09	1.08
160.1	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
169.0	1.75	1.73	1.69	1.68	1.70	1.73
177.9	2.21	2.16	2.06	2.03	2.08	2.14
186.8	2.76	2.67	2.49	2.43	2.51	2.61
195.7	3.41	3.27	2.99	2.88	3.00	3.16
204.6	4.18	3.98	3.58	3.40	3.55	3.79
213.5	5.08	4.80	4.25	3.98	4.17	4.49

**ПОУЗДАНОСТ**

Поузданост  $R$  представља вероватноћу да ће коловозна конструкција на крају пројектног периода и датим условима средине, поседовати индекс употребљивости већи или једнак од пројектованог ( $p_c = 2.5$  или  $2.0$ ).

Пројектне вредности нивоа поузданости приказане су у табели 6.36.

Табела 6.36. Пројектне вредности нивоа поузданости

Разред пута	Ниво поузданости у процентима	
	градски	ванградски
Аутопутеви	85 до 99.9	80 до 99.9
I разреда и градске магистрале	80 до 99	75 до 95
II, III и IV разреда и сабирне улице	80 до 95	75 до 95
Локални путеви	50 до 80	50 до 80

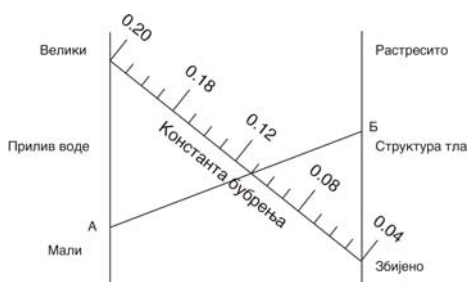
Стандардно одступање  $s_0$  при процени будућег саобраћаја у зависности од локалних услова за флексибилне коловозне конструкције је од 0.30 до 0.50.

**УТИЦАЈ СРЕДИНЕ**

Утицај средине је представљен дејством мраза и бубрења.

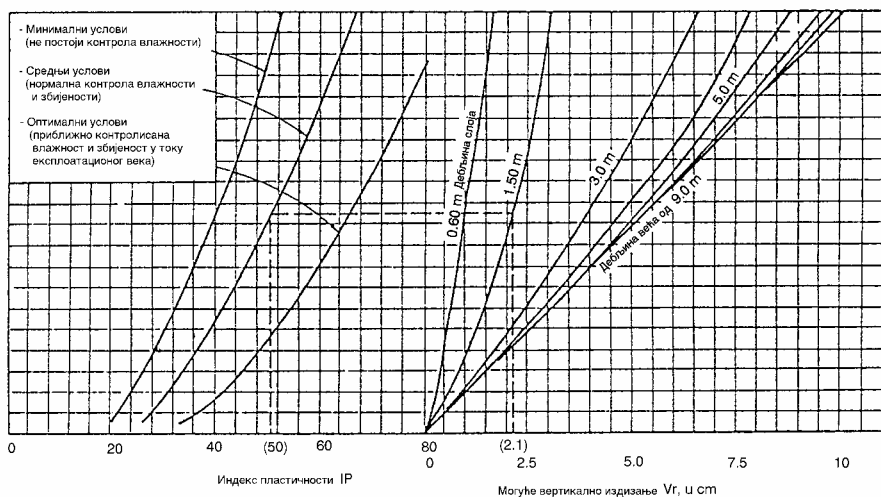
**Бубрење у постељици**

Утицај бубрења тла на опадање употребљивости одређује се преко константе бубрења, могућег вертикалног издизања и вероватноће бубрења. Константа бубрења  $\theta_s$  која зависи од нивоа воде и састава тла се читава са слике 6.26.



Слика 6.26. Дијаграм за процену константе бубрења

Могуће вертикално издизање -  $V_r$ , представља издизање тла у постељици, до кога може доћи при изузетно великом бубрењу (тј. при високој пластичности и распрострањеној влажности). Ова вредност може бити добијена лабораторијски, емпиријски или прочитана са дијаграма на слици 6.27.



Слика 6.27. Приближно одређивање могућег вертикалног издизања тла

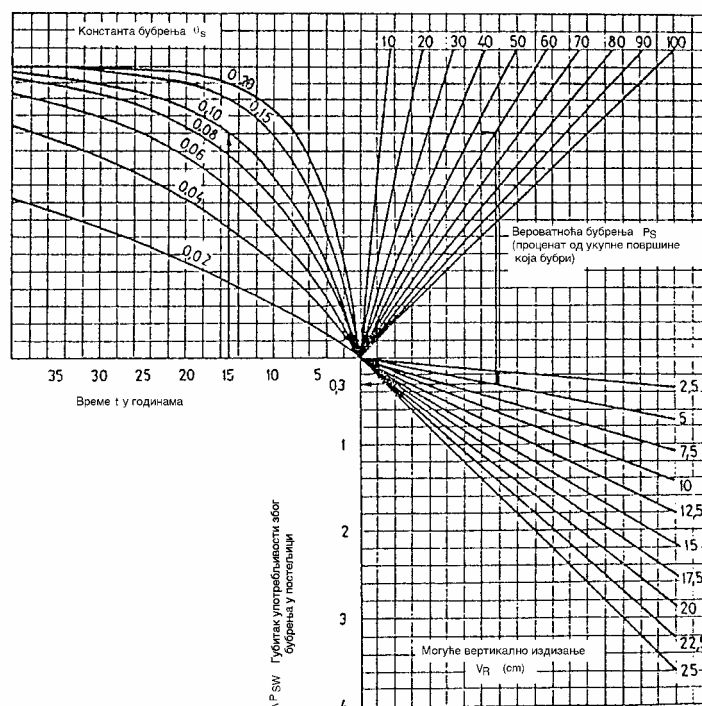
Вероватноћа бубрења, представља део од пројектоване деонице пута на којој може да се појави бубрење (изражено у процентима). За одређену деоницу пута сматра се да је вероватноћа бубрења 100 процената, ако је индекс пластичности тла у постелици већи од 30, а дебљина слоја већа од 60 cm (или ако је  $V_R$  веће од 0.5 cm).

У табели 6.37 је приказан начин обраде података о бубрењу.

Табела 6.37. Табела параметара за оцену бубрења

Број деонице	Дужина деонице	Дебљина доњег строја (укључујући постелицу)	Индекс пластичности ИР	Стање влажности	Могуће вертикално издизање [cm]	Везано / неvezано тло	Константа бубрења

Губитак употребљивости због бубрења тла у постелици очитава се са дијаграма приказаног на слици 6.28.



Слика 6.28. Дијаграм за процену губитка употребљивости због бубрења тла у постелици

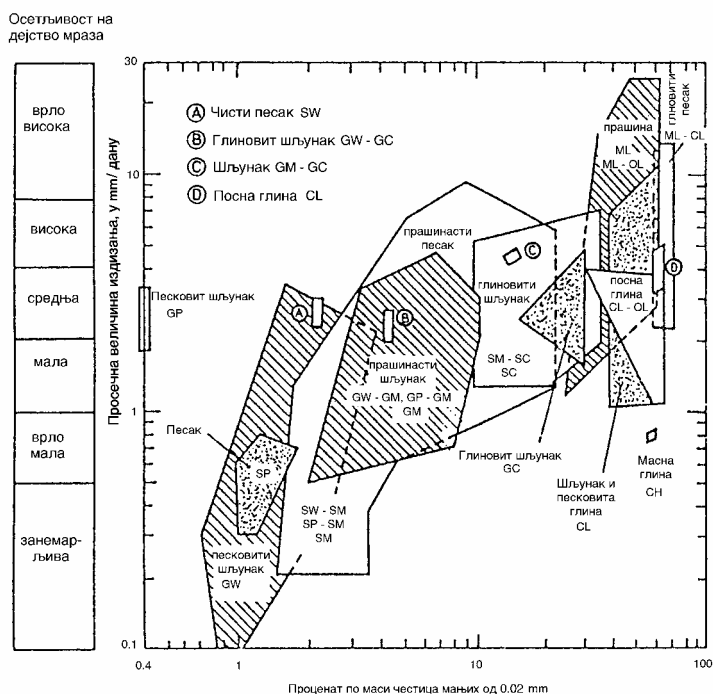
Овај номограм решава следећу једначину:

$$\Delta P_{SW} = 0.00132 \cdot V_R \cdot P_S \cdot (1 - e^{-0.5 \cdot t})$$

**Дејство мрза**

Феномен издизања тла због дејства мрза, по ефектима је сличан бубрењу. Он настаје када се слободна вода у постељици скупи, смрзне и формира ледено сочиво. Три основна параметра преко којих се дефинише издизање због мрза су: константа издизања, максимални могући губитак употребљивости и вероватноћа издизања.

Константа издизања представља јединично дневно издизање због дејства мрза (у mm по дану) и може се у зависности од врсте тла у постељици прочитати са слике 6.29.



Слика 6.29. Дијаграм за оцену константе издизања

Шљунковита тла	F1 (18)*	F1 (18)	F2 (14.5)	F3 (12)
Песак (изузев врло финог прашинастог песка)		F2 (14.5)		F3 (12)
Врло фини прашинасти песак				F4 (10)

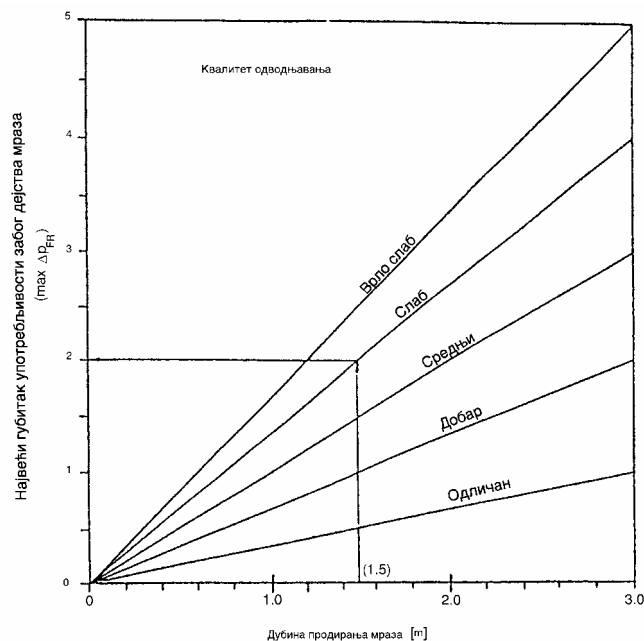
Сва прашинаста тла ..... F4(10)  
 Глине (IP > 12) ..... F3(12)  
 Глине (IP < 12) ..... F4(10)

\* Вредности у загради представљају CBR у [%]

Максимални могући губитак употребљивости због издизања, изазван дејством мраза, зависи од квалитета одводњавања и дубине продирања мраза, табела 6.38 и слика 6.30.

Табела 6.38. Квалитет одводњавања

Квалитет одводњавања	Вода се уклања са коловоза у року од
одличан	1 / 2 дана
добар	1 дана
осредњи	1 недеље
слаб	1 месеца
врло слаб	(вода се не одводи)

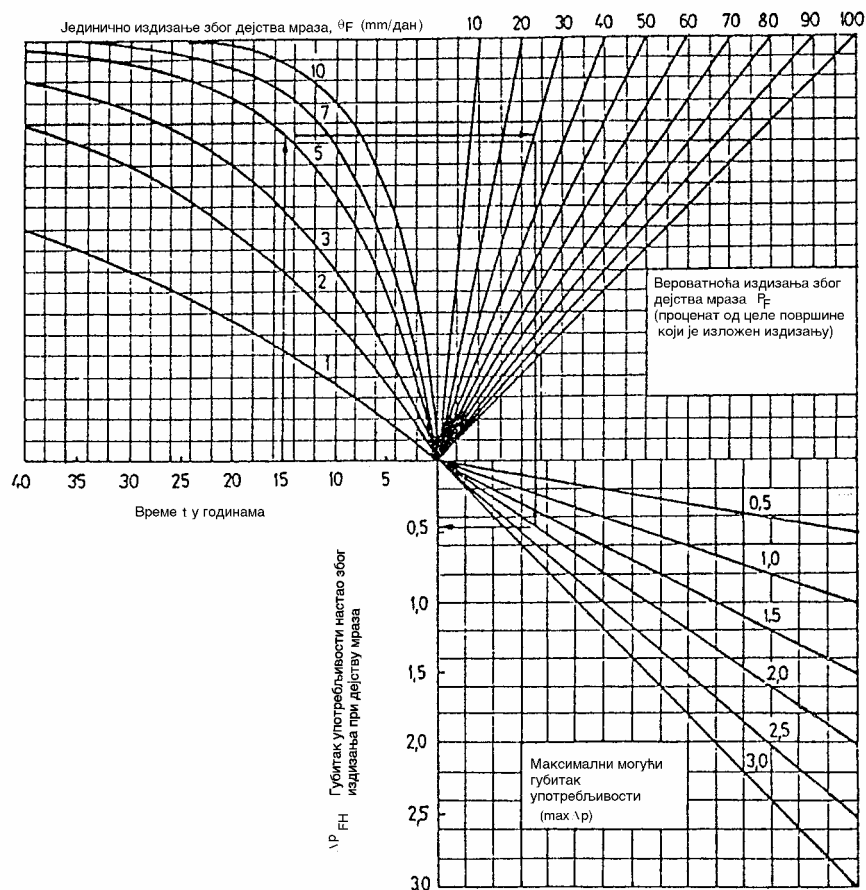


Слика 6.30. Дијаграм за процену максималног губитка употребљивости насталог издизањем тла у постелици због дејства мраза

Вероватноћа издизања, због мраза, представља проценат од посматране површине на којој може да се јави оштећење. Она зависи од осетљивости тла на мраз, влажности, одводњавања, трајања температуре испод нуле и броја циклуса мржњења и отапања.

За сада не постоји тачан критеријум за избор вероватноће издизања, већ је то резултат способности оцењивања самог пројектанта.

Губитак употребљивости, због издизања тла у постељици (дејство мрза), може се очитати са дијаграма на слици 6.31.



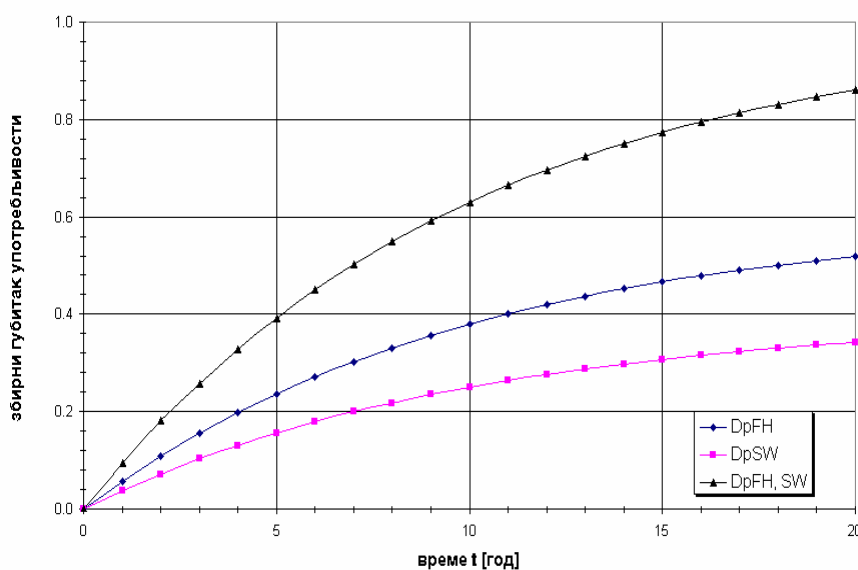
Слика 6.31. Дијаграм за процену губитка употребљивости због издизања тла у постељици при дејству мрза

Овај номограм решава следећу једначину:

$$\Delta P_{FH} = 0.01 \cdot P_F \cdot (\max \Delta i_P) \cdot (1 - e^{(-0.02 \cdot \theta_F \cdot t)})$$

Укупан губитак употребљивости због утицаја средине, представљен је на дијаграму на слици 6.32. Време  $t$  најчешће одговара пројектном периоду или трајању једне фазе у случају етапне изградње.

Дијаграм зависности губитка употребљивости услед деловања фактора средине



Слика 6.32. Губитак употребљивости због дејства фактора средине у току пројектног периода

$D_{pFH}$  - губитак употребљивости услед дејства мраза

$D_{pSW}$  - губитак употребљивости због бубрења

$D_{pFH, SW}$  - укупни губитак употребљивости

### КРИТЕРИЈУМИ КВАЛИТЕТА

За оцену квалитета коловозне конструкције користе се индекс употребљивости, величина колотрага и одношење агрегата.

### ИНДЕКС УПОТРЕБЉИВОСТИ

За оцену стања коловозне конструкције користи се индекс садашње употребљивости " $p$ ", чије вредности су од 0 (разорен коловоз) до 5 (коловоз у одличном стању). На крају пројектног периода или периода фазне изградње, коловозна конструкција треба да поседује минимални ниво квалитета употребљивости " $p_t$ ".

Дозвољене минималне вредности индекса употребљивости дате су у табели 6.39.

Табела 6.39. Најмање дозвољене вредности индекса употребљивости,  $p_t$ 

$p_t$	Процент корисника који сматра дато стање неприхватљивим	Разред пута
3.0	12	аутопут
2.5	55	аутопут и пут I разреда
2.0	85	путеви од II до IV разреда

Укупна промена индекса употребљивости у оквиру пројектног периода је:

$$\Delta p = p_o - p_t$$

где је:

$\Delta p$  - промена индекса употребљивости

$p_o$  - индекс употребљивости на почетку пројектног периода

$p_t$  - индекс употребљивости на крају пројектног периода

### КОЛОТРАЗИ

Дозвољена величина колотрага на засторима од невезаних материјала износи од 2.5 до 5.0 cm. Колотрази на засторима од битуменом везаних материјала представљају велики проблем, али за сада нису обухваћени овим поступком димензионирања.

### ОДНОШЕЊЕ АГРЕГАТА

Код путева са невезаним засторима, одношење агрегата је разматрано помоћу анализе изгубљене висине застора у пројектном периоду и минималне потребне дебљине застора, да би овај могао да испуњава своју функцију у коловозној конструкцији. Једна од формула за одређивање одношења агрегата је:

$$AGL = \left[ \frac{T^2}{(T^2 + 50)} \right] \cdot f \cdot (4.2 + 0.092 \cdot T + 0.0138 \cdot R^2 + 1.88 \cdot VC) \cdot 2.54$$

где је:

AGL - годишњи обим саобраћаја у оба смера, у хиљадама возила

R - годишње падавине [cm]

VC - просечни подужни нагиб пута [%]



вредност коефицијента $\epsilon$	врста материјала
0.037	латеритни шљунак
0.043	кварцни шљунак
0.028	шљунак од магматских стена
0.059	шљунак од седиментних стена

### ОСОБИНЕ НЕВЕЗАНИХ МАТЕРИЈАЛА

Основни показатељи носивости слојева од невезаних материјала су:

- еластични или повратни модул  $E_e$
- калифорнијски индекс носивости CBR
- модул деформације  $E_d$
- модул стишљивости  $E_s$

Повратни модул тла у току године осцилује у зависности од климатских услова. У пролећном периоду износи о 20 до 30% мање од своје максималне летње вредности.

У овом методу димензионирања [AASHTO] повратни модул  $M_R$  бива одређиван на следећи начин:

- лабораторијски - одреде се месечни модули постељице у условима који се очекују на терену (помоћу CBR - опита)

$$M_R = 10.342 \cdot CBR \text{ [MPa]}$$

- затим се одреде релативна оштећења по месецима

$$u_f = 1140.764 \cdot M_R^{-2.32} \text{ [mm]}$$

- на основу средње вредности релативних оштећења по месецима, одреди се репрезентна вредност повратног модула

$$M_R = 20.785 \cdot u_f^{-\frac{1}{2.32}} \text{ [MPa]}$$

### ОСОБИНЕ ВЕЗАНИХ МАТЕРИЈАЛА

У овом поступку димензионирања карактеристике материјала у слојевима су изражене помоћу "коефицијената слојева  $a_1$ ". За различите слојеве и материјале важе следећи изрази:

- застор од асфалт бетона

$$a_1 = 0.40 \cdot \log E - 0.951; 0.20 < a_1 < 0.40; E \text{ у [MPa]}$$

- горња подлога
  - битуменом везани агрегати (битуменизирани шљунак, битуменизирани дробљени агрегати или стабилизација)
 
$$a_2 = 0.30 \cdot \log E - 0.713 ; 0.10 < a_2 < 0.30; E \text{ у [МПа]}$$
  - цементом везани агрегати (мршави бетон или стабилизација)
 
$$a_2 = 0.52 \cdot \log E - 1.728 ; 0.10 < a_2 < 0.28; E \text{ у [МПа]}$$
  - издробљени портланд цементни бетон
 
$$a_2 = 0.27 \cdot \log E - 0.589 ; 0.10 < a_2 < 0.44; E \text{ у [МПа]}$$
  - неvezани шљункови или дробљени агрегат
 
$$a_2 = 0.249 \cdot \log E - 0.439 ; 0.05 < a_2 < 0.20; E \text{ у [МПа]}$$
- доња подлога
  - неvezани шљунковити или дробљени агрегат
 
$$a_3 = 0.227 \cdot \log E - 0.348 ; 0.06 < a_2 < 0.20; E \text{ у [МПа]}$$

### ОДВОДЊАВАЊЕ

У зависности од локалних услова и брзине одводњавања слободне воде са коловозне конструкције, нивои одводњавања су приказани у табели 6.40. Препоручљиве вредности коефицијента  $m$ , који зависи од квалитета одводњавања и процента времена у току године када је коловозна конструкција изложена нивоу влажности блиском засићењу, приказане су у табели 6.41. Утицај одводњавања на застор се занемарује.

Табела 6.40. Квалитет одводњавања

Квалитет одводњавања	Вода се уклања са коловоза у року од
одличан	1 / 2 дана
добар	1 дана
осредњи	1 недеље
слаб	1 месеца
врло слаб	(вода се не одводи)

**ДИМЕНЗИОНИРАЊЕ**

Одређивање потребне дебљине коловозне конструкције обавља се помоћу дијаграма на слици 6.33 или помоћу рачунарских програма на основу следећих параметара:

- А. Пројектног саобраћајног оптерећења  $ES_{O_{80}}$
- Б. Поузданости  $R$
- Ц. Просечног стандардног одступања  $S_o$
- Д. Стварног повратног модула постељице  $M_R$  ( $E_o$ )
- Е. Пројектованог губитка употребљивости  $\Delta p = p_o - p_t$

Табела 6.41. Препоручљиве вредности  $m_i$  са којима се коригују коефицијенти слојева горње и доње подлоге

Квалитет одводњавања	Процент од времена у току године када је коловозна конструкција изложена нивоу влажности блиском засићењу			
	мањи од 1%	1 - 5 %	5 - 25 %	већи од 25 %
одличан	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
добар	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
средњи	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80
слаб	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
врло слаб	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

\* коефицијенти  $m_i$  се користе само за неvezане материјале у горњој и доњој подлози

На основу пројектованог конструктивног броја  $SN$ , одређује се дебљина застора, горње и доње подлоге:

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3$$

где су:

$a_1, a_2, a_3$  - коефицијенти слојева за застор, горњу и доњу подлогу  
 $D_1, D_2, D_3$  - дебљине застора, горње и доње подлоге  
 $m_2, m_3$  - коефицијенти одводњавања горње и доње подлоге

**ОДРЕЂИВАЊЕ ДЕБЉИНЕ СЛОЈЕВА**

Дебљине слојева се одређују пробањем, користећи једначину или дијаграм на слици 6.33.

Поступак пробања подразумева прорачунавање структурног броја, употребом једначине:

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

где је:

$E_{SO_{80}}$  - укупно еквивалентно саобраћајно оптерећење у пројектном периоду

$$G_t = \log \frac{\Delta p}{4.2 - 2.5} = \frac{p_o - p_t}{4.2 - 2.5}$$

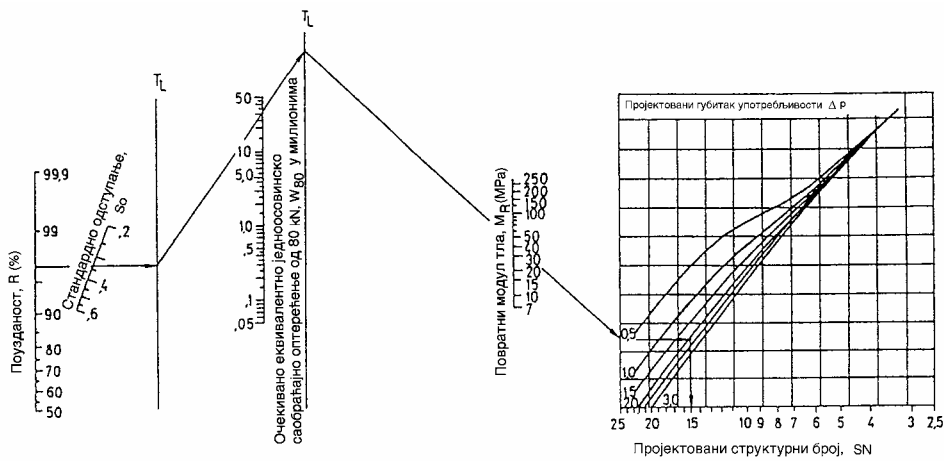
$\Delta p$  - губитак употребљивости у току пројектног периода (или између две рехабилитације) од дејства саобраћаја

$p_o$  - почетни индекс употребљивости

$p_t$  - крајњи индекс употребљивости

$M_R$  - повратни модул постелице [МПа]

SN - структурни број



Слика 6.33. Дијаграм за одређивање структурног броја

Затим се укупни структурни број расподели на структурне бројеве слојева, на следћи начин:

$$D_1^* \geq SN_1 / a_1$$

$$SN_1^* = a_1 * D_1^* \geq SN_1$$

$$D_2^* \geq (SN_2 - SN_1^*) / (a_2 * m_2)$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

$$D_3^* \geq [SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)] / (a_3 * m_3)$$

\* - стварно употребљене вредности морају бити веће или једнаке потребним вредностима

### **6.6.2 ДИМЕНЗИОНИРАЊЕ КРУТИХ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА МЕТОДОМ ААSНТО**

Као и код димензионирања флексибилних коловозних конструкција и у поступку димензионирања крутих коловозних конструкција метода удружења за јавне путеве и транспорт - ААSНТО [1] заснива се на резултатима опита ААSНО обављених у држави Илиноис 1959. и 1960. године. Прво упутство за димензионирање по методу ААSНТО објављено је 1961., а последње допуњено издање 1986. У припреми је најновија верзија у којој су сви параметри за прорачун физички повезани помоћу рачунарског програма.

