

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Janova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



Visokošolski program Gradbeništvo,  
Prometnotehnična smer

Kandidat:

**Damjan Modrijan**

## **Nizkotemperaturni asfalti**

**Diplomska naloga št.: 262**

**Mentor:**  
prof. dr. Janez Žmavc

Ljubljana, 19. 12. 2006

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **DAMJAN MODRIJAN** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:  
»**NIZKOTEMPERATURNI ASFALTI**«.

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL, Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 4. 12. 2006

---

(podpis)

**UDK:** 691.16(043.2)  
**Avtor:** Damjan Modrijan  
**Mentor:** prof. dr. Janez Žmavc  
**Naslov:** Nizkotemperaturni asfalti  
**Obseg in oprema:** 67 str., 20 razpr., 21 sl.  
**Ključne besede:** asfaltna zmes, nizkotemperaturne asfaltne zmesi,  
Sasobit, ekonomičnost, emisije, ekologija

### **Izvleček**

V diplomskem delu je predstavljena problematika proizvodnje in vgrajevanja asfaltnih zmesi proizvedenih po klasičnem vročem postopku in predstavitev možnosti proizvodnje nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi. Prikazane so glavne prednosti nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi pripravljenih z bitumenskim vezivom na osnovi organskega dodatka Sasobit, v primerjavi s klasičnimi asfaltnimi zmesmi. Te prednosti oziroma slabosti so v zaključku naloge tudi ovrednotene na praktičnem primeru.

**UDC:** 691.16(043.2)  
**Author:** Damjan Modrijan  
**Supervisor:** prof. dr. Janez Žmavc, univ. grad. constr. eng.  
**Title:** Low temperature asphalt mixtures  
**Notes:** 67 p., 20 tab., 21 fig.  
**Key words:** asphalt mixture, low temperature asphalt mixtures,  
Sasobit, economy, emissions, ecology

### **Abstract**

This thesis presents the problem of manufacturing and building in the asphalt mixtures produced by the classical hot procedure and the possibility of manufacturing low temperature asphalt mixtures. We will see the main advantages of low temperature asphalt mixtures prepared with bitumen with organic addition Sasobit and compare it to the classical asphalt mixtures. The advantages and disadvantages of that are valued in the practical example in the conclusion.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Janezu Žmavcu za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge, g. Zupan Janezu za strokovno pomoč.

Posebej bi se rad zahvalil svojim staršem in svoji družini za potrpežljivost, moralno podporo, razumevanje in spodbudo v obdobju študija.

Hvala vsem, ki ste mi na kakršenkoli način pomagali in verjeli vame.

**KAZALO VSEBINE**

<b>1</b>	<b>UVOD</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Opis problema</b>	<b>1</b>
<b>1.2</b>	<b>Cilj diplomskega dela</b>	<b>2</b>
<b>1.3</b>	<b>Struktura naloge</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>ASFALTNA ZMES</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>Splošno</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Asfaltne zmesi za nosilne plasti</b>	<b>5</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Asfaltne zmesi za obrabne plasti</b>	<b>6</b>
<b>2.2</b>	<b>Zmes kamnitih zrn</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Splošno</b>	<b>6</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Izvor kamnitega materiala</b>	<b>7</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Viri kamnitega materiala</b>	<b>8</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Kakovostne značilnosti kamnitega materiala</b>	<b>8</b>
<b>2.3</b>	<b>Bitumen</b>	<b>10</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Cestogradbeni bitumen</b>	<b>10</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Polimerno modificirani bitumen</b>	<b>14</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Bitumenska emulzija</b>	<b>15</b>
<b>2.4</b>	<b>Dodatki za delo pri nižjih temperaturah</b>	<b>16</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Splošno</b>	<b>16</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Uporaba organskih dodatkov</b>	<b>17</b>
<b>2.4.2.1</b>	<b>Sasobit</b>	<b>17</b>
<b>2.4.2.1.1</b>	<b>Znižanje viskoznosti veziva v območju obdelovalnih temperatur</b>	<b>19</b>
<b>2.4.2.1.2</b>	<b>Zvišanje togosti veziva v zgornjem območju temperatur pri uporabi</b>	<b>21</b>
<b>2.4.2.1.3</b>	<b>Brez negativnih vplivov na lastnosti staranja veziva</b>	<b>21</b>
<b>2.4.2.1.4</b>	<b>Znižanje vrednosti penetracije</b>	<b>21</b>
<b>2.4.2.2</b>	<b>Asphaltan B<sup>®</sup></b>	<b>22</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Uporaba sintetičnih dodatkov t.i. zeolitov</b>	<b>23</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Tehnologija penjenega bitumna</b>	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>VRSTE ASFALTNIH ZMESI</b>	<b>27</b>

<b>3.1</b>	<b>Bituminizirani drobljenec</b>	<b>27</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Sestava</b>	<b>28</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Proizvodnja</b>	<b>31</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Vgrajevanje</b>	<b>32</b>
<b>3.2</b>	<b>Bitumenski betoni</b>	<b>34</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Sestava</b>	<b>36</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Proizvodnja</b>	<b>39</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Vgrajevanje</b>	<b>40</b>
<b>3.3</b>	<b>Drobir z bitumenskim mastiksom</b>	<b>41</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Sestava</b>	<b>43</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Proizvodnja</b>	<b>44</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Vgrajevanje</b>	<b>45</b>
<b>4</b>	<b>DOPRINOS NIZKE TEMPERATURE ASFALTNE ZMESI</b>	<b>47</b>
<b>4.1</b>	<b>Uvod</b>	<b>47</b>
<b>4.2</b>	<b>Zmanjšanje porabe energije</b>	<b>47</b>
<b>4.3</b>	<b>Zmanjšanje izpusta emisij plinov</b>	<b>48</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Vnos plinov v zrak</b>	<b>48</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Specifične vonjave</b>	<b>50</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Sevanje toplote v zrak</b>	<b>51</b>
<b>4.4</b>	<b>Znižanje oksidacijskega staranja asfaltne zmesi</b>	<b>51</b>
<b>4.5</b>	<b>Skrajšan čas pripustitve prometa</b>	<b>52</b>
<b>4.6</b>	<b>Zmanjšanje porabe energentov pri vgrajevanju</b>	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>PRAKTIČNI PRIMER</b>	<b>54</b>
<b>5.1</b>	<b>Opis</b>	<b>54</b>
<b>5.2</b>	<b>Bitumenska veziva</b>	<b>56</b>
<b>5.3</b>	<b>Proizvodnja asfaltnih zmesi</b>	<b>57</b>
<b>5.3.1</b>	<b>Meritve dimnih plinov</b>	<b>59</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Meritve porabe goriva</b>	<b>60</b>
<b>5.4</b>	<b>Vgrajevanje asfaltnih zmesi</b>	<b>61</b>
<b>5.5</b>	<b>Meritve bitumenskih hlapov in aerosolov</b>	<b>63</b>

---

<b>5.6</b>	<b>ZAKLJUČEK</b>	<b>64</b>
<b>VIRI</b>		<b>65</b>



## KAZALO SLIK

Slika 2.1:	Granule Sasobita	18
Slika 2.2:	Dinamična viskoznost bitumna B70/100 v odvisnosti od deleža dodanega sasobita (rotacijski viskozimeter pri 135 °C)	19
Slika 2.3:	Upadanje upora proti komprimiranju in deleža por v odvisnosti od količine dodanega sasobita	20
Slika 2.4:	Dinamična viskoznost bitumna B50/70 v odvisnosti od deleža asfaltan-a B, pri 150 °C	22
Slika 2.5:	Princip proizvodnje penjenega bitumna	25
Slika 2.6:	Določitev optimalne količine dodane vode	26
Slika 3.1:	Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BD 16	29
Slika 3.2:	Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BD 16S	29
Slika 3.3:	Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BD 22	29
Slika 3.4:	Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BD 22S	29
Slika 3.5:	Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BD 32	29
Slika 3.6:	Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BD 32S	29
Slika 3.7:	Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BD 16*	29
Slika 3.8:	Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BB 4k, BB 4ks in BB 4s	37
Slika 3.9:	Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BB 8k	37
Slika 3.10:	Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BB 8ks, BB 8s	37
Slika 3.11:	Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BB 11k	37
Slika 3.12:	Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BB 11ks, BB 11s	37
Slika 5.1:	Poškodbe na vozišču pred preplastitvijo	55
Slika 5.2:	Poškodbe na vozišču pred preplastitvijo)	55
Slika 5.3:	Zasnova preizkusnega polja	55

**KAZALO RAZPREDELNIC**

Razpredelnica 2.1:	Specifikacije za cestogradbene bitumne s penetracijo od 20 do 330 dmm, z upoštevanjem nacionalnih zahtev lastnosti	12
Razpredelnica 2.2:	Zahtevane lastnosti polimernih bitumnov	15
Razpredelnica 3.1:	Mehanske in prostorske lastnosti asfaltne zmesi BD, priporočene za predhodno sestavo	31
Razpredelnica 3.2:	Mehanske in prostorske lastnosti asfaltne zmesi BD, zahtevane in priporočene v dokazani proizvodnji	32
Razpredelnica 3.3:	Zahtevane mejne lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BD	34
Razpredelnica 3.4:	Mejne projektne deb. plasti asfaltnih zmesi BB za novogradnje	36
Razpredelnica 3.5:	Mejne projektne debeline plasti asfaltnih zmesi BB za dela na obstoječih cestah	36
Razpredelnica 3.6:	Mehanske in prostorske lastnosti asfaltne zmesi BB v predhodni sestavi	38
Razpredelnica 3.7:	Mehanske in prostorske lastnosti v proizvodnji asfaltne zmesi BB, zahtevane in priporočene v dokazni proizvodnji	39
Razpredelnica 3.8:	Mehanske in prostorske lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB	41
Razpredelnica 3.9:	Tehnološko pogojene debeline plasti zmesi DBM-ja	45
Razpredelnica 3.10:	Zahtevane in priporočene osnovne lastnosti asfaltne zmesi oz. preskušancev DBM-ja	46
Razpredelnica 4.1:	Mejne emisijske vrednosti plinov za srednje kurilne naprave za lahko kurilno olje	49
Razpredelnica 5.1:	Rezultati preiskav bitumna B50/70 in B50/70 + 3 m.-% Sasobita	56
Razpredelnica 5.2:	Rezultati preiskav predhodnih sestav	58
Razpredelnica 5.3:	Lastnosti proizvedenih asfaltnih zmesi	58
Razpredelnica 5.4:	Rezultati meritev dimnih plinov	60
Razpredelnica 5.5:	Rezultati meritev porabe goriva	60
Razpredelnica 5.6:	Lastnosti vgrajenih asfaltnih zmesi in temperature vgrajevanja	62
Razpredelnica 5.7:	Vrednosti meritev bitumenskih hlapov in aerosolov in temperature asfaltnih zmesi pri vgrajevanju	63

## KAZALO NAJBOLJ POGOSTO UPORABLJENIH OZNAK

BD	Bituminizirani drobljenec
BB	Bitumenski beton
DBM	Drobir z bitumenskim mastiksom
PK	Prstan kroglica
PLDP	Povprečni letni dnevni promet
PLDO	Povprečna letna dnevna obremenitev
PmB	Polimerno modificiran bitumen
SBS	Stiren-butadien-stiren
SIST EN	Slovenski standard prevzet po evropskem standardu
WAM	Warm asphalt mix
TSC	Tehnične specifikacije za ceste
UL RS	Uradni list republike Slovenije

## 1 UVOD

### 1.1 Opis problema

V času, v katerem živimo, se človeštvo začinja vse bolj zavedati, da je dosedanje izkoriščanje energetskih virov in s tem povezan problem onesnaževanja okolja privedlo do skrajne točke, kjer bo za ohranitev zdravega okolja in ljudi nekaj potrebno storiti na vseh področjih. Prvi korak k skupnemu cilju je seveda razumevanje in zavedanje resnosti položaja, v katerem smo se znašli.

Vsaka sodobno usmerjena industrija teži k učinkoviti rabi energije. To je zmanjšanje porabe neobnovljivih virov energije (fosilnih goriv), zmanjševanje obremenjevanja okolja z emisijami toplogrednih in drugih škodljivih plinov in zagotavljanje dobrih delovnih pogojev.

Dejavnosti gradbeništva okolju in človeku niso povsem prijazne, še posebej to velja za asfaltersko industrijo, ki je v želji po izboljšanju dosedanjih razmer v zadnjih letih veliko pozornosti in raziskav posvečala vprašanju, kako proizvajati in vgrajevati asfaltne zmesi pri nižjih temperaturah od običajnih, kajti visoka temperatura asfaltnih zmesi (od 150 do 250 °C), ki je potrebna za sušenje in segrevanje zmesi kamnitih zrn in doseganje dovolj nizke viskoznosti asfaltne zmesi za učinkovito in kvalitetno vgradnjo, je glavni dejavnik negativnih vplivov asfalterske industrije na okolje in človeka.

Nizkotemperaturne asfaltne zmesi so zmesi, proizvedene pri vsaj 20 do 30 °C nižjih temperaturah od običajnih in nespremenjenih oz. ohranjenih mehanskih in fizikalnih lastnosti. Temperatura asfaltne zmesi je bistvenega pomena za možnost obdelave in vgrajevanja ter zgoščanja na gradbišču. Od temperature je odvisna viskoznost bitumna, ki najbolj določa sposobnost vgradnje in zgostitve. Temeljni problem je torej, kako pri nižani temperaturi ohraniti neko stopnjo viskoznosti asfaltne zmesi.

## 1.2 Cilj diplomskega dela

Cilj diplomske naloge je prikazati možnosti proizvodnje in prednosti nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi in na konkretnem primeru ovrednotiti in primerjati teoretično prikazane trditve z dejanskimi rezultati nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi v okviru Cestnega podjetja Ljubljana.

Pričakujemo, da bodo rezultati v večini potrdili teoretične navedbe in tako spodbudili nadaljnji razvoj nizkotemperaturnih zmesi in uvajanje v vsakdanjo uporabo.

## 1.3 Struktura naloge

Diplomska naloga je sestavljena iz uvoda, kjer je predstavljen obravnavani problem, in še štirih poglavij. Uvodnemu delu sledi poglavje, ki obravnava splošno razdelitev in sestavo asfaltnih zmesi ter dodatke za delo pri nižjih temperaturah, kar predstavlja prvo polovico uvoda v osrednji del naloge. Zaradi boljšega razumevanja naloge predstavlja tretje poglavje tri vrste asfaltnih zmesi, ki se v Sloveniji in drugod največ uporabljajo. To so bituminizirani drobljenci, bitumenski betoni in drobir z bitumenskim mastiksom. Opisana je njihova sestava, proizvodnja in vgrajevanje.

Drugo polovico uvoda v osrednji del naloge predstavlja četrto poglavje, kjer so predstavljeni vsi pozitivni učinki nižje temperature proizvodnje in vgrajevanja asfaltnih zmesi. Doprinos nizke temperature se omejuje le na nizkotemperaturne asfaltne zmesi, proizvedene z vezivom, pripravljenim na osnovi organskega dodatka Sasobit, zaradi kasnejšega primerjanja s primerom iz prakse.

Osrednji del naloge predstavlja peto poglavje, kjer so prikazani rezultati meritev nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi, proizvedenih v asfaltnem obratu Cestnega podjetja Ljubljana v Podutiku in vgrajenih na preizkusnem polju na glavni cesti Spodnji Brnik–Moste.