Меродавни параметри за димензионирање су:

- период трајања до прве реконструкције
- пројектни период
- саобраћајно оптерећење
- поузданост
- утицај средине
- критеријуми квалитета
- особине материјала
- карактеристике коловозне конструкције
- армирање
- економичност

#### **ПЕРИОД ТРАЈАЊА ДО ПРВЕ РЕКОНСТРУКЦИЈЕ**

Период трајања до прве реконструкције представља време од тренутка пуштања у саобраћај до прве реконструкције или време између две реконструкције. Најчешће су то периоди од 10 или 15 година, а најмање 5.

#### **ПРОЈЕКТНИ ПЕРИОД**

Пројектни период је изражен у годинама за које коловозну конструкцију треба пројектовати. У зависности од разреда пута пројектни периоди су следећих распона:

- градски аутопутеви - 30 до 50 година
- аутопутеви и путеви првог разреда - 20 до 50 година
- остали путеви - 15 до 25 година

#### **САОБРАЋАЈНО ОПТЕРЕЋЕЊЕ**

Укупно еквивалентно саобраћајно оптерећење у пројектном периоду, за возну траку коју треба димензионирати, изражено је бројем прелаза стандардног возила са осовинским оптерећењем од 80 кN:

$$ESO_{80} = R_S \cdot R_t \cdot eso$$

где је:

$ESO_{80}$  - укупно еквивалентно саобраћајно оптерећење од 80 kN по осовини за возну траку у току пројектног периода

$R_S$  - коефицијент расподеле саобраћаја по смеровима; за већину путева  $R_S = 0.5$  (%)

$R_t$  - коефицијент расподеле саобраћаја по тракама ако их има у једном смеру две или више

$eso$  - укупно еквивалентно саобраћајно оптерећење од 80 kN по осовини у оба смера за одређену деоницу пута у пројектном периоду.

Најчешће примењиване вредности за коефицијент  $R_t$  су приказане у табели 6.42.

Табела 6.42. Вредности коефицијента  $R_t$

Број трака у сваком смеру	Процент од $eso$ од 80 kN у пројектној траци
1	100
2	80 до 100
3	60 до 80
4	50 до 75

Еквивалентно саобраћајно оптерећење по пројектној траци је одређено сумирањем по групама оптерећења на следећи начин:

$$eso = \sum_{i=1}^n T_i = N_t \cdot \sum_{i=1}^n P_i \cdot e_i$$

где је:

$T_i$  - еквивалентно осовинско оптерећење од 80 kN за групу оптерећења "i"

$N_i = N_t \times P_i$  - број прелаза осовинског оптерећења које се очекује за групу оптерећења "i"

$N_t$  - укупан број осовина

$P_i$  - проценат осовина у групи оптерећења "i"

$e_i$  - коефицијент еквиваленције за групу оптерећења "i" (налазе се у литератури [1], табеле Д.10 до Д.18. (вредности коефицијената су исте, али осовинско оптерећење треба прерачунати са kip на kN, 1 kip = 4.45 kN). Пример је приказан у табели 6.43 за једноосовинско оптерећење и индекс губитка употребљивости  $p_t=2.0$ .

Табела 6.43. Коефицијенти еквиваленције за једноосовинско оптерећење и  $p_t=2.0$ .

Осовинско оптерећење [кN]	Дебљина плоче d [cm]								
	15	18	20	23	25	28	30	33	36
9	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
18	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
27	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
35	0.035	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
44	0.087	0.084	0.082	0.081	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080
53	0.186	0.180	0.176	0.175	0.174	0.174	0.173	0.173	0.173
62	0.353	0.346	0.341	0.338	0.337	0.336	0.336	0.336	0.336
71	0.614	0.609	0.604	0.601	0.599	0.599	0.598	0.598	0.598
80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
89	1.55	1.56	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59	1.59
98	2.32	2.32	2.35	2.38	2.40	2.41	2.41	2.41	2.42
107	3.37	3.34	3.40	3.47	3.51	3.53	3.54	3.55	3.55
116	4.76	4.69	4.77	4.88	4.97	5.02	5.04	5.06	5.06
124	6.58	6.44	6.52	6.70	6.85	6.94	7.00	7.02	7.04
133	8.92	8.68	8.74	8.98	9.23	9.39	9.48	9.54	9.56
142	11.9	11.5	11.5	11.8	12.2	12.4	12.6	12.7	12.7
151	15.5	15.0	14.9	15.3	15.8	16.2	16.4	16.6	16.7
160	20.1	19.3	19.2	19.5	20.1	20.7	21.1	21.4	21.5
169	25.6	24.5	24.3	24.6	25.4	26.1	26.7	27.1	27.4
187	32.2	30.8	30.4	30.7	31.6	32.6	33.4	34.0	34.4
196	40.1	38.4	37.7	38.0	38.9	40.1	41.3	42.1	42.7
205	60.4	57.7	56.6	56.7	57.7	59.3	61.1	62.6	63.7
213	73.2	59.9	68.4	68.4	69.4	71.2	73.3	75.3	76.8
222	88.0	84.1	82.2	82.0	83.0	84.9	87.4	89.8	91.7

**ПОУЗДАНОСТ**

Поузданост  $R$  представља вероватноћу да ће коловозна конструкција на крају пројектног периода и датим условима средине поседовати индекс употребљивости већи или једнак од пројектованог ( $p_t = 2.5$  или  $2.0$ ).

Пројектне вредности нивоа поузданости приказане су у табели 6.44.

Табела 6.44. Пројектне вредности нивоа поузданости

Разред пута	Ниво поузданости у процентима	
	градски	ванградски
Аутопутеви	85 до 99.9	80 до 99.9
I разреда и градске магистрале	80 до 99	75 до 95
II, III и IV разреда и сабирне улице	80 до 95	75 до 95
Локални путеви	50 до 80	50 до 80

Стандардно одступање  $s_0$  при процени будућег саобраћаја у зависности од локалних услова за круте коловозне конструкције је од 0.29 до 0.40.

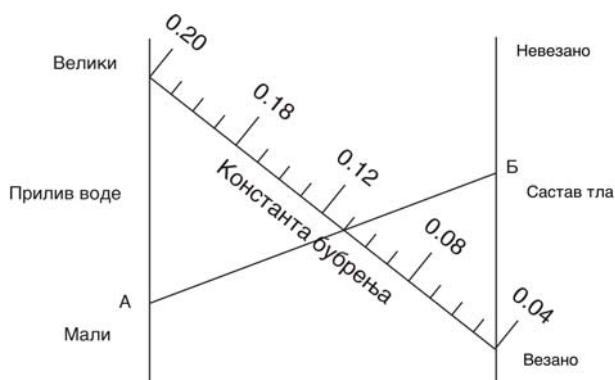
**УТИЦАЈ СРЕДИНЕ**

Утицај средине је представљен дејством мраза и бубрења.

**Бубрење тла у постељици**

Утицај бубрења тла на опадање употребљивости одређује се преко: константе бубрења, могућег вертикалног издизања и вероватноће бубрења.

Константа бубрења  $\theta_s$  је фактор који се користи за оцену нивоа на коме ће се бубрење десити. Константа бубрења може се очитати са дијаграма на слици 6.34.



Слика 6.34. Дијаграм за очитивање константе бубрења

Начин употребе дијаграма је следећи:

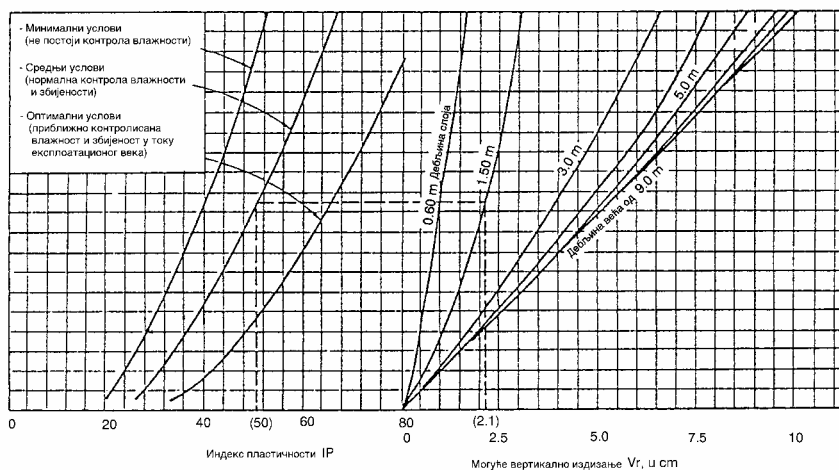
- одреде се одговарајући услови прилива влаге (на пример тачка А)
- одреди се састав тла (на пример тачка Б)
- очита се константа бубрења (на пример 0.11)

Могуће вертикално издизање  $V_R$ , представља вертикално издизање тла у постељици под екстремним условима бубрења (тј. висока влажност и пластичност). Ова вредност може бити одређена лабораторијским путем, емпиријски или бити усвојена. На слици 6.35 је приказан дијаграм за оцену могуће вредности издизања.

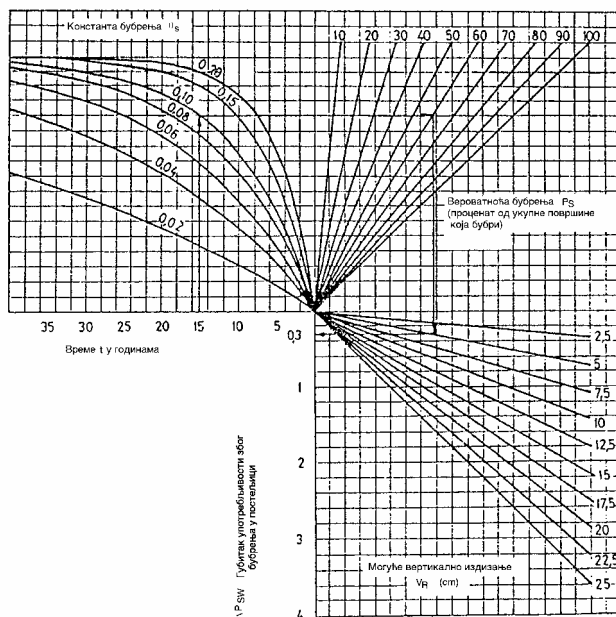
Вероватноћа бубрења представља део (изражен у процентима) од пројектоване деонице пута, на којој може да се појави бубрење. За одређену деоницу, сматра се да је вероватноћа бубрења 100 процената, ако је индекс пластичности тла у постељици већи од 30 и дебљина слоја већа од 60 cm (или ако је  $V_R$  веће од 0.5 cm).

Губитак употребљивости због бубрења тла у постељици може бити очитан са дијаграма приказаног на слици 6.36.





Слика 6.35. Дијаграм за приближну процену могућег вертикалног издизања природног тла



Слика 6.36. Дијаграм за оцену губитка употребљивости због бубрења тла у постељици

**Дејство мраза**

Феномен издизања тла због дејства мраза, по ефектима је сличан бубрењу. Он настаје када се слободна вода у постељици скупи, смрзне и формира ледено сочиво. Три основна параметра преко којих је дефинисано издизање због мраза су: константа издизања, максимални могући губитак употребљивости и вероватноћа издизања.

Константа издизања представља јединично дневно издизање због дејства мраза ( $y$  mm по дану) и може се у зависности од врсте тла у постељици прочитати са слике 6.37.

Максимални могући губитак употребљивости због издизања изазван дејством мраза, зависи од квалитета одводњавања и дубине продирања мраза (табела 6.45 и слика 6.38).

Табела 6.45. Квалитет одводњавања

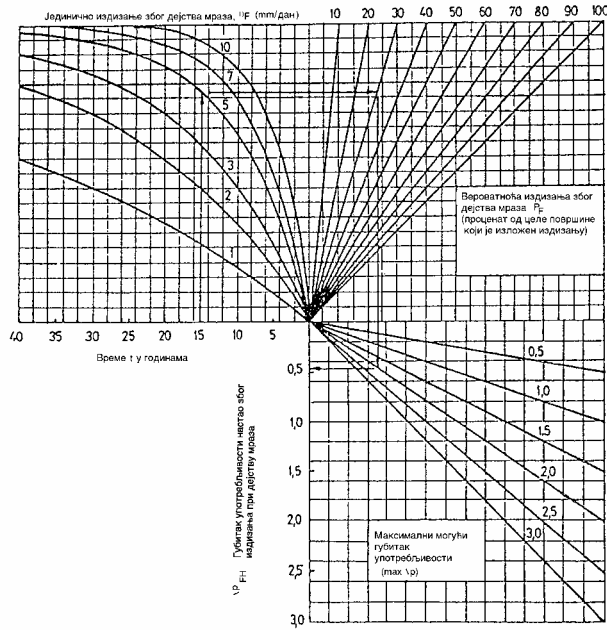
Квалитет одводњавања	Вода се уклања са коловоза у року од
одличан	1 / 2 дана
добар	1 дана
осредњи	1 недеље
слаб	1 месеца
врло слаб	(вода се не одводи)

Вероватноћа издизања због дејства мраза представља проценат од посматране површине на којој може да се јави ово оштећење. Она зависи од осетљивости тла на мраз, влажности, одводњавања, трајања температуре испод нуле и броја циклуса мржњења и отапања. За сада не постоји тачан критеријум за избор вероватноће издизања. То оцењује сам пројектант.

Губитак употребљивости због сва три ефекта може бити прочитан са дијаграма приказаног на слици 6.39.

Укупан губитак употребљивости због утицаја средине, представљен је на дијаграму на слици 6.40. Време  $t$  најчешће одговара пројектном периоду или трајању фазе у оквиру једне етапе изградње.



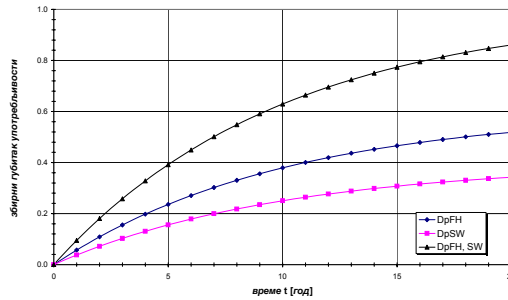


Слика 6.39. Дијаграм за процену губитка употребљивости због издизања при дејству мрза

Дијаграмом са слике 6.39 решена је следећа једначина:

$$\Delta P_{FH} = 0.01 \cdot P_F \cdot (\max \Delta i_p) \cdot (1 - e^{(-0.02 \cdot \theta_F \cdot t)})$$

Дијаграм зависности губитка употребљивости услед деловања фактора средине



Слика 6.40. Дијаграм за оцену губитка употребљивости због дејства фактора средине у функцији времена за одређену деоницу пута

**КРИТЕРИЈУМИ КВАЛИТЕТА**

За оцену стања цементнобетонских коловоза користи се индекс садашње употребљивости “ $p$ ”, чије су вредности од 0 (разорен коловоз) до 5 (коловоз у одличном стању). Основна идеја у овом поступку пројектовања коловозних конструкција је да при предвиђеном обиму саобраћаја на крају пројектног века, коловозна конструкција поседује минимални ниво квалитета - употребљивости “ $p_t$ ”.

Дозвољене минималне вредности индекса употребљивости дате су у табели 6.46.

Табела 6.46. Најмање дозвољене вредности индекса употребљивости,  $p_t$

$p_t$	Процент корисника који сматра дато стање неприхватљивим	Разред пута
3.0	12	аутопут
2.5	55	аутопут и пут I разреда
2.0	85	путеви од II до IV разреда

Укупна промена индекса употребљивости у оквиру пројектног периода је:

$$\Delta p = p_o - p_t$$

где је:

$\Delta p$  - промена индекса употребљивости

$p_o$  - индекс употребљивости на почетку пројектног периода

$p_t$  - индекс употребљивости на крају пројектног периода

**КАРАКТЕРИСТИКЕ МАТЕРИЈАЛА**

У оквиру особина материјала дефинисани су стварни повратни модул реакције, карактеристике материјала у слојевима коловозне конструкције, модул лома и коефицијенти слојева.

**ОСОБИНЕ НЕВЕЗАНИХ МАТЕРИЈАЛА**

Основни показатељи носивости слојева од невезаних материјала су: еластични или повратни модул  $E_e$ , модул реакције  $K$ , калифорнијски индекс носивости  $CBR$ , модул деформације  $E_d$  и модул стишљивости  $E_s$ .

Стварна носивост модула реакције подлоге  $K$ , испод цементнобетонске плоче, зависи од повратног модула на постељици, модула еластичности на доњој подлози, дебљине подлоге и пројектоване дебљине

цементнобетонске плоче. Измерене и израчунате податке табеларно приказати (табела 6.47).

Табела 6.47. Изглед табеле за прорачун стварног модула реакције подлоге

Тип доње подлоге:

Дебљина доње подлоге:

Губитак носивости  $L_S$ :

Дубина до круте подлоге  $d_k$  (испод постељице):

Пројектована дебљина плоче:

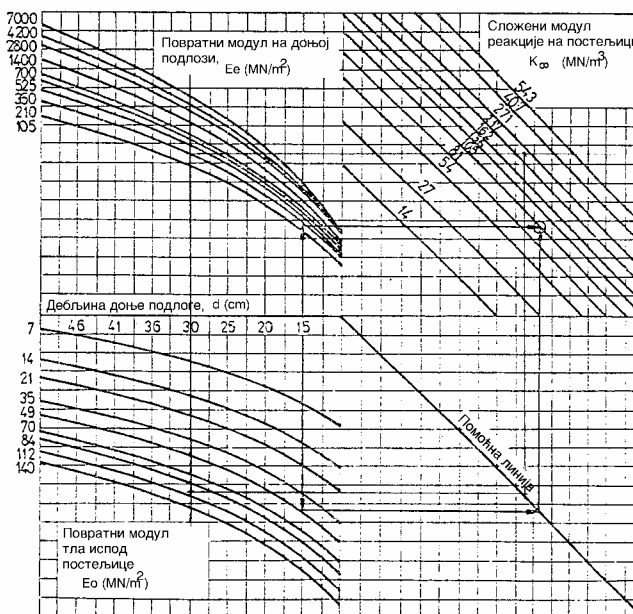
Месец	Модул у постељици $E_0$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Модул у доњој подлози $E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Сложена вредност $K_\infty$ [MN/m <sup>3</sup> ] (слика 6.41)	Вредност $K$ , на крутој подлози (слика 6.42)	Релативно оштећење $\psi_r$ (слика 6.43)
1	2	3	4	5	6
Јануар					
Фебруар					

\* тако редом до децембра

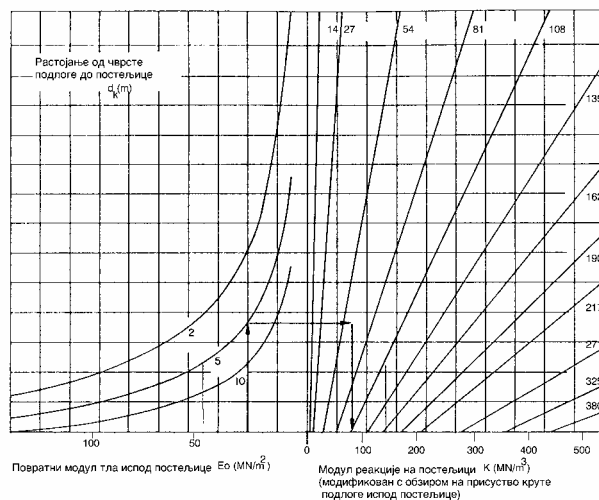
Затим сумирати укупно оштећење и одредити просечну вредност

Стварни модул реакције тла на постељици,  $K$  [MN/m<sup>3</sup>] =

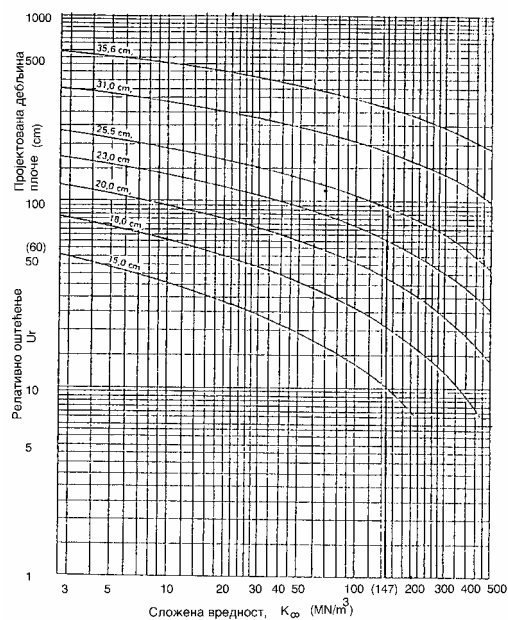
Кориговани модул реакције  $K$  због губитка носивости [MN/m<sup>3</sup>] =



Слика 6.41. Дијаграм за процену сложеног модула реакције постељице  $K_\infty$  под претпоставком да је слој тла испод постељице полуограничене дебљине (дебљина слоја тла испод постељице већа је од 3 m)



Слика 6.42. Дијаграм за корекцију модула реакције на постељици у зависности од утицаја круте подлоге испод ње која је блиска површини (у оквиру 3.0 m)



Слика 6.43. Дијаграм за оцену релативног оштећења крутих коловоза на основу дебљине плоче и носивости подлоге

**КАРАКТЕРИСТИКЕ ВЕЗАНИХ МАТЕРИЈАЛА**

Основни показатељи носивости слојева од материјала везаних цементом или битуменом су модул еластичности или модул крутости.

**ЦЕМЕНТОМ ВЕЗАНИ МАТЕРИЈАЛИ**

Модул еластичности цементног бетона  $E$ , представља однос напона и еластичне повратне деформације при краткотрајном оптерећењу и растерећењу. У недостатку експерименталних истраживања, почетни модул еластичности цементног бетона старости од 28 дана може бити одређен из емпиријског обрасца:

$$E = 9.25 \cdot \sqrt[3]{\beta_{ks} + 10} \text{ [GPa]}$$

где је:

$$\beta_{ks} = 1.15 \times \beta_k$$

$\beta_k$  - средња вредност чврстоће при притиску на коцкама ивице 20 cm после 28 дана (марка бетона [MPa])

Чврстоћа на затезање при савијању  $\beta_{zs}$  одређује се на призмама димензија 12 x 12 x 36 cm или 20 x 20 x 60 cm.

Дозвољени напон на затезање при савијању је одређен помоћу обрасца:

$$\sigma_{zs, doz} = \frac{\beta_{zs}}{F_s}$$

где је:

$\sigma_{zs, doz}$  - дозвољени напон при затезању код савијања

$\beta_{zs}$  - чврстоћа при затезању код савијања (оптерећење делује у трећинама распона)

$F_s$  - фактор сигурности (у пракси најчешће  $F_s = 1.33$ ), табела 6.48.

Табела 6.48. Коефицијенти сигурности

Број поновљених оптерећења која изазивају лом конструкције	Коефицијенти сигурности $F_s$
5000	1.33
10000	1.52
25000	1.68
50000	1.84
75000	1.94
1000000 или више	2.00

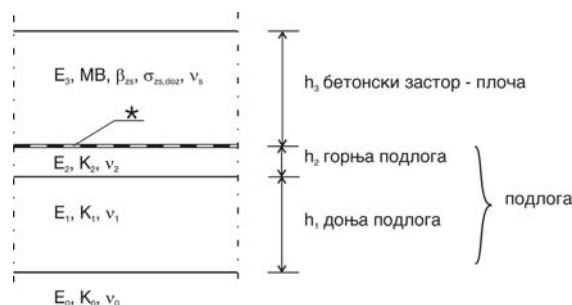


### КАРАКТЕРИСТИКЕ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

У оквиру карактеристика коловозне конструкције дефинише се њен оријентациони попречни профил, одводњавање, преношење оптерећења и губитак носивости.

### РАЧУНСКА ШЕМА

Шематски приказ рачунског модела, са карактеристичним параметрима материјала приказан је на слици 6.44.



Слика 6.44. Рачунска шема круте коловозне конструкције

\* одвајајућа фолија од термопластичног материјала дебљине 65 до 125  $\mu\text{m}$ .

### ОДВОДЊАВАЊЕ

У зависности од локалних услова и брзине одводњавања слободне воде са коловозне конструкције, тј. нивои одводњавања приказани су у табели 6.45.

У зависности од квалитета одводњавања и процента времена у току године када је коловозна конструкција изложена нивоу влажности блиском засићењу, препоручене су следеће вредности коефицијената дренарања  $C_d$  (табела 6.49).

Табела 6.49. Препоручене вредности коефицијента дренарања  $C_d$

Квалитет одводњавања	Процент од времена у току године када је коловозна конструкција изложена нивоу влажности блиском засићењу			
	испод 1%	1 до 5%	5 до 25%	изнад 25%
Одличан	1.25 до 1.20	1.20 до 1.15	1.15 до 1.10	1.10
Добар	1.20 до 1.15	1.15 до 1.10	1.10 до 1.00	1.00
Средњи	1.15 до 1.10	1.10 до 1.00	1.00 до 0.90	0.90
Слаб	1.10 до 1.00	1.00 до 0.90	0.90 до 0.80	0.80
Врло слаб	1.00 до 0.90	0.90 до 0.80	0.80 до 0.70	0.70

**ПРЕНОШЕЊЕ ОПТЕРЕЂЕЊА СА ПЛОЧЕ НА ПЛОЧУ**

Могућност преношења оптерећења преко прекида, попут спојница или пукотина, је приказано коефицијентом преношења оптерећења  $J$ . Више вредности коефицијента  $J$  одговарају нижим вредностима модула реакције подлоге  $K$ , вишим термичким коефицијентима и већим променама температуре.

Ако су примењени можданици на спојницама коефицијент преношења оптерећења треба да буде  $J = 3.2$ , а ако нису онда је од 3.8 до 4.4.

Ивичне траке од цементног бетона морају бити анкероване за коловоз.

**ГУБИТАК НОСИВОСТИ**

Коефицијент губитка носивости  $L_S$  обухвата могући губитак носивости због ерозије подлоге или различитих вертикалних померања у тлу постелејце. Типичне вредности су приказане у табели 6.50.

Губитак носивости настаје и због различитих вертикалних кретања у тлу због скупљања испод коловоза. Вредности коефицијента губитка носивости  $L_S$ , за глиновита тла подложна бубрењу и издизању због дејства мраза, су од 2.0 до 3.0. Утицај вредности  $L_S$  на смањење стварне носивости  $K$  у постелејци је приказан на слици 6.45.

Табела 6.50. Типичне вредности коефицијента губитка носивости  $L_S$ 

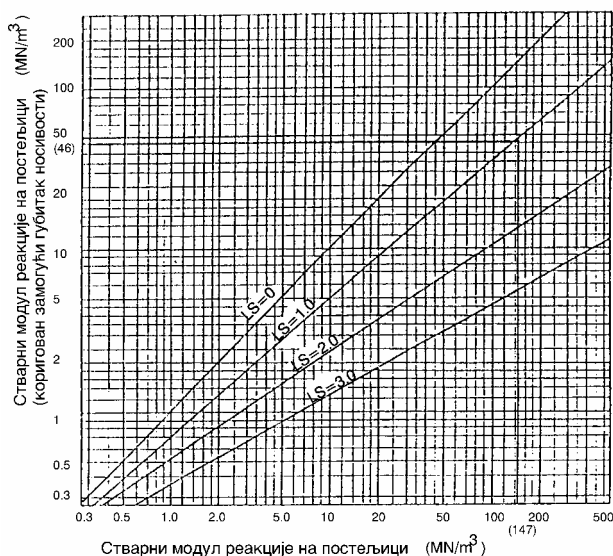
Врста материјала	Губитак носивости $L_S$
Цементом стабилизвана шљунковита подлога ( $E = 7000$ до $14000$ МПа)	0.0 до 1.0
Стабилизација цементом локалног агрегата ( $E = 3500$ до $7000$ МПа)	0.0 до 1.0
Битуменизирани шљунак или дробљени агрегат ( $E = 3000$ до $2100$ МПа)	0.0 до 1.0
Стабилизација кречом ( $E = 150$ до $500$ МПа)	1.0 до 3.0
Невезани шљунковити материјал ( $E = 100$ до $300$ МПа)	1.0 до 3.0
Финозрни или природни материјал у постелејци ( $E = 20$ до $300$ МПа)	2.0 до 3.0

$E$  је модул еластичности или повратни модул.

**ДИМЕНЗИОНИРАЊЕ**

Одређивање дебљине плоче се обавља помоћу једначине или дијаграма (слика 6.46), уз познавање следећих параметара:

- А. Стварног модула реакције на подлози испод плоче  $K$
- Б. Процењеног будућег саобраћаја  $E_{SO}$
- Ц. Поузданости  $R$
- Д. Највећег стандардног одступања  $S_o$
- Е. Пројектованог губитка употребљивости  $\Delta p = p_o - p_t$
- Ф. Модула еластичности бетона  $E$
- Г. Дозвољеног напона на затезања при савијању  $\sigma_{zsdoz}$
- Х. Коефицијента преношења оптерећења  $J$
- И. Коефицијента одводњавања  $C_d$



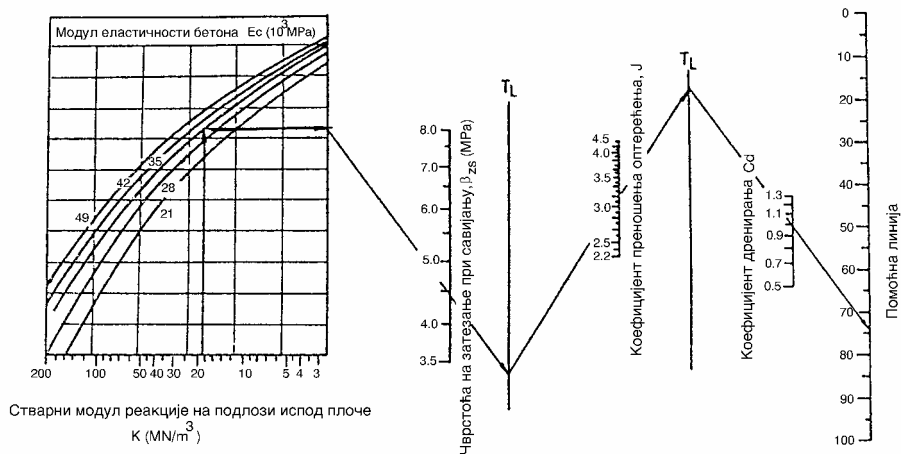
Слика 6.45. Корекција стварног модула реакције постелнице услед губитка носивости у доњој подлози

У зависности од економских и осталих параметара пројектант бира оптималну комбинацију дебљине бетонске плоче и слојева испод ње.

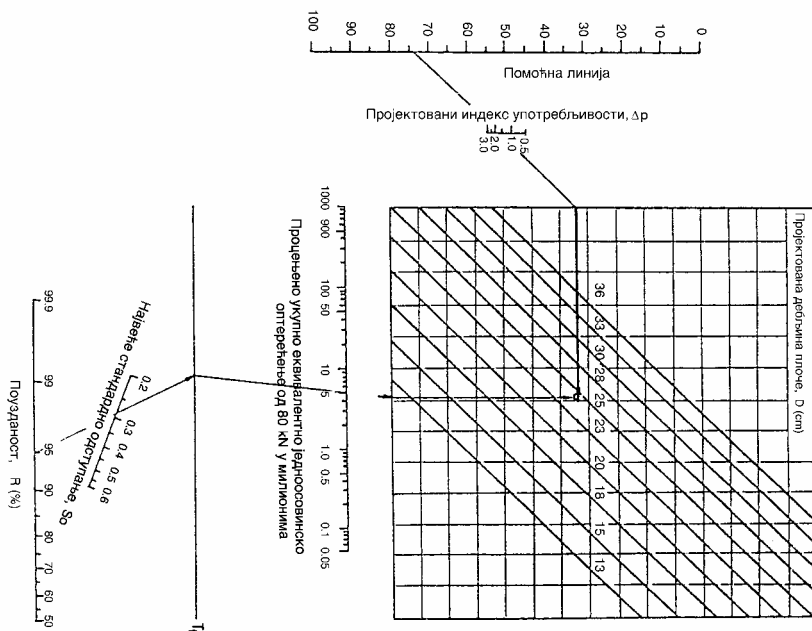
Једначина је следећег облика:

$$\log_{10} ESO_{80} = Z_R S_o - 3.035 + 7.35 \cdot \log(D + 2.54) + \frac{\log\left(\frac{\Delta p}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{4.320 \cdot 10^{10}}{(D + 2.54)^{8.46}}} + \dots$$

$$\dots + (4.22 - 0.32 \cdot p_t) \cdot \log \left[ \frac{0.673 \cdot \beta_{zs} \cdot C_d \cdot (D^{0.75} - 2.278)}{J \cdot \left[ D^{0.75} - \frac{14.796}{\left(\frac{E}{K}\right)^{0.25}} \right]} \right]$$



Слика 6.46 а. Дијаграм за одређивање дебљине бетонске плоче (I део)



Слика 6.46 б. Дијаграм за одређивање дебљине бетонске плоче (II део)

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1] AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES 1986, Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials
- [2] Александар Цветановић, **КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ**, Научна књига, Београд 1992.

## 6.7 ЗАСТОРИ ОД ПРЕФАБРИКОВАНИХ БЕТОНСКИХ ЕЛЕМЕНАТА

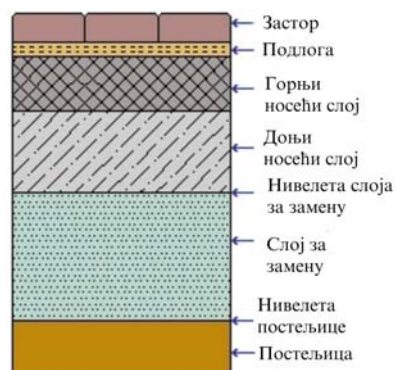
### 6.7.1 ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ

Експериментално је утврђено да су застори од бетонских префабрикованих елемената погодни као саобраћајна подлога за брзине до 50 km/h. Најчешћа примена је на саобраћајницама у стамбеним зонама, паркиралиштима, шеталиштима итд. Успешно се, такође, примењују на раскрсницама - зоне појачаног кочења и убрзавања, већим подужним нагибима, бензинским пумпама и халама.

Предности застора од бетонских префабрикованих елемената су вишеструке:

- отпорност на дејство циклуса мржњења и отапања
- лако одржавање и поправка
- олакшан приступ инсталацијама
- толеришу се мала померања у постељици
- једноставно грађење без скупе механизације
- могу да послуже као привремени застор
- велика трајност и коефицијент трења
- упозоравају возаче да су скренули са возних трака
- мали трошкови одржавања
- велики избор боја, облика - што даје пријатан естетски изглед

На слици 6.47 је приказан општи модел коловозне конструкције са застором од префабрикованих бетонских елемената.



Слика 6.47. Попречни пресек коловоза од префабрикованих бетонских елемената

Због намене коловозне конструкције, неки од слојева са слике 6.47 може се и изоставити.

### 6.7.2 КАРАКТЕРИСТИКЕ МАТЕРИЈАЛА

Веома битну улогу, код префабрикованих бетонских елемената, имају карактеристике материјала који се користе за њихову израду:

- квалитет и порекло минералног агрегата за бетонску мешавину
- квалитет и порекло хидрауличног везива (цемента)

као и физичко-механичке карактеристике готових елемената, које треба да одговарају физичко-механичким карактеристикама бетона за класичне бетонске конструкције. А то су:

- технолошка својства свеже бетонске масе:
  - хомогеност
  - уградљивост (компактибилност)
  - повезаност (кохезивност)
  - стабилност (сегрегација и издвајање воде)...
- конзистенција свеже бетонске масе
- физичко-механичке особине очврслог бетона:
  - чврстоћа на притисак
  - чврстоћа на савијање
  - чврстоћа на затезање
  - чврстоћа при динамичком оптерећењу
  - водонепропустљивост бетона
  - отпорност према дејству мраза и соли
  - отпорност на хабање
  - отпорност на хемијске агенсе
  - адеформацијске карактеристике бетона

### 6.7.3 ДИМЕНЗИОНИРАЊЕ

Обзиром на предлоге о поступку димензионирања, а то је **даснто метода за флексибилне конструкције**, мора се водити рачуна и о карактеристикама материјала у горњем и доњем носећем слоју, слоју за замену (ако га има) и постељици.

Суштински проблем димензионирања је приказ застора од блокова и слоја песка. На основу већег броја истраживања, "сложени модул" (блок + песок) би требало да износи, после изградње, око 350 МПа, а после 10000 понављања прелаза стандардног оптерећења око 3100 МПа.

Коефицијент носивости сложеног слоја (блок + песок) износи:

$$\alpha_{B/S} = 0.44 * \left( \frac{E_{B/S}}{450000} \right)^{1/3}$$

где је:

$E_{B/S}$  - модул сложеног слоја, psi ( $\text{psi} = 0.007 \text{ MPa}$ )

$\alpha_{B/S}$  - коефицијент сложеног слоја

За следећа саобраћајна оптерећења, у нашим условима, препоручене су следеће марке бетона префабрикованих бетонских елемената (табела 6.51):

Табела 6.51. Марке бетона префабрикованих бетонских елемената

Саобраћајно оптерећење	МВ (МПа)
Врло тешко	40
Тешко	35
Остало	30

У зависности од типова материјала од којих су израђени слојеви подлога за бетонске префабриковане елементе, на располагању су следећи модули слојева (табела 6.52):

Табела 6.52. Модули слојева за подлоге

Тип материјала у подлози	Е (МПа)
Цементом стабилизован шљунак	7000 - 14000
Цементом стабилизован локални материјал	3500 - 7000
Битуменизирани шљунак или дробина	2500 - 7000
Битуменом стабилизован агрегат	300 - 2100
Стабилизација кречом	150 - 500
Невезани шљунак	100 - 200
Ситнозрни природни материјал у постељици	20 - 300

Приказани модули су одређени на основу лабораторијски измерених CBR вредности (California bearing ratio - калифорнијски индекс носивости).

Дебљине коловозних конструкција од бетонских префабрикованих елемената зависе од броја понављања прелаза стандардних осовина од 80 kN, а самим тим и дебљине бетонских елемената.

За одређивање дебљине доњег носећег слоја, потребно је знати намену коловозне конструкције.

На основу те констатације следи избор блокова. Облик и боја су променљиве карактеристике у зависности од околине у којој се налази саобраћајница.



#### 6.7.4 НАЧИН ПОСТАВЉАЊА БЕТОНСКИХ ЕЛЕМЕНАТА У КОЛОВОЗНИ ЗАСТОР

Полагање застора од бетонских блокова може да се изводи на више начина. У зависности од димензија, полагање може бити обављено ручно или помоћу пнеуматских хватаљки на малим дизалицама.

По полагању, бетонске елементе треба набијати вибро-плочама. Површине вибро-плоча су између  $0.35 \text{ m}^2$  и  $0.50 \text{ m}^2$ , а центрифугалне силе између 16 и 20 кN са фреквенцијама од 75 до 100 Hz.

Прва варијанта полагања већих бетонских елемената је у крупнозрни цементни малтер (цемент : песак = 1 : 3). Дебљина слоја малтера је од 25 до 50 mm.

Величине елемената су приказане у табели 6.53.

Табела 6.53. Величине бетонских префабрикованих елемената

А x В (mm x mm)	Н (mm)
450 x 600	50 - 100
600 x 600	50 - 100
750 x 600	50 - 100
900 x 600	50 - 100

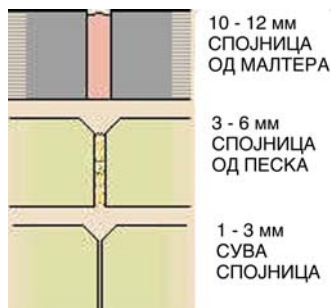
Дебљине су од 50 до 100 mm, али претходно морају бити пројектом дефинисане, а затим поручене код извођача. Ако тих димензија на тржишту нема, одабрани произвођач је дужан да задовољи захтеве пројекта. Спојнице треба испуњавати цементним малтером.

Други начин је да се блокови положи у слој песка. После сабијања бетонских елемената вибро-плочама, спојнице испунити малтером. Наиме, песак који је истиснут из спојница, чије су димензије унапред предвиђене (10 до 12 mm), треба уклонити четкама, а потом спојнице испунити цементним малтером и исфуговати.

Трећи начин је да блокови буду положени на подлогу од масивног бетона дебљине од 100 до 150 mm, а спојнице обрађене цементним малтером. Тај поступак треба применити кад се очекује нешто обимнији саобраћај.

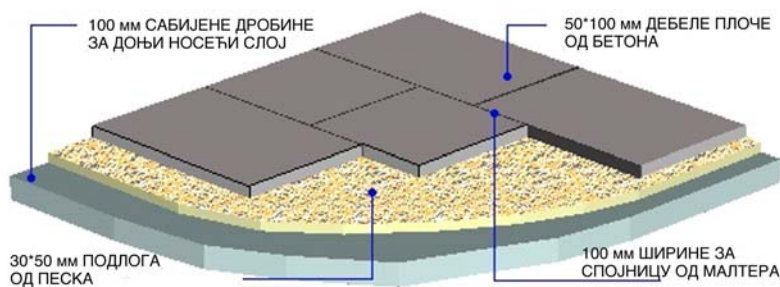
Четврти и пети начин испуњавања спојница је са асфалтним мастиксом и катраном.

На слици 6.48 су приказане неке од могућих варијаната спојница.



Слика 6.48. Могуће варијанте спојница бетонских елемената у застору

Прва три начина израде спојница су повољнија за средине у којима је број топлих и врућих дана доминантан. На тај начин се избегава могућност прљања бетонских елемената битуменом и катраном. Поступак чишћења је релативно скуп, због употребе хемијских препарата - трихлоретилена ( $C_2HCl_3$ ), који је канцерогена матрија треће категорије, угљентетрахлорида, бензола, хлороформа.



Слика 6.49. Шема полагања префабрикованих бетонских елемената

Према искуствима из Енглеске, гранулометријски састав материјала који служи као непосредна подлога за полагање бетонских елемената је приказан у табели 6.54.

Табела 6.54. Гранулометријски састав материјала за непосредну подлогу

Величина отвора сита (mm)	Процент пролаза (по маси)
5	90 - 100
2.35	75 - 100
1.18	55 - 90
0.6	35 - 59
0.3	8 - 30
0.15	0 - 10

Код коловозног застора од блокова, као и код застора за мешовите саобраћајнице (пешаци и возила) и пешачке зоне, треба посебну пажњу обратити на текстуру газне површине. Она мора бити довољне храпавости да би било омогућено комотно одвијање саобраћаја, а посебно у влажним условима. У периодима снежних падавина се на засторима, по обичају, налазе разни загађивачи који заједно са водом производе танку емулзију која је погубна, како за возила тако и за пешаке. **Најповољнија комбинација гранулације за мешавину, од које се праве елементи, је од дробљеног агрегата 0 до 8 mm.**

На основу већ приказаних вредности модула за материјале у подлози - доњем носећем слоју конструкције, треба водити рачуна о збијености, која треба да буде од **85 до 95 %** од оптималне збијености добијене Прокторовим опитом. Досадашња искуства показују да су оштећења застора од блокова углавном настајала због непоштовања пројектом предвиђене збијености.

#### **6.7.5 ОДРЖАВАЊЕ ЗАСТОРА ОД БЕТОНСКИХ БЛОКОВА**

Сам процес одржавања застора од бетонских блокова је озбиљан и педантан задатак.

Први корак је чишћење и прање застора, барем једном дневно и то у тренуцима најмањег саобраћаја. То је задатак хигијенских комуналних служби.

Други корак је редовно прегледање коловозног застора и тачно позиционирање - обележавање у документацији и на скици - откривених оштећења, ради одређивања површине оштећења.

Трећи корак је анализирање оштећења - откривање узрока настанка - и припремање стратегије отклањања оштећења.

Четврти корак је спровођење оправке.

Оштећења застора од блокова могу бити:

- Пукотине  
Овај тип оштећења настаје због понављања оптерећења и скупљања бетонских елемената. Карактеристичан је по томе што дели елементе на два или више делова, у зависности од величине елемената.  
Оштећење испуне спојница доводи до продирања чврстих материјала у жљебове, што доводи до губитка функције спојница и настајања пукотина.
- Ломови бетонских елемената  
Круњење углова ствара косе ломове бетонских елемената у односу на правце спојница.  
Круњење ивица бетонских елемената настаје због превеликих напона и продирања недозвољених материјала у жљебове.

Дробљење бетонских елемената се одсликава издељеношћу елемената на четири и више делова. Узрок су најчешће недозвољена носивост подлоге и преоптерећење.

- **Неравнине**  
Један од облика неравнина је слегање или издизање бетонских елемената и настаје услед губитка материјала у подлози, дејства мраза и бубрења.  
Пумпање настаје продирањем материјала кроз оштећене спојнице и пукотине на површину као последица угиба плоча при проласку возила. Избачени материјал угрожава носивост, ствара пукотине и ствара неравнине на коловозу.
- **Губитак отпорности на трење**  
Поједини агрегати, нарочито кречњаци, под саобраћајем лако постају глатки. На тај начин је угрожена безбедност у периодима када је коловоз влажан.

Наведена оштећења застора од бетонских елемената могу да се поправљају и то у зависности од типа оштећења:

- **Пукотине**  
Најједноставнији начин је замена елемената који су испуцали, а заједно са њима и замена материјала у подлози, што повлачи и израду нових спојница. Елементи треба да буду истих карактеристика као они који су замењени. Морају бити прописно набијени  
Ако је оштећење испуне спојница на време откривено, онда је најбољи лек да се спојнице очисте и запуне истим материјалом који је био пре оштећења
- **Ломови бетонских елемената**  
Код сва три облика ломова бетонских елемената, њих треба поводити и поставити нове елементе. Треба их прописно набити и спојнице залити на исти начин као и претходне
- **Неравнине**  
Због различитих услова настајања неравнина, најједноставније оправке су замена материјала у подлози. Ако су оштећења у носећим слојевима, материјал треба заменити до постелјице  
Узроке пумпања треба отклонити заменом материјала у подлози и поновном обрадом спојница
- **Губитак отпорности на трење**  
Једини лек је замена елемената

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Александар Цветановић, **КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ**, Научна књига, Београд 1992.
- [2] Александар Цветановић, **ОДРЖАВАЊЕ ПУТЕВА**, Београд 1993.
- [3] A.J. McCormack and Son: **Laying Block Paving**
- [4] A.J. McCormack and Son: **Designing Flexible Pavements for Highways And Commercial Applications**
- [5] A.J. McCormack and Son: **Laying Flags / Slabs**
- [6] A.J. McCormack and Son: **Edgings**
- [7] A.J. McCormack and Son: **Pre-Cast Concrete Flags**
- [8] A.J. McCormack and Son: **Recessed Tray Manhole Covers**
- [9] A.J. McCormack and Son: **Screeding a Bedding Layer**
- [10] A.J. McCormack and Son: **Cutting - in Block Paving**
- [11] A.J. McCormack and Son: **Step - by - Step Block Paving**

## 6.8 ОДРЖАВАЊЕ АСФАЛТНИХ ЗАСТОРА

У инжењерском смислу "одржавање - maintenance" представља процес очувања конструктивних елемената коловоза - пута, са гледишта безбедности и употребљивости. Основне врсте одржавања застора коловозних конструкција су: **превентивно, корективно и изнуђено.**

### 6.8.1 ДЕФИНИЦИЈА ПРЕВЕНТИВНОГ ОДРЖАВАЊА

За све возаче нормално је да периодично мењају уље у колима, пакнове и остале релативно јефтине потрошне компоненте, да би обезбедили беспрекорно функционисање аутомобила и избегли скупе поправке. Оно што је у нормалном животу опште прихваћено правило понашања, није аксиом када су у питању инфраструктурни објекти, који директно утичу на наш квалитет пословања и живљења.

Постоји више дефиниција, али најраспрострањенија је да "**превентивно одржавање представља стратегијски приступ одржавању постојећег система путева са најекономичнијим поступцима, који штите, успоравају појаву будућих оштећења и одржавају или побољшавају функционално стање система без повећања конструктивне носивости**". То значи да превентивним одржавањем треба задржати што дуже постојеће стање. Али да би било ефикасно и рационално, превентивно одржавање треба да претходи појави већих оштећења (колотрага, чупања зрна и мрежастих пукотина). Израда површинских обрада (могући поступак у оквиру превентивног одржавања) не значи аутоматски и примену превентивног одржавања, ако се она не изводи у право време, тј. пре појаве већих оштећења.

Проблеми са превентивним одржавањем су чињеница, кад се зна да су буџети за годишње одржавање фиксни и оријентисани ка реконструкцијама и текућим активностима (нпр. зимско одржавање). Такође, резултати превентивног одржавања нису одмах видљиви и веома се лако средства предвиђена за активности превентивног одржавања, ради уштеда у буџету, смањују или потпуно укидају.

### 6.8.2 ПОСТУПЦИ ПРЕВЕНТИВНОГ ОДРЖАВАЊА

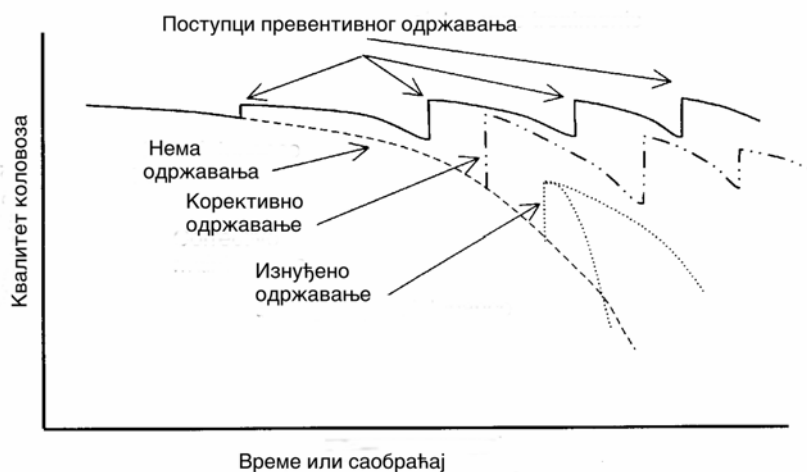
Основни поступци који се користе код превентивног одржавања асфалтних застора су:

- уобичајени поступци као што су обрада пукотина, замагљивање, површинске обраде, танке вруће пресвлаке (густе или отворене структуре дебљине до 40 mm) и слари-сил (slurry seal)
- ванредни поступци као што су мастикс асфалти, врло танке и ултра танке пресвлаке и микро застори

Изузев поступака, као што су обрада пукотина и замагљивање, сви остали представљају успостављање новог застора.

Програми ефикасног превентивног одржавања подразумевају периодичну примену (3 до 6 година) одговарајућих третмана, по завршетку изградње коловоза, ради избегавања или одлагања скупих реконструкција и максимизирања ефикасности улагања у одржавање путева.

Основно питање код примене превентивног одржавања је **"при ком нивоу оштећења"** стартовати са радовима. Не постоји децидан одговор, али постоји принцип да **"са превентивним одржавањем треба отпочети пре појаве оштећења"**, као што је и приказано на слици 6.50.



Слика 6.50. Почетак превентивног одржавања у односу на стање коловоза

Међутим, не могу се сва оштећења предупредити одговарајућим превентивним одржавањем. Асфалтни застори са пукотинама насталим због замора или колотрази (настали због недовољне стабилности асфалтних мешавина), нису добри кандидати за превентивно одржавање. Највећи успеси са превентивним одржавањем постижу се спречавањем фактора средине да разоре коловозе.

Превентивним одржавањем (испуном пукотина и танким пресвлакама) продужује се век коловоза за 5 до 6 година.

Економски најефикаснија стратегија је она којом се сваких 5 до 10 година освежава застор. Експериментално је утврђено да су програми превентивног одржавања 3 до 5 пута јефтинији од реконструкција. Тачније, коефицијент "трошкови - ефикасност" за превентивно одржавање у односу на предузимање било какве друге интервенције на коловозу, износи 3,65.