Prikazani so rezultati uporabljenih bitumenskih veziv, predhodnih sestav, proizvedenih asfaltnih zmesi in meritve dimnih plinov s porabo goriva in vgrajenih asfaltnih zmesi z meritvami bitumenskih hlapov in aerosolov. Sklepnemu delu, kjer so predstavljeni zaključki, sledijo še navedbe uporabljenih virov.

## 2 ASFALTNA ZMES

### 2.1 Splošno

Asfaltne zmesi so sestavljene iz zmesi kamnitih zrn (peska, drobirja in/ali proda), polnila, bitumna in dodatkov (vlakna, dodatki za boljšo sprijemljivost zrn in bitumna ipd.). Zastopanost oz. delež posameznih komponent v sestavi asfaltne zmesi je lahko zelo različen in je odvisen predvsem od njene namembnosti. Asfaltne zmesi morajo biti sposobne prevzeti specifične obremenitve in glede na to jih delimo na:

- asfaltne zmesi za nosilne plasti in
- asfaltne zmesi za obrabne plasti.

V splošnem pa jih delimo glede na njihove značilnosti, in sicer:

a) po sestavi:

- asfaltne zmesi z veliko votlavostjo (makadamski tip);
- asfaltne zmesi z majhno votlavostjo (betonski tip);

b) po temperaturi priprave in vgrajevanja:

- asfaltne zmesi po vročem postopku;
- asfaltne zmesi po toplem postopku;
- asfaltne zmesi po hladnem postopku;

c) po načinu vgrajevanja:

- valjani asfalti;
- liti asfalti;

č) po načinu priprave:

- s postopkom pobrizga veziva, ki mu sledi nanos kamnitega materiala;
- s predhodnim mešanjem obeh komponent.

Pri pretežnem delu asfaltnih zmesi je zmes kamnitih zrn sestavljena po načelu minimalne vsebnosti votlin (betonski princip). Ta je podana takrat, ko presejna krivulja kamene zmesi ustreza Fullerjevi krivulji, ki ima pri logaritmični razdelitvi zrn (abscisa v diagramu odvisnosti presejka kamene zmesi od velikosti zrn) obliko parabole, pri korenski razdelitvi pa obliko premice.

### **2.1.1 Asfaltne zmesi za nosilne plasti**

Asfaltne zmesi za nosilne plasti morajo biti sestavljene tako, da so sposobne v čim večji meri:

- prevzeti strižne in natezne napetosti, ki nastanejo pod prometno obremenitvijo;
- povečati raznos obremenitev, ki jih ustvarjajo motorna vozila, in po potrebi premostiti lokalno slabše nosilna mesta v podlagi ter
- zmanjšati specifične obremenitve posameznih zrn v asfaltni zmesi.

Asfaltne zmesi za nosilne plasti večinoma proizvajamo po vročem postopku. Osnovni vrsti asfaltnih zmesi za nosilne plasti so bituminizirani prodcji in bituminizirani drobljenci, ki se delijo glede pretežnega dela drobljenih oz. zaobljenih zrn kamnite zmesi.

Na področju uporabe, kjer se predvideva izredno težka, zelo težka, težka in srednja prometna obremenitev, se uporablja le drobljeni kamniti material zrnivosti 22 in 32 mm, v manjši meri pa tudi 16 mm. Tako proizvedene asfaltne zmesi imenujemo BD 22S, BD 32S in BD 16S (bituminizirani drobljenec skeletne sestave). Asfaltne zmesi za nosilne plasti, v katerih so pretežno zaobljena zrna, pa imenujemo BD 32, BD 22 in BD 16 in so primerne za srednjo, lahko in zelo lahko prometno obremenitev.

Poleg uporabe le drobljenih zrn v kamniti zmesi zagotavlja potrebno nosilnost tudi uporaba trših vrst bitumna (predvsem B35/50).

Izbira velikosti zrn kamnite zmesi je odvisna predvsem od debeline asfaltne plasti, posredno pa tudi od predvidene prometne obremenitve: čim večja so zrna v asfaltni plasti, tem večja je njena odpornost proti preoblikovanju in tem manjši je potrebni delež bituminoznega veziva.



### **2.1.2 Asfaltne zmesi za obrabne plasti**

Asfaltne zmesi za obrabne plasti morajo biti sposobne v čim večji meri prevzeti horizontalne in stranske sile, ki nastajajo med pnevmatikami vozil in površino voziščne konstrukcije. Zagotoviti morajo primerno ravnost in torno sposobnost, zaščititi voziščno konstrukcijo pred vplivi vremena in sesalnimi silami, ki jih ustvarijo vozila in njihove pnevmatike, ter zmanjšati vpliv prometa na okolje.

Asfaltne zmesi za obrabne plasti morajo biti poleg splošnih pogojev odporne proti preoblikovanju, proti zaglajevanju, proti razpokanju in odporne na zmrzali in učinke soli pri posipavanju vozišč pozimi.

Sestava asfaltnih zmesi za obrabne plasti mora zagotavljati tesnitev vozne površine, dreniranje vode in absorbiranje hrupa, ki ga ustvarijo vozila, površine pa naj bi bile zaradi večje prometne varnosti tudi svetle.

Navedene lastnosti zagotavljajo številne različne asfaltne zmesi, največkrat pa imamo v uporabi bitumenske betone (BB) različnih zrnivosti. Za posebne namene ali potrebe uporabe pa se čedalje pogosteje pojavljajo tudi drobir z bitumenskim mastiksom (DBM) in drenažni asfalti (DA). V zmesi kamnitih zrn za obrabne plasti se običajno uporablja kamniti material zrnivosti 4 mm, 8 mm, 11 mm in 16 mm.

## **2.2 Zmes kamnitih zrn**

### **2.2.1 Splošno**

Kamniti material predstavljajo v sestavi asfaltne zmesi trden inertni mineralni material. Delež kamnitega materiala v sestavi asfaltne zmesi je praviloma med 90 in 95 odstotki glede na maso oziroma med 75 in 85 odstotki glede na volumen.

Osnovna vloga kamnitega materiala v asfaltnih zmesih je prenos sil prometne obremenitve na spodnje plasti voziščne konstrukcije.

Obnašanje asfaltne zmesi pod prometno obtežbo pa je zelo povezano s kakovostjo kamnitega materiala. Kamniti material je namreč izpostavljen stalnim mehanskim in atmosferskim ter posredno kemičnim vplivom.

Fizikalno-mehanski vplivi so posledica pritiskov, udarcev in trenja s strani pnevmatik. Dež, led, zmrzal in oksidacijski procesi pa imajo velik vpliv predvsem na mineraloške značilnosti kamnitega materiala.

V sestavi asfaltnih zmesi je kamniti material v obliki kamnitih zrn, ki so glede na nastanek naravna, z bolj ali manj zaobljenimi robovi ali drobljena z ostrimi robovi in konicami ter bolj ali manj hrapavimi prelomnimi ploskvami. V sestavi kamnitih zrn so zrna kamnite moke, peska in skupine zrn, ki so po velikosti večja od 2 mm.

Sestavo zmesi kamnitih zrn torej sestavljajo:

- Kamnita zrna, večja od 2 mm (kamnita zrna, razvrščena po frakcijah 4 mm, 8 mm, 11 mm, 16 mm, 22 mm, 32 mm)
- Pesek  
Pesek je kamniti material z velikostjo zrn od 0 do 2 mm ali od 0 do 4 mm  
Glede na velikost zrn delimo pesek na drobni z oznako 0/1 mm, srednji z oznako 0/2 mm in grobi z oznako 0/4 mm
- Kamnita moka  
Kamnita moka je kamniti material z velikostjo zrn, manjših od 0.71 mm. Del kamnite moke predstavlja polnilo, ki pa ima zrna manjša od 0.09 mm. Polnilo ima v sestavi asfaltnih zmesi skupaj z bitumnom vlogo zapolnjevanja votlin.

### **2.2.2 Izvor kamnitega materiala**

Kamniti material glede na izvor delimo na tri glavne skupine: magmatske, sedimentne in metamorfne kamnine. Pri sestavi zmesi kamnitih zrn za asfaltne zmesi se uporabljajo magmatske in sedimentne kamnine.

Magmatske kamnine delimo na globočnine, predornine in žilnine. Med magmatskimi kamninami so za sestavo zmesi kamnitih zrn najbolj pomembne predornine. V praksi temu kamnitemu materialu rečemo eruptivni material (nastal je z erupcijo). Glavni element v njem je silicij in mu zato rečemo tudi silikatni material.

Sedimentne kamnine ali usedline so nastale z usedanjem trdnih delcev (mehanski sedimenti) in komponent, prenesenih v raztopinah (organski in kemični sedimenti). V praksi se sedimentni material največkrat omenja kot apnenec, dolomit, dolomitizirani apnenec, katerih glavni element je kalcij. Zato jim pravimo tudi karbonatni material.

### **2.2.3 Viri kamnitega materiala**

Kamniti material se pridobiva v odvisnosti od nahajališča (vira) in predeluje od značilnosti kamnin in stanja v nahajališču. Delimo ga lahko na dve glavni skupini:

- kamniti material, pridobljen z lomljenjem kamnine in njegovo predelavo (drobljenje in sejanje);
- kamniti material, pridobljen s kopanjem v peskokopih, rekah (naravni kamniti material) in z njegovo predelavo (drobljenje, pranje in sejanje).

Naravni kamniti material je nastal pri razpadanju masivnih kamnin zaradi različnih vplivov, ki so nanje delovali (vodne sile, zmrzovanje, temperaturni in mehanski vplivi). Separiranemu naravnemu kamnitemu materialu pravimo prodec. Zmes zrn je sestavljena iz enega ali več razredov zrn ali zrnivosti ali pa ima za določen namen že v naravi ustrezno sestavo zrn.

### **2.2.4 Kakovostne značilnosti kamnitega materiala**

Mehanske in klimatske obremenitve voziščne konstrukcije ali druge specifične zahteve pogojujejo ustrezne lastnosti kamnin in zmesi kamnitih zrn. Uporabnost kamnitega materiala je potrebno za proizvodnjo asfaltnih zmesi preveriti oz. dokazati s preiskavami mineraloških, prostorskih in mehanskih značilnosti.

Splošna ocena je, da boljše fizikalno-mehanske karakteristike, predvsem žilavosti in odpornosti na obrabo – polirnost, dajejo zrna iz kamnin silikatne sestave.

Med njimi so najpomembnejše magmatske kamnine (diabaz, dacit, andezit). V pogledu poroznosti, oblike zrn ipd. pa so primernejše sedimentne karbonatne kamnine (apnenec, dolomit).

Vrste in obseg preiskav določa veljavna tehnična regulativa (predpisi, standardi) za področje asfalta.

Glavne značilnosti, ki se preiskujejo in vrednotijo, so:

**za kamnino:**

- minerloško-petrografska analiza
- tlačna trdnost
- obstojnost na mrazu
- prostorninska masa (navidezna)
- poroznost in vpijanje vode
- obstojnost na vročini
- obstojnost na poliranje (obrus)

**za kamnita zrna oz. zmesi kamnitih zrn:**

- minerloško-petrografska analiza
- velikost, zrnavost zmesi kamnitih zrn
- čistost (organske primesi)
- žilavost (metoda Los Angeles)
- obstojnost na mrazu
- vodovpojnost
- oblika zrn
- gostota
- obvijanje kamnitih zrn z bitumnom
- polirnost

- dodatne preiskave za zrna kamnite moke:

- delež vlage
- otditev bitumenskega veziva

- vsebnost votlin v suho zbitem stanju po Rigdenu
- konsistenčne meje

## 2.3 Bitumen

Bitumen je industrijski proizvod, pridobljen s frakcionirno destilacijo izbranih naft. Je temna, težkohlapna zmes pretežno organskih snovi, katere visko-elastične lastnosti se s temperaturo spreminjajo; topna je v trikloretilenu ali ogljikovem disulfidu ( $CS_2$ ). Bitumen je stabilen koloidni sistem, sestavljen iz mehkejšje oljne faze (maltenov) in trdnejše, v oljni fazi dispergirane faze (asfaltenov).

Poglavitne lastnosti bitumna so taljivost, neprepustnost in prožnost, zato ima širok spekter uporabe. Največ se ga uporablja za proizvodnjo asfaltnih zmesi v cestogradnji, uporablja pa se še v visokogradnji, pri gradnji železnic, letališč itd. Od bitumenskih proizvodov so najpomembnejši bitumenski hidroizolacijski trakovi in drugi materiali za hidroizolacije v visokogradnji in nizkogradnji.

Pri proizvodnji in vgradnji asfaltnih zmesi pa so najpomembnejši:

- cestogradbeni bitumen,
- polimerni bitumen,
- bitumenska emulzija.

### 2.3.1 Cestogradbeni bitumen

Cestogradbeni bitumen se deli v vrste po penetraciji pri 25 °C, ki je izražena v desetinkah milimetra. Do nedavnega so bile v uporabi oznake, sestavljene z okrajšavo BIT in približno srednjo vrednostjo penetracije. Tako se je bitumen do sedaj razvrščal v sedem razredov: BIT 200, BIT 130, BIT 90, BIT 60, BIT 45, BIT 25 in BIT 15. Z vstopom Slovenije v Evropsko unijo pa smo stopili na skupni evropski trg, ki od nas zahteva enotno standardiziranje. V želji poenotenja normativov z evropskimi je bila s področja cestogradbenih bitumnov v slovensko tehnično regulativo sprejeta temeljna evropska norma, in sicer:

- SIST EN 12591 Bitumen in bitumenska veziva – Specifikacije za cestogradbene bitumne,

ki na novo opredeljuje tipe cestogradbenih bitumnov na osnovi opredeljenih območij penetracije v tri skupine. V prvo skupino sodi devet razredov cestogradbenih bitumnov z razponom penetracije od 20 do 330 dmm, ki so določeni s penetracijo pri 25 °C in zmehčiščem.

V drugo skupino se uvrščajo cestogradbeni bitumni, označeni s penetracijo pri 25 °C od 250 do 900 dmm, določenih s penetracijo pri 15 °C in dinamično viskoznostjo pri 60 °C, v tretji skupini pa so opredeljene specifikacije za mehke cestogradbene bitumne, ki so označeni in določeni s kinematično viskoznostjo pri 60 °C (SIST EN 12591, 2004). Obe skupini (druga in tretja) pri nas trenutno nista v uporabi.

Zahteve za lastnosti bitumnov iz prve skupine so: penetracija pri 25 °C, zmehčišče, odpornost na otrjevanje na 163 °C (opredeljeno s spremembo mase, ohranjeno penetracijo in zmehčiščem po otrjevanju), plamenišče in topnost. V razpredelnici 2.1 so prikazane splošne zahtevane lastnosti cestogradbenih bitumnov s penetracijo od 20 do 330 dmm, ki veljajo za vse članice Evropske unije in t. i. nacionalne zahteve, ki pa so obvezne samo za Slovenijo. Med nacionalne lastnosti spadajo: vsebnost parafinov, dinamična viskoznost pri 60 °C, kinematična viskoznost pri 135 °C, pretrgališče po Fraassu in pri odpornosti na otrjevanje še zvišanje zmehčišča ter indeks penetracije.

Razpredelnica 2.1: Specifikacije za cestogradbene bitumne s penetracijo od 20 do 330 dmm z upoštevanjem nacionalnih zahtev lastnosti

	Enota mere	Metoda za preizkus	Oznaka tipa								
			B20/30	B30/45	B35/50	B40/60	B50/70	B70/100	B100/150	B160/220	B250/330
Penetracija pri 25 °C	0,1 mm	EN 1426	20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220	250/330
Zmehčišče	°C	EN 1427	55–63	52–60	50–58	48–56	46–54	43–51	39–47	35–43	30–38
Odpornost proti otrjevanju pri 163 °C		EN 12607-1 ali EN 12607-3									
- sprememba mase, največ, +/-	%		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	1	1
- spremenjena penetracija, najmanj	%		55	53	53	50	50	46	43	37	35
- zmehčišče po otrjevanju, najmanj	°C	EN 1427	57	54	52	49	48	45	41	37	32
- zvišanje zmehčišča, največ	°C	EN 1427	10	11	11	11	11	11	12	12	12
- indeks penetracije (osnovni bit. pred otrjevanjem), najmanj največ		EN 12591, pod točko B4	-1,5 +0,7	-1,5 +0,7	-1,5 +0,7	-1,5 +0,7	-1,5 +0,7	-1,5 +0,7	-1,5 +0,7	-1,5 +0,7	
Plamenišče, najmanj	°C	EN 22592	240	240	240	230	230	230	230	220	220
Topnost, najmanj	m.-%	EN 12592	99	99	99	99	99	99	99	99	99
Vsebnost parafinov, največ	m.-%	EN 12606-1 EN 12606-2	2,2 4,5	2,2 4,5	2,2 47,5	2,2 4,5	2,2 4,5	2,2 4,5	2,2 4,5	2,2 4,5	2,2 4,5
Dinamična viskoznost pri 60 °C, najmanj	Pas	EN 12596	440	260	225	175	145	90	55	30	18
Kinematična viskoznost pri 135 °C, najmanj	mm <sup>2</sup> /s	EN 12595	530	400	370	325	295	230	175	135	100
Pretrgališče po Fraassu, največ	°C	EN 12593		-5	-5	-7	-8	-10	-12	-15	-16

## Penetracija

Penetracija oz. prodiranje je v desetinkah milimetra izražena globina, do katere standardizirana igla prodre v vzorec bitumna pri določeni obremenitvi, v določenem času in pri določeni temperaturi.

Segreti vzorec bitumna vlijemo v posodico in hladimo pri nadziranih pogojih. Prodiranje se meri s penetrometrom s standardizirano iglo pod določenimi pogoji (obtežba mase je 100 gramov, čas prodiranja igle je 5 sekund in temperatura preizkusa je 25 °C)

### **Zmehčišče po PK**

Točka zmehčišča, ki je določena po metodi prstan kroglica, je temperatura, pri kateri sloj bitumna določene velikosti, pod določenimi pogoji in obtežen z jekleno kroglico predpisane mase in premera, pade iz prstana. Jeklena kroglica točno določene mase se položi na sredino prstana, ki je napolnjen z vzorcem. Prstan se potopi v raztopino in enakomerno segreva. Zmehčišče je temperatura, pri kateri se vzorec pod težo kroglice v določenem obsegu deformira.

### **Točka loma po Fraassu**

Točka loma po Fraassu je temperatura, pri kateri se sloj bitumna določene debeline zlomi, ko se ohlaja in zvija pod točno določenimi pogoji.

Na jekleno ploščico se natančno natehta vzorec bitumna in segreva, da se enakomerno razporedi po ploščici. Ploščico z vzorcem potem ohlajamo s hitrostjo 1 °C v minuti in upogibamo. Točka loma po Fraassu je tista temperatura, pri kateri sloj bitumna na ploščici počí.

### **Duktilnost**

Duktilnost oz. raztegljivost je dolžina, izražena v centimetrih, do katere se vzorec bitumna določene oblike in pod določenimi pogoji lahko raztegne (dokler se nastala nit ne pretrga).

Segreti vzorec bitumna nalijemo v model in ohladimo na sobni temperaturi.

Potem z vročim nožem odrežemo presežek bitumna ter ga postavimo v kopel, ki ima temperaturo preskusa (25 °C). Po temperiranju se vzorec z enakomerno hitrostjo 5 cm/min razteguje, dokler se nastala nit ne pretrga.

### **Elastična povratna deformacija**

Elastična povratna deformacija je odstotek skrčka po 30 minutah glede na izhodiščni raztezek 20 centimetrov.



Vzorec bitumna pripravimo tako, da segretega nalijemo v model in ga ohladimo na sobno temperaturo, nato z vročim nožem odrežemo presežek bitumna ter ga postavimo v kopel, ki ima temperaturo preizkusa (25 °C). Po temperiranju se vzorec z enakomerno hitrostjo 5 cm/min razteguje do dolžine 20 cm. Potem nit bitumna na sredini prerežemo.

Elastična povratna deformacija je definirana kot dolžina skrčka v odstotkih, ki nastane 30 minut po prerezu niti.

### 2.3.2 Polimerno modificirani bitumen

Polimerno modificirani bitumen je fizikalna zmes bitumna in polimernih snovi, ki izboljšajo bistvene lastnosti bitumnov. Polimer je lahko sintetična ali naravna snov (elastomer, termoelast, termoplast, duroplast itd.). Namen modificiranja bitumna z umetnimi snovmi je predvsem izboljšanje temperaturnega razpona uporabnosti, tj. povišanje temperature zmehčišča po PK in znižanje temperature pretrgališča po Fraassu.

V praksi se za izdelavo polimernega bitumna največ uporabljajo termoelasti. Ti združujejo lastnosti termoplastov in elastomerov, kar pomeni, da povečujejo viskoznost in togost bitumna, elastičnosti pa praktično ne izboljšajo. Najbolj znan termoelast je stiren-butadien-stiren blokopolimer ali v krajši obliki SBS. Pri temperaturi pod -10 °C izgradi v bitumnu trodimenzionalno mrežo, nad 100 °C pa se v bitumnu raztopi. Proces spreminjanja iz enega stanja v drugo je povraten. Običajno se v bitumen vmešava med 3 in 6 m.-% SBS-a. Za proizvodnjo se običajno uporablja destilirani bitumen z vrednostmi penetracije med 70 in 200 mm/10. Vmešavanje se večinoma vrši dvostopenjsko. V vsak bitumen SBS-a ni možno vmešati, zato je potrebno kompatibilnost bitumna in polimera predhodno preveriti.

Razvrstitev polimerno modificiranih (polimernih) bitumnov opredeljuje SIST EN 14023, ki jih po njihovih osnovnih in tehničnih lastnostih razvršča v devet razredov. V slovenski praksi se uporablja samo prve štiri tipe, zato sem v razpredelnici 2.2 navedel le te.

Med osnovne lastnosti spadajo: penetracija, zmehčišče, kohezija, odpornost na otrjevanje in plamenišče, med tehnične (nepogojene) pa: pretrgališče po Fraassu, elastični povratek pri 25 °C in pri 10 °C, meja elastičnosti in stabilnost pri skladiščenju.

Razpredelnica 2.2: Zahtevane lastnosti polimernih bitumnov

Lastnost	Enota mere	Tip polimernega bitumna			
		2	3	4	5
Osnovne lastnosti					
- penetracija	0,1 mm	10–40	25–55	45–80	40–100
- zmehčišče	°C	≥ 80	≥ 75	≥ 70	≥ 65
- sila raztezanja	J/cm <sup>2</sup>	≥ 3 pri	≥ 2 pri	≥ 1 pri	≥ 2 pri
		5 °C	5 °C	5 °C	0 °C
- izguba mase	%	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 1,0
- ohranjena penetracija	%	≥ 35	≥ 40	≥ 45	≥ 50
- povišanje zmehčišča	°C	≤ 8	≤ 10	≤ 12	-
Tehnične lastnosti					
- pretrgališče po Fraassu	°C	≤ 0	≤ -5	≤ -7	≤ -10
- elastični povratek pri 25 °C	%	≥ 80	≥ 70	≥ 60	≥ 50
- območje plastičnosti	°C	≥ 85	≥ 80	≥ 75	≥ 70
- razlika v penetraciji pri skladiščenju	0,1 mm	≤ 9	≤ 13	≤ 19	≤ 26
- elastični povratek po RTFOT pri 25 °C	%	≥ 70	≥ 60	≥ 50	-

V splošnem so asfaltne zmesi z uporabo polimerno modificiranega bitumna v primerjavi z zmesmi, v katerih je uporabljen cestogradbeni bitumen, odpornejše na preoblikovanje in utrujanje, na razobvijanje filma PmB iz površine zrn agregata in na staranje polimernega bitumna v asfaltni plasti.

### 2.3.3 Bitumenska emulzija

Bitumenska emulzija je heterogen dvofazni sistem, ki vsebuje dve tekočini, ki se med seboj ne mešata, tj. bitumen in vodo. Da je sistem stabilen, mora biti dodan še emulgator.

V emulziji so kapljice bitumna velikosti običajno od 0,5 do 5 mikronov, ki so med seboj ločene (se odbijajo) zaradi istovrstnih elektrostatičnih nabojev. V odvisnosti od vrste uporabljenega emulgatorja ločimo:

- KATIONSKE bitumenske emulzije (imajo pozitiven naboj kapljic bitumna) in
- ANIONSKE bitumenske emulzije (imajo negativen naboj kapljic bitumna).

Proizvodnja emulzij poteka pri temperaturah med 100 in 140 °C. Za dispergiranje bitumna v vodni fazi se uporablja t. i. koloidni mlin. Temperatura tako proizvedene emulzije je približno 90 °C. Za proizvodnjo emulzij se uporablja poleg cestogradbenega bitumna tudi polimerni bitumen.

Od tehnoloških lastnosti bitumenskih emulzij so najpomembnejše:

- stabilnost,
- adhezijska sposobnost,
- viskoznost.

Stabilnost oz. hitrost razpada emulzije v stiku s kamnitim materialom določa možnost uporabe za različne namene. Tako ločimo stabilne, nestabilne in polstabilne emulzije.

Nestabilne emulzije (hitro razpadajo) se uporabljajo predvsem za pobrizge obstoječih podlag pred nadgradnjo nove asfaltne plasti in za površinske prevleke.

Stabilne emulzije se uporabljajo za sestavo asfaltnih zmesi. Polstabilne pa za posebne namene, npr. za tanke asfaltne prevleke, bitumensko stabilizacijo zemljin itd.

V praksi se veliko uporabljajo nestabilne bitumenske emulzije z vsebnostjo cestogradbenega ali polimernega bitumna v količini 40, 60 ali 70 m.-%. Pri tem se emulzija s 40-odstotnim deležem bitumna prvenstveno uporablja za zagotavljanje zlepljenosti asfaltnih plasti.

## **2.4 Dodatki za delo pri nižjih temperaturah**

### **2.4.1 Splošno**

Klasične asfaltne zmesi, proizvedene po vročem postopku, so praviloma pripravljene pri temperaturah do 180 °C, odvisno od vrste uporabljenega bitumna. Tako visoka temperatura proizvodnje je potrebna, da se lahko doseže celotna obvitost zrn agregata z bitumnom in da ima tako dobljena asfaltna zmes zadostno viskoznost, ki zagotavlja dobro obdelovalnost in zgostljivost. Za doseganje lastnosti asfaltnih zmesi, proizvedenih po vročem postopku, pri za 20 do 30 °C nižjih temperaturah proizvodnje so bili razviti različni dodatki bitumnom. Taki

tehnologiji proizvodnje v tujini pravijo Warm Asphalt Mix (WAM) oz. mešanje toplih asfaltnih zmesi.

V evropskem prostoru so za proizvodnjo nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi v uporabi tri tehnologije:

- **uporaba organskih dodatkov:** poznamo jih pod komercialnimi imeni Sasobit<sup>®</sup>, Asphaltan B<sup>®</sup> in Licomont BS 100<sup>®</sup>; ta tehnologija temelji predvsem na spremembi viskoznosti veziva v odvisnosti od temperature

- **uporaba sintetičnih dodatkov, t. i. zeolitov** (lahko so tudi naravnega izvora): za potrebe proizvodnje je bil razvit zeolit pod komercialnim imenom Aspha-min<sup>®</sup>; zeoliti ustvarijo kontroliran učinek penjenja, kar ustvari povečan volumen veziva v asfaltni zmesi;

- **tehnologija penjenega bitumna:** je zaščiten pod komercialnim imenom WAM-Foam<sup>®</sup>; temelji na vbрызganju vode in zraka v vroč bitumen; v prvem koraku se zmesi kamnitih zrn vmeša mehkejša vrsta bitumna, v drugem pa se vmeša še trša vrsta penjenega bitumna.

V okviru diplomskega dela bom podrobneje opisal tehnologijo organskih dodatkov, in sicer dodatka Sasobit.

## 2.4.2 Uporaba organskih dodatkov

### 2.4.2.1 Sasobit

Vedno večje prometne obremenitve so privedle do tega, da že od sredine 20. stoletja potekajo raziskave o možnostih izboljšanja lastnosti asfalta z modifikacijo bitumna. Te preiskave so prinesle razvoj polimerno modificiranih bitumnov, ki izboljšujejo togost v zgornjem območju temperatur pri uporabi, ob ohranjeni oz. deloma izboljšani odpornosti proti nastajanju razpok zaradi utrujanja ali zaradi nateznih napetosti pri krčenju zaradi nizkih temperatur. Njihova slabost pa je visoka viskoznost, ki zaradi zagotavljanja sposobnosti obdelovanja in zgoščevanja zahteva višje temperature pri obdelavi.

Logična posledica je seveda višja poraba energije kot tudi povečano tveganje staranja veziva v fazi mešanja in vgrajevanja.

Ti vidiki so privedli do razvoja sasobita, ki ga lahko uporabljamo kot samostojen aditiv ali pa v kombinaciji z drugimi polimeri, ki zvišuje trdnost asfalta ob hkratnem izboljšanju sposobnosti obdelovanja in zgoščevanja. Sasobit je proizvod podjetja Sasol Wax GmbH iz Nemčije, katerega osnovna dejavnost temelji na vosku.

Sasobit je sintetični Fischer-Tropschov ogljikovodik z dolgimi verigami atomov, v katerih se nahaja od 45 do preko 100 ogljikovih atomov. To je linearen, visoko kristaliničen alifatski ogljikovodik z molekularno maso približno 1300 daltonov. V primerjavi z bitumnom, katerega viskoznost znaša 500–700 mPas pri 135 °C, ima sasobit zelo nizko viskoznost, komaj 12 mPas pri enaki temperaturi. Tališče ima pri približno 115 °C, plamenišče pa pri 290 °C, medtem ko je pri bitumnu pri približno 235 °C. Dobavljiv je v obliki granul (slika 2.1).

V nasprotju z drugimi polimernimi aditivi se sasobit takoj raztopi v vročem bitumnu s temperaturami nad 115 °C in se pri skladiščenju ponovno ne izloči, tudi če je ogrevanje sladiščnega rezervoarja za bitumen izključeno za daljše obdobje. Po ponovnem segrevanju in utekočinjenju je vsebina povsem homogena. Med ohlajanjem mase sasobit v vezivu tvori enakomerno porazdeljene mikroskopske delce, ki zvišujejo togost na podoben način, kot to dosežemo pri materialih, ojačanih z vlakni.