У табели 6.55 приказани су критеријуми за избор превентивног одржавања у функцији од типа оштећења.

Табела 6.55 Предлог поступака превентивног одржавања у зависности од типа оштећења код флексибилних застора

<b>Врста оштећења</b>	<b>Тип оштећења</b>	<b>Могуће деловање</b>
Пукотине	Пукотине од замора	Нису погодне за превентивно одржавање
	Мрежасте пукотине (мале до осредње)	Танке хладне или топле пресвлаке и површинске обраде
	Ивичне пукотине	Обрада пукотина
	Подужне пукотине	Обрада пукотина
	Рефлектоване пукотине	Обрада пукотина
	Попречне пукотине	Обрада пукотина
Закрпе и рупе	Закрпа / закрпа Оштећење	Коловози са пуно закрпа нису погодни за превентивно одржавање
	Рупе	Коловози са рупама нису погодни за превентивно одржавање
Оштећења површине	Колотрази <ul style="list-style-type: none"> <li>• недовољна збијеност</li> <li>• недовољна стабилност асф. мешавине</li> </ul>	Испуна колотрага микромикро зазором или површинском обрадом Превентивно одржавање не може да реши проблем
	Набори	Нестабилни застори нису погодни за превентивно одржавање
	Излучевине	Обрада песком, површинском обрадом или микро зазором
	Угљачани агрегат	Танка хладна или топла пресвлака или површинска обрада
	Чупање агрегата	Замагљивање, танка хладна или топла пресвлака или површинска обрада

Основни проблеми код превентивног одржавања коловоза су:

1. Образовање. Они који одлучују о стратегији одржавања морају да буду технички образовани и схватају значај и улогу превентивног одржавања
2. Промена устаљене филозофије првенственог улагања средстава у обнове и реконструкције коловоза
3. Правовремена примена превентивног одржавања
4. Успостављање критеријума за избор деоница коловоза на којима ће се изводити програми превентивног одржавања

Микро застори и врло танки асфалтни застори веома су актуелни код избора поступака за рационално превентивно одржавање. У последњих десет година у свету је изграђено преко 110 милиона квадратних метара "**врло танких и ултра танких асфалтних застора**" справљених по топлом поступку.



### 6.8.3 МАТЕРИЈАЛИ И ПОСТУПЦИ ЗА ПОПРАВКУ ПУКОТИНА У АСФАЛТНИМ ЗАСТОРИМА

Два фактора коловоза, који највише утичу на избор поступка превентивног одржавања флексибилних коловозних конструкција, су стање коловоза у тренутку спровођења поступка и конструктивна носивост коловозне конструкције, у односу на актуелно оптерећење од возила. Основни циљ превентивног одржавања је у спречавању или смањењу величине оштећења. Влада сасвим оправдано мишљење да је превентивно одржавање најефикасније код коловоза, који су још увек у добром стању, јер постоје одређени нивои стања коловоза, при којима превентивно одржавање има веома мале ефекте.

У оквиру превентивног одржавања најчешће се раде: **испуна пукотина, оправка ударних рупа и површинске обраде.**

Основне врсте оштећења асфалтних и бетонских застора груписане по категоријама су:

- пукотине
- "ударне" рупе
- деформације застора
- недостаци застора
- различита оштећења

Пукотине у асфалт бетонским засторима представљају најчешћи стручни проблем који се јавља код пројектовања коловозних конструкција и њиховог одржавања. При димензионарању коловозних конструкција, и анализи пропадања, за основне критеријуме оцене њиховог трајања узимају се појава пукотина од замора и трајне деформације - колотрази. Без икакве сумње је да су пукотине најзначајнији феномен који претходи или изазива развијање многих других, далеко озбиљнијих оштећења, која воде смањењу употребљивости коловозних конструкција.

Проблем пукотина у оквиру одржавања решава се на више начина, на пример: површинским обрадама, њиховом испуном или обновом застора (на пример наношењем новог слоја).

У последње време када се трајност коловоза разматра кроз анализу трошкова и добити, доказана је економска оправданост заптивања и испуне пукотина и оно је постало веома битна активност у оквиру одржавања путева.

Опште и детаљне информације у оквиру програма одржавања обрађене су по фазама, као нпр. за обраду пукотина:

1. Утврђивање потребе за обрадом пукотина
2. Планирање и пројектовање обраде пукотина
3. Извођење
4. Оцена извршене обраде пукотина

У табели 6.56 приказани су кораци у процесу обраде пукотина и параметри на које треба обратити пажњу.

Табела 6.56. Кораци у програму обраде пукотина

Корак	Опис
1	Проучи документацију-пројекте о грађењу и одржавању <ul style="list-style-type: none"> <li>• старост коловоза, пројектован, оправљан итд.</li> </ul>
2	Направи извештај о коловозу тј. пукотинама: <ul style="list-style-type: none"> <li>• тип оштећења, количина и величина</li> </ul>
3	Одабери одговарајући тип одржавања за испуцали застор на основу стања и распрострањености-густине пукотина: <ul style="list-style-type: none"> <li>• средње пукотине велике густине без оштећених ивица (препоручује се површинска обрада)</li> <li>• средње пукотине средње густине без оштећених ивица (препоручује се обрада пукотина)</li> <li>• пукотине средње густине са ивицама високог нивоа оштећености (препоручује се оправка пукотина)</li> </ul>
4	Одреди начин обраде пукотина, тј. да ли ће бити заптивене или испуњене <ul style="list-style-type: none"> <li>• пукотине које у току године показују изразито хоризонтално померање требало би заптити</li> <li>• пукотине које у току године показују веома мало хоризонтално померање треба испунити</li> </ul>
5	Одабери материјале и поступке за обраду пукотина на основу разматрања: <ul style="list-style-type: none"> <li>• климе (суво-смрзнуто, суво-несмрзнуто, влажно-смрзнуто)</li> <li>• саобраћаја (велики, осредњи, мали)</li> <li>• карактеристика пукотине (ширина, величина оштећења)</li> <li>• расположиве опреме</li> <li>• расположиве радне снаге</li> <li>• трошкова</li> </ul>
6	Упознај се са расположивим материјалима и опремом
7	Ораганизуј и контролиши поступак обраде пукотина
8	Периодично оцени квалитет извршене обраде пукотина

### Предуслови за поправку пукотина

Ако се јави потреба за неком врстом оправке испуцалог застора, први корак је да се да оцена стања коловоза, а затим направи план за обнову.

### Оцена стања коловоза и пукотина

Инжењер задужен за одржавање или надзорни орган, који добро познају деоницу пута за коју су задужени, на основу извршеног прегледа и анализе извештаја, а посебно обраћајући пажњу на:

- старост коловоза
- пројекте геометријских елемената и коловоза
- изглед коловоза
- саобраћај
- климу
- тип и стање претходно извршених радова на одржавању
- опште стање коловоза

доносе одлуку да ли је потребно приступити обради пукотина.

Након донете одлуке, на малом репрезентативном узорку тј. деоници коловоза, дужине око 150 метара, одређује се количина, тип и величина оштећења, као и стање или учинак било које од раније изведених обрада пукотина. Пример извештаја о стању коловоза и пукотина приказан је на слици 6.51.

<b>Извештај о коловозу и пукотинама</b>	
<b>Положај и геометрија</b>	
Аутопут/пут:	Стационара деонице:
Број трака:	Дужина деонице:
Ширина трака:	Тип и ширина банке:
<b>Пројектован, саграђен и обновљен</b>	
Година изградње:	
Тип и година последње обнове:	
За када је планирана следећа обнова:	
<b>Клима, саобраћај и класификација пута</b>	
Просечне годишње падавине (cm):	<b>Попречни пресек коловозне конструкције</b>
Број дана испод 0°C	Материјал= Дебљина=
Број дана изнад 38°C	Материјал= Дебљина=
Функционална класификација:	Материјал= Дебљина=
Просечни годишњи дневни саобраћај :	Материјал= Дебљина=
<b>Стање коловоза</b>	
<b>Оштећења од пукотина</b>	
Основни тип оштећења пукотина:	
- густина (дужних метара/150 m деонице):	Просечне ширине (cm):
- оштећење ивица (%):	Просечне дубине/висине (cm):
- попречни таласи ? набори ? раседи ?	
- претходно извршена обрада? да/не	
- тип материјала ?	
- успех обраде (%)	
Други тип оштећења пукотина:	
- густина (дужних метара/150 m деонице):	Просечне ширине (cm):
- оштећење ивица (%):	Просечне дубине/висине (cm):
- попречни таласи ? набори ? раседи ?	
- претходно извршена обрада? да/не	
- тип материјала ?	
- успех обраде (%)	
<b>Остала значајна оштећења</b>	
Тип:	Густина:
Тип:	Густина:
Тип:	Густина:

Слика 6.51. Извештај о коловозу и пукотинама

### Одређивање типа одржавања

Избор одговарајућег типа одржавања за испуцале коловозе често зависи од стања и распрострањености - густине пукотина. Ако је застор веома

испуцао (тј. пукотине су велике густине) али ивице пукотина нису много оштећене, можда је најбоље применити површинску обраду, обраду малтером (slurry seal) или нешта слично. У случају да је застор мало до средње испуцао, али са веома оштећеним ивицама пукотина, онда се приступа планској оправци пукотина, као што је њихово појединачно крпљење или делимично по дубини. Коначно, ако је коловоз осредње испуцао, а ивице су неоштећене или умерено испуцале, онда се може ефикасно на њих деловати заптивањем или испуном. Претходно изнети ставови приказани су у табели 6.57.

Табела 6.57. Упутство за избор типа одржавања

Густина пукотина	Просечни ниво оштећења ивица (у процентима од дужине)		
	Низак (0 до 25)	Осредњи (26 до 50)	Велики (51 до 100)
Мала	Нема	Обрада пукотина?	Оправка пукотина
Средња	Обрада пукотина	Обрада пукотина	Оправка пукотина
Велика	Површинска обрада	Површинска обрада	Обнова

На сликама од 6.52 и 6.53. приказане су типичне пукотине и зачеци озбиљнијих оштећења коловоза.



Слика 6.52. Коловоз коме би добро дошла површинска обрада (велика густина пукотина)

У принципу велики број пукотина или пукотине у изразито лошем стању, указују да се коловоз налази у поодмаклој фази пропадања.

Заптивање или испуна пукотина у коловозу који је у таквом стању је неекономична и технички неоправдана, јер може само незнатно да успори потребу за радикалнијим мерама побољшања његовог стања.

Многе организације за одржавање у иностранству, установиле су критеријуме на основу којих се одређује поступак и рок за одржавање испуцалог коловоза. Критеријуми се најчешће заснивају на оцени општег стања коловоза (са посебним освртом на пукотине) или специфичним карактеристикама пукотина (тип и/или ширина).

Често пукотине могу да имају далеко сложеније форме. Тако нпр. ивице пукотина могу бити вертикално оштећене формирајући таласе, наборе или раседе и/или под дејством возила различито се вертикално померати или угибати дуж вертикалне осе. Овакви недостаци знатно погоршавају равност и веома брзо напредују у још горе стање коловоза.

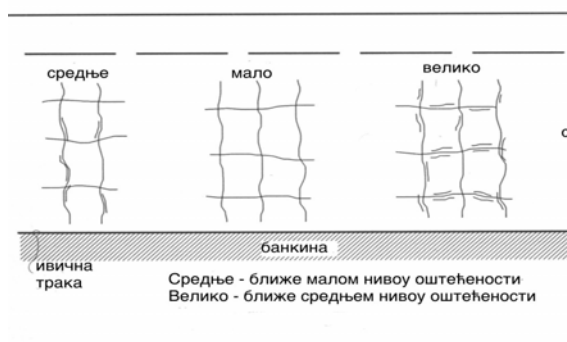
Алтернативна решења за оправку оваквих оштећења су крпљења и/или стругања. Међутим, ако вертикални угиб и величина оштећења (посебно набори) нису значајни, као привремена мера стабилизовања крајева пукотина може да послужи и њена обрада.

### Пукотине

Основни типови пукотина су:

1. Пукотине од замора
2. Мрежасте пукотине
3. Ивичне пукотине
- 4а. Подужне пукотине - у подручју колотрага
- 4б. Подужне пукотине - ван подручја колотрага
5. Рефлектоване пукотине на спојницама
6. Попречне пукотине

На слици 6.53. приказане су мрежасте пукотине које представљају озбиљнији облик оштећења коловоза.



Слика 6.53. Мрежасте пукотине

**Пукотине од замора****Опис**

Настају на површинама које су изложене поновљеном оптерећењу од возила (колотразима).

У раној фази развоја, пукотине су међусобно повезане, а у каснијој прерастају у више-стране, оштроугле комаде, страница краћих од 0.3 м и облика кокошије ноге, коже алигатора или мреже.



Слика 6.54. Велики ниво оштећености са пукотинама од замора

**Пукотине у облику блокова****Опис**

Настале пукотине деле захваћену површину коловоза у низ приближно четвртастих комада величине од 0.1 м<sup>2</sup> до 10 м<sup>2</sup>.



Слика 6.55. Пукотине у облику блокова

**Ивичне пукотине****Опис**

Појављују се само код коловоза где је урађена банкина без застора. Пукотине у облику полумесеца или приближно паралелне са ивицом коловоза у близини банке. Укључујући подужне пукотине изван трагова точкава и у оквиру 0.6 m од ивице коловоза.



Слика 6.56. Ивичне пукотине

**Подужне пукотине****Опис**

Пукотине које су претежно паралелне осовини коловоза. Појављују се по целој ширини коловоза, али најчешће у појасу трагова кретања точкава.



Слика 6.57. Подужне пукотине

**Рефлектоване пукотине на спојницама****Опис**

Пукотине које настају у положеном асфалт бетонском слоју, на местима спојница у бетонским плочама. Познавање величине плоча и распореда спојница, помаже код индетификације овог типа оштећења.



Слика 6.58. Рефлектоване пукотине при великом развоју оштећености

**Попречне пукотине****Опис**

Пукотине које су претежно управне на осовину пута, а не налазе се изнад спојница као код бетонских коловоза.



Слика 6.59. Велики ниво оштећености попречних пукотина



### **Циљеви заптивања и испуњавања**

С обзиром да се у прошлости термилошки, па и стручно, правила мала разлика између заптивања и испуњавања пукотина, уведене су недавно дефиниције за ова два појма:

- **заптивање пукотина** представља полагање посебних материјала преко или у пукотине које раде, са циљем да се **спречи** продирање воде и нестишљивих материјала
- **испуна пукотина** представља полагање материјала у пукотине које не раде, са циљем да се битно **смањи** продирање воде и повеже застор са једне и друге стране пукотине.

За пукотину се каже да ради ако је хоризонтално и/или вертикално померање пукотине веће од или једнако 2,5 mm, а не ради ако је кретање мање од 2,5 mm. С обзиром на изложене дефиниције, заптивање пукотина у односу на њихову испуну, је знатно теже за извођење. Заптивање више кошта, тражи посебне материјале и много сложенију опрему.

### **Критеријуми за одлучивање када заптивати или испуњавати**

Најчешћи тип пукотина који се јавља у коловозима су попречне пукотине. Међутим, веома често се истовремено јавља више типова пукотина, што доводи до потребе да се примени један тип обраде пукотина (због рационализације материјала и опреме) и то опредељујући се према најзаступљенијем типу пукотина. Параметар на основу кога се одређује да ли ће пукотине бити заптивене или испуњене, је величина годишњег хоризонталног померања одређеног типа пукотина. Нормално, пукотине које раде са ограниченим оштећењима ивица требало би заптити, док пукотине које не раде, са средњим до незнатним оштећењем ивица, треба испунити.

Да ли пукотине раде или не, у принципу се одређује на основу њиховог типа. Пукотине које раде, или "**радне пукотине**" најчешће су по оријентацији попречне, мада поједине подужне и дијагоналне пукотине могу да достигну критичних 2,5 mm. Материјали који се постављају у "радне пукотине" морају да приањају уз странице пукотина и својом флексибилношћу прате отварање и затварање пукотина. За ову сврху најчешће се користе материјали са додатком гуме, који и на ниским температурама задржавају еластичне карактеристике.

Типични представник пукотина које не раде су дијагоналне пукотине, многе подужне и по нека мрежаста. Код пукотина које не раде, због релативно блиског одстојања ободних страница (међусобни делимични контакти зрна са једне и друге стране пукотине омогућавају преношење оптерећења са једне на другу страну пукотине), долази до малих померања. Због малих померања могућа је примена јефтинијих и једноставнијих материјала за испуну. Искусније особље визуелно веома лако одређује тип пукотине, тј. да ли раде или не. У табели 6.58 су приказани критеријуми за одређивање које пукотине треба заптити, а које испунити.

Заптивање пукотина спада у превентивне активности одржавања. Идеално би било да се обрада пукотина које раде обави при прохладном пролећном (од 7 до 18 °C) и сувом времену. Заптивањем ново насталих пукотина успорава се развијање секундарних околних пукотина. Типично је да се попречне термичке пукотине у асфалт бетонском застору појављују од 2 до 7 година након грађења, а попречне рефлектујуће у асфалт бетонском застору положеном преко бетонског, након 1 до 3 године.

Две основне предности заптивања пукотина при умерено хладном времену су:

- пукотине су довољно отворене да материјал може и без додатног сечења да продре у њих
- ширина канала пукотине је приближно једнака половини свог радног опсега

Ово је веома важно због материјала са којим се обавља заптивање, да у будућности не би био изложен прекомерним истезањима или скупљањима.

Већина поступака испуне пукотина изводи се једанпут годишње и то најчешће при хладном или прохладном времену (од 2 до 13 °C), јер су тада пукотине најотвореније и више материјала може да продре у њих. У зависности од приступа организације за одржавање, поступак испуне пукотина може бити превентиван или рутински. Као и код поступака заптивања, у оквиру одржавања, превентивну испуну пукотина, требало би спровести пре него што пукотине прораде. У зависности од типа пукотина које треба да се испуне, овај период износи од 4 до 8 година након завршетка грађења или обнове. Нормално је да треба примењивати трајније материјале да би се смањио број поновљених третмана. Благовременом испуном пукотина (непосредно по достизању њихове максималне ширине) знатно се успорава њихов раст због продирања разних отпадака и/или круњења асфалта.

При планирању заптивања или испуне пукотина требало би размотрити:

1. Климу (при извођењу третмана и опште)
2. Ранг пута
3. Обим саобраћаја и проценат теретних возила
4. Карактеристике и густину пукотина
5. Материјале
6. Поступак уградње материјала
7. Опрему
8. Безбедност

### **Планирање и пројектовање**

Посебну пажњу при планирању материјала, поступака и опреме треба посветити, садашњем и будућем стању пута. Специфични локални климатски услови у току извођења третмана директно утичу на избор материјала и поступака. На пример, у областима са влажном и хладном

климом употребом грејача многи проблеми могу бити ублажени. Поред грејача, треба водити рачуна и о материјалима који треба да задрже еластичне карактеристике и прионљивост. Са друге стране, пак, у климатским условима где владају високе температуре (температура асфалтног застора лети је већа од температуре ваздуха за 20 до 30 °C) треба примењивати термостабилне материјале (да не омекшавају и теку). Ранг пута и карактеристике саобраћаја су важни, јер утичу на избор заштите радника при извођењу третмана обраде пукотина, трајност материјала и отпорност на стругање (снегочистачи). Карактеристике пукотина као што су нпр. ширина, померање и оштећеност ивица, утичу на избор врсте материјала, типа третмана и потребне количине материјала.

Табела 6.58. Критеријуми за одређивање када заптивати или испуњавати

Карактеристике пукотине	Активности на обради пукотина	
	Заптивање пукотина	Испуњавање пукотина
Ширина, mm	5 до 19	5 до 25
Оштећење ивица (круњење, секундарне пукотине итд.)	Минимално ( $\leq 25\%$ од дужине пукотине)	Средње до минимално ( $\leq 50\%$ од дужине пукотине)
Годишње хоризонтално померање, mm	$\geq 2.5$	$< 2.5$
Тип пукотине	Попречне термичке пукотине Попречне рефлектујуће пукотине Подужне рефлектујуће пукотине Подужне пукотине на хладним спојевима	Подужне рефлектујуће пукотине Подужне пукотине на хладним спојевима Подужне ивичне пукотине Мрежасте пукотине на већем размаку

### Избор материјала за поправке

На тржишту данас постоји много различитих материјала за обраду пукотина и са специфичним карактеристикама. Три основне групе материјала су:

1. Термопластични хладно применљиви материјали
  - течни битумен (емулзија, разређени битумен)
  - полимерима модификован течни битумен
2. Термопластични топло применљиви материјали
  - битумен
  - мешавина битумена и филера
  - мешавина битумена и влакана

- мешавина битумена и гуме

### 3. Термовезујући хемијски материјали

- самоизравнавајући силикони

Битумен и течни битумен поседују малу еластичност и велику температурну осетљивост. Због тога је њихова примена ограничена на употребу као пуниоца за пукотине које не раде. Такође, додаци битумену као што су филер и влакна смањују еластичност и незнатно утичу на температурну осетљивост, па овај тип материјала предодређују за употребу при испуни пукотина. Додавањем полимера течним битуменима или загрејаним битуменима у принципу поправља се еластичност и уградљивост. Термовезујући хемијски материјали су једно или двокомпонентни, који у фази примене, хемијским процесом прелазе из течног у чврсто стање. Ова врста материјала се тек од скора примењује, а међу њима су најпознатији самоизравнавајући једнокомпонентни силикони.

У табели 6.59 дати су општи подаци о сваком материјалу, укључујући неке од познатијих производа у свету, технички услови и оријентациони трошкови. Евидентно је да у претходној табели није наведен разређени битумен, јер се овај материјал данас ретко користи (због заштите околине у случају проливања).

Први корак у избору материјала је идентификовање битних својстава са гледишта његовог ефикасног постављања и локалних услова.

Најважнија својства су:

- кратко време припреме
- брзо и лако постављање (добра уградљивост)
- кратко време неговања
- прионљивост
- кохезивност
- отпорност на омекшавање и течење
- еластичност
- савитљивост
- отпорност на старење и временске промене
- отпорност на абразију

У табели 6.60 приказани су разни материјали и њихова својства. Евидентно је да материјали који у себи садрже гуму, представљају добар избор за заптивање пукотина које раде, а емулзије и битумен, за испуни пукотина које не раде. Такође, у табели 6.60 су сугерисана решења у вези примене појединих материјала. На пример, ако материјал који треба применити мора да има савитљивост, отпорност на трајне деформације и абразију и добру уградљивост, тада се препоручују битумени са додатком гуме.

При избору материјала услови на терену имају изузетан значај. Тако нпр. под претпоставком да су сви услови испоштовани, материјали са којима се обавља испуна пукотина које не раде, у принципу трају од 1 до 4 година, а

они са којима се заптивају пукотине које раде, трају од 2 до 4 година. Ово је чињеница коју планери одржавања морају да имају у виду.

На трошкове одржавања, поред цене и уграђивања, има знатан утицај и трајност материјала. У табели 6.59 су због тога дати укупни оријентациони трошкови за разне материјале.

Табела 6.59. Приказ материјала за обраду пукотина у асфалт бетонима

Тип материјала	Пример производа	Технички услови **	Препоручује се за	Оријентациона цена, \$/кг *
Битуменска емулзија	KN, KP CRS-2, CMS-2, HFMS-1	JUS U.M3.024 ASTM D977, ASTM D2397	Испуну	0.20 до 0.35
Полимерима модификована емулзија	Elf CRS-2P Hy-Grade Kold Flo	ASTM D 977 ASTM D 2397 AASHTO M 208	Испуну (могуће заптивање)	0.90 до 1.20
Битумен	BIT 90, BIT 60	JUS U.M3.010	Испуну	0.20 до 0.35
Мешавина битумена и филера	-	Нема јединствених тех. услова	Испуну	0.35 до 0.55
Мешавина битумена и влакана	Hercules Fiber Pave Kapejo Boni Fibers	Произвођач прописује услове	Испуну	0.35 до 0.55
Мешавина битумена и гуме	Koch 9000, Crafco AR2	ASTM D 5078	Заптивање (могућа испуна)	0.45 до 0.65
Мешавина битумена и течне гуме	Meadows 164, Koch 9001, Crafco RS 221	ASTM D 1190 AASHTO M 173	Заптивање	0.55 до 0.90 0.65 до 1.10
Мешавина битумена и течне гуме малог модула	Meadows XLM, Kpch 9030, Crafco RS 231	ASTM D 3405	Заптивање	0.80 до 1.45
Силикон	Dow Corning 890-SL	Произвођач прописује услове	Заптивање	5.00 до 5.50

\* Засновано на цени из 1991. и 1992. у САД

\*\* ASTM - American Society for Testing and Materials  
AASHTO - The American Association of State Highway and Transportation Officials, JUS - Југословенски стандарди

Табела 6.60. Карактеристике различитих материјала

Карактеристике	Тип материјала							
	Битуменска емулзија	Полимерима модификована емулзија	Битумен	Битумен са влакнима	Мешавина битумена и гуме	Мешавина битумена и течне гуме	Мешавина битумена и течне гуме малог модула	Силикон
Кратка припрема	+	+						++
Брзо и лако уграђивање	+	+	++	++	++	++	++	
Кратко неговање			++	++	++	++	++	+
Прионљивост	++	+	++	+	+	+	+	+
Кохезивност					+	+	++	+
Не тече		+			+	+	++	++
Савитљив		+			+	+	++	++
Еластичан		+			+	+	+	++
Споро стари						+	+	++
Отпоран на скидање					+	++	+	

+ повољно; ++ врло повољно

Код технике "резервоар" материјал се поставља у омеђени простор **сечене** пукотине (тј. резервоара пукотине). Материјал се поставља у равни или мало испод површине застора (илустрације Д, Ф, Х, Ј и К на слици 6.60а).

Код технике преклапања, материјал се поставља у, и преко **несечене** пукотине. Материјал преко пукотине може бити машински или ручно формиран (илустрација Б) или слободно формиран тј. необрађен (илустрација Ц).

Код комбиноване технике, материјал се поставља у, и преко **сечене** пукотине. Ручно, модлом се формира облик материјала преко пукотине (илустрације Е, Г, И и Л).