Slika 2.1: Granule Sasobita

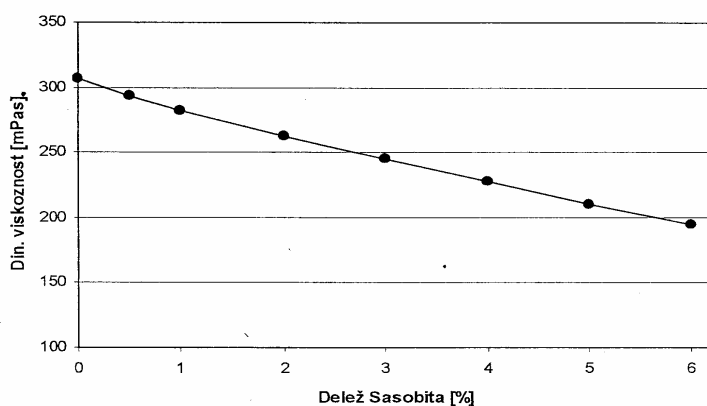
### Glavni vplivi sasobita na lastnosti bitumna in asfalta:

- znižanje viskoznosti veziva v območju obdelovalnih temperatur;
- zvišanje togosti veziva v zgornjem območju temperatur pri uporabi;
- združljivost z vsemi uporabljanimi bitumni in PmB-ji kot tudi odpornost na izločanje veziva pri vročem skladiščenju;
- brez negativnih vplivov na lastnosti pri nizkih temperaturah in na sprijemnost veziva z agregatom;
- brez negativnih vplivov na lastnosti staranja veziva;
- znižanje vrednosti penetracije.

#### 2.4.2.1.1 Znižanje viskoznosti veziva v območju obdelovalnih temperatur

Edinstvena lastnost sasobita je njegov vpliv na viskoznost bitumna. Viskoznost znižuje zaradi razredčilnega delovanja in mazivnega učinka. Pri temperaturah obdelave, modifikacije, mešanja in vgrajevanja asfalta (to je običajno okoli 175 °C) in 3 % dodanega sasobita se dinamična viskoznost bitumna zniža v povprečju za 20 %. Viskoznost skoraj linearno upada z večanjem deleža dodatka (slika 2.2).

To znižanje temperature pri enaki viskoznosti (ekviviskozna temperatura) pomeni, da temperaturo v procesu mešanja in vgrajevanja zmanjšamo za 10 do 20 °C.

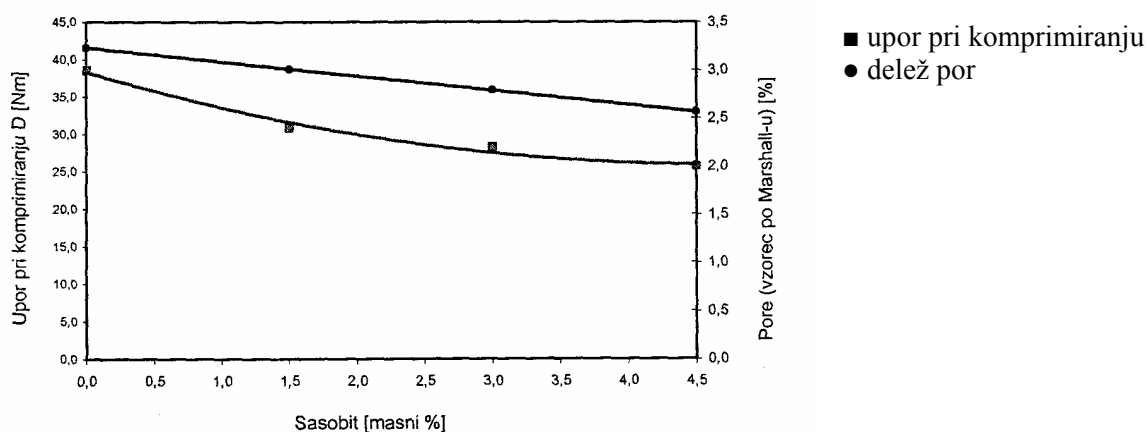


Slika 2.2: Dinamična viskoznost bitumna B70/100 v odvisnosti od deleža dodanega sasobita (rotacijski viskozimeter pri 135 °C)

Uporaba s sasobitom modificiranega bitumna pri nereducirani temperaturi je lahko zelo koristna v hladnih vremenskih pogojih ali pri daljših transportnih razdaljah, kjer asfaltna zmes včasih prispe na mesto vgrajevanja preveč ohlajena za ustrezno obdelovanje in komprimiranje in jo je zato potrebno zavrniti. Z znižanjem viskoznosti s sasobitom pa povečamo obdelovalnost asfaltne zmesi pri nižjih temperaturah in tako podaljšamo čas možnega vgrajevanja v takih razmerah.

Glavni kriterij za učinkovitost komprimiranja je merjenje upora pri komprimiranju in deleža votlin v voziščni konstrukciji. Upor pri komprimiranju izračunamo iz upadanja višine oz. naraščanja relativne gostote vzorca z večanjem števila udarcev pri zgoščanju po Marshallu pri 135 °C.

Na sliki 2.3 je prikazano upadanje upora pri komprimiranju in deleža por za zmes drobirja z bitumenskim mastiksom DBM 0/11s, pripravljeno s cestogradbenim bitumnom tipa B50/70 ter dodanim sasobitom



Slika 2.3: Upadanje upora proti komprimiranju in deleža por v odvisnosti od količine dodanega sasobita

#### **2.4.2.1.2 Zvišanje togosti veziva v zgornjem območju temperatur pri uporabi**

Dodajanje sasobita k osnovnemu bitumnu zniža vrednost penetracije ter zmanjša viskoznost pri temperaturah uporabe asfaltne konstrukcije (kritične so predvsem visoke poletne temperature), zaradi česar zmanjšamo njegovo občutljivost na deformacije zaradi težkih prometnih obremenitev. Zaradi povečanja togosti za približno en penetracijski razred se tako poveča toplotna obstojnost asfalta.

Pravi pokazatelj trajnosti in nosilnosti asfaltne plasti je klasičen preizkus nastanka kolesnic s hamburškim kolesom (Hamburg Wheel Tracking Test). Pri tem preizkusu merimo globino kolesnice, ki nastane, ko vzorec, potopljen v vodi, obremenimo s standardnim obteženim kolesom. Kolo naredi 20.000 prehodov, vsakič preko iste površine. Preizkus se izvaja pri 50 °C. Tako izmerimo trajno deformacijo, ki jo izrazimo v mm.

Tuja (predvsem nemška) literatura navaja, da se tvorjenje kolesnic pri asfaltnih zmeseh, ki imajo dodan sasobit, zmanjša tudi za 60 %.

#### **2.4.2.1.3 Brez negativnih vplivov na lastnosti staranja veziva**

Največ oksidacijskega staranja se zgodi med mešanjem asfaltne zmesi, kjer so prisotni vsi pospeševalni dejavniki. To so visoka temperatura, velika površina zrn agregata, kisik itd. Znano je, da se za vsakih 10 °C, ko asfaltno zmes segrejemo nad 100 °C, stopnja oksidacije podvoji. Tako lahko ugotovimo, da sasobit z znižanjem temperature proizvodnje pozitivno vpliva na staranje veziva.

#### **2.4.2.1.4 Znižanje vrednosti penetracije**

Ta učinek lahko uporabimo za enostavno spremembo tipa bitumna za eno ali več trdnostnih stopenj, odvisno od odstotka dodanega sasobita.

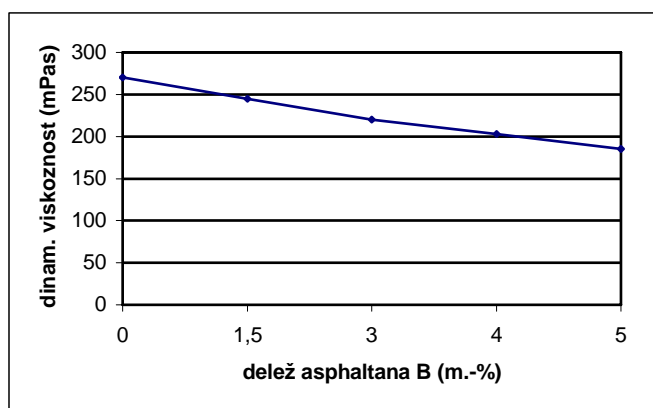


### 2.4.2.2 Asphaltan B<sup>®</sup>

Asphaltan B je proizvod podjetja Romonta GmbH, Amsdorf, Nemčija. Proizvajajo ga v obliki granul, namenjen pa je le za valjane asfalte. Je mešanica snovi na osnovi montanskega voska in visokomolekularnih težkih ogljikovodikov.

Vosek se pridobiva iz lignita in rjavega premoga. Taka nahajališča so predvsem v Nemčiji, Vzhodni Evropi in ZDA. Vosek je nastal kot fosilni ostanek subtropske vegetacije iz terciarne dobe. V takratnem času je služil kot zaščita listov rastlin. Iz rude se ga pridobi tako, da se v prvem koraku naredi raztopino, v drugem pa z destilacijo tudi izloči.

Asphaltan B izboljša tečenje asfaltne zmesi pri nižani temperaturi proizvodnje in povzroča podobne vplive na lastnosti bitumna kot Fischer-Tropschevi voski (slika 2.4). Vezivu znižuje viskoznost in pozitivno vpliva na zgostljivost in zmanjšanje tvorjenja kolesnic. Priporočljiva količina dodatka je 2 do 4 odstotke od celotne mase zmesi. Dodaja se ga lahko v fazi mešanja ali pa je že prej dodan bitumnu. Brez težav se ga lahko dodaja polimerno modificiranem bitumnu. Tališče ima približno pri 100 °C.



Slika 2.4: Dinamična viskoznost bitumna B50/70 v odvisnosti od deleža asphaltana B pri 150 °C

### 2.4.3 Uporaba sintetičnih dodatkov, t. i. zeolitov

Zeoliti so kristalinski hidrirani aluminijevi silikati, ki so umetno proizvedeni (obstajajo tudi naravni). Sintetični zeoliti imajo zelo homogeno strukturo in kakovost, pri kateri ima največji pomen zrnastost. Bistvena lastnost naravnih in sintetičnih zeolitov pa je, da vsebujejo kristalno vezano vodo, ki se ob določenih pogojih sprosti.

Za potrebe proizvodnje nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi je bil razvit zeolit pod komercialnim imenom Aspha-min<sup>®</sup>.

Aspha-min je proizvod podjetja Eurovia Services GmbH, Bottrop, Nemčija. Je sintetični zeolit (natrijev aluminijev silikat), ki je vodno-termalno obdelan in je kristaliziran. Struktura aspha-mina omogoča shranjevanje kristalno vezane vode v porah molekul, ki se pri temperaturah od 85 do 180 °C sprosti. V sebi zadržuje do 21 m.-% vode.

Z dodajanjem zeolitov v predogreto zmes kamnitih zrn ob istočasnem vbrizganju bitumna se razvije vodna para, ki povzroča kontroliran učinek penjenja, kar povzroči povečan volumen veziva v asfaltni zmesi. Zelo fina pena ustvarja mikropore, ki izboljšujejo vgradljivost zmesi. To bi brez dodatka lahko dosegli le z višjimi temperaturami. Pomemben podatek je tudi, da se kristalno vezana voda sprošča postopoma, kar podaljša učinek delovanja.

Priporočljiva količina dodanega aspha-mina je 0,30 % skupne mase asfaltni zmesi.

Vplivi dodatka Aspha-min:

- izboljšuje vgradljivost oz. obdelovalnost asfaltni zmesi pri nižjih temperaturah;
- ne zahteva nobene spremembe predhodne sestave asfaltni zmesi, ker je združljiv tako s cestogradbenimi kot tudi s polimerno modificiranimi bitumni in vsemi vrstami kamnitih agregatov ter polnil;
- znižuje temperaturo proizvodnje za približno 30 °C glede na običajno (temperatura vmešanja zavisi od vrste asfaltni obrata in se giblje med 130 in 145 °C), kar pomeni do 30-odstotno znižanje porabe goriva;

- dodajanje dodatka ne podaljšuje faze mešanja zmesi (ne vpliva na zmogljivost asfaltne obrata), ker je doziranje podobno dodajanju drugih običajnih vrst polimernih vlaken (uporablja se ista oprema).

#### 2.4.4 Tehnologija penjenega bitumna

Tehnologija penjenega bitumna je plod raziskovalnega dela Kola Veidekkeja v sodelovanju s podjetjem Shell. Začetki raziskav t. i. toplih mešanic asfaltnih zmesi (s tujko WAM – Warm Asphalt Mix) segajo v leto 1995. Rezultat teh raziskav je zaščitena tehnologija proizvodnje asfaltnih zmesi, imenovana WAM Foam<sup>®</sup>, ki je bila prvič predstavljena na kongresu Euroasphalt & Eurobitume leta 2000.

WAM Foam je proces proizvodnje asfaltnih zmesi pri temperaturah 100–120 °C, ki hkrati ohranja vse kakovostne značilnosti asfaltnih zmesi, proizvedenih po vročem postopku. Ta tehnologija uporablja prednost nizke viskoznosti penjenega bitumna v primerjavi z običajnim. Zelo pomemben pa je podatek, da taka tehnologija proizvodnje ne zahteva bistvenih popravkov na strojih v asfaltne obratu.

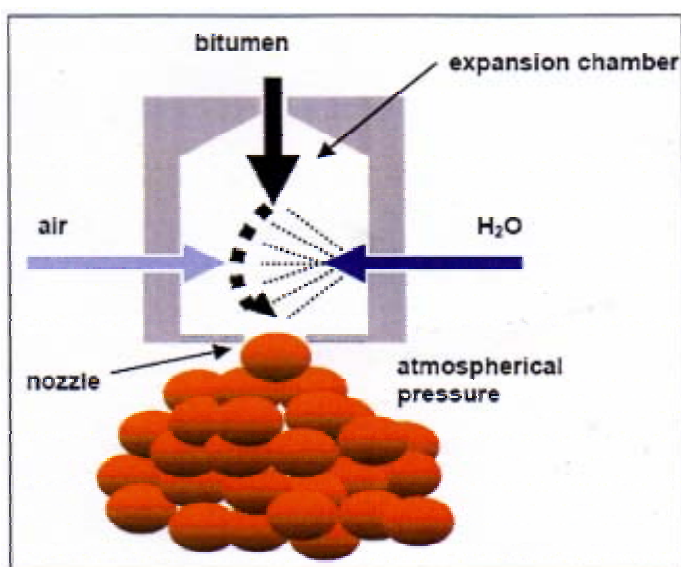
V procesu WAM Foam se uporabljata dve različni vrsti bitumna, trša in mehkejša vrsta. V prvem koraku se pri približno 110 °C zmeša mehkejša vrsta bitumna z agregatom, da se doseže obvitje zrn agregata. V drugem koraku pa se doda spenjen bitumen trše vrste, ki ima nizko viskoznost.

Bistveni del proizvodnje nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi s tehnologijo WAM Foam je drugi korak, ko se doda spenjani bitumen oz. proizvodnja penjenega bitumna. Penjeni bitumen se proizvaja v specialnem procesu, kjer se v ekspanzijski komori vročemu bitumnu pod pritiskom doda zrak in majhna količina vode (slika 2.5).

Ko se vročemu bitumnu (običajno ima temperaturo med 160 in 170 °C) istočasno vbrizga vodo in zrak, voda hitro izpareva in s tem povzroča močno penjenje. Teoretično 1 liter vode povzroči za 1200 litrov vodne pare. Učinek traja toliko časa, kolikor dolgo lahko taki sloji bitumna v mehurčkih zadržujejo paro in zrak.

Seveda je ta čas, ko so mehurčki bitumna stabilni, omejen. Pomemben faktor pri proizvodnji je tudi zagotavljanje dobre razpršenosti vode pri vbrizgu.

Za proizvodnjo penjenega bitumna se uporablja navadne cestogradbene bitumne, toda ne vse vrste. Najpomembnejši značilnosti penjenega bitumna sta širjenje (ekspanzija) in polovična doba trajanja učinka penjenja. Da bitumen ustreza minimalni zahtevi širjenja, mora biti sposoben svoj volumen povečati za vsaj 10-krat. Polovična doba trajanja je čas, v katerem se volumen pene zmanjša za 50 %.



Slika 2.5: Princip proizvodnje penjenega bitumna

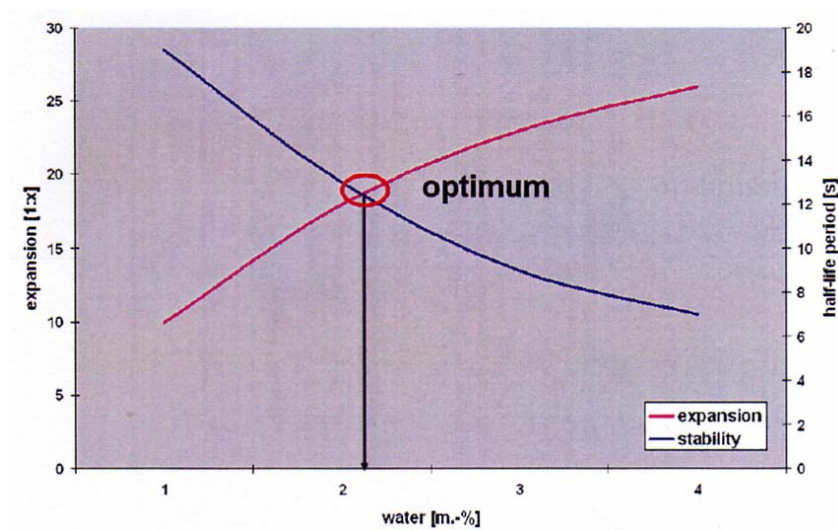
Pri procesu WAM Foam se uporabljata dve vrsti bitumna (trša in mehkejša). Vplivi na izbiro so:

- viskoznost mehkejše vrste bitumna je izbrana tako, da je ta sposoben pri 110 °C obвити vsa zrna agregata;
- trša vrsta bitumna se dodaja v spenjani obliki; med trše vrste bitumna se uvršča tiste z vrednostjo penetracije pri 25 °C med 10 in 100 dmm; izbiramo lahko med vrstami B20/30, B35/50, B50/70 in B80/100, izbira pa zavisi od pričakovane vrste in količine prometne obremenitve;

- zahtevano končno stopnjo penetracije bitumna (trše in mehkejše vrste) se doseže s pravim razmerjem obeh vrst; pravo razmerje pa se preprosto določi z vrednostjo penetracije zmesi obeh osnovnih komponent (izmeri se penetracija mehke in trde vrste bitumna).

Na značilnosti penjenega bitumna vplivajo:

- temperatura bitumna; pri večini vrst bitumnov se z večanjem temperature penjenje poveča;
- količina vode; voda se dodaja v deležu 1 do 3 % od skupne mase bitumna. Velja, da se z večanjem količine vode volumen pene sicer poveča, vendar se skrajša čas trajanja učinka. Optimalno količino vode je potrebno predhodno določiti na podlagi preiskav. Optimum je dosežen, kadar imata funkciji širjenja in polovične dobe trajanja hkrati najvišje vrednosti (kjer se funkciji sekata) (slika 2.6);
- primeren vbrizg in dobra razpršenost vode.



Slika 2.6: Določitev optimalne količine dodane vode

### 3 VRSTE ASFALTNIH ZMESI

#### 3.1 Bituminizirani drobljenec

Bituminizirani drobljenec je asfaltna zmes za nosilne plasti v voziščnih konstrukcijah, sestavljena izključno iz popolnoma drobljenih kamnitih zrn, obvitih z bitumenskim vezivom. Uporaba bituminiziranega drobljenca za nosilne plasti je skoraj izpodrinila uporabo bituminiziranih prodcev. Ker so prometne obremenitve cest v Sloveniji v zadnjem času zelo narasle, je uporaba drobljenih zrn v asfaltni zmesi za nosilne plasti nujna. Uporaba bituminiziranega drobljenca pa se vse več uporablja tudi kot nosilna plast pri večini večslojnih plasti asfaltnih površin (parkirišča, dvorišča, platoji itd.).

V posebni sestavi se bituminizirani drobljenec frakcije od 0 do 16 mm uporablja tudi za nosilno-obraabne plasti.

Zgornja vrednost velikosti zrn v nazivni zrnivosti največje osnovne frakcije v zmesi kamnitih zrn (drobirja) praviloma označuje vrsto asfaltna zmesi bituminiziranega drobljenca za vezane zgornje nosilne plasti in nosilno-obraabne plasti v voziščnih konstrukcijah. Tako so se v cestogradnji uveljavile naslednje vrste asfaltnih zmesi bituminiziranega drobljenca:

- **za asfaltna zgornje nosilne plasti**
  - nazivne zrnivosti 16 mm: BD 16 in BD 16S
  - nazivne zrnivosti 22 mm: BD 22 in BD 22S
  - nazivne zrnivosti 32 mm: BD 32 in BD 32S
- **za asfaltna nosilno-obraabne plasti**
  - nazivne zrnivosti 16 mm: BD 16\* (pogojena posebna sestava)

Z oznako S se opredeljuje vrste asfaltnih zmesi, pri katerih je uporabljena opredeljena skeletna sestava zmesi kamnitih zrn.

Osnovni pogoj za izbiro določene asfaltne zmesi bituminiziranega drobljenca za nosilno plast v voziščni konstrukciji je predvidena prometna obremenitev. Čim debelejša je plast, tem večja zrna naj bi bila v asfaltni zmesi, kajti s tem je ustvarjen nosilnejši skelet in zagotovljena večja odpornost proti preoblikovanju. Pri določanju dimenzij voziščnih konstrukcij na osnovi prometnih obremenitev je praviloma opredeljena potrebna debelina asfaltne nosilne plasti.

### 3.1.1 Sestava

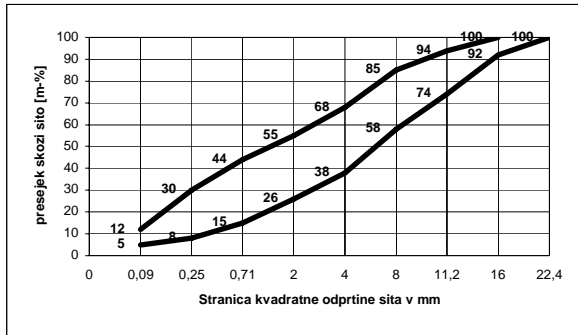
Asfaltna zmes bituminiziranega drobljenca je v pretežnih primerih sestavljena iz:

- zmesi kamnitih zrn in
- bitumenskega veziva.

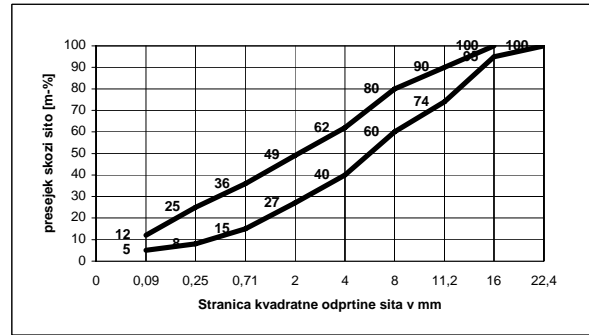
V sestavi zmesi kamnitih zrn za bituminizirane drobljence so:

- **kamena moka** (sestoji iz zrn velikosti do 0.71 mm in so večinoma karbonatnega izvora I. ali II. razreda kakovosti v odvisnosti od namena uporabe asfaltne zmesi);
- **pesek** (v vseh primerih mora biti pesek pridobljen z drobljenjem, razen v primeru, ko je zahtevana zgoščenost vgrajene asfaltne zmesi možna le z uporabo naravnega peska in je to na mestu za srednjo in lažjo prometno obremenitev);
- **drobir** (sestoji iz zrn velikosti nad 2 mm, ki so popolnoma drobljena).

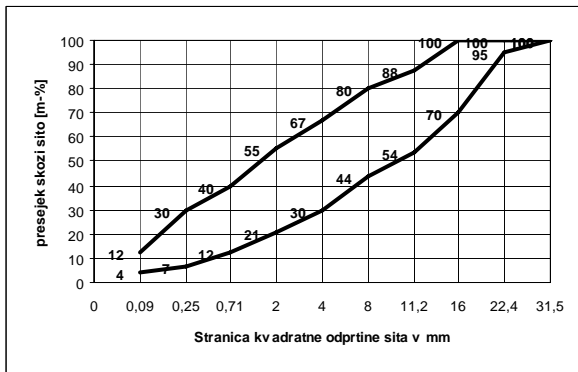
Zahtevam o lastnostih in sestavi zmesi kamnitih zrn morajo ustrezati tako vsaka komponenta posebej kot tudi končna zmes kamnitih zrn, ki jih ugotavlja pristojni laboratorij. Predpisana so tudi območja presejkov zmesi kamnitih zrn za vsako vrsto bituminiziranega drobljenca posebej (slika 3.1 do 3.7).



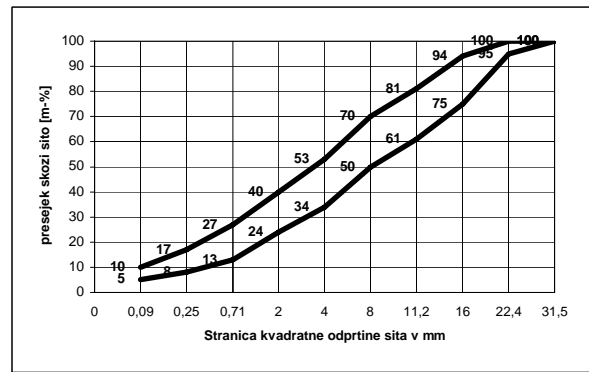
Slika 3.1: Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BD 16



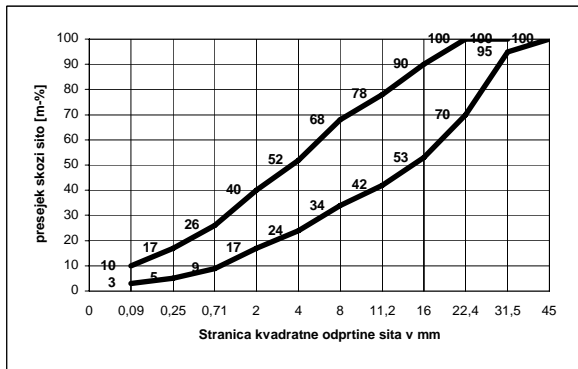
Slika 3.2: Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BD 16S



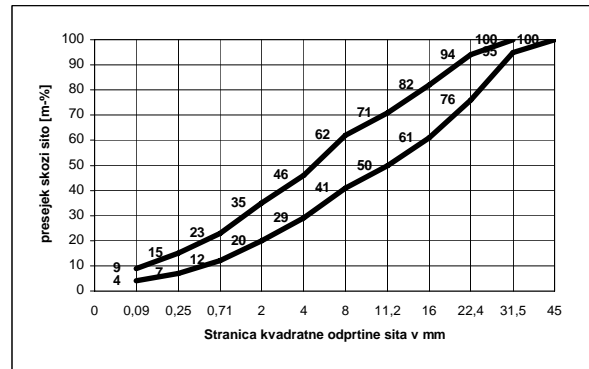
Slika 3.3: Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BD 22



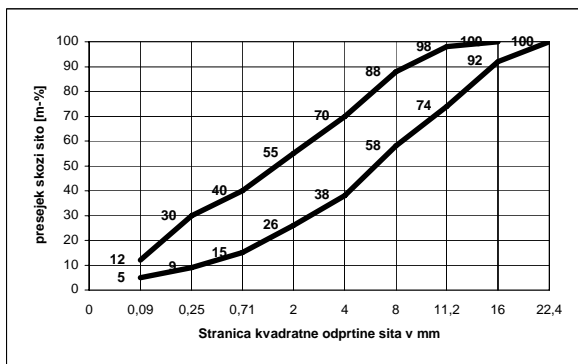
Slika 3.4: Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BD 22S



Slika 3.5: Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BD 32



Slika 3.6: Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BD 32S



Slika 3.7: Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BD 16\*



Vrsto bitumenskega veziva za bituminizirani drobljenec je treba izbrati predvsem na osnovi zahtevanih lastnosti vgrajene asfaltne zmesi in pričakovanih obremenitev bodoče asfaltne zmesi. Pri tej izbiri je treba upoštevati, da kot vezivo v asfaltni zmesi ne učinkuje dodano bitumensko vezivo samo, ampak bitumenska malta, ki jo skupaj z vezivom tvorijo drobna kamnita zrna (kamena moka), ki plavajo v vezivu.

V pretežni meri so kot bitumensko vezivo primerni standardizirani cestogradbeni bitumni trših vrst (predvsem bitumen B35/50). Ker pa so taki bitumni že pri danem načinu priprave delno oksidirani in se kot taki razmeroma hitro starajo ter izgubljajo svoje elastične lastnosti (nastajanje termičnih razpok v asfalti plasti), jih pripravljamo tudi z mešanjem mehkejše vrste cestogradbenega bitumna (običajno z bitumnom B70/100) z naravnim asfaltom, ki vsebuje trdo vrsto »nepoškodovanega« bitumna (UINTATE, SELENICA, TRINIDAD EPUREE ...).

Na splošno velja, da se pri zelo težki, težki in srednji prometni obremenitvi uporablja bitumne trših tipov, kot so B50/70, B35/50 in B20/30, pri lahki in zelo lahki prometni obremenitvi pa se uporablja mehkejše bitumne (B70/100, B100/150, B160/220). Izbor vrste in s tem tudi kakovost bitumna je predvsem odvisna od v konkretnem primeru predvidene prometne in klimatske obremenitve, delno pa tudi od vrste asfaltne zmesi bituminiziranega drobljenca.

V sestavo načrtovane asfaltne zmesi bituminiziranega drobljenca je mogoče vključiti tudi asfalti granulati, ki pa mora vsebovati izključno drobljena kamnita zrna in primerno bitumensko vezivo (za uporabo ni primeren asfalti granulati, ki vsebuje katransko vezivo). Za oceno primernosti je pomembna porazdelitev velikosti kamnitih zrn v granulatu ter vsebnost in kakovost bitumenskega veziva. V vsakem primeru morajo biti z uporabo asfaltne granulata zagotovljene značilnosti asfaltne zmesi kot za zmes iz popolnoma novih materialov.