Четири основна параметра која треба разматрати при избору технике поправки пукотина су:

#### 1. Сврха примене

- директна - материјал се непосредно ставља у канал пукотине
- против везивања - помоћни материјал који се ставља на дно "резервоара" пре материјала за обраду пукотине, у циљу да спречи његово везивање за дно и странице пукотине

#### 2. Облик пукотине

- несечена
- сечена - изривена - изгледана или исечена да би се формирао униформни резервоар пукотине

#### 3. Завршне карактеристике

- дубоко постављена
- изравната са околином
- покривена као капом
- додатна веза

#### 4. Димензије резервоара пукотине и/или преклопа

Код извођења скоро свих заптивања и испуна, материјал се ставља директно у канал пукотине (илустрације од А до И). Полиетиленска трака се ставља на дно резервоара - жљеба пукотине која ради, пре наношења материјала за заптивање (илустрације Ј, К и Л). Ова помоћна трака треба да спречи везивање заптивног материјала за дно пукотине, односно његово везивање за три стране резервоара. На овај начин се мењају својства материјала за заптивање.

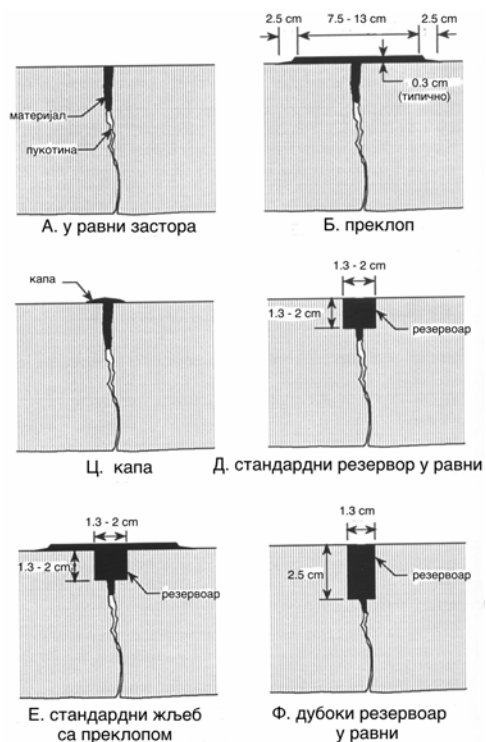
Облик заптивке, посебно оне са резервоаром, важан је параметар и у анализу се уводи преко "фактора облика", који се дефинише као однос између ширине и дубине испуне. При извођењу третмана фактор облика се контролише у тренутку сечења пукотине (тј. ширине и дубине сечења), а ако се ставља и трака, онда и додатна дубина обраде пукотине. Треба тежити да фактор облика, код примене гумом модификованог битумена директно или са траком за заптивање буде 1, а за силиконе 2. У принципу заптивке са мањим фактором имају мању прионљивост, а са већим већу.

Да ли ће се применити трака за спречавање везивања зависи од:

1. Трошкова постављања траке и остварених добити од њене примене
2. Облика пукотине која ради (треба да је релативно равна са врло мало оштећеним ивицама)

Препоручљиво је да се масе за заптивање модификоване гумом, примене по топлотном поступку и без траке за спречавање везивања (није економски оправдано). За сада се једино материјали од силикона препоручују за употребу са траком.

Пукотине које кривудају веома су тешке за правилну обраду, односно опсецање, што ствара низ проблема код заптивања.



Слика 6.60а. Облици испуне пукотина

Код подешавања глодалица и тестера за обраду пукотина треба водити рачуна о дубини резервоара - жљеба (ако се поставља трака против везивања) да он износи 25 до 40 mm. Нормално, ако нема траке, дубина се креће између 13 и 20 mm. Трака против везивања је за око 25 процената шира од резервоара пукотине, да би се одржао њен вертикални положај и створио одговарајући облик за заптивни материјал.

Одлука да ли ће се при заптивању или испуњавању радити и преклоп, највише зависи од материјала, јер неки материјали као што су силикони и емулзије једноставно не трпе контакт са саобраћајем.

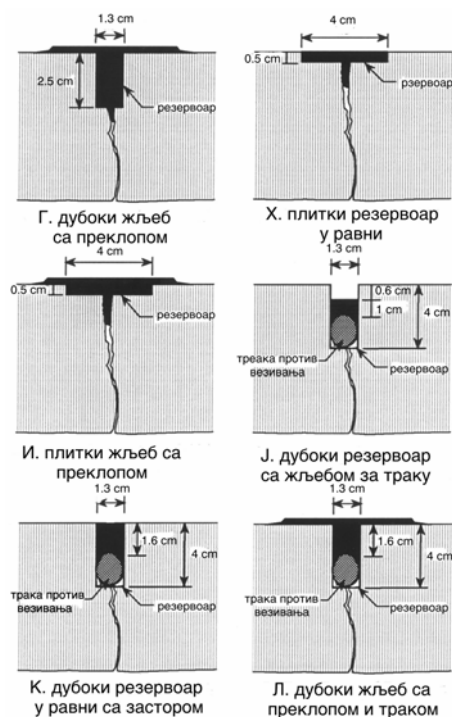
Ако се преклапање обавља при топлом поступку, пожељно је да се користи битумен модификован гумом (ово исто важи ако се користи трака против везивања и обрада у облику капе).

Модла са којом се обликује преклоп, помаже да се побољша веза између застора и материјала. Код обраде пукотине где се формира капа, материјал



се прелива и слободно формира контакт са застором (оваква веза са застором је слабија од претходне).

Типичне димензије преклопа су ширине од 75 до 130 mm и дебљине од 3 до 5 mm.



Слика 6.60б. Облици испуне пукотина

Једноставни преклоп (илустрација Б) изводи се изнад необрађених пукотина брзо и лако, за разлику од преклопа испод кога се формира резервоар, али зато постиже и већи квалитет у споју са застором.

### Избор третмана и опреме

Третман пукотина састоји се најмање из два до пет корака у зависности од типа (заптивање или испуна), упутстава за извођење, опреме и расположиве опреме. Ови кораци су:

1. Опсецање пукотине (може и глодање)
2. Чишћење и сушење пукотине
3. Припрема и примена материјала

4. Завршна обрада нанетог материјала
5. Упијање

Кораци 1,4 и 5 су необавезни. Сечење пукотина ретко се ради за поступке испуне, што није случај и са заптивањем. У областима са великим годишњим варијацијама температуре, пожељно је да се ради сечење пукотина због постизања бољег фактора облика пукотине, јер се постиже боља флексибилност материјалима у пукотинама, изложених великим деформацијама.

Код већине третмана пукотина, завршна обрада материјала ради се помоћу модле; код обраде пукотина са капом и жљебом нема завршне обраде.

На крају се ради "упијање" тј. обрађена пукотина се привремено покрива на пример тоалетним папиром, песком или филером, који треба да покупе вишак везива и учврсте површину нанетог материјала (спрече формирање колотрага).

Материјали нанети по топлом поступку и битуменске емулзије, код преклопа и капе, који су директно изложени дејству саобраћаја, први су кандидати за "упијање".

#### **Опсецање пукотине**

Опсецање пукотина ради се глодалицама или тестерама. При извођењу опсецања треба пазити да не настану додатна оштећења коловоза. Због тога је пожељно да се користе високо продуктивне машине са могућношћу доброг праћења пукотине и које изазивају минимум круњења или ломова. Сматра се да глодалице са вертикалним сврдлом најмање оштећују застор и да су лаке за руковање, али да имају мали учинак. Ротирајуће ударне глодалице имају много већи учинак од претходних али и слабији квалитет обраде (више оштећују застор). Ако може да се бира, треба имати на уму чињеницу да су карбидна сврдла боља од челичних.

Специјалне тестере за сечење пукотина имају пречник дијамантског сечива (врхови тј. зуби сечива су од вештачких дијаманата) тј. ширину од 150 до 200 mm и могу прилично добро да прате кривудање пукотина. Иако им је учинак сечења у односу на ротирајуће ударне глодалице мањи, оне формирају знатно правоугаонији резервоар - канал, са равнијим зидовима и већом површином сеченог агрегата.

#### **Чишћење и сушење пукотина**

У оквиру пипреме пукотина за њихову обраду и стварања услова за што бољу везу материјала, треба очистити и/или осушити канале пукотина. Ово је можда и најважнија фаза рада у процесу заптивања и испуне, јер веома утиче на каснију појаву оштећења, због лоше остварене везе између материјала и коловоза.

Четри основна поступка која се користе за припрему канала пукотина су:

1. Обеспрашивање са дуваним ваздухом
2. Обеспрашивање са топлим ваздухом
3. Пескарење
4. Чишћење жичаним четкама

#### **6.8.4. МАТЕРИЈАЛИ И ПОСТУПЦИ ЗА ОПРАВКЕ РУПА У АСФАЛТНИМ КОЛОВОЗИМА**

Асфалтни коловози старе и пропадају, што захтева предузимање одговарајућих корективних мера обнове безбедности и њихове конструктивне целовитости. Досадашња пракса улагања у обнову и ојачање коловоза представља свуда у свету радикално и скупо решење. Констатовано је да оправка рупа на коловозу, такође, веома продужава век трајања и носивост коловозне конструкције, а неупоредиво мање кошта. Смисао нових тенденција у одржавању је да се што је могуће више делује превентивно, а што мање корективно.

Основни поступци крпљења (изузев асфалт бетонских) могу да се изводе по било ком времену. Делимични изузетак су поступци распршивања - инјектирања, који захтевају употребу мешавина измешаних по хладном поступку. Код овог поступка потребна је опрема која омогућава истовремено постављање чистог агрегата и загрејане емулзије у рупу коловоза; чак и овај поступак може да се изводи у разним временским условима.

Свака организација одговорна за одржавање асфалтних коловоза има у свом програму рада и крпљење рупа. За рупе је својствено да се јављају при свим нивоима саобраћајног оптерећења и на свим категоријама путева (од аутопутева до локалних путева). Савремени материјали и опрема требало би да омогућавају крпљење у свим временским условима, почев од лепих пролећних дана до снежних са вејавицама, односно у опсегу температура од 38 °C до -18 °C.

Крпљење рупа може да се изводи као хитна интервенција под тешким, али и у оквиру редовног одржавања, под нормалним условима (топло и суво).

#### **Предуслови за оправку**

Доношење одлуке за крпљење рупа зависи од више фактора:

- нивоа саобраћаја
- планираном времену за извођење обнове или ојачања коловозне конструкције
- расположивом особљу, опреми и материјалу
- толеранцији учесника у саобраћају

Рупе у коловозу најчешће настају због влаге, дејства циклуса мржњења и отапања, саобраћаја, недовољне носивости у подлози или комбинованог

дејства наведених фактора. Оправка рупа је неопходна у свим ситуацијама где оне угрожавају безбедност и равност.

Два основна периода времена када се поправљају рупе у коловозу су зимски и пролећни. У првом тј. зимском периоду владају ниске температуре, основни материјал је замрзнут, има доста влаге, а могућа је и појава циклуса мржњења и отапања. Други период пада у пролеће, када је основни материјал влажан и мекан, а могућа је и појава циклуса мржњења - отапања.

Без обзира на климатске услове при којима се обавља крпљење рупа, обавезно треба имати на уму утицај рупа на безбедност, равност и убрзано пропадање коловоза. Због тога организације задужене за одржавање морају да делују на потенцијално опасне рупе у коловозу што је могуће пре.

### **Планирање и пројектовање**

За било који начин оправке рупа у коловозима, два основна елемента битна за квалитет крпљења су избор материјала и поступак оправке. Независно од међусобног односа ова два фактора, на трошкове и ефикасност при извођењу крпљења, доминантан значај имају материјали, радници и трошкови опреме.

### **Рупе у коловозу**

Рупе у коловозу најчешће настају због чупања зрна агрегата и губитка везива. Са настављањем овог процеса долази до чупања већих комада застора, а затим и до потпуног слома коловозне конструкције. Облик и величина рупа у коловозу веома су променљиви. Минимална димензија рупе у плану је 15 cm.

Основни нивои величине развијености оштећења су:

- мали - рупе плиће од 25 mm.
- средњи - дубине рупа од 25 до 50 mm.
- велики - дубине рупа веће од 50 mm.

Мерење се обавља регистрањем броја рупа и квадратних метара захваћене површине за сваки ниво величине развијености оштећења. Дубина рупе се мери на најдубљем месту у односу на површину застора.

### **Материјали**

Три основна типа материјала који се примењују за оправку рупа у коловозима су варијанте мешавина справљених по хладном поступку, али код нас се најчешће примењују мешавине справљене по топлим поступку.

Прва од ових по хладном поступку справљених мешавина производи се у асфалтним базама, са расположивим агрегатима и везивом, без разматрања компатибилности или очекиваног квалитета.

Други тип мешавина припремљених по хладном поступку производи се према техничким условима прописаним од стране организација које ће их и користити. У техничким условима уобичајено је да се налазе препоруке о типу агрегата и одговарајућем везиву (компатибилности везива и агрегата), као и критеријуми о квалитету мешавине за крпљење. Подразумева се да треба радити пробне мешавине пре производње веће количине, а такође проверити и уређаје за уградњу по методи распршивања - инјектирања.

Трећи тип мешавина справљених по хладном поступку спада често у производе заштићене лиценцама. Најчешће их производе локалне асфалтне базе са посебно модификованим везивом. Ова везива производе специјализоване фирме, а на основу података о локалним агрегатима, пројектованим мешавинама и техничким условима. Ови материјали (као и остали материјали справљени по хладном поступку) могу да се произведу у већој количини и касније складиште или пакују у бурад - џакове због лакшег руковања на терену. У поступку уградње распршивањем - инјектирањем најчешће се користи овај трећи тип мешавина (инвеститор контролише агрегат, везиво и мешавину).

Верификацију квалитета свих наведених материјала за крпљење обављају овлашћене институције. Најважнији параметри квалитета који се испитују за мешавине справљене по хладном поступку су компатибилност агрегата и везива и уградљивост.

### **Испитивање компатибилности**

Први корак при производњи квалитетних мешавина справљених по хладном поступку је утврђивање компатибилности везива и агрегата. Овај податак је од посебног значаја ако се планира масовна производња.

### **Испитивање уградљивости**

Да би се осигурао квалитет оправке рупа потребно је испитати и уградљивост мешавине справљене по хладном поступку. Битно је напоменути да се испитивањем уградљивости не гарантује квалитет мешавине, али јасно указује на мешавине које ће по уградњи показати слаб квалитет.

### **Технике поправки**

Многе организације за одржавање користе метод "баци и иди" за оправку рупа у коловозима. На жалост, иако су сви свесни шта остављају за собом, ово је најраспрострањенији начин оправке рупа на коловозима (извођачи се правдају да је то најпродуктивнији начин оправке рупа).

Поступак оправке “полу-стални” такође је веома распрострањен. Овај поступак представља у односу на претходни, квалитативно виши ниво. Главно унапређење је учињено у подизању квалитета подлоге и везе закрпе са околним коловозом. Ови додатни напори повећавају време и незнатно трошкове извођења, али зато дају један сасвим нови квалитет закрпљеном коловозу.

Применом опреме за “распршивање-инјектирање” при поправци рупа у коловозима у односу на друге технике оправки, повећавају се трошкови коришћења опреме, али зато подиже продуктивност и смањују трошкови материјала.

### **Баци и изваљај**

Основни кораци рада у методи “баци и изваљај” су:

- стави материјал у рупу (која би требало али не обавезно да буде без воде и отпадака)
- изврши збијање закрпе користећи пнеуматике камиона
- провери да сабијена закрпа има облик круне (надвишење између 3.0 и 6.5 mm)
- помери се до следеће рупе
- пусти саобраћај одмах по уклањању радника и обављеном чишћењу

Основна разлика између ове методе и традиционалне “баци и иди” састоји се у додатном напору да се сабије закрпа. Збијањем се постиже боља компактност закрпе и повећава отпорност на одношење агрегата. Додатно време утрошено на сабијање (1 до 2 минута по рупи) незнатно смањује продуктивност, пре свега код рупа, које су на међусобном растојању већем од времена утрошеном за њихову оправку.

### **Полу - стални**

Полу - стални метод оправке сматра се за један од најбољих. Основни кораци рада су:

- уклонити воду и отпатке из рупе
- опсећи или изгладати вертикално странице рупе (треба да буде захваћена и здрава површина коловоза). Третирана површина мора бити квадратна или правоугаона, при чему две стране треба да буду приближно паралелне смеру одвијања саобраћаја
- по чишћењу рупа распостире се маса и ручно равна (са око 6 mm надвишења у односу на околни коловоз)
- збијање се обавља са уређајима чија је контактна површина мања од закрпе (ваљци са гуменим точковима масе од 3 до 5 тона, мали вибрациони ваљци са челичним точковима и вибрационе плоче)

- саобраћај се пушта одмах по уклањању радника и обављеном чишћењу

На овај начин се остварује много боља веза између закрпе и околног коловоза, а такође постиже и већа збијеност масе. У односу на методе “баџи и изваљај” и “распршивања - инјектирања” потребан је већи број радника и опреме, а постиже се и мања продуктивност.

### **Распршивање - инјектирање**

Основни кораци у поступку распршивања - инјектирања су:

- издувати воду и отпатке из рупе
- препрскати емулзијом или разређеним битуменом странице и дно пукотине
- издувати битуменизирани материјал у рупу
- препокрити закрпљену површину слојем агрегата
- отворити пут за саобраћај по уклањању радника, опреме и извршеном чишћењу

У овом поступку није потребно збијање по препокривању агрегатом закрпљене површине.

Поред ових нових метода оправке рупа у коловозима, примењују се и класичне методе, као нпр. са површинском обрадом и масом за крпљење.

### **Оправка оштећених површина са површинском обрадом**

Након чишћења оштећене површине, наноси се ручно (мора да буде равномерно распоређена) брзо распадајућа битуменска емулзија или разређени битумен у количини од 0.7 до 1.1  $l/m^2$ . Одмах затим наноси се лопатом агрегат у слоју приближне дебљине максималне величине зрна агрегата, ручно равна и утискује ваљањем. Наредни слој, ако је потребно због изравнања нивелете, наноси се по истом принципу.

### **Оправка површинских рупа**

Површинске рупе дубине од 25 до 50 mm поправљају се са мешавинама добијеним по топлом или хладном поступку. По обележавању кредом оштећене површине (обавезно облика квадрата или правоугаоника), опсецању рупе вертикално тестером или пнеуматским секачем до дубине од око 50 mm, чишћењу, прскању машински разређеним битуменом или емулзијом (АП, АП-Р, КП или КП-Р) у количини од 0.25  $l/m^2$ , распадању емулзије, наноси се мешавина за оправку (која надвисује околни коловоз за око 6 mm). Сабијање се обавља ваљцима са пнеуматским или челичним точковима (од 3 до 5 тона) или вибрационим плочама.



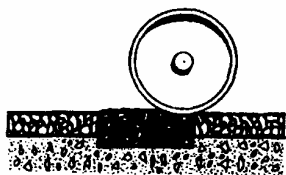
1. Необрађена ударна рупа



2. Обрађена ударна рупа - дијамантском тестером



3. Површине обрађене емулзијом или разређеним битуменом



4. Предвиђено надвишење



5. Сабијена маса у нивоу са околним коловозом

Слика 6.61. Оправка површинских рупа

### Оправка дубоких рупа

Било који тип оштећења (пукотине у облику блокова, канали кроз коловоз, раније оправке - закрпе, бубрење и изражене пукотине) у флексибилним коловозним конструкцијама, који је отишао и у дубину, назива се рупом (код нас је одомаћен назив "ударна рупа", мада је нејасно зашто је придодата реч ударна). Узроци претварања површинских оштећења у дубинска су: продирање воде кроз пукотине, лоша збијеност подлоге, неодговарајући гранулометријски састав, претерана влажност, непогодни материјали или отворена текстура (нпр. због недовољно везива) из које се чупају зрна агрегата.

Рупе у коловозу дубље од 50 mm оправљају се по процедури:

- одреди се оштећена површина и увећа за додатних око 30 cm
- означи се неким сечивом или бојом (у облику квадрата или правоугаоника)



- вертикално опсече оштећена обележена површина (до дубине постојања оштећења)
- дно (ако је од везаног или невезаног материјала изузев постељице) и странице, препрскају се битуменском емулзијом (АС, АП-Р, КС или КП-Р)
- након распада емулзије, разастире се битуменом везани материјал (највеће дебљине слоја у незбијеном стању од 8 cm) и врши збијање, најчешће вибрационим плочама
- последњи слој је виши од околног коловоза за око 12 mm. Након збијања треба да остане надвишење “закрепе” за око 6 mm, да би се дозволило накнадно збијање под саобраћајем.

### **Опрема**

За постављање материјала у поступцима оправке рупа “баци и изваљај” и “полу-сталном” потребне су лопате, грталице и остале ручне алатке. Код метода “баци и изваљај” основни трошкови опреме односе се на камион који носи материјал и возило за контролу саобраћаја (са саобраћајним знацима).

Код “полу-сталног” поступка списак неопходне опреме варира и није стандардизован. Списак основне опреме је:

- камион за превоз материјала (са ручним алатом)
- камион са опремом (средства за збијање итд.)
- средство за збијање (најчешће вибрациона плоча и вибрациони ваљак са једним точком)
- компресор за ваздух
- средство за обраду ивица (пнеуматски секач, тестера или машина за стругање по хладном поступку)
- возила за контролу саобраћаја и саобраћајни знаци

Једина опрема код поступка “распршивања - инјектирања” састоји се од уређаја са распршивање - инјектирање и возила за контролу саобраћаја и саобраћајних знакова.

### **Извођење оправки**

Оправке рупа се раде да би се закрепио оштећен коловоз, обновила проходност и успорило или спречило даље пропадање коловоза. У принципу, оправке треба извршити што је могуће пре.

### **Контрола саобраћаја**

Било када да се изводи крпљење рупа, мора да се обезбеди одговарајућа контрола саобраћаја. Циљ контроле је да се обезбеде екипе за оправку и што је могуће мање омете саобраћај.

У пракси, организација и начин извршења контроле саобраћаја веома варирају, **али свака организација за одржавање је у принципу одговорна да обезбеди радну површину како за раднике, тако и за учеснике у саобраћају** (што је регулисано и одговарајућим нормативним актима).

### **Безбедност**

Разматрање безбедности није ограничено само на контролу саобраћаја, већ се односи, такође, и на коришћење материјала за оправку и опреме. Мора да постоје упутства за коришћење материјала за оправку. Посебно треба поштовати препоруке за руковођење и чување свих материјала справљених по хладном поступку.

Одговарајуће мере безбедности морају да поштују и руковоаци пнеуматских секача, компресора и пумпи за распршивање - инјектирање. Код примене уређаја за распршивање - инјектирање радници морају да имају заштитне наочаре (јер се камени агрегат избацује под великим притиском). Возачи камиона морају посебну пажњу да обрате на вожњу уназад, да не би оследили неког од радника.

Сваки од учесника у извођењу оправки мора да буде упознат са могућим незгодама и начину како да избегне било коју опасну ситуацију.

### **Крпљење у зимским условима**

Крпљење рупа у зимским условима ради се у периодима топљења снега, када екипе за зимско одржавање престану са применом плугова, абразивних средстава или соли. Топлије време пружа услове за крпљење рупа, али такође и за њихово настајање. Више температуре проузрокују топљење и омекшавање замрзнуте подлоге, смањујући носивост свих слојева направљених од невезаних материјала.

Зимски услови су очекивана појава и неминовност, али за материјале за крпљење веома озбиљан проблем, јер они морају подједнако добро да се понашају при свим климатским ситуацијама.

### **Материјали**

Агрегат који се користи за крпљење у зимским условима требало би да буде веома квалитетан (еруптивац), дробљен и обеспрашен. Битуменске емулзије би могле да се употребе као везиво, али са обавезним додатком за побољшање прионљивости. Мешавина би требало да буде уградљива на ниским температурама, тј. да омогућава лако руковање радницима и добро збијање у рупе. С обзиром на честу појаву воде у рупама, веома је важна употреба квалитетних додатака битумену за побољшање прионљивости.

**Избор поступка**

Крпљење рупа у зимским условима често не оставља довољно времена за примену "полу - сталног" поступка. Повећањем потребног времена за крпљење рупа, смањује се продуктивност и повећава време ометања саобраћаја.

Применом изузетно квалитетних материјала, поступком "баци и изваљај", у зимским условима постижу се добри ефекти на трошкове и ефикасност. Од изузетне важности је да се примењују веома квалитетни материјали и да се збијање обавља камионима. Препуштањем збијања текућем саобраћају, обавезно се постиже слабији квалитет.

**Остале напомене**

Закрпе урађене у условима зиме имају у односу на оне у пролеће, краћи век трајања. У просеку век трајања "зимских" закрпа је од пар дана до неколико месеци. Циљ зимског крпљења је да се што је пре могуће обнове проходност и безбедност (а не да се трајно поправи оштећење).

**Крпљење у пролећним условима**

"Пролећно" у односу на зимско крпљење одвија се под знатно повољнијим условима, због тога што су прошли циклуси мржњења и отапања, а такође и подлога је мање мекана. Бољи климатски услови повећавају очекивани век трајања.

**Материјали**

Избор материјала за пролећно крпљење зависи од резултата анализе трошкови - ефикасност. Међутим, прорачун трошкови - ефикасност није од пресудног значаја, већ често и искуство екипе за одржавање са одређеним типом материјала.

Такође, скоро сви материјали који се примењују у зимском крпљењу, одговарају и за пролећно. Подразумева се да се услови складиштења и уградљивости веома разликују у зимском, у односу на пролећни период. Материјали који имају добру уградљивост при веома ниским температурама, на вишим постају лепљиви и тешки за употребу.

У пролећном крпљењу примењују се веома квалитетни дробљени обеспрашени агрегати и битуменске емулзије. Препоручује се и даље примена додатака за побољшање прионљивости. Емулзије би требало да се у односу на зимске услове спорије распадају, због бржег испаравања воде у њој.

**Избор поступка**

Пролећно крпљење може да се изведе по поступцима "распршивања - инјектирања", "баци и изваљај" или "полу - сталном". Најважнији критеријуми за избор су "трошкови - ефикасност" и расположива опрема и радници. Због тога што "полу - стални" поступак захтева више опреме и радника, он је мање практичан за ову врсту радова.