Sestavo asfaltne zmesi je potrebno skrbno načrtovati in jo določiti s t. i. predhodno sestavo. Predhodna sestava asfaltne zmesi mora biti sestavljena tako, da bo odgovarjala vsem mehanskim in prostorskim lastnostim, ki jim taka zmes mora ustrezati. Lastnosti, katerim mora načrtovana zmes bituminiziranega drobljenca ustrezati, so: stabilnost in togost pri 60 °C, vsebnost celokupnih votlin in zapolnjenost votlin v zmesi kamnitih zrn z bitumnom, ki so

odvisne od vrste prometne obremenitve (razpredelnica 3.1). Zaželeno pa je tudi preveritev odpornosti asfaltne zmesi na nastajanje kolesnic po postopku, opredeljenem v TSC 06.751.

Za potrebe preverjanja predhodne sestave je potrebno pripraviti 5 vzorcev z isto skupno sestavo zmesi kamnitih zrn in različnimi odstotki bitumna (razlika naj bo med 0,3 in 0,5 m.-%). Pri izbiri optimalne sestave je poleg pogojenega deleža votlin v zgoščeni asfaltni zmesi pomembna lastnost predvsem stopnja zapolnjenosti votlin v zmesi kamnitih zrn z bitumenskim vezivom.

Razpredelnica 3.1: Mehanske in prostorske lastnosti asfaltne zmesi BD, priporočene za predhodno sestavo

Lastnost asfaltne zmesi	Enota mere	Zahtevana vrednost za prometno obremenitev					Postopek za preizkus
		izredno težka	zelo težka in težka	srednja	lahka in zelo lahka		
					BD	BD*	
stabilnost pri 60 °C	kN	≥ 12	≥ 10	≥ 7,5	≥ 5	≥ 5	SIST EN 12697-34
togost pri 60 °C	kN/mm	≥ 3	≥ 3	≥ 2,5	≥ 2	≥ 1,5	SIST EN 12697-34
vsebnost celokupnih votlin	V.-%	5–9	4–9	4–8	3–7	1,5–3,5	SIST EN 12697-8
vsebnost votlin v zmesi kamnitih zrn	V.-%	se preiskuje					SIST EN 12697-8
zapolnjenost votlin v zmesi kamnitih zrn z bitumnom	%	45–57	45–65	50–70	55–75	78–89	SIST EN 12697-8

\* za obrabno nosilne plasti

### 3.1.2 Proizvodnja

Zmes bituminiziranega drobljenca se proizvaja v klasičnih asfaltnih obratih po vročem postopku in je kot taka v času sodobne opremljenosti obratov razmeroma enostavna za proizvodnjo.

Za doseganje ustrezne kakovosti asfaltne zmesi bituminiziranega drobljenca je potrebno v prvi fazi zagotoviti kakovostne vhodne materiale in njihovo ustrezno skladiščenje, v drugi fazi

pa čas mešanja, temperaturo zmesi kamnitih zrn in bitumenskega veziva pa naravnati tako, da se zagotovi enovita asfaltna zmes. Tako proizvedena asfaltna zmes bituminiziranega drobljenca mora ustrezati navedenim lastnostim v razpredelnici 3.2.

Temperature mešanja so odvisne od vrste uporabljenega bitumna in so določene v tehničnih specifikacijah, razen za s polimeri modificirane bitumne (te določa proizvajalec bitumna). Kot pri vseh vrstah asfaltnih zmesi je tudi pri bituminiziranem drobljencu pomemben čim krajši čas vmesnega skladiščenja, zato je nujna medsebojna usklajenost med proizvodnjo, prevozi in vgrajevanjem asfaltna zmesi.

Razpredelnica 3.2: Mehanske in prostorske lastnosti asfaltna zmesi BD, zahtevane in priporočene v dokazni proizvodnji

Lastnost asfaltna zmesi	Enota mere	Zahtevana vrednost za prometno obremenitev					Postopek za preizkus
		izredno težka	zelo težka in težka	srednja	lahka in zelo lahka BD   BD*		
stabilnost pri 60 °C	kN	≥ 10	≥ 7,5	≥ 5	≥ 5	≥ 5	SIST EN 12697-34
togost pri 60 °C	kN/mm	≥ 3	≥ 2,5	≥ 2	≥ 1,5	≥ 1,5	-
vsebnost celokupnih votlin	V.-%	3,5–10,5	2,5–10,5	2,5–89,5	1,5–8,5	0,50–5	SIST EN 12697-8
vsebnost votlin v zmesi kamnitih zrn	V.-%	se preiskuje					SIST EN 12697-8
zapolnjenost votlin v zmesi kamnitih zrn z bitumnom	%	40–62	40–70	45–75	50–80	73–94	SIST EN 12697-8

\* za obrabno nosilne plasti

### 3.1.3 Vgrajevanje

Pred pričetkom vgrajevanja bituminiziranega drobljenca je potrebno preveriti kakovost izvedbe planuma podlage. Zagotovljene morajo biti ravnost, višinska usklajenost ter ustrezna nosilnost. S tem je izpolnjen prvi pogoj za zagotovitev zahtevanih značilnosti vgrajenih zgornjih vezanih nosilnih plasti.

Dopustno odstopanje planuma podlage, ki bo nadgrajen z vezano zgornjo nosilno plastjo – bituminiziranim drobljencem, sme znašati v pogledu:

- ravnosti (pod 4 m dolgo merilno letvijo) do 20 mm;
- višine (na poljubnem mestu) do +10 mm in –15 mm;
- nagiba (absolutna vrednost) do  $\pm 0,4$  %.

Če je kot podlaga vgrajena z bitumenskim vezivom vezana spodnja nosilna plast, je pred pričetkom vgrajevanja zmesi bituminiziranega drobljenca površino potrebno pobrizgati z bitumensko emulzijo. S tem se zagotovi zlepljenost obeh plasti.

Glavne značilnosti vgrajevanja bituminiziranega drobljenca:

- vgrajevanje se praviloma izvaja le strojno (dosežena boljša kakovost);
- za zagotavljanje čim večje enakomernosti in ravnosti vgrajene plasti se zahteva vsaj 85 % predzgoštev;
- zunanja temperatura zraka in podlage pri vgrajevanju ne sme biti nižja od 5 °C;
- v primeru, da se vgrajuje več plasti, morajo biti vzdolžni stiki zamaknjeni za vsaj 20 cm, prečni pa za najmanj 50 cm;
- za zgoščevanje se lahko uporablja več vrst valjarjev (statični, vibracijski, gumi, kombinirani) različnih mas;
- pripustitev prometa na vgrajeno plast se dovoljuje, ko se plast v sredini ohladi na 20 do 30 °C.

Vgrajena plast bituminiziranega drobljenca, kot zgornja vezana nosilna plast, mora ustrezati mejnim vrednostim stopnje zgoščenosti in vsebnosti votlin v plasti, ki so določene v tehničnih specifikacijah. Mejne vrednosti so prikazane v razpredelnici 3.3.

Razpredelnica 3.3: Zahtevane mejne lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BD

Lastnost	Enota mere	Zahtevana vrednost za prometno obremenitev					Postopek za preizkus
		izredno težka	zelo težka in težka	srednja	lahka in zelo lahka BD	zelo lahka BD 16*	
zgoščenost plasti, min	%	98	98	98	97	96	TSC 06.711
vsebnost votlin v plasti	V.-%	5–9	4–9	4–8	3–7	1,5–3,5	SIST EN 12697-8

\* za obrabno nosilne plasti

Poleg navedenih značilnosti so za vgrajeno vezano zgornjo nosilno plast pomembne še naslednje:

- debelina plasti (dovoljeno odstopanje navzdol je v povprečju največ 20 %, na posameznem mestu pa do največ 30 %);
- ravnost površine plasti;
- višina posameznih merilnih mest na površini plasti (odstopanje do največ +10 mm in –15 mm).

Le zmes vgrajenega bituminiziranega drobljenca oz. plast, ki izpolnjuje vse zahtevane pogoje, je primerna kot zgornja nosilna plast za nadaljnjo nadgraditev z obrabno-zapornimi plastmi.

### 3.2 Bitumenski beton

Bitumenski beton je asfaltna zmes, proizvedena po vročem postopku, namenjena za vezane asfaltne obrabno zaporne plasti. Zahtevam, ki jih pogojujejo zunanje obremenitve, se zadovolji s primerno izbiro zmesi kakovostnih kamnitih zrn in primerno količino kakovostnega bituminoznega veziva. Sestava zmesi kamnitih zrn je, kot že samo ime pove, po betonskem principu (z majhno vsebnostjo votlin).

Vgrajena zmes bitumenskega betona je odporna proti preoblikovanju in nudi dober oprijem s pnevmatiko, zlasti ob uporabi silikatnih kamnitih zrn eruptivnega izvora.

Glede na velikost zrn v asfaltni zmesi ter sestavo in vrsto uporabljene zmesi kamnitih zrn ločimo naslednje vrste bitumenskih betonov:

- bitumenski beton BB 4k,
- bitumenski beton BB 4s,
- bitumenski beton BB 4ks,
- bitumenski beton BB 8k,
- bitumenski beton BB 8s,
- bitumenski beton BB 8ks,
- bitumenski beton BB 11k,
- bitumenski beton BB 11s,
- bitumenski beton BB 11ks.

Pomen oznak: k – uporabljene so le frakcije kamnitih zrn, pridobljenih iz karbonatnih kamnin.

ks – uporabljene frakcije zrn so pridobljene iz karbonatnih in silikatnih kamnin

s – uporabljene so le frakcije kamnitih zrn, pridobljenih iz silikatnih kamnin

Izbira posamezne vrste asfaltne zmesi bitumenskega betona za obrabne in zaporne plasti je odvisna od vrste prometne obremenitve (od PLDO) in gostote prometa (od PLDP). Tako se, na primer, za najtežje prometne obremenitve (za izredno težko, zelo težko in težko) vgrajujeta le BB 8s in BB 11s. Vsaka vrsta bitumenskega betona ima določeno projektno debelino plasti, ki jo določa velikost zrn. Debeline plasti so pogojene z uporabo največje frakcije kamnitih zrn in so različne za novogradnje in obstoječe ceste (razpredelnici 3.4 in 3.5). Zahteva o minimalni debelini izhaja iz dejstva, da bi se kamnita zrna pri premajhni debelini plasti pri zgoščevanju z valjarji zdrobila. Pri predebeli plasti pa plast ne bi bila več odporna proti preoblikovanju, zato je upoštevanje pogojenih debelin plasti nujno.

Razpredelnica 3.4: Mejne projektne debeline plasti asfaltnih zmesi BB za novogradnje

Projektne debeline plasti:	Enota mere	Vrsta asfaltne zmesi		
		BB 4	BB 8	BB 11
- najmanj	mm	20	30	35
- največ	mm	30	45	50

Razpredelnica 3.5: Mejne projektne debeline plasti asfaltnih zmesi BB za dela na obstoječih cestah

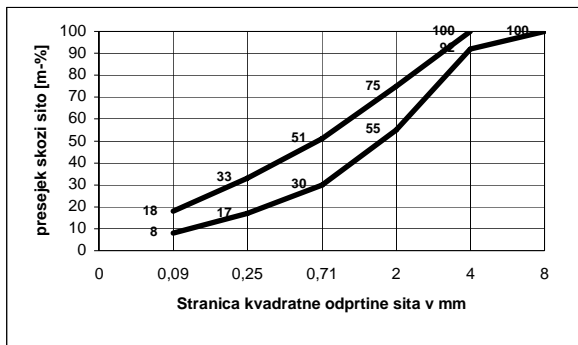
Projektne debeline plasti:	Enota mere	Vrsta asfaltne zmesi		
		BB 4	BB 8	BB 11
- najmanj	mm	20	25	30
- največ	mm	30	45	50

### 3.2.1 Sestava

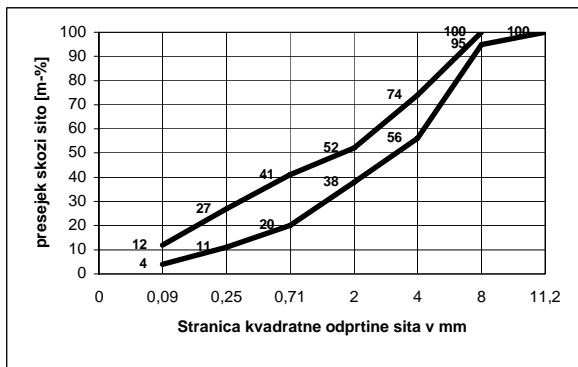
V osnovi je zmes bitumenskega betona sestavljena iz:

- zmesi kamnitih zrn,
- bitumenskega veziva,
- po potrebi pa se lahko dodajo tudi razni dodatki (npr. dopi za boljše obvijanje zrn).

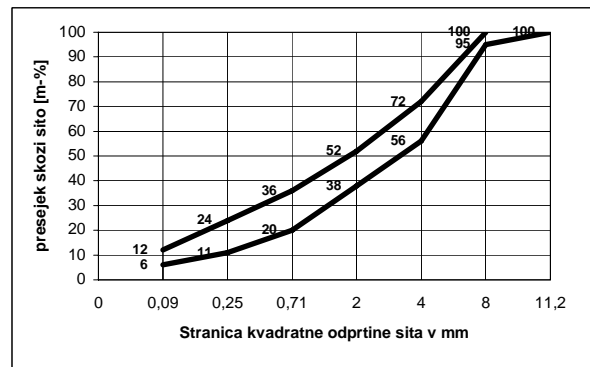
Zmes kamnitih zrn je sestavljena iz kamene moke, peska in drobirja in/ali proda. V večini primerov se proda ne uporablja več. Zmes kamnitih zrn mora ustrezati zahtevam, ki so navedene v SIST EN 13043. Kamnita zrna, pridobljena iz silikatnih kamnin, nam zagotavljajo dobre torne lastnosti, ker so v primerjavi z kamnitimi zrn iz karbonatnih kamnin veliko bolj odporna na poliranje. Vsaka značilna vrsta bitumenskega betona ima določeno območje presejkov zmesi kamnitih zrn, ki mu mora določena zmes ustrezati (slike 3.6 do 3.10).



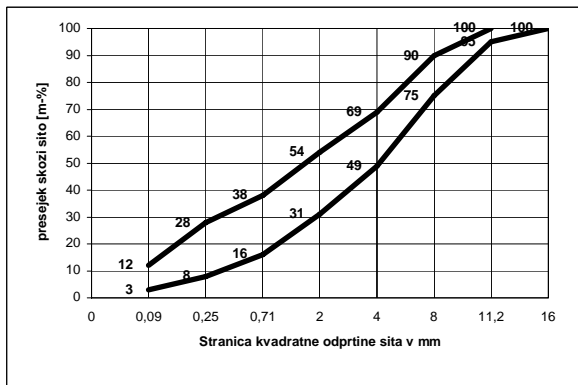
Slika 3.8: Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BB 4k, BB 4ks in BB 4s



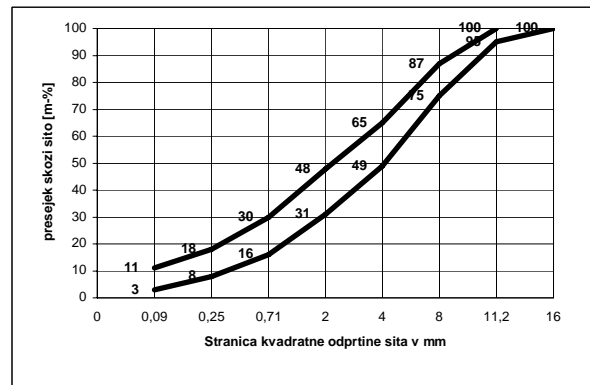
Slika 3.9: Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BB 8k



Slika 3.10: Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BB 8ks in BB 8s



Slika 3.11: Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BB 11k



Slika 3.12: Mejni krivulji zmesi kamnitih zrn za BB 11ks in BB 11s



Kot vezivo za asfaltne zmesi bitumenskih betonov se lahko uporablja standardizirane cestogradbene ali polimerne bitumne, ki imajo zahtevane značilnosti. Te zahteve so za cestogradbene bitumne navedene v SIST EN 12591, za polimerne pa v SIST EN 14023.

Sama izbira vrste bitumna je v prvi vrsti odvisna od prometne obremenitve ter vrste asfaltne zmesi, pomembni faktorji pa so tudi klimatske razmere, oddaljenost gradbišča od asfaltnega obrata, mesto vgrajevanja (vzponi, padci, območja zaustavljanj in speljevanj vozil) itd. Pri težki, zelo težki ter izredno težki prometni obremenitvi se npr. lahko uporabi trši vrsti cestogradbenega bitumna (B50/70 in B35/50) ali pa polimerno modificirane bitumne iz prvih treh razredov (2, 3 in 4). Za vse ostale prometne obremenitve pa so primerne tudi ostale vrste.

S predhodno sestavo dokažemo, da je s predvideno zmesjo kamnitih zrn ter bitumenskega veziva mogoče doseči v skladu s tehničnimi pogoji za obrabne in zaporne asfaltne plasti zahtevano kakovost asfaltne zmesi (razpredelnica 3.6). Pri načrtovanju predhodne sestave (recepturi) je potrebno zagotoviti mehanske in prostorske lastnosti, določene za asfaltno zmes oz. asfaltne preizkušance v fazi predhodne preiskave, preizkušene po standardnem postopku po Marshallu. Optimalno sestavo pri bitumenskih betonih iščemo s spreminjanjem vsebnosti bitumna v asfaltni zmesi.

Razpredelnica 3.6: Mehanske in prostorske lastnosti asfaltne zmesi BB v predhodni sestavi

Lastnost	Enota	Skupine prometnih obremenitev													
		izredno težka	težka in zelo težka	srednja			lahka			zelo lahka			kolesarske steze, pešpoti, parkirišča		
		Vrsta asfaltne zmesi													
		BB 11s, BB11ks	BB 8s, ks, BB 11s, ks	BB 4s, BB 4ks	BB 8s, BB 8ks	BB 11s, BB 11ks	BB 4s, BB 4ks	BB 8k, s, BB 8ks	BB 11k	BB 4k, s, BB 4ks	BB 8k, s, BB 8ks	BB 11k	BB 4k	BB 8k	BB 11k
stabilnost pri 60 °C	kN	≥ 12	≥ 10	≥ 10	≥ 10	≥ 10	≥ 8	≥ 8	≥ 8	≥ 6	≥ 6	≥ 6	≥ 5	≥ 5	≥ 5
tečenje pri 60 °C	mm	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4,5	≤ 4,5	≤ 4,5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
togost pri 60 °C	kN/mm	≥ 3,5	≥ 3	≥ 3	≥ 3	≥ 3	≥ 2	≥ 2	≥ 2	≥ 1,6	≥ 1,6	≥ 1,6	≥ 1,2	≥ 1,2	≥ 1,2
vsebnost celokupnih votlin	V.-%	4,5–5,5	4–5	3,5–4,5	3–6	4–5	3–4	3–4	3–4	2–3	2,5–3,5	2–3	1,5–2,5	1,5–2,5	1–2
zapolnjenost votlin v zmesi kamnitih zrn	V.-%	66–78	70–82	72–84	70–82	70–83	72–82	74–85	74–85	75–85	78–88	78–88	80–90	82–90	86–94
vsebnost votlin v zmesi kamnitih zrn	V.-%	se preiskuje													

### 3.2.2 Proizvodnja

Proizvodnja asfaltnih zmesi bitumenskih betonov poteka v klasičnih asfaltnih obratih s šaržnim postopkom in se praviloma proizvaja po vročem postopku. Tako kot pri drugih zmesih je tudi pri bitumenskem betonu potrebno v fazi mešanja paziti na točno doziranje bitumna, temperaturo (odvisna od vrste uporabljenega bitumna) in čas mešanja, da se doseže enovita asfaltna zmes.

Proizvedena asfaltna zmes mora v fazi proizvodnje ustrezati lastnostim, ki so navedene v razpredelnici 3.7. Poleg v razpredelnici navedenih lastnosti se z notranjo kontrolo vsakih 500 ton oz. vsaj enkrat na teden preverja tudi:

- temperaturo proizvedene zmesi (3-krat dnevno),
- delež veziva,
- sestavo ekstrahirane zmesi zrn,
- prostorninsko maso asfaltne zmesi pri 25 °C,
- prostorninsko maso asfaltne zmesi preskušancev po Marshallu pri 25 °C,
- zapolnjenost votlin v zmesi kamnitih zrn z vezivom (izračun).

Razpredelnica 3.7: Mehanske in prostorske lastnosti v proizvodnji asfaltne zmesi BB, zahtevane in priporočene v dokazni proizvodnji

Lastnost	Enota	Skupine prometnih obremenitev													
		izredno težka	težka in zelo težka	srednja			lahka			zelo lahka			kolesarske steze, pešpoti, parkirišča		
		Vrsta asfaltne zmesi													
mere	BB 11s, BB11ks	BB 8s, ks, BB 11s, ks	BB 4s, BB 4ks	BB 8s, BB 8ks	BB 11s, BB 11ks	BB 4s, BB 4ks	BB 8k, s, BB 8ks	BB 11k	BB 4k, s, BB 4ks	BB 8k, s, BB 8ks	BB 11k	BB 4k	BB 8k	BB 11k	
stabilnost pri 60 °C	kN	≥ 10	≥ 8	≥ 8	≥ 8	≥ 8	≥ 7	≥ 7	≥ 7	≥ 6	≥ 6	≥ 6	≥ 5	≥ 5	≥ 5
tečenje pri 60 °C	mm	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4,5	≤ 4,5	≤ 4,5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
togost pri 60 °C	kN/mm	≥ 2,8	≥ 2,2	≥ 2,2	≥ 2,2	≥ 2,2	≥ 1,8	≥ 1,8	≥ 1,8	≥ 1,5	≥ 1,5	≥ 1,5	≥ 1,2	≥ 1,2	≥ 1,2
vsebnost celokupnih votlin	V.-%	3,5–6,5	3–6	2,5–5,5	3–6	3–6	2–5	2–5	2–5	1–4	1,5–4,5	1,5–4,5	1–3,5	1–3,5	1–2,5
zapolnjenost votlin v zmesi kamn. zrn	V.-%	64–80	70–86	70–86	70–86	70–86	72–88	74–88	74–88	74–90	74–90	76–92	76–92	82–92	80–94
vsebnost votlin v zmesi kamnitih zrn	V.-%	se preiskuje													

### 3.2.3 Vgrajevanje

Vgrajevanje asfaltne zmesi bitumenskega betona se praviloma izvaja strojno, vendar se v primerih omejenega prostora lahko vgrajuje tudi ročno. Za doseganje zelenih lastnosti vgrajenih asfaltnih zmesi je potrebno upoštevati osnovna navodila kvalitetnega vgrajevanja. Ta so:

- predzgostitev razdelinika mora biti vsaj 85 % referenčne gostote določene v laboratoriju;
- zunanja temperatura zraka in podlage pri vgrajevanju ne sme biti nižja od 5 °C;
- temperatura asfaltne zmesi pri vgrajevanju, ki je odvisna od vrste uporabljenega bitumna;
- vgrajevanje naj poteka po vsej širini vozišča (če je to mogoče);
- za zgoščevanje se lahko uporablja več vrst valjarjev (statični, vibracijski, gumi, kombinirani) različnih mas;
- zgoščanje naj poteka od spodnjega roba proti zgornjemu;
- pripustitev prometa na vgrajeno plast se dovoljuje, ko se plast v sredini ohladi na manj kot 30 °C.

Z upoštevanjem zgornjih navodil ter ob hkratni uporabi sodobnih vgrajevalnih strojev in strokovno usposobljene delovne ekipe se brez velikih težav doseže zahtevane osnovne lastnosti vgrajene asfaltne zmesi, ki so prikazane v razpredelnici 3.8.

Preiskave vgrajene asfaltne zmesi se lahko izvaja s porušnimi ali neporušnimi metodami.

Porušna metoda običajno predstavlja odvzem vzorcev z vrtanjem, ki imajo premer vsaj 100 mm in so odvzeti na vsakih 500 ton vgrajene zmesi. Vzorec se preišče v laboratoriju, kjer se izmeri debelino plasti (lahko tudi na mestu odvzema), zlepljenost plasti in gostoto (prostorninsko maso). S pomočjo podatka o gostoti se izračuna še stopnja zgoščenosti in delež votlin v plasti glede na že prej preiskano prostorninsko maso po Marshallu in navidezno specifično maso asfaltne zmesi.

Med neporušne metode spadata merjenje z izotopskim merilnikom in meritve z letvo. Z izotopskim merilnikom (sondo) se meri gostota asfaltne plasti, iz katere se prav tako izračuna zgoščenost in vsebnost votlin v plasti.

Pogostost meritev z izotopskim merilnikom je s tehničnimi specifikacijami predpisana na vsakih 100 m<sup>2</sup>, smiselno pa je meritev izvesti poleg vrtine. Velika prednost merjenja z izotopskim merilnikom je hiter rezultat meritve in možnost zasledovanja stopnje zgoščenosti po vsakem prehodu valjarja ter s tem možnost vplivanja na stopnjo zgoščenosti in delež votlin v plasti med samo vgradnjo.

Z letvo dolžine 4 metre pa se preverja ravnost vgrajene plasti.

Razpredelnica 3.8: Mehanske in prostorske lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB

Lastnost	Enota mere	Skupine prometnih obremenitev													
		izredno težka	težka in zelo težka	srednja			lahka			zelo lahka			kolesarske steze, pešpoti, parkirišča		
		Vrsta asfaltne zmesi													
		BB 11s, BB11ks	BB 8s, ks, BB 11s, ks	BB 4s, BB 4ks	BB 8s, BB 8ks	BB 11s, BB 11ks	BB 4s, BB 4ks	BB 8k, s, BB 8ks	BB 11k	BB 4k, s, BB 4ks	BB 8k, s, BB 8ks	BB 11k	BB 4k	BB 8k	BB 11k
zgoščenost plasti, najmanj	%	97	97	97	97	97	96	96	96	96	96	96	95	95	95
vsebnost celokupnih votlin	V.-%	3–8	3–8	3–8	3–8	2,5–7	2,5–7,5	2–6,5	2–6,5	1,5–7	1,5–6,5	1,5–6	1–7	1–7	1–6,5

### 3.3 Drobir z bitumenskim mastiksom

Drobir z bitumenskim mastiksom (v nadaljevanju DBM) je asfaltna zmes za obrabne plasti, sestavljena iz večje količine bitumna, velike količine drobirja in majhnega deleža peska v zmesi kamnitih zrn. Tako sestavljena asfaltna zmes naj bi bila najbolj odporna asfaltna zmes proti plastičnim deformacijam.

Razvoj DBM-ja se je začel v Nemčiji kot tankoslojna prevleka cest, obrušeni zaradi takrat dovoljene uporabe t. i. ježevk (pnevmatike z jeklenimi konicami). Obrus takih cest (ceste proti zimskošportnim centrom in ceste gorskih prelazov) je znašal tudi do 2 cm na leto in kot dobra rešitev se je obnesla le obdelava z mastiksom. Pri tem gre za asfaltni mastiks (zmes bitumna, polnila in peska), pripravljen v kotlih, ki so ga polagali ročno, posuli z drobirjem in uvaljali. Tak postopek je bil zaradi ročne obdelave zelo drag, zato so kmalu razvili sodobnejši postopek proizvodnje, ki ga uporabljamo tudi sedaj. Rešitev je bila uporaba stabilizirajočih dodatkov, saj je le tako možno strojno zmešati tako veliko količino bitumna s kameno zmesjo,

ne da bi del bitumna odtekel s površine kamenih zrn. Gre za običajno mešanje v asfaltnih obratih, kot ga poznamo danes.

DBM združuje prednosti tako litega asfalta kot bitumenskega betona. Glede trajnosti in stabilnosti ima podobne lastnosti kot liti asfalt, prevažamo in vgrajujemo pa ga z enako opremo kot bitumenski beton. Vgrajuje se ga le strojno, ker je zaradi velike vsebnosti bitumna ročno vgrajevanje praktično nemogoče (sprijemanje asfaltne zmesi z lopato, nabijalom, grebljami).

V Sloveniji je bil DBM prvič vgrajen leta 1995 na regionalni cesti na Vrhniki (kot poskusno polje), po letu 1995 pa sprva za popravila, kasneje pa po zahtevi naročnika del na avtocestah DARS-a kot edina obrabno-zaporna plast na vseh novogradnjah avtocestnega programa.

Glavne značilnosti sestave DBM-ja so:

- velik delež drobirja,
- velik delež polnila,
- velik delež največje frakcije kamnitih zrn,
- velik delež bitumna,
- stabilizirajoči dodatki.

DBM se v primerjavi z bitumenskim betonom, ki ima zvezno presejno krivuljo zmesi kamnitih zrn po Fullerju, in litim asfaltom, ki teoretično nima zaostalih votlin, razlikuje po razmeroma enakozrnati sestavi zmesi kamnitih zrn. Ima nezvezno presejno krivuljo zmesi kamnitih zrn. Izbrana zmes kamnitih zrn tvori grobozrnati skelet zrn drobirja, katerega votline (cca 20 do 21 V.-%) so v veliki meri zapolnjene z mastiksu podobno malto. Kot vezivo se uporablja cestogradbeni bitumen ali polimerno modificiran bitumen, dodatno pa še stabilizirajoči dodatek, ki preprečuje odtekanje bitumna s kamnitih zrn.

### 3.3.1 Sestava

Zmes kamnitih zrn je sestavljena iz relativno velikega deleža polnila (kamnite moke), majhnega deleža peska in velikega deleža drobirja. Uporabljeni drobir je praviloma iz kamnin eruptivnega izvora in le za delež peska se dopušča karbonatni izvor. Po odbrušenju filma asfaltnega mastiksa s površine zrn namreč skrbi za dobro oprijemljivost s pnevmatiko, zato je pri izbiri uporabljenega drobirja odločujoča njegova vrednost polirnosti (vrednost PSV po angleškem standardu BS 812). Za zmesi kamnitih zrn se uporabljajo frakcije 0/2 mm, 2/4 mm, 4/8 mm, 8/11 mm in polnilo, ki pa mora biti pretežno (vsaj 2/3 mase celotnega polnila) iz kakovostnega t. i. tujega polnila karbonatnega izvora, pridobljenega z mletjem zdrave kamnine in konstantne zrnivosti.