Поступак "баци и изваљај" веома је погодан за пролећно крпљење. Извршена анализа квалитета крпљења по овој методи указује на сасвим задовољавајуће резултате, поготово ако се примењују веома квалитетни материјали.

**Остале напомене**

Крпљења обављена у пролеће требало би да имају знатно дужи век трајања у односу на она обављана зими. Осматрања на терену указују да изведене закрпе након почетног периода (две до четири недеље) по распадању емулзије, имају добре шансе за дуговечно трајање (исто па и више од околног коловоза). Циљ извршеног пролећног крпљења је да закрпа траје исто колико и околни коловоз. Век трајања закрпе дужи од једне године, смањује у принципу број радника, опрему и материјале, потребне за наредну годину.

Прорачун "трошкови - ефикасност" требало би да се заснива на веку трајања закрпе од најмање једне године.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. J. Zaniewski and M. Mamlouk: Pavement preventive maintenance: The key to quality highways, Paper prepared for the Transportation Research Board 1999 annual meeting
2. D. Morian, S. Gibson and J. Epps: Maintaining Flexible Pavements - The Long Term Pavement Performance Experiment, SPS-3, 5-Year Data Analysis, Report No. FHWA-RD-97-102, Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1997
3. J. Zaniewski and M. Mamlouk: Pavement Maintenance Effectiveness-Preventive Maintenance Treatments, Participant's Manual, Report No. FHWA-SA-96-027, Federal Highway Administration, Washington, D.C., Feb. 1996.
4. Y. Brosseau: Very thin and ultra-thin wearing courses using hot-mixed bituminous materials a review of use and performance, Session No 270: Effectiveness of a Pavement Preventive Maintenance Program, Paper No 990987, Federal Highway Administration, Washington, D.C., Feb. 1996
5. M. Hines. C. Roche and P. Chaverot: Evaluation of fatigue Behavior of Hot Mix Asphalt with the LCPC Nantes Test Track and SHRP Testing Tools, AAPT Annual Meeting, Boston, Mass, March 1998.
6. Smith K.L., et al. Innovative Materials and Equipment for Pavement Surface Repairs-Final Report. Volumes I and II. Report no. SHRP-M/UFR-504. SHRP, National Research Council, Washington DC: 1991.
7. Cook J.P., F.E. Weisgerber, and I.A. Minkarah. "Development of a Rational Approach to the Evaluation of Pavement Joint and Crack Sealing Materials-Final Report." University of Cincinnati: 1991
8. Peterson D.E. NCHRP Synthesis of Highway Practice No. 98: Resealing Joints and Cracks in Rigid and Flexible Pavements. TRB, National Research Council, Washington DC, December 1982
9. Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project. Report no. SHRP-P-338. SHRP, National Research Council, Washington DC: 1993
10. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC: 1986
11. Wilson T.P., Romine A.R. "Asphalt Pavement Repair Manuals of Practice", Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements, SHRP-H-348, National Research Council, Washington DC: 1993
12. Jugoslovenski standardi: JUS U.M3.020, JUS U.M3.030, JUS U.M3.024, JUS U.M3.022, JUS U.M3.010

13. Instant Road Repair Details, Emcol International Limited, London: 1992
14. Bullard D.J., Smith R.E., Freeman T.J., Development of a Procedure to Rate the Application of Pavement Maintenance Treatments, Texas Highway Research Program, SHRP, Washington, DC:1992
15. Maintenance of Roadway Pavement and Structures :TRR No.1392, Transportation Research Board, Washington DC: 1993
16. Atkins K., Highway Maintenance Handbook, Thomas Telford Ltd, London:1990
17. Smith, K.L., et al. Innovative Materials and Equipment for Pavement Surface Repairs-Final Report. Volumes I and II. Report no. SHRP-M/UFR-91-504. SHRP, National Research Council, Washington, D.C.: 1991
18. Evans, L.D. et al. Materials and Procedures for Pavement Repairs-Final Report, SHRP, National Research Council, Washington, D.C.: 1992
19. Anderson, D.A., et al. More Effective Cold, Wet-Weather Patching Materials for Asphalt Pavements. Report no. FHWA-RD-88-001. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.: 1988.
20. Tam, K.K. and D.F. Lynch. New Methods for Testing Workability and Cohesion of Cold Patching Material. Bituminous Section, Engineering Materials Office, Ontario Ministry of Transportation: December 1987
21. Carpenter, S.H., and T.P. Wilson. Evaluations of Improved Cold Mix Binders-Field Operations Plan. Contract no. DTFH61-90-00021. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.: October 1991.
22. Wilson, T.P, et al. Asphalt Pavement Repair Manuals of Practice, SHRP-H-348, National Research Council, Washington, D.C.: 1993
23. Bituminous Patching Mixtures, NCHRP 64, Transportation Research Board, Washington, D.C.: 1979
24. JUS U.M8.096, JUS U.M3.022, JUS U.M3.024, JUS U.M3.020, JUS U.M3.010, JUS U.M3.030, JUS U.E4.019
25. Bullard D.J, et al. Development of a Procedure to Rate the Application of Pavement Maintenance Treatments, SHRP-M/FR-92-102, National Research Council, Washington, D.C.: 1992
26. Edited by Ken Atkinson, Highway Maintenance, Thomas Telford Ltd, London,:1990
27. Overseas Road Note 2, Maintenance Techniques for District Engineers, Transportation and Road Research Laboratory, Crowthorne Berkshire United Kingdom,:1981

### **6.8.5. ОБНОВА КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА**

Најпознатији поступци обнове застора су површинске обраде, обраде малтером и микро застори.

Поступци обнове застора већ више деценија се успешно примењују за одржавање и обнову првенствено асфалтних коловоза. Првобитно су били примењивани за мало оптерећене путеве, али данас и за веома оптерећене путеве са асфалтним и бетонским засторима и то најчешће за њихову превентивну заштиту (у оквиру превентивног одржавања).

У поступке обнове застора спадају све интервенције на њима са битуменом (укључујући битуменске емулзије, разређене битумене и полимере) или мешавином битумена и агрегата (агрегат, филер и разни додаци) у дебљинама до 25 mm.

#### **6.8.5.1. ПОВРШИНСКЕ ОБРАДЕ**

Основне врсте површинских обрада су: једноструке и вишеструке површинске обраде.

##### ***Једнострука површинска обрада***

Једнострука површинска обрада је облик превентивног одржавања асфалтног застора. Представља слој везива на који се посипа слој камене ситнежи пречника зрна не већег од 25 mm.

Основна функција једноструке површинске обраде је да спречи продирање воде у слојеве коловозне конструкције, побољша трење између пенуматика и застора, побољша храпавост застора, коригује равност застора и освежи застор (због оксидације). Такође, користи се и као поступак за испуну пукотина.

Површинском обрадом се не утиче на поправљање носивости коловозне конструкције.

##### ***Технолошки поступак***

###### ***Машине за израду површинских обрада***

Прва машина је распршивач везивне масе. Састоји се од цистерне са везивом, распршивача везива, горионика, контролног вентила, грејних цеви и пумпе. Сви ови уређаји се налазе на самоходном возилу које може бити двоосовинско или троосовинско, у зависности од запремине цистерне.

Друга машина је разастирач камене ситнежи. То је, такође, самоходно возило на коме се налази кош за утовар агрегата, преносна трака од утоварног коша до коша изнад уређаја за разастирање и уређај за

разастирање. Отвор чељусти на уређају за разастирање може да се подешава према потребној количини материјала који треба да се разастре.

Трећа машина у поступку извођења површинске обраде јесте ваљак.

Досадашња искуства казују да се најбољи ефекат утискивања камене ситнежи у слој распршеног везива постиже ваљком са гуменим точковима. Наиме, својим гуменим точковима, он утискује камену ситнеж у слој везива али не ломи зрна агрегата. На тај начин се продужава век трајања слоја површинске обраде.

Уколико површина на коју треба поставити површинску обраду није очишћена, треба је пажљиво очистити ротационим четкама. То мора бити урађено педантно, да би везиво могло у потпуности да пенетрира у постојећи застор и да би се избегло одвајање површинске обраде од подлоге.

#### **Принципи пројектовања**

Пројектовање површинске обраде захтева одређивање пропорција везива и камене ситнежи (агрегата). Разматрањем се установљава сврсисходност примене површинске обраде и њени ефекти на саобраћај.

Површина прскана везивом преко које је разастире агрегат, садржи око 50% шупљина између зрна агрегата. Ваљањем се број шупљина смањује на око 30%, а саобраћајем током времена, број шупљина бива редукован на отприлике, 20%.

Квалитетном израдом, везиво попуни око 70% од тих 20% шупљина, ако је низак ниво саобраћаја. Међутим, ако је ниво саобраћаја висок, везиво не попуни више од 60% шупљина.

Коловозна површина-застор, сам утиче на потребну количину везива и агрегата. Често се додавањем везива, преко потребне количине за везивање агрегата, врше корекције на постојећем асфатном застору.

#### **Припремни радови за израду једноструке површинске обраде**

##### *Увид у стање застора*

Пре било каквог почетка радова треба пажљиво прегледати површину коловоза и дефинисати потребу за поправком и одредити врсту површинске обраде.

Треба регистровати сва оштећена места, одступања у дебљини попречног пресека и уздужног профила која у будућности могу узроковати оштећења коловозне површине. Посебна критична места су ивични дренажни системи.

Ако стари застор треба у потпуности да се реконструише, посебну пажњу треба обратити на сливнике, испуцале површине, угнуте површине, површине на којима је асфалт углачан или тече и остала оштећења застора.



Поправке морају бити урађене тако да застор коловозне конструкције буде у исправном стању пре почетка извођења површинске обраде. Ако је потребно, претходно извести крпљење застора. Мора да се остави довољно времена за консолидацију коловоза под саобраћајем, пре него што се отпочне са површинском обрадом.

#### *Припрема површине застора*

Кад постојећи пут има носећи слој од неvezаног материјала, а попречни и подужни профил су без нагиба, пут треба разровати и додати нови слој материјала. Да би отпадање танких слојева било избегнуто после постављања површинске обраде, нов материјал треба мешати са разрованим материјалом. Затим ту нову мешавину сабити у слојевима максималне дебљине до 15 cm. Материјал се на меканим местима уклања у пуној дебљини и ширини (ако је потребно) и нов материјал за носећи слој додаје и сабија до густине која је једнака околном носећем слоју. Затим се препокрива основним премазом.

Неки стари коловозни застори не морају бити поправљани пре пресвлачења. Други, пак, могу захтевати комплетно риљање, мешање и поновно сабијање замењеног материјала. Међутим, на већини застора треба само крпити рупе и уклонити евентуални вишак исцурелог битумена.

Кад су све неопходне оправке урађене, површину треба очистити непосредно пре прскања везивним материјалом. Стврднуто блато и друге стране материјале на застору треба пажљиво уклањати механичким четкама.

#### *Временски услови*

Временски услови играју веома важну улогу у успешном извођењу површинске обраде. Најбољи временски период, за извођење површинских обрада и њихово неговање у току године, је кад је време топло и суво.

Многи стандарди захтевају да температура ваздуха у хладу буде најмање 10 °C пре почетка радова. Неки, пак, захтевају да температура површине пута буде изнад 20 °C пре почињања радова. Без обзира на висину температуре везива током његовог прскања, оно ће се охладити на температуру површине по којој се прска **за мање од једног минута**.

Површинске обраде никад не треба почињати кад је површина влажна или кад прети киша. Комбинацијом воде, свеже површинске обраде и саобраћаја, настаје губитак зрна агрегата из застора.

#### *Опрема и материјали*

Пре почетка радова, сва опрема мора бити испитана да би се проверило да ли је у добром радном стању. Оператор на распршивачу везива мора бити сигуран да је летва са млазницама на прописаној висини и да су млазнице правилно избаждарене. Такође, треба проверити и разастирач агрегата.

Испорука материјала се тако координира да се избегне застој. Ако је депонија далеко од места извођења радова, повећа се број камиона ради обезбеђивања непрекидног дотока материјала. Може да се донесе довољно материјала за завршетак радова и стави на гомилу непосредно поред места извођења радова.

### **Извођење једноструке површинске обраде**

#### *Распрскивање везивног материјала*

Пре почетка радова треба поставити жицу вођицу дуж ивице пута коју ће пратити возач распршивача. На градским улицама линије вођице могу бити риголи и ивичњаки. Возач распршивача мора пажљиво да гледа и прати линије ригола и ивичњака. Ивичњаки се покривају заштитним папиром да не би били умазани везивом.

#### *Попречне спојнице*

Грубе и ружне попречне спојнице, могу бити избегнуте, почињањем и престајањем рада на заштитном папиру. Папир се поставља предњом ивицом попречно на почетак траке која треба да се изводи на месту предвиђене спојнице. Распршивач, наилазећи унапред одређеном брзином, почиње распрскавање по папиру. Други папир се поставља на месту престајања распрскавања. Овим поступком се постижу оштре попречне спојнице. После прелаза разастирача агрегата, папири се уклањају.

За следеће прскање везива, предња ивица папира се поставља 15 mm испред прекида претхоног потеза прскања, чиме се постиже избегавање прекида (непопрскана лајсна) између два прскања.

#### *Подужне спојнице*

Извођење површинске обраде у пуној ширини елиминише подужне спојнице. Ипак, некад то није могуће извести због потребе непрекидног одвијања саобраћаја.

Да би било избегнуто нагомилавање агрегата дуж подужних спојница, ивица разастирања агрегата треба да се поклапа са пуном дебљином новопостављеног слоја. То допушта ширина траке у којој је слој битумена неравномерних дебљина, тако да може бити преклапања са новим слојем из суседне траке. Неравномерне дебљине су резултат делимичног преклапања спољних млазница. Затим, када се агрегат разастре у пуној ширини у следећој траци, нема нагомилавања агрегата у подужној спојници. Ширина битуменом обрађене траке може да има већа одступања, у зависности од размака млазница и да ли се ради трострука или двострука преклопна прскајућа шема.

Ако је могуће, подужне спојнице треба да буду дуж осовине застора који се обрађује. Установљене и правилно обележене линије осигуравају добру подужну спојницу.

### *Разастирање агрегата*

Сав агрегат за планирано разастирање треба претходно допремити. Док се распршивач везива помера унапред распрскавајући везиво, разастирач агрегата се налази непосредно иза и “у стопу” га прати. Распрскано везиво мора бити покривено **у року од једног минута**. Ако се касни, опада вискозитет везива и теже се везује агрегат, а и обавијеност зрна је мања. Такође је важно да агрегат буде разастрт равномерно у предвиђеној количини. У једнострукој обради, појединачна зрна упадају у везивни слој, тако да је бесмислено разастирати више агрегата него што је прорачуном предвиђено за један слој.

Одлична контрола је могућа код механичких разастирача. Равномерност количина осигурава се прописано подешеним разастирачем, ако се тахометар користи за одржавање предвиђене брзине. Други циљ у контролисању расподеле количина агрегата је маркирање дужине коју сваки напуњени камион треба својим товаром да прекрије.

Вишак агрегата, ако га има на по неким површинама, треба одмах уклонити лопатама. На површинама, где недостаје камени материјала, треба га додати. Са правилно подешеним и коректно управљаним разастирачем, ручни рад може бити избегнут.

### *Ваљање*

Ваљањем се агрегат утискује у слој везива, чиме се постиже отпорност слоја на утицаје од возила.

Ваљци са пнеуматичима треба да буду коришћени за све површинске обраде, док ваљци са челичним точковима могу бити коришћени једино ако се не располаже ваљцима са пнеуматичима.

Током 30 минута након разастирања агрегата, сабијање се врши челичним ваљцима, а они не смеју бити иза разастирача на растојању већем од 750 m. Ваљци са челичним точковима ломе зрна агрегата, чиме се смањује век трајања површинске обраде.

Ваљци са пнеуматичима дају равномеран притисак по целој површини ваљања и могу да ваљају одмах по разастирању агрегата. Два самоходна ваљка треба користити уз један разастирач. Ваљање се обавља све док агрегат не улегне прописно у везивну масу. Чим слој постане чврст, ваљање се прекида, да не би дошло до оштећивања зрна агрегата. Ваљање почиње од спољне ивице обраде у подужном смеру, ка осовини пута. Свака деоница треба да се преклопи са претходном за око пола ширине предњег точка ваљка. За добро сабијање агрегата потребна су најмање **три прелаза**.

### *Вишак зрна агрегата*

Упркос пажљивом раду, по завршетку ваљања, вишак зрна агрегата се појављује на површини застора. Пре него што суседна трака буде покривена, вишак зрна агрегата мора бити уклоњен дуж спојница, а ако је потребно и са остатка непокривене траке.

Агрегат који није добро везан бива покупљен гумама возила и избачен ка возилима која их прате, оштећујући фарове и ветробранска стакла. Вишак агрегата треба уклонити ротационим механичким четкама, у раним јутарњим сатима, док је застор још хладан, а по завршетку читавог процеса обраде.

#### *Контрола саобраћаја*

Контрола саобраћаја је веома важна са гледишта квалитета радова и мора бити одржавана док се посао не заврши. Велике брзине возила по свежој површини избацују агрегат из везивне масе и производи глатку црну површину. Саобраћај треба да буде преусмерен на заобилазне правце или допуштен једино по траци у којој се не ради. По завршетку радова и када је површина довољно чврста да прими саобраћај, брзине не смеју бити веће од 25 km/h. Временски период до потпуног "сазревања" површинске обраде зависи од климатских услова. Саобраћај мора бити контролисан на начин који гарантује безбедно извођење радова и минималне прекиде радова. Сигнални знаци - знаци упозорења, махач заставицом и сигнално возило, представљају основу за ефикасну контролу саобраћаја.

Камиони који доносе агрегат за разастирање су окренути у супротном смеру од кретања разастирача. Они морају да се окрену на обележеном месту довољно далеко од свежег слоја.

#### **Вишеструка површинска обрада**

Вишеструка површинска обрада се састоји из серије једноструких површинских обрада са истим номиналним величинама зрна по слојевима. Међутим, чешћи је случај да горњи слој буде од агрегата чија је величина зрна дупло мања него у доњем слоју. Најчешће коришћена вишеструка површинска обрада је двострука површинска обрада.

Дебљине слојева су од 16 mm до 20 mm, а век трајања вишеструке површинске обраде је око 3 пута дужи од једноструке површинске обраде, док су трошкови већи 1.5 пута.

У двострукој површинској обради, други слој попуњава шупљине по површини првог слоја агрегата. Испуњеност шупљина слоја представља текстуру површинске обраде.

#### *Извођење двоструке површинске обраде*

Поступци извођења вишеструке површинске обраде су истоветни као поступци за извођење једноструке површинске обраде, осим што се процес понавља два или више пута. Поступак за двоструку површинску обраду састоји се из следећих корака:

1. припреме површине
2. распрскивања првог слоја везива
3. разастирања првог слоја агрегата величине зрна од 14 mm

4. ваљања првог слоја агрегата
5. распрскивања другог слоја везива
6. разастирања другог слоја агрегата величине зрна од 6 mm
7. ваљања другог слоја агрегата
8. чишћења четкањем вишка зрна агрегата

Одржавање слојева је неходно између постављања два слоја површинске обраде. Први слој треба да очврсне пре постављања другог слоја (корак 5). За троструку површинску обраду, кораца 5, 6 и 7 се понављају за трећи слој.

#### **6.8.5.2. ОБРАДА МАЛТЕРОМ - “СЛАРИ СИЛ”**

“Слари сил” (slurry seal) је добро градуирана мешавина ситнозрног агрегата, минералног пунила (ако је потребно), битуменске емулзије и воде, која се примењује за одржавање асфалтних застора. Користи се најчешће за превентивно и корективно одржавање застора. “Слари сил” није, нити треба да буде побољшање умањене конструктивне чврстоће коловоза. Сваки коловоз, коме је ослабила носивост, треба прво да буде поправљен па тек онда покривен “слари силом”.

Када се “слари сил” примењује на засторима старијих коловозних конструкција, може бити веома ефикасан. Њиме се попуњавају површинске пукотине, зауставља стварање “ударних” рупа на коловозу, као и губитак везивне масе. Употребом “слари сила” прави се водонепропустљива и храпава површина. Током времена примењен “слари сил” помаже смањењу површинског оштећења застора изазваног оксидацијом битумена и његовом старењу.

#### **Технолошки поступак**

##### *Машине за обраду “слари силом”*

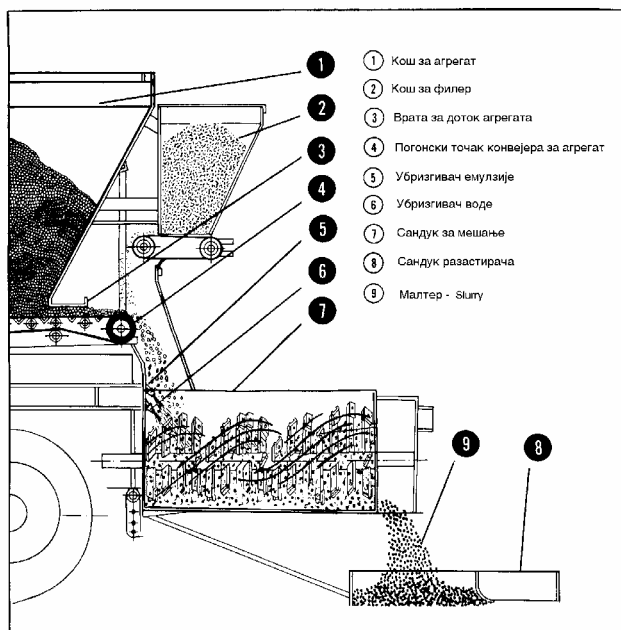
Машина за мешање се налази на самоходном или вученом возилу на чијем је крају прикључен разастирач за “слари сил”. На слици 6.62 је шематски приказан ток материјала од кошева за агрегат и филер, до готове мешавине за “слари” (slurry).

Битно је истаћи да се цео поступак мешања догађа при кретању возила. Капацитети кошева за агрегат и филер (ако је потребан), као и за воду и битуменску емулзију омогућавају процес мешања и разастирања “слари сила” у континуитету. Процес пуњења кошева је, такође, могућ током кретања машине.

##### *Припрема површине*

Пре примене “слари сила”, све рупе и озбиљнија оштећења морају бити поправљени. Непосредно пре разастирања “слари сила” површина мора бити детаљно очишћена механичким четкањем. Одмах после тога површину

треба попрскати мањом количином воде (ако постројење не поседује прскалице за воду испред сандука разастирача) да би се обезбедило правилно везивање. Адекватно везивање, на суву порозну површину, остварује се претходним прскањем емулзије у количини од 0.55 до 0.70  $\text{lit}/\text{m}^2$ .



Слика 6.62. Шематски приказ тока справљања малтера (slurry)

### Материјали

Минерални агрегат треба да буде чист. Оштроивични песак и минерално пунило треба да буду комбиновани тако да задовоље захтеве гранулометријског састава.

Битуменске емулзије за “слари сил” могу бити споро везујуће. За такве емулзије је пожељна мекана вода.

Битуменске емулзија се деле на:

- анјонске емулзије
- катјонске емулзије

### Пројектовање мешавине и припрема мешавине

Агрегат, битуменска емулзија и вода формирају “слари” кремасту конзистентцију који приликом разастирања прави течан талас од око 0.6 м

испред сандука разастирача. Захваљујући томе “слари” улази у пукотине и отворе у застору и попуњава их, пре наиласка сандука разастирача, који прелази преко масе и равна је. Ако је мешавина исувише крута, маса може да се згрумуља испред сандука разастирача и уместо да попуни пукотине, она их премошћује.

У већини случајева од 9.5 до 11.5 литара битуменске емулзије је потребно за 45.5 килограма сувог агрегата. Вода се обично додаје агрегату пре додавања битуменске емулзије. Количина воде варира, али је нормално има од 1.9 до 5.7 литара за 45.5 килограма сувог агрегата, укључујући влажност која већ постоји у агрегату. Пробне површине “слари” мешавине треба да буду урађене са материјалима који ће бити коришћени при извођењу радова да би могла да се контролише конзистенција и пропорције.

Проценти сваког материјала треба јасно да буду приказани у извештају. Током производње су могућа подешавања пропорција компонената у зависности од теренских услова. Надзорни орган је једини меродаван да одобри корекције у мешавини.

#### *Уграђивање “слари” мешавине*

“Слари” мешавина утиче у бокс разастирача који се налази иза возила. Неопренске гуме разастираљке, ширине потребне за разастирање и са шаркама за подешавање радне ширине, уграђене су у сандук разастирача да распоређују “слари” масу преко застора. Разастирач може вертикално да буде регулисан у зависности од дебљине слоја који треба да се нанесе.

“Слари” премаз се поставља у дебљинама од 3 до 6 mm, у зависности од стања застора. Ако је потребан дебљи слој, постављају се два тања слоја “слари” премаза, уз адекватну негу између првог и другог слоја.

#### *Спојнице*

Не сме бити нагомилавања зрна на спојевима, непокривених површина или утањивања слојева дуж подужних и попречних спојница. Извођач мора да обезбеди одговарајућу ширину опреме за разастирање, да би направио минималан број подужних спојница током постављања “слари сила”. Када је то могуће, подужне спојнице треба постављати на место линије саобраћајне траке. Половина прелаза и непаран број прелаза користе се као минималан број прелаза. Ако је половина прелаза искоришћена, то не смеју бити последњи прелази било које покривене површине. Преклопи дуж подужне спојнице могу бити преко суседне траке само до 15 cm.

#### *Стабилност мешавине*

“Слари сил” поседује довољну стабилност тако да се прерани прекид у материјалу у сандуку разастирача не може догодити. Мешавина треба да буде хомогена за време и после мешања и разастирања. Сувишна вода слободно избија на површину емулзије, а сегрегација крупнијих од ситнијих зрна, у емулзији, се не догађа. Додавање воде прскањем у сандук за разастирање није допуштено.

### *Ручни рад*

За мале површине на којима не може да се манипулише самоходним машинама за разастирање, “слари” премаз може бити истоварен директно и одмах потом разастрт ручним разастирачима. Треба водити рачуна да све површине буду равномерне дебљине. Ручним радом се завршава посао и при раду већих машина за разастирање.

### *Линије*

Треба водити рачуна о осигурању правих линија дуж ригола и банкина. Прескакање ових површина није дозвољено. Линије на укрштајима треба држати право због визуелног ефекта.

### *Временски услови*

“Слари сил” не сме бити постављан ако је температура коловозне површине или температура ваздуха испод 10°C и у опадању, али може бити постављан ако је температура ваздуха изнад 7 °C и у порасту. “Слари сил”, такође, не сме бити постављан ако постоји опасност да буде смрзнут пре истека периода од 24 сата од тренутка постављања. Мешавина не сме бити постављана кад временски услови продужавају термин отварања за саобраћај после разумног времена.

### *Контрола саобраћаја*

Саобраћај треба да буде тако регулисан да се не оштети премаз “слари сил”. Надзорни орган треба да буде обавештен о примењеним мерама контроле саобраћаја.

На површинама по којима се повећава број оштрих окретања возила, треба захтевати додатно време за комплетнију негу “слари сил” премаза, ради превенције од оштећења. Глатки трагови гума могу бити примећени на таквим површинама после пуштања саобраћаја, али ће се они изгубити током довољног броја прелаза пнеуматика по новом премазу. Ако ти колотрази нису изражени, они могу бити прихваћени као нормалне карактеристике “слари сил” премаза.

### *Нега “слари” премаза*

“Слари сил”, због ставова из претходног пасуса, треба постављати за време стабилних метеоролошких услова.

Дужина трајања временског периода захтеваног за правилну негу “слари сила” варира услед метеоролошких прилика, сувих дана током извођења радова и дебљине.

### *Ваљање*

Ваљање није неопходо за обраду површина “слари силом”. Аеродроми и паркинг површине могу бити ваљани самоходним 10 тона тешким ваљцима са пнеуматичима и притиском у гумама од 3.4 Atm и опремљених са



системом за прскање точкова водом. Обрађиване површине треба прелазити са минимално два прелаза.

Са ваљањем се не сме почети док “слари сил” не очврсне довољно, да се не би лепио за гуме ваљака.

#### Чишћење

Све површине, пешачке стазе, риголи и укрштаји, треба да буду очишћени од “слари сила” и одобрени од стране надзорног органа. Извођач мора да уклони и очисти све остатке од извођења радова.

#### 6.8.5.3. МИКРО-ЗАСТОРИ (MICRO-SURFACING)

Микро-застори су брзовезујуће полимеризоване битуменске емулзије помешане са ситнозрним минералним мешавинама, водом и другим додацима. Справљају се по хладном поступку. Служе за пресвлачење асфалтних (првенствено) и бетонских коловозних застора. Пројектовани су да буду примењени у полутечном стању помоћу специјалне машине за мешање и полагање масе. По пројекту, микро-застор се хемијски мења из полутечног стања у ситнозрну хладну масу. Овакав систем може да носи саобраћај један сат после уграђивања, док дебљина слоја није већа од 13 mm, а полаже се на температури од око 24 °C и при влази од 50% или мањој.

Мешавина треба да буде у таквом стању конзистенције, да може да се уграђује у променљивим дебљинама попречног профила постојећег асфалтног застора (колотрази, наборане површине, итд). После неге новог слоја и почетне консолидације услед саобраћајног оптерећења, микро-застори опстају и поред збијања, током целог пројектног периода, без обзира на садржину битумена и променљивост дебљине подлога преко којих су постављени. Крајњи производ је површина са великим коефицијентом трења у влажним условима током целог експлоатационог периода.

#### Литература:

[1] Александар Цветановић, **ОДРЖАВАЊЕ ПУТЕВА**, Београд 1993.

#### Површинска обрада:

1. ASPHALT TECHNOLOGY AND CONSTRUCTION PRACTICES, INSTRUCTORS GUIDE, The Asphalt Institute, Educational series No.1 (ES-1), 2<sup>nd</sup> Edition January 1983.
2. Robert N. Hunter, BITUMINIOUS MIXTURES IN ROAD CONSTRUCTION 1994.

3. Best Practices Handbook on ASPHALT PAVEMENT MAINTENANCE, 2000.
4. PAVEMENT PREVENTIVE MAINTENANCE PROGRAM GUIDELINES, The Office of Pavement Engineering, May 1, 2001
5. James D. Thorne, ROADWAY MAINTENANCE GUIDE, September 2000

"Слари сил":

1. RECOMMENDED PERFORMANCE GUIDELINES FOR EMULSIFIED ASPHALT SLURRY SEAL, ISSA A105 (revised), October 1991.
2. ASPHALT TECHNOLOGY AND CONSTRUCTION PRACTICES, INSTRUCTORS GUIDE, The Asphalt Institute, Educational series No.1 (ES-1), 2<sup>nd</sup> Edition January 1983.
3. BITUMINOUS PAVEMENT STANDARD PRACTICE, Technical Manual, DEPARTMENTS OF THE ARMY, AND THE AIR FORCE, July 1987
4. PAVEMENT PRESERVATION TODAY, Winter 2002
5. SLURRY SEAL PAVEMENT MAINTENANCE, INTERNATIONAL SLURRY SURFACING ASSOCIATION ISSA, July 1997.
6. SLURRY SEAL PAVEMENT MAINTENANCE, INTERNATIONAL SLURRY SURFACING ASSOCIATION ISSA, Jun 1997.

Микро-застор:

1. RECOMMENDED PERFORMANCE GUIDELINES FOR MICRO-SURFACING, ISSA A143 (revised), May 1996.
2. MICRO-SURFACING, Pavement Resurfacing, ISSA 1996
3. MICRO-SURFACING (QUALITY CONTROL), A Guide to Quality Construction, ISSA 1996
4. Roger E. Smith and C. Keith Beatty, Microsurfacing Usage Guidelines, Paper No. 99-1554, Preventive Maintenance and Evaluation of Pavements and Structures No. 1680, Transportation Research Board - National Research Council, Washington 1999
5. ITEM 406 MICRO-SURFACING, 2002

Танки и ултра танки асфалтни застори:

1. Yves BROSEAUD, Very thin and ultra-thin wearing courses using hot-mixed bituminous materials. A review of use and performance, Paper N° 990987
2. National Cooperative Highway Research Program NCHRP Synthesis of Highway Practice 260, THIN-SURFACED PAVEMENTS, Transportation Research Board, national research Council. National Academy Press, Washington, D.C. 1998
3. Conception et dimensionnement des structures de chaussée - Guide technique. Translated version, May 1997, LCPC, SETRA

### 6.8.6. РЕГЕНЕРАЦИЈА КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА

Одржавање и обнова путева кошта, тражи време, користи квалитетне материјале и загађује природну средину. Поправљањем карактеристика материјала из коловоза или расположивих отпадних материјала - **регенерацијом** (шљаке, разних пепела, гуме, стакла итд.) или поновним искоришћавањем - **рециклажом**, постижу се уштеде у материјалу и енергији и смањује загађење природне средине. Процесом прераде могу да буду обухваћени флексибилни и крути коловози, заштитне ограде, саобраћајни знаци и низ пратећих елемената.

#### **Могући поступци регенерације**

##### *Регенерација (reclaim)*

Регенерација представља поступак у коме се уклања и/или поновно прерађује материјал из коловоза. Најчешће се примењује код асфалтних застора који се стружу до 5 cm или копају знатно дубље и добијени материјал транспортује до стабилних постројења ради даље обраде.

##### *Прерада - рециклажа (recycle)*

Најчешћи облик регенерације је прерада добијеног (стругањем) материјала и његово враћање у приближно претходни (мало побољшани) облик у коловозну конструкцију. Основна термилошка разлика између регенерације и прераде - рециклаже, је што се у поступку прераде побољшавају физичко механичке карактеристике саструганог материјала, додатком недостајућих фракција агрегата или освеживача везива. На овај начин поступком прераде, за разлику од регенерације (где се једино делује на гранолометриски састав - величину зрна) може се постићи устаљен квалитет новодобијеног материјала. Отприлике 80 до 85 % саструганог асфалта се враћа назад у засторе коловозних конструкција било поступком прераде по топлим или хладном поступку, а знатно мање се користи као невезани агрегат за подлоге и тампоне.

##### *Могући поступци коришћења саструганог или ископаног материјала*

Састругани или ископани материјал може да се искористи за поступак прераде асфалтних застора по топлим и хладном поступку, израду разних стабилизација, изградњу доњих и горњих подлога, насипа или испуна.

##### *Агрегат за асфалт бетоне*

У поступку рециклаже по топлим или хладном поступку, састругани агрегат се користи као компонента (агрегат) нове асфалтне мешавине, али која захтева знатно мање везива.

*Топла асфалтна мешавина (добијена у стабилним постројењима)*

У поступку топле прераде у стабилним постројењима - асфалтним базама (континуалним и дисконтинуалним), састругани асфалт се обрађује на исти начин као и било која фракција агрегата (дроби и сеје).

*Топла асфалтна мешавина (прерада на лицу места)*

У овом поступку претходно загрејани асфалтни застор се струже - гребе, по потреби побољшава гранулометријски састав саструганог асфалта, убацује освеживач везива, меша и сабија.

*Хладна асфалтна мешавина (добијена у стабилним постројењима)*

Осим загревања, цео поступак је сличан оном за обраду по топлим поступку у стабилним постројењима.

*Хладна асфалтна мешавина (прерада на лицу места)*

Поступак прераде по хладном поступку на лицу места захтева примену специјалних машина или композиције више машина, које копају постојећи коловоз до дубине веће од 15 cm, додатно га дробе, мешају са битуменском емулзијом (или пенушавим битуменом), разастире и сабијају.

*Невезани агрегат у подлози*

Састругани агрегат се додатно дробе или меша са конвенционалним невезаним агрегатима (могу да се мешају, такође и асфалтни и бетонски састругани материјали), сеје и уграђује у горње и доње подлоге путева. У принципу, овако компоновани слојеви имају мању носивост од конвенционалних невезаних агрегата.

*Стабилизовани материјали у подлози*

Да би била произведена доња или горња подлога од стабилизованог саструганог материјала, он мора претходно бити издробљен, просејан, измешан са неким од стабилизационих (везујућих) материјала, па тек онда уграђен.

*Насипи и испуне*

Депоновани састругани материјал може да се употреби и за израду насипа и разноразних испуна, али оваква његова примена је ретка, јер је скупа.

*Прерада застора*

Прерада застора се ради најчешће до дубине од 6 cm. Она се изводи у циљу побољшања равности застора, смањења рефлектованих пукотина и повећања отпора клизању (незнатно се повећава носивост).

Састругани или растрешени материјал из застора може да се примени истовремено (освежен додатном количином битумена или неком од фракција агрегата) за обнову постојећег застора, израдом подлоге за неки други пут или за стабилизацију банкена. Прерада застора може да се ради

по топлом и хладном поступку (прва машина за обраду застора по хладном поступку појавила се 1936. год).

Од 1930-те године до данас, основне врсте опрема и одговарајућих технолошких поступака су: равнање, растресање или стругање загрејаног застора и равнање или стругање хладног застора. Основна разлика између стругања и растресања је што се при стругању на застор делује искључиво силом (што доводи до цепања зрна агрегата и формирања површина агрегата, које нису обавијене везивом), а код растресања се делује топлотом (у последње време искључиво инфрацрвеним зрацима) и специјално обликованим гребачима (који не цепају зрна агрегата).

#### *Прерада застора и подлоге на лицу места*

Прерада на лицу места старих застора од асфалт или цемент бетона може да се ради са конвенционалном опремом као што су булдозери, вибрациони ваљци, обични ваљци, ломилице коловоза, уситњивачи и мешачи или посебно конструисаним машинама. Са употребом битумена као везивног средства у циљу прераде застора почело се од 1940. год, а са употребом цемента од 1942. год.

Избор опреме и поступак прераде зависе од укупне дубине прераде коловоза и дебљине застора од асфалт бетона (до скора је граница за избор ове технологије била 2.5 cm).

Основна предност прераде на лицу места је могућност повећања носивости коловозне конструкције без промене хоризонталне и вертикалне геометрије пута, уз смањење или елиминисање рефлектованих пукотина, побољшање равности застора и повећање отпора на клизање. Највећи недостаци су што контрола квалитета није добра као у централним постројењима, веома отежано уситњавање бетонских застора и прилично велики трошкови због прекида у одвијању саобраћаја.

Предност обраде застора на лицу места је што материјал може да се уклони: (а) са квалитетнијим материјалом замени, (б) замени са постојећим материјалом који је стабилизован кречом, цементом или битуменом или (ц) постојећи материјал преради. Цемент се најчешће користи за стабилизацију подлога (за дебљину од 15 cm потребно је око 25 kg/m<sup>2</sup> цемента).

#### *Прерада у централним постројењима*

Прерада саструганих битуменом или цементом везаних материјала из застора у стабилним постројењима некада је била веома популарна. Поред саструганог материјала у стабилним постројењима обрађују се и изломљени делови коловоза (посебно важи за бетонске засторе).

Основне врсте централних постројења за прераду битуменом везаних материјала су: загревање са директним пламеном, загревање са индиректним пламеном и претходним загревањем додатог агрегата (битуменом везани материјали не морају обавезно да се загревају и могу да се прерађују и по хладном поступку). Цементом везани материјали, ако нису

добијени стругањем, претходно се дробе, а затим прерађују (мешају са цементом или кречом) у централним постројењима по хладном поступку.

Разлика у цени између прерађене и нове асфалтне мешавине (у корист прерађене) износи око 4 \$ по тони.

### **Прерада коловозних конструкција по хладном поступку (ПХП)**

Поступак прераде - рециклаже по хладном поступку користи се за реконструкцију било које флексибилне коловозне конструкције у циљу повећања њене носивости. Такође, овим поступком се санирају оштећења: попречне пукотине, колотрази, рупе, сва површинска оштећења или њихове комбинације. Посебно конструисаним машинама стружу се асфалтни слојеви, уситњава ископани материјал и меша са течним везивом и разастире у оквиру пројектованог профила и нивелете.

Прерађени битуменом везани материјали по хладном поступку разастире се и сабијају по истом поступку као и топли асфалтни материјали. Количина везива са којим се врши стабилизација ископаног материјала одређује се експериментално у зависности од карактеристика материјала и типа везива. Контрола квалитета одређује се стандардима.

Прерадом по хладном поступку на лицу места се струже (глође) - копа постојећи асфалтни коловоз, коригује гранулометријски састав, додаје везиво, меша, разастире и добија нова коловозна конструкција (у пракси слој нове коловозне конструкције). Нормално, преко овакве коловозне конструкције ради се асфалт бетонски застор или површинска обрада. Саобраћај може да се пусти истог дана.

ПХП поступком постижу се добити:

- смањује се број или у потпуности елиминишу пукотине
- обнавља геометрија коловоза
- елиминишу колотрази
- просечни дневни учинак је око 3 км (две траке)
- дозвољен је саобраћај за време рада
- користе се постојећи природни ресурси
- економичност (уштеде до 50%)

Дебљина асфалтног застора који се полаже преко прерађене коловозне конструкције креће се од 2.5 до 7.5 см. У односу на традиционалне технике обнове коловозних конструкција, уштеде у трошковима крећу се од 20 до 40 %. Пре свега због уштеде енергије (нема загревања) од 40 до 50 %.

### **Стабилизовање састругане асфалтне масе**

Стабилизовање се спроводи приликом свих поступака рециклаже асфалтног застора, ради побољшања карактеристика саструганог асфалтног материјала. Са инжењерског становишта, најважнија карактеристика је чврстоћа материјала, која укључује модул еластичности.

Најчешће коришћени стабилизатори су:

- везивна средства као Портланд цемент, креч, летећи пепео, као и остали материјали на бази пуцолана
- битуменска средства. Пенушави битумен и битуменска емулзија

Бројни други хемијски стабилизатори су успешно применљиви у течном и прашкастом стању, а већина тих производа се користи за побољшање одређених карактеристика материјала, на пример кохезивности.

Додаци за побољшање чврстоће материјала су стабилизатори који продужавају трајност и повећавају отпор на влагу. Везивна средства су најчешће коришћена са битуменским стабилизаторима који побољшавају флексибилност и отпор на замор материјала. Три најчешће коришћена стабилизатора су:

### **1. Цемент**

Најчешће Портланд цемент, Портланд металуршки цемент, згура и други облици везива који нису скупи али су прихватљиви као стабилизатори. Већина земаља има развијену стандардну опитну процедуру за везивна средства која су опште прихваћена међу путарским инжињерима.

Цемент се користи у рециклажном процесу као распршени суви прах по постојећој површини испред рециклера или као додатак помоћу млазница у комори за рециклажу, као малтерска каша (муљ). Тако обрађен материјал показује добру притисну чврстоћу са повећаним отпором на влажност. Затезне карактеристике су у почетку добре, али су особине изазване замором веома лоше и услед крутости материјала може доћи до пукотина на површини ако слој није добро заштићен. Пукотине услед скупљања могу бити смањене на минимум, равномерним односом и мешањем при влажности мањој од оптималне, али су неизбежне, пошто је то последица реаковања воде и цемента током процеса хидратације.

### **2. Битуменска емулзија**

Катјонска емулзија је најчешће коришћени тип стабилизатора. Као и са осталим типовима емулзија, производни процес је скуп, а осигурање квалитета веома значајно. Неопходна је специјална формула која осигурава да емулзија има захтеване особине распада, када је помешана са рециклираним материјалом - ако је распад емулзије сувише брз, тада мешање не може бити извршено; ако је сувише спор, тада материјал не може да развије затезну чврстоћу и због тога брзо могу настати деформације. Иако емулзија садржи 30 до 40 % воде, она је 100 % течна кад се додаје рециклираном материјалу, а проблем засићења се често јавља када је релативно висок садржај ресидуалног битумена, за захтевано дејство стабилизације.

### 3. Пенушави битумен

То је релативно нов стабилизатор. Још 1957. године је демонстрирано мешање пенушаваг битумена, који није вискозан, са влажним хладним агрегатом. Насупрот емулзијама, пенушави битумен се распрши међу fine честице у материјалу при околној температури тако да остатак честица није обавијен. Пенушави битумен је, према томе, стабилизатор и не може се користити за производњу асфалта по хладном поступку.

Пенушави битумен је "произведен" убризгавањем малих количина воде распршене компримованим ваздухом у распршени врући битумен. Обично се додавањем 2 % воде (по маси битумена) изазове да се битумен, на температури од 170 °C, распрши у милионе ситних мехурића, при чему честице воде апсорбују вишак топлоте и пређу из течног стања у пару. Два параметра карактеришу пенушави битумен:

- индекс експанзије - однос максималне запремине битумена у пенушавом стању и запремине битумена пре мешања са водом
- полупериод - време мерено у секундама за смањење пенушаваг битумена до половине од максимално постигнуте запремине

Оба параметра зависе од температуре, степена вискозности и типа битумена, као и количине додаване воде. Најбоља мешавина је кад су индекс експанзије и полупериод високи, али ова два параметра имају инверзан однос са количином додаване воде.

Кад се пенушави битумен меша са агрегатом, мехурићи битумена се разбију у милион ситних "љуспица", слично као кад се разбије стаклена танка чаша. Ове љуспице битумена имају довољну енергију да се повежу са ситним честицама агрегата, мањим од 0.075 mm. Због тога, за пенушави распршени битумен, агрегат мора да садржи довољно финих честица. По правилу мин. 5 % материјала мора бити ситније од 0.075 mm, да би био задовољен квалитет мешавине.

Пенушави битумен постаје веома популаран као стабилизатор у поступцима рехабилитације коловоза, а велику предност има у примени кад се користе покретне машине за рециклажу. Поступак са пенушавим битуменом користи само битумен и пијаћу воду. Поступак није скуп. Материјали третирани са пенушавим битуменом се понашају на сличан начин као и материјали који су без њега - битуменске честице једино утичу на акцију "лепљења" после сабијања. Сабијен асфалтни слој и третирани материјал пенушавим битуменом показује све предности грануларног материјала са скелетном структуром, док битуменски малтер окружује крупнозрне честице омогућавајући еластичност, која допушта асфалтном слоју толерисање затезних напона. На овај начин може да изгради јефтин слој са карактеристикама отпорности на замор.

#### *Предност поступка*

Предности поступка су:



- у једном пролазу машине, постојећи коловоз се копа до дубине од 25 (30) cm (оптималан учинак), меша са везивом и почетно сабија
- електронска контрола процеса
- аутоматско дозирање везива у функцији од брзине кретања машине

*Могуће уштеде су:*

- економичност (због рада на лицу места и повећања квалитета постојећег коловоза)
- смањење потребног времена за извођење радова

*Карактеристике материјала*

У току стругања добијају се комади материјала до 38 mm или мањи, при чему је максимално дозвољена величина до 51 mm или 63 mm.

### ***Прерада асфалтних застора на лицу места по топлом поступку***

Асфалт бетонски застори под утицајем оптерећења и средине, оштећују се и губе еластичне карактеристике. Поступком њихове прераде на лицу места санирају се површинска оштећења, повећава носивост коловозне конструкције, побољшава равност, повећава безбедност (због повећања отпорности на клизање) и повећава еластичност (због освежавања везива).

Прерада или рециклажа асфалтних застора, по топлом поступку на лицу места, почела је да се примењује од 1930. год. Актуелни поступци и технологије прераде асфалтних застора примењују се од 1990. год.

*Шта је прерада по топлом поступку на лицу места*

Овај поступак састоји се од:

- загревања застора
- механичког гребања - скидања застора
- мешања изгребаног асфалтног материјала из застора са освеживачем везива или додатним агрегатом (по потреби)
- разастирања и почетног сабијања прерађене мешавине
- разастирањем довежене асфалтне мешавине, као новог слоја (необавезно)

*Зашто се користи поступак прераде по толом поступку на лицу места*

Пре свега јер:

- је то одличан поступак за обнову асфалтних застора (у дубини од 4 до 6 cm)
- је економски веома исплатив поступак и јефтинији до 50 % од новог слоја дебљине од 5 cm
- штеди расположиве националне ресурсе - поштује "одрживи развој"

- штеди енергију, јер за производњу тоне асфалта у односу на класичан поступак троши приближно 60% мање енергије и такође мање загађује средину за око 60% (карбон диоксид)

*Карактеристично за поступак 100 % прераде је:*

- не додаје се нова асфалтна маса или агрегат
- додаје се освеживач везива
- најчешће се гребе до дубине од 5 cm
  - најбоља примена
    - када је застор оштећен у дубини до 5 cm
    - пукотине нису повезане (пожељно је да су испуњене)
    - колотрази и рупе су испуњени
    - пружа идеалне услове за полагање новог асфалтног слоја

*Поступак побољшања изгребане асфалтне мешавине обухвата:*

- изгребани асфалтни материјал се меша са новим асфалтом или агрегатом и континуално разастире
  - најбоља примена
    - када се жели побољшање карактеристика постојећег застора у погледу равности и отпорности на клизање

*Поступак прераде и ојачања обухвата:*

- постојећи застор се прерађује или побољшава, уобичајено до дубине од 4 cm, а затим симултано наноси нови слој асфалта, најчешће дебљине од 2,5 cm. Оба слоја заједнички се збијају ваљцима
  - најбоља примена
    - када је потребно због повећања носивости извршити ојачање - пресвлачење
    - када се жели што мање ометање саобраћаја
    - када се постојећи материјал не може квалитетно побољшати поступком прераде

*Предности у односу на остале расположиве методе обнове застора*

Основне предности у односу на друге методе су:

- обнавља постојећи слој без деградације основних компоненти (не делује отвореним пламеном на застор већ, инфрацрвеним грејачима)
- не мења хемизам везива (не оксидише битумен)
- не оштећује зрна агрегата (постојећи застор се гребе на начин да се не ломе зрна и не стварају делови агрегата који нису обавијени везивом)
- изузетно мало учешће освеживача везива (0.2 до 0.3 % у односу на учешће битумена у асфалтној мешавини)

- могућност промене гранулометријског састава мешавине (због побољшања карактеристика)
- температурно хомогенизирање третираног материјала
- нивелација постојећег застора (уклањање колотрага и трајних деформација) и избегавање примене изравнавајућег слоја у случају пресвлачања новим слојем
- могућност истовремене обнове постојећег застора и ојачања наношењем новог слоја
- топло везани слојеви - шлусеви између појединих радних трака
- могућност обнове застора и повећања носивости без промене нивелете (градске саобраћајнице, мостови, тунели итд.)
- обнова коловозних конструкција на аеродромима без дужих прекида саобраћаја
- обнављање свих радова са минималним ометањем саобраћаја
- оптимално коришћење постојећег материјала (прерада) без додатних масовних транспорта материјала
- краћи рокови извођења радова
- изузетна мобилност система
- минимално еколошко загађење околине
- најквалитетније санирање свих површинских оштећења застора
- знатна уштеда енергије, људства и материјала

#### Економија

Оријентациони трошкови у САД прераде 2,5 cm и наношења новог слоја од 1 до 2 cm асфалт бетона износе 3 EUR. Ако се прерађује 5 cm и додаје 1 до 2 cm, цена износи око 3.5 EUR. Код нас 1 cm/m<sup>2</sup> уграђеног асфалт бетона кошта око 2 EUR. На формирање цене највише утичу однос дубине прераде, дебљина новог слоја и окружење (температура и ветар). Практичне уштеде у односу на класичне поступке обнове застора крећу се од 19 до 50 %.

#### Перспектива

У развијеним земљама економичност је веома поштован параметар, али још више, принцип заштите средине и очувања природних ресурса за оне који долазе после нас, тј. покрет "**одрживог развоја**". Од 2000. **прерада тј. рециклажа** као поступак одржавања путева, у оквиру земаља OECD, има апсолутни стратешки приоритет.

**Литература:**

- [1] **Pavement Recycling Executive Summary and Report**, Federal Highway Administration, Report No. FHWA-SA-95-060, Washington, DC, 1995.
- [2] **Engineering and Environmental Aspects of Recycling Materials for Highway Construction**, Federal Highway Administration and U.S. Environmental Protection Agency, Report No. FHWA-RD-93-008, Washington, DC, May 1993.
- [3] Kallas, B. F. **Flexible Pavement Mixture Design Using Reclaimed Asphalt Concrete**, FHWA/RD-84/088, June, 1984.
- [4] Smith, Richard W. **“State-of-the-Art Hot Recycling.”** Transportation Research Board, Record No. 780, Proceedings of the National Seminar on Asphalt Pavement Recycling, Washington, DC, 1980.
- [5] Decker, D. S. and T. J. Young, **“Handling RAP in an HMA Facility.”** Proceedings of the Canadian Technical Asphalt Association, Edmonton, Alberta, 1996.
- [6] Epps, J. A., D. N. Little, R. J. O’Neal, and B. M. Gallaway. **“Mixture Properties of Recycled Central Plant Materials.”** American Society for Testing and Materials, Special Technical Publication No. 662, *Recycling of Bituminous Pavements*, West Conshohocken, Pennsylvania, December, 1977.
- [7] Noureldin, Ahmed Samy and Leonard E. Wood. **“Variations in Molecular Size Distribution of Virgin and Recycled Asphalt Binders Associated with Aging.”** Transportation Research Board, Record No.1228, Washington, DC, 1989.
- [8] Senior, S. A., S. I. Szoke, and C. A. Rogers. **“Ontario’s Experience with Reclaimed Materials for Use in Aggregates.”** Presented at the International Road Federation Conference, Calgary, Alberta, 1994.
- [9] Hanks, A. J. and E. R. Magni. **The Use of Bituminous and Concrete Material in Granular Base and Earth.** Materials Information Report MI-137, Engineering Materials Office, Ontario Ministry of Transportation, Downsview, Ontario, 1989.
- [10] DC Collings, AA Loudon & Partners. **“Deep in-place recycling – a cost-effective method for strengthening flexible pavements”**, Innovative road rehabilitation and recycling technologies, Pavement seminar for the Middle East and North African region, 24 – 26 October 2000, Amman, Jordan.

### 6.8.7 ОДРЖАВАЊЕ КРУТИХ - БЕТОНСКИХ ЗАСТОРА

Круте коловозне конструкције су знатно трајније од флексибилних, а трошкови њиховог одржавања знатно мањи. Међутим, ако се одржавање у потпуности занемари, може доћи до већих оштећења и скупих оправки.

Основни типови оштећења су пукотине и ломови.

#### **Пукотине у бетонским коловозима**

Пукотине у бетонским коловозима настају због прекорачења напона или лошег неговања бетона у фази очвршћавања, а као последица недозвољених оптерећења, губитка носивости у постелици, дејства температуре и лоше пројектованих или одржаваних спојница. Основни типови пукотина су:

- Подужне, попречне и дијагоналне  
Овај тип оштећења најчешће настаје због понављања оптерећења и скупљања плоча, а карактеристичан је по пукотинама које плочу деле на два или више делова
- Угаоне пукотине  
Најчешћи узрок настајања ових пукотина су губитак носивости у подлози и напони од савијања. Карактеристично за ове пукотине је да се протежу од једне до друге спојнице на растојању мањем или једнаком половини дужине плоче са обе стране, мереном од угла плоче. Угаоне пукотине не треба мешати са ивичним пукотинама које прожимају целу дебљину плоче паралелно спојницама
- “Д” пукотине  
“Д” пукотине се најчешће јављају на 30 до 60 cm паралелно попречним спојницама, а као последица фактора средине (циклуса мржњења и отапања и дилатирања плоча).
- Оштећења испуне спојница  
Оштећивањем испуна спојница омогућава се продирање чврстих материјала у жлебове и дилатационе спојеве, што доводи до губитка функције спојница и настајања пукотина

#### **Ломови у бетонским коловозима**

Основни типови лома бетонских плоча на одвојене мале делове укључујући љуспање и чупање агрегата су:

- Љуспање  
Љуспање застора у облику блиских мрежастих пукотина јавља се само у горњим деловима бетонских плоча, а као последица лоше неге бетона у периоду очвршћавања, неадекватног агрегата и лоше справљене мешавине

- Круњење спојница  
Круњење ивица спојница најчешће настаје због превеликих напона или продирања недозвољених материјала у жлебове. Такође, узрок могу бити и слаб квалитет бетона на спојницама у комбинацији са оптерећењем од возила. Круњење спојница се не дешава вертикално кроз плочу, већ под углом у односу на спојнице и на растојању од 60 cm од ивице плоче.
- Круњење угла  
Круњење угла ствара косе ломове бетона у односу на површину споја и то на растојању од око 60 cm од ивице спојнице.
- Издизање  
До издизања коловоза долази ако ширина дилатационе спојнице није довољна. Узрок је често висока температура, продор нестишљивих материјала у дилатационе размаке и мала дебљина плоче
- Дробљење плоче  
За плочу се каже да је издробљена ако је издељена на четири или више делова. Узрок су најчешће недовољна носивост подлоге и преоптерећење

### **Неравнине**

Основни типови неравнина су:

- Пумпање  
Пумпање настаје продирањем материјала кроз спојнице и пукотине на површину, а као последица угиба при проласку возила. Избачени материјал угрожава носивост, изазива пукотине и ствара неравнине на застору
- Слегање  
Неравномерно слегање или издизање на спојницама и пукотинама настаје због губитка финих честица, дејства мраза и бубрења

### **Трење**

Губитак отпорности на трење манифестује се преко:

- Глачања агрегата  
Поједини агрегати, а посебно они кречњачког порекла, под саобраћајем се брзо глачају и на тај начин веома угрожавају безбедност саобраћаја при влажном времену
- Запрљаност  
У току времена остаци пнеуматика се скупљају на површини застора и на тај начин знатно смањују отпорност на клизање

**Обнављање испуна спојнице**

Обнова испуне спојница не спада у периодично или сезонско одржавање, али је неодложна када контрола установи да је потребно. Хладан период, када је највећи размак између плоча, је најпогоднији за обнову испуне спојница. Такође, потребно је да раздел буде сув и да је температура коловоза изнад 5 °C (пролеће и јесен). За трајност испуне од велике важности су чишћење и припрема раздела.

**Материјали за испуну спојница**

По америчким упутствима и стандардима (AASHTO M173, ASTM D1190 и SS-S-1401) користе се термопластичне мешавине битумена и гуме у топлом стању и хладни мастикс (ASTM D1850, SS-S-156, SS-S158 или SS-S-159). Стандардима AASHTO M220 и ASTM D2628 обухваћена је испуна од претходно обликованих елемената. У Енглеској су у употреби битумени са гумом у хладном стању (BS 2499), полисулфиди у хладном стању или полиуретани (BS 5212) и силикони (BS 5889).

Топле испуне морају да се загреју пре примене (максимална температура је од 135 до 150 °C) да би се избегла сегрегација гуме или PVC-а. Испуна мора бити употребљена у року од неколико сати у течном стању и то, на чистим и сувим жлебовима (минимална температура жлеба је 5 °C, у противном веза испуне и бетона ће бити слаба). Загревање или сушење бетона у непогодним временским условима није препоручљиво. Хладне испуне од полисулфида, полиуретана или силикона се пакују у више кутија (две до три кутије са различитим компонентама чији однос мешања утиче на брзину везивања).

**Припрема спојница**

Стара и оштећена испуна мора да буде извађена, а жлебови очишћени компримованим ваздухом од око 0.6 МПа или тестерама - абразивним плочама. Када је уклоњена постојећа испуна из жлеба, треба ако је потребно, а најчешће јесте, обновити материјал (разне нелепљиве траке или танка јута од око 12.7 mm дебљине) који стоји у прорезу - спојници за слабљење пресека плоче или одвајање плоча. Чишћење спојница временски треба да је непосредно (до 30 метара) испред испуне.

**Претходно обликована испуна**

По чишћењу старе испуне и обради жлеба (довођење на прописане димензије), утискује се претходно обликована испуна од неопренских трака или синтетичких материјала на бази полимера. Максимална ширина спојница не треба да буде већа од 70% ширине набијеног неопрена. Да би се олакшала уградња, али и веза испуне за зидове жлеба, користе се посебни лепкови.

**Конструкционе, подужне и експанзионе спојнице**

Конструкционе (радне) и подужне спојнице имају мала померања, тако да карактеристике испуне нису од значаја као и код контракционих (привидних)

спојница. Жлебови спојница чисте се или по потреби обрађују (да имају дубину око 20 mm). Код замене испуне у жлебовима експанзионих спојница, веома често је потребно заменити, делимично или потпуно, испуну у спојницама (која је од деформабилног материјала).

#### *Уградња испуне спојница*

Испуне које се пре употребе загревају да би постале течне, уграђују се ручно и машински. Жлебови морају да буду чисти, суви и без прашине. Температура ваздуха, пожељно је да буде изнад 10 °C. Испуна треба да буде око 1.5 mm испод ивица коловоза (а око 6.5 mm од врха) и не сме да се прелива мимо жлеба.

Материјали за испуну по хладном поступку су најчешће двокомпонентни и мешају се међусобно по строго прописаној процедури. Висина испуне, такође, треба да је 1.5 mm испод суседних ивица жлеба.

Претходно обликована испуна не сме да буде изувијана или упредена. Ивице дубине од 6.5 mm плус 3.0 mm или минус 1.5 mm у односу на ивице застора (а да није више од 5% затегнута).

#### **Испуна пукотина**

Испуна пукотина има смисла ако су оне толико широке или се толико отвориле да омогућавају продирање испуне. Обрада пукотина је тежак, а често и скуп поступак. Веома блиске, уске, пукотине које нису настале из конструктивних разлога, не оправљају се већ само пажљиво осматрају. Сваку озбиљнију пукотину која је настала из конструктивних карактеристика плоче или због дејства напона, треба озбиљно проанализирати, па ако треба, од оправке пукотина ићи на обнову до постељице.

#### *Припрема пукотине*

У случају да је пукотина отворена, треба машински направити дуж ње жлеб широк 10 mm и дубине 20 mm. Обрађена пукотина са жлебом чисти се пре nanoшења испуне компримованим ваздухом. Подразумева се да пукотина мора да буде чиста, сува, без прашине, да би се омогућило везивање испуне за бетон.

#### *Испуна пукотина*

Испуна пукотина са топлим испуном ради се по истом поступку као и за спојнице. Такође, ручна и машинска опрема за уграђивање испуна су исте.

#### *Остале методе за испуну неправилних пукотина*

У новије време се успешно користе епоксиди. Припрема пукотине је иста као и у претходном поступку, с тим што се претходном обрадом пукотине са парафином штеди у количини епоксида. Због разноликих произвођача на тржишту, извођач је дужан да се строго придржава упутстава за примену.



**Испуна испод плоча**

Испуном испод плоча треба да се попуне шупљине без њеног дизања, потисне слободна вода, смање пукотине и ломови због слабог одводњавања и неуједначене носивости подлоге.

Испуна испод плоча се нормално ради код замене плоча или оправке - крпљења бетонских коловоза од застора до постељице.

Економична дужина за примену поступка "испуне испод плоча" је око 3 км.

Основна оштећења која се санирају испуном испод плоча су:

- ломови плоча
- раседи
- депресије
- нестабилности - изазивање ефекта пумпања

С обзиром да је сврха испуне испод плоча да стабилизује плочу испуном шупљина без ојачања плоче, веома је важно да се утврди да ли постоји кретање плоче током пумпања. Максимална померања до 1.25 mm су неизбежна.

После 24 сата од извршења испуне треба испитати стабилност третиране плоче. Ова контрола се понавља на сваких 24 сата, све док се не постигне захтевана стабилност плоче. У међувремену се избуше нове рупе да би се упумпао малтер.

Шупљине испод плоча се најчешће налазе испод ивица и средине коловоза.

**Инјектирање**

Инјектирање је техника којом се издижу бетонске плоче до постизања пројектоване равности. Да би било успешно, инјектирање мора да се ради са пуно пажње. Ако је урађено пажљиво и исправно, поступак је економичнији од замене плоча, јер мање задржава саобраћај, а обнавља конструктивну целовитост постојећег коловоза.

Ниво до кога треба издизти плоче и када треба престати са пумпањем се одређује помоћу затегнутог ужета. Са пумпањем и инјектирањем се почиње од најниже тачке улегнуте површине и напредује у оба спољна правца. Прираштај издизања треба да буде око 6.5 mm, са честим променама положаја инјектирања да би плоча била што мање напрегнута и избегнуто њено ломљење.

Тај поступак се изводи униформно и полако (0.01 до 0.04-0.06 m<sup>3</sup> у минути). На почетку је пумпање спорије али се убрзава са напредовањем издизања. Ако плоча којим случајем није издигнута до пројектованих кота, морају бити избушене нове рупе и поступак поновљен.

**Откривање шупљина и померања плоча**

Најчешће се користи визуелни поступак утврђивања оштећених површина. Избачени, односно испумпани ситнозрни материјали у улегнућима или

депресијама у подручју ивица или средине плоча, указује на постојање шупљина испод плоча. Превелика вертикална померања - смицања плоча на спојницама или пукотинама, такође указују на слободни простор између плоча и подлоге.

Поступци којима се мере померања плоча су:

- оптерећено возило
- регистравање угиба

Поступак мерења вертикалног померања са оптерећеним возилом састоји се од регистравања померања на два угибомера управно постављена на ивицу плоче под возилом и оптерећењем од 80 кN по осовини које се зауставља на 30 cm од ивице плоче.

Уређаји за регистравање динамичких угиба користе се тако што се плоча, преко које се преноси оптерећење, постави што ближе ивици бетонске плоче коловоза, а сензори за мерење угиба у близини спојнице или пукотине и неоптерећене стране.

### **Стругање**

Стругање се користи за равнање застора у циљу уклањања денивелација између плоча на спојницама, витоперења плоча, колотрага и обнављања попречног одводњавања.

Стругање се обавља у подужном правцу коловоза и то од осовине коловоза ка ивицама. Пре стругања треба извршити све оправке коловозне конструкције. После стругања треба, ако је потребно, обновити испуну спојница.

Избор површине на којој треба обавити стругање се одређује мерењем равности - профилографом.

### **Оправке површинских оштећења**

Овом врстом оправки се отклањају оштећења у горњем делу плоче, као што су круњење на спојницама, пукотине и остала плитка оштећења. Ако је број оштећења велики и захева велики број оправки, онда се ради ојачање - пресвлачење.

Правовремене и квалитетно изведене оправке површинских оштећења могу знатно да продуже век коловозној конструкцији.

Тип материјала који треба употребити за оправке зависи од расположивог времена до пуштања у саобраћај, температуре околине, трошкова, величине и дубине оштећења.

Поступак оправке оштећења састоји се од:

- обележавања оштећене површине (5 до 15 cm ширег од самог оштећења)
- вертикалног сечења на минимум 5 cm од места круњења-љускања
- чишћења оштећене површине пнеуматским чекићем
- квашења или наношења малтера за везивање
- наношења портланд цементног малтера
- охрапављивања
- неговања

Рад на нижим температурама испод 11 °C захтева дужи период неговања.

### **Оправке дубоких оштећења**

Овај поступак је неопходан код оштећења која су тако велика да мора да се замени део плоче или уклони цела, да би могла бити оправљена постељица. Најчешће се ради због оштећења насталих издизањем плоча, ломом плоча на два дела, великих оправки и круњења.

Ојачање и делимична замена коловозне конструкције су алтернатива оправци целе плоче, односно коловозне конструкције по дебљини.

Два основна поступка за уклањање оштећеног бетона у оквиру обележене површине су:

- ломљење и чишћење
- вађење

Поступак ломљена и чишћења је једноставнији, бржи и не омета саобраћај на супротној траци. Недостатак је што често оштећује подлогу и постељицу, а такође и суседне плоче.

Поступак дизања има предност јер не оштећује подлогу и суседне плоче. У принципу сам поступак дизања је краћи од претходног, али је припрема дужа и опрема сложенија.

### **Ојачање крутих коловозних конструкција бетоном**

Ојачање крутих коловозних конструкција може да се изведе са:

- неармираним бетоном
- армираним бетоном
- непрекидно армираним бетоном
- бетоном армираним влакнима
- преднапрегнутим бетоном

#### **Неармирани бетон**

Неармирани бетон може да се примени са било којим обликом везе са постојећим коловозом.

Код потпуне везе ојачања са постојећим бетонским коловозом, спојнице у ојачању треба да се поклапају са положајем у постојећем, да би било спречено рефлектовање пукотина у ојачању. Код делимичне везе, одступање спојница може да износи до 30 см, а код одсуства везе није од значаја.

У принципу, танка ојачања (до 10 см) морају да буду везана за постојећи коловоз. Овај нови слој представља монолитан део постојећег коловоза. Било која пукотина у постојећем слоју, која није раније испуњена (епоксиDOM) или санирана, појавиће се у новом слоју.

#### *Армирани бетон*

Овај тип бетона може да се примени са било којим обликом везе са постојећим коловозом. Иако арматура контролише рефлектовање пукотина, пожељно је да спојнице у ојачању буду што ближе постојећим. Невезани слој за ојачање примењује се код веома оштећених коловоза. Ојачања (10 см) са потпуном везом за постојећи застор раде се код мало оштећених застора где треба обновити равност и заштитити га од даљег пропадања. Делимично везане или неvezане обнове, примењују се код оштећених коловоза где треба обновити или повећати њихову носивост.

#### *Непрекидно армирани бетон (НАБ)*

Примена НАБ са потпуном везом изгледа да није практична и због тога није позната њена примена у пракси. Делимично везани и неvezани непрекидно армирани бетонски коловози се примењују за повећање равности и носивости.

#### *Бетон армиран влакнима*

Принципи примене и услови изградње су истоветни као и код ојачања са неармираним бетонима.

Предност је у спречавању рефлектовања пукотина и повећању трајности.

#### *Преднапрегнути бетон*

Ојачање са преднапрегнутим бетоном, без контакта са постојећим коловозом, до сада је примењено на неколико аеродрома и на једном путу, на флексибилној коловозној конструкцији. Овај тип коловоза је најлост још увек без икаквог научног, стручног или економског оспоравања у експерименталној фази.

#### *Припрема површине застора*

Површину застора треба, пре било којих других активности, очистити од остатака пнеуматика, прљавштине, уља, старих трака за обележавање, а ако је потребно и обрадити машински.

Пескарење се користи за принципијелно чишћење, а не и уклањање слојева.

Поред пескарења могу да се употребе по принципу рада слични апарати, али који уместо песка користе челичне куглице или воду (под притиском од 42 МПа).

Асфалтна ојачања и површинске обраде морају, обавезно да се уклоне.

На местима где је застор испресецан великим и многобројним пукотинама и где има појаве “пумпања”, треба да буде оправљена коловозна конструкција по целој својој висини.

#### *Везни малтер*

Код свих ојачања, где треба да се оствари потпуна веза између слојева, на очишћену и суву површину застора наноси се малтер. Консистенција малтера треба да буде кремкаста, тако да може да се наноси крутим четкама и метлама, такође и машински, у танком слоју. Брзина наношења малтера мора да буде усаглашена са уграђивањем новог слоја. Малтер не сме да буде сув.

#### *Уграђивање*

Уграђивање бетона се обавља најчешће финишерима са клизном оплатом. Захтева се равност од  $\pm 6$  mm на летви дужине 3 m. Најпогодније је да се финишер пуни са стране, да се не би оштећивао и прљао малтер. Горња граница температуре коловоза преко кога се полаже ојачање је 40 °C. Брзо хлађење застора постојећег коловоза може да изазове напоне скупљања и пукотине у свежем бетону пре сечења спојница. Такође, топао застор убрзава испаравање воде и ствара проблеме у нези бетона. У неким земљама се обуставља изградња танких ојачања, ако је температура ваздуха изнад 30 °C (јуни, јули, август).

#### *Спојнице*

У принципу, спојнице по положају морају да се поклапају у ојачању и у постојећем коловозу.

Све радне спојнице, које нису повезане можданицима, у постојећем коловозу пресликавају се у ојачању у облику контракционих или експанзионих. Институт за бетон САД препоручује да се све попречне и експанзионе спојнице секу у пуној дебљини ојачања, а подужне, ако је потребно, усецају 2.5 cm.

Након пар сати по уграђивању, спојнице треба сећи.

Експанзионе спојнице се чисте пре наношења бетона и преко њих се поставља пластична трака, да у њу не би продро малтер или бетон и спречио њихову функцију.

#### *Охрапављивање и неговање*

Охрапављивање се ради на исти начин као и код обичних бетонских коловоза.

Неговање је веома важно за квалитет ојачања, а ради се одмах после охрапављивања. Одржавање потребне влажности постиже се посебним премазима, водонепропусним папирима, полиетиленским превлакама, памучним покривкама итд, и ако температура пада испод 5 °C посебним изолационим покривкама. Неговање траје најмање три дана, а пожељно је недељу дана. Покривке, поред обезбеђења довољне влаге за потпуну хидратацију цемента, треба да ублаже нагле промене температуре.

Аку су температуре изнад 32 °C или сув ваздух са ветром, поред примене пигментисаних мембрана, беле боје, првих 8 до 24 сата треба површину застора прскати и водом

#### **Ојачање крутих коловозних конструкција “асфалтом”**

Постоји велики број поступака за обнављање крутих коловозних конструкција битуменом везаним материјалима. Сви ти поступци су мање или више успешни, али ни један у потпуности не елиминише појаву рефлектовања пукотина. Основни поступци за обнављање су подељени у три категорије:

- употреба побољшаних мешавина за обнављање као што су оне са већим садржајем везива, мекшим битуменом и употребом додатака (гума и полимери)
- употреба амортизујућег међуслоја и крупнозрних асфалт бетонских мешавина
- армирање асфалт бетонских мешавина

Са повећањем дебљине слоја за обнављање и дробљењем коловоза, опада и проценат рефлектованих пукотина. Ломљењем плоча не спречава се појава термичких пукотина, већ само рефлектујућих, изазваних вертикалним померањима.

Према досадашњим истраживањима важе следећи принципи:

- Најекономичније је да постојећи бетонски застор буде:
  - ситно издробљен и употребљен као доња подлога за нову - обновљену коловозну конструкцију
  - уклоњен и замењен новим
  - издробљен и обогаћен са око 3% емулзије да служи као горња подлога
- Сви остали поступци, као што су ломљење постојећег коловоза, армирање асфалтног застора, траке преко спојница и већих пукотина, употреба мекших битумена, адитива, сечење спојница и међуслој, дају веома променљиве резултате, тако да се не могу препоручити као унуверзално решење
- Ако се одлучимо за претходни тип ојачања, онда је препоручљиво применити асфалт бетонске мешавине са битуменом пенетрације од 150 до 200 *pen*<sup>o</sup> (200 до 400 *pen*<sup>o</sup>) са додатком сумпора и каменог брашна од азбеста

Ојачањем се поправља конструктивна целовитост, равност, продужава век трајања и смањују трошкови одржавања постојећег коловоза. У оквиру одржавања, ова врста ојачања се примењује у циљу санирања оштећења од издизања, поломљених плоча, љуспања, великих закрпа, углачаног агрегата, пумпања и испуне постојећег застора.

#### **Избор ојачања и употреба амортизујућег слоја**

Три постојећа типа ојачања асфалт бетоном су:

- тешко конструктивно ојачање
- конструктивно ојачање
- ојачање због одржавања

Код прве две категорије може да се примени амортизујући слој.

Дебљина тешког конструктивног ојачања је од 15 до 40 cm. Оно има најдужи век трајања и најмање трошкове припреме постојећег коловоза.

Конструктивно ојачање повећава носивост старог коловоза и траје дуже од ојачања које се ради због одржавања. Дебљине су од 10 до 15 cm. Код овог ојачања је битно да се сва оштећења санирају у постојећем коловозу, због потенцијално великих шанси од појаве рефлектујућих пукотина.

Циљ ојачања због одржавања је да се обнови равност и отпорност на клизање, испуни застор и смање трошкови одржавања. Ако се изводи у оквиру превентивног одржавања, дебљина ојачања од асфалт бетона је 5 cm, али је у пракси најчешће од 5 до 10 cm.

#### **Амортизујући слој**

Улога овог слоја је да смањи рефлектовање пукотина из постојећег бетонског коловоза. Типична конструкција овог слоја се састоји од 9 cm отворене, по топлог поступку справљене мешавине, са 25 до 35% шупљина и од дробљеног агрегата.

Ојачање са применом амортизујућег слоја се састоји из три дела:

- први је амортизујући слој
- други је слој за изравнање којим треба да се припреми подлога за следећи слој од асфалт бетона. На овакав начин се добија укупна дебљина ојачања од 18 до 23 cm

Постојећи застор пре наношења амортизујућег слоја треба оправити, очистити и попрскати емулзијом разблаженом са водом. Ваљање се изводи статичким ваљцима (један до три прелаза) строго водећи рачуна да не дође до ломљења зрна агрегата.

За успоравање рефлектовања пукотина се користе и синтетичке тканине.

**Припрема застора за ојачање**

Поступци припреме застора за извођење ојачања су следећи:

- стабилизовање тла (испуна испод плоча и инјектирање)
- смањење дужине плоча
- ломљење плоча на мале делове
- уклањање или замена оштећених површина
- стругање и охрапављивање
- оправка дезинтегрисаних и изломљених површина
- обрада спојница
- побољшање одводњавања

По оправци, коловоз треба очистити и попрскати битуменском емулзијом. Веома је важна коректна оправка и испуна спојница (не сме да се прелива испуна изван жлебова). Заостатак воде у спојницама може да изазове рефлектовање пукотина у року од једног дана.

Да би било спречено задржавање воде у избразданом коловозу, препоручује се испуњавање застора малтером (*slurry seal*) или стабилизованим песком.

Испуна шупљина испод застора поред малтера са цементом може да се изврши и дувањем битумена (Приручник Института за асфлат №. 13).

**Оправка појединачних просека**

За извођење просека у коловозу мора да постоји пројекат: ситуациони план, попречни профил, карактеристике тла, ниво подземне воде, површинско и подповршинско одводњавање, поступак ископа, тип опреме, тип дозвољених инсталација - цеви, начин заштите инсталације, прорачун оптерећења на инсталације и начин оправке просека.

У принципу просек треба да буде испуњен на крају сваког радног дана или да буде покривен прописно постављеним челичним плочама.

Обновљен коловоз мора да има носивост као постојећи, а такође састав и текстуру.

Ако се обнављање ради са бетоном, могу бити коришћени и полимер бетони или брзо очвршћавајући бетони.

**ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] Александар Цветановић, **КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ**, Научна књига, Београд 1992.
- [2] Александар Цветановић, **ОДРЖАВАЊЕ ПУТЕВА**, Београд 1993.