Kot vezivo za asfaltno zmes DBM največ uporabljamo cestogradbeni bitumen B50/70, manj B70/100, zelo redko pa se uporabi vezivo B160/220 (pri tankih plasteh). Veziva, ki jih uporabljamo, so lahko tudi zmesi cestogradbenega bitumna in dodatkov (polimeri, naravni asfalt). Pri zelo obremenjenih voziščih in površinah je priporočljiva uporaba s polimeri modificiranih bitumnov (PmB), še posebno na mostovih ali odsekih s počasnim težkim prometom, kjer je prisotno izrazito utrujanje materiala. Z uporabo PmB bitumnov je taka asfaltna zmes še bolj odporna na učinke vertikalnih in horizontalnih sil, hkrati pa se poveča tudi obvitost zrn kamene zmesi. Uporaba polimerno modificiranih bitumnov je v veliki meri odvisna od investitorjeve ekonomske presoje, saj je PmB približno 2,5-krat dražji od običajnih cestogradbenih bitumnov.

Velik delež bitumna pri razmeroma majhni površini zrn kamene zmesi zahteva dodajanje stabilizirajočega sredstva (nosilec bitumna). Stabilizirajoči dodatki služijo predvsem kot nosilci veziva, da zanesljivo preprečijo odtok veziva z zrn kamene zmesi pri mešanju, skladiščenju, transportu in vgrajevanju. Poleg celuloznih vlaken, ki se v praksi največ uporabljajo, se v ta namen uporablja tudi kamnita (mineralna) vlakna, pa tudi naravno ali umetno pripravljena kremenica, zmleta guma in razni polimeri. Zaradi različne sposobnosti stabilizacije bitumna v DBM-ju njihov dodatek variira med 0,3 % in 1,5 % mase asfaltne zmesi. Zadostna količina stabilizatorja v asfaltni zmesi se preverja s preizkusom odtekanja veziva po Schllenbergu. Preiskava se opravlja običajno le pri izdelavi predhodne sestave.

Zmesi DBM-ja je potrebno proizvajati v okviru tehničnih specifikacij za javne ceste in sicer po TSC 06.412; Vezane obrabne in zaporne plasti – drobir z bitumenskim mastiksom, iz leta 2001. Pri načrtovanju predhodne sestave (recepturi) je postopek sicer podoben kot za bitumenske betone. Najbolj pomembna pa je vsebnost votlin in ne toliko stabilnost in tečenje. Medtem ko pri bitumenskih betonih iščemo optimalno sestavo s spreminjanjem vsebnosti bitumna, pri načrtovanju DBM-ja vplivamo na večje spremembe vsebnosti votlin na Marshall-ovih preizkušancih s spremembo vsebnosti drobirja in razmerja posameznih frakcij, nato z vsebnostjo polnila in nazadnje z vsebnostjo bitumna.

### 3.3.2 Proizvodnja

Proizvodnja zmesi DBM poteka podobno kot pri bitumenskih betonih, paziti je potrebno predvsem na temperaturo drobirja pri prehodu skozi sušilni boben. Zaradi majhne vsebnosti frakcije peska v zmesi kamnitih zrn se namreč zrna drobirja v neposrednem stiku s plamenom močneje segrejejo. Moč gorilnika moramo zato uravnati tako, da temperatura zmesi kamnitih zrn med proizvodnjo ni previsoka ter da je enakomerna. Tako naj temperatura proizvedene asfaltne zmesi DBM-ja ne presega 180 °C.

Stabilizirajoče dodatke doziramo v asfaltno zmes glede na vrsto in način pakiranja v natančno izmerjenih enotah. Nihanje količine dodatka lahko zaradi njegove učinkovitosti močno spremeni lastnosti proizvedenih zmesi. Zato smemo uporabiti samo take dodatke, ki se dobavljajo homogeno in ne izgubijo homogenosti tako pri skladiščenju kot tudi pri proizvodnji zmesi. Dodatek lahko doziramo avtomatsko z ustrezno dozirno napravo ali pa ročno prek lopute neposredno v mešalnik, kar je odvisno od opremljenosti asfaltnega obrata. Dodajanje dodatka pa seveda podaljša čas mešanja oz. zmanjša zmogljivost mešanja (predmešanje dodatka s kameno zmesjo). Priporoča se naslednji vrstni red dodajanja posameznih komponent:

- zmes kamnitih zrn,
- polnilo in stabilizirajoči dodatek,
- bitumen.

Skladiščenje asfaltne zmesi v vročem silosu naj bo čim krajše, zato je medsebojna uskladitev zmogljivosti mešanja, transporta in vgradnje nujna.

### 3.3.3 Vgrajevanje

Za vgrajevanje in zgoščevanje zmesi DBM uporabljamo enake stroje kot za klasične asfaltne zmesi, razen valjarjev s pnevmatikami, pa tudi uporaba kombiniranih valjarjev je zelo omejena oz. se jih ne uporablja (nevarnost dviga bitumenske malte na površino plasti zaradi sesalnega učinka pnevmatik). Pri vgradnji in zgoščevanju moramo upoštevati naslednja pravila:

- temperatura asfaltne zmesi v finišerju naj ne bo nižja od 150 °C;
- asfaltni razdelilnik nastavimo na čim višjo stopnjo predzgoščevanja;
- valja se tesno za asfaltnim razdelilnikom, pri prvih prehodih le statično;
- število vibracijskih prehodov se omeji na tri. Pri temperaturi plasti pod 100 °C ne smemo več vibrirati (pri togih podlagah in debelinah plasti, manjših od 2 cm, se ne sme uporabljati vibracij);
- pri tankih plasteh je ohlajevanje bistveno hitrejše, zato je potrebna energija zgoščevanja še višja kot navadno.

V razpredelnici 3.9 so prikazane mejne debeline plasti asfaltne zmesi DBM-ja, v razpredelnici 3.10 pa zahtevane lastnosti asfaltnih zmesi DBM-ja v fazi proizvodnje in v fazi vgrajevanja.

Razpredelnica 3.9: Tehnološko pogojene debeline plasti zmesi DBM-ja

Predvidena debelina plasti:	Vrsta asfaltne zmesi drobirja z bitumenskim mastiksom			
	DBM 11s	DBM 8s	DBM 8	DBM 4
- najmanjša, cm	2,5	2	2	1,5
- projektna, cm	3,5 do 4	3 do 3,5	2,5 do 3	2
- največja, cm	5	4	3,5	2,5



Razpredelnica 3.10: Zahtevane in priporočene osnovne lastnosti asfaltne zmesi oz. preizkušancev DBM-ja

Lastnosti	Enota mere	Prometna obremenitev		
		težka in večja	srednja	lahka in manjša
Zahtevana – priporočena vrednost				
Proizvedena asfaltna zmes:				
- vsebnost votlin po Marshallu	%	3 do 4,5	2 do 4	2 do 4
- priporočen delež bitumna v predhodni sestavi asfaltne zmesi				
za sistem DBM 11s	m.-%	6,3		
za sistem DBM 8s	m.-%	6,5		
za sistem DBM 8 in DBM 4	m.-%		6.5	6.8
- priporočena zapolnjenost votlin v zmesi kamnitih zrn z bitumnom	m.-%	70–85	75–90	75–92
Vgrajena asfaltna zmes – jedro ali izsek:				
- vsebnost vseh votlin	%	3–6	3–5	2–5
- zgoščenost, najmanj	%	97	97	97

Debeli filmi asfaltnega mastiksa (zmes bitumna, polnila in peska) na površini zrn drobirja zelo poslabšujejo torne lastnosti (dokler se zaradi vpliva prometa film mastiksa ne odbrusi s površine zrn drobirja). Zato se začetna oprijemljivost DBM-ja običajno poveča s posipom drobirja. Drobir se posipa in uvalja takoj za finišejem ali pa po prvih prehodih valjarja. Za doseganje čim bolj enakomernega posipa, se priporoča strojno posipanje (posipalec).

Poleg drobirja 2/4 mm se lahko uporabi tudi odprašen ter z bitumnom obvit drobljeni pesek 0.25/2 mm ali zmes naravnega in drobljenega peska.

Najpomembnejše lastnosti tako proizvedene asfaltne zmesi so:

- odpornost proti plastičnemu preoblikovanju (to lastnost zagotavlja kameni skelet, kjer se medsebojno podpira veliko število zrn drobirja);
- dobre torne lastnosti (začetne in tiste po daljši eksploataciji);
- protihrupno delovanje;
- možnost ponovne uporabe;

- dolga življenjska doba;
- veliki stroški proizvodnje.

#### **4 DOPRINOS NIZKE TEMPERATURE ASFALTNE ZMESI**

##### **4.1 Uvod**

V večini primerov nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi, proizvedenih z različnimi dodatki vezivu, se dosega zmanjšanje temperature asfaltnih zmesi od 20 do 30 °C. V nadaljnjem obravnavanju doprinosa nizke temperature asfaltnih mešanic se bom omejil le na asfaltne zmesi, proizvedene z organskim dodatkom Sasobit, saj je bilo s to tehnologijo v evropskem prostoru vgrajenih največ nizkotemperaturnih asfaltov. Ta tehnologija namreč ne zahteva nobenih sprememb proizvodnega obrata, pa tudi zaradi kasnejšega obravnavanja praktičnega primera.

##### **4.2 Zmanjšanje porabe energije**

Za pripravo vroče asfaltne zmesi iz bitumna in zmesi kamnitih zrn so v odvisnosti od vrste zmesi potrebne temperature od 150 do 250 °C. Potrebna energija za segrevanje se pridobiva pretežno z zgorevanjem fosilnih goriv, v večini primerov je to kurilno olje ali zemeljski plin. V dosednji praksi se izvajalci raje poslužujejo zgornjih mej dovoljenih temperatur asfaltne zmesi, saj se z višanjem temperature viskoznost bitumenskega veziva znižuje, s tem pa je asfaltna zmes lažje vgradljiva. Še zlasti to velja pri trših vrstah bitumnov, ki terjajo visoke temperature, da bi v redko tekočem stanju zagotovili popolno obvitje zrn agregata. Posledica pa je visoka poraba energije.

Z uporabo bitumenskih veziv, pripravljenih na osnovi sasobita, se temu problemu lahko izognemo, saj dodatek Sasobit služi kot sredstvo za utekočinjanje bitumna, ki omogoča stabilizacijo bitumna, popolno obvitost agregata in izboljšuje vgradljivost asfaltne zmesi pri nižjih temperaturah. To nam zagotavlja doseganje zahtevanih stopenj zgoščenosti asfaltnih zmesi pri do 30 °C zmanjšani temperaturi proizvedene in vgrajevane asfaltne zmesi.

V postopku proizvodnje asfaltnih zmesi se približno 30 % energije porabi za segrevanje bitumna, največ pa za sušenje in segrevanje agregata, ki pa ga je hkrati tudi največ. Iz tega se preprosto lahko sklepa, da je zmanjšanje temperature za 30 °C velik prispevek k zmanjševanju stroškov proizvodnje asfaltnih zmesi.

Iz prakse velja podatek, da se za 1 tona proizvedene asfaltne zmesi porabi približno 8 litrov goriva (kurilnega olja). Pri znižanju temperature proizvodnje za 30 °C naj bi pri eni toni asfaltne zmesi porabili do 30 % goriva manj. To pomeni prihranek 2,4 litra goriva pri toni proizvedene asfaltne zmesi.

Ob predpostavki, da je v Sloveniji letno vgrajenih 1.700.000 ton asfaltnih zmesi, bi Slovenija na letni ravni lahko zmanjšala porabo kurilnega olja pri proizvodnji asfaltnih zmesi za 4.080.000 litrov.

### **4.3 Zmanjšanje izpusta emisij plinov**

Po vsem svetu postaja varovanje okolja ena iz med prednostnih nalog vsake napredno usmerjene države. V večini primerov gre za zmanjševanje emisij toplogrednih plinov, s poudarkom na emisijah ogljikovega dioksida (CO<sub>2</sub>), ki v večini povzroča globalno segrevanje planeta.

Pri proizvodnji in vgrajevanju asfaltnih zmesi se v ozračje vnaša prah, pline, specifične vonjave in toploto. Na vnos prahu v zrak temperatura asfaltne zmesi nima večjega vpliva, zato se bom omejil le na pline, specifične vonjave in toploto.

#### **4.3.1 Vnos plinov v zrak**

Vir plinov, ki jih vnašamo v zrak, so gorilnik v sušilnem bobnu za sušenje agregata, gorilniki za ogrevanje termalnega olja za gretje skladiščnih cistern z bitumnom, transportna vozila in drugi stroji.

Največji onasnaževalec zraka pri proizvodnji asfaltnih zmesi je gorilnik v sušilnem bobnu. Dimne pline, ki nastajajo pri zgorevanju goriva v sušilnem bobnu (običajno se uporablja kurilno olje), sestavljajo žvepovi oksidi  $\text{SO}_2$ , dušikovi oksidi  $\text{NO}_x$ , ogljikov monoksid CO in ogljikov dioksid  $\text{CO}_2$ . Količine posameznih plinov so odvisne od:

- $\text{SO}_2$ : vrste goriva;
- $\text{NO}_x$ : vsebnosti dušika v gorivu, temperature plamena, tipa gorilnika;
- CO: dobre ali slabe regulacije zgorevalnega procesa;
- $\text{CO}_2$ : porabe energije za sušenje oz. segrevanje.

Z uporabo asfaltnih zmesi, proizvedenih pri nižjih temperaturah od običajnih, bi najbolj vplivali na izpust ogljikovega dioksida, saj je njegova količina pri proizvodnji asfaltnih zmesi neposredno odvisna od porabljene energije (količine goriva). Ker se največ goriva porabi za sušenje agregata in še nekaj za gretje bitumna, je vpliv na količino nastalega  $\text{CO}_2$  največji.

V Sloveniji veljajo predpisi o emisijah snovi v zrak iz kurilnih naprav na podlagi 27. člena Zakona o varstvu okolja (UL RS, št. 32/93), Uredbe o emisiji snovi v zrak iz kurilnih naprav (UL RS, št. 73/94) in Uredbe o spremembah in dopolnitvah uredbe o emisiji snovi v zrak iz kurilnih naprav (UL RS, št. 51/98, 83/98 in 105/00). Mejne količine emisij snovi v zrak iz kurilnih naprav se delijo po vrsti goriva in po velikosti kurilne naprave (moči peči). Vrste goriv delimo na trdna, plinasta in tekoča, kamor sodi tudi najbolj uporabljano gorivo, to je lahko kurilno olje. Velikosti kurilnih naprav so razdeljene v tri skupine, in sicer: male, srednje in velike.

Kurilna naprava za sušenje agregata v asfaltnem obratu Cestnega podjetja Ljubljana v Podutiku se uvršča med srednje kurilne naprave in kot gorivo uporablja lahko kurilno olje. Uredba o emisijah snovi v zrak iz kurilnih naprav za take naprave določa mejne emisijske vrednosti, ki so prikazane v razpredelnici 4.1.

Razpredelnica 4.1: Mejne emisijske vrednosti plinov za srednje kurilne naprave za lahko kurilno olje

Dušikovi oksidi ( $\text{NO}_x$ )	250 mg/m <sup>3</sup>
-----------------------------------	-----------------------

Žveplovi oksidi (SO <sub>x</sub> )	1700 mg/m <sup>3</sup>
------------------------------------	------------------------

#### 4.3.2 Specifične vonjave

Specifične vonjave lahko razdelimo na dva dela, in sicer na tiste, ki so posledica uporabe goriva, in tiste, ki so posledica uporabe bitumna, vse pa sodijo med emisije organskih snovi (policiklični aromatski ogljikovodiki – PAH).

Vonj, ki nastaja zaradi hlapljivosti goriva in je največkrat povezan z nepopolnim izgorevanjem goriva v sušilnem bobnu, je v primerjavi s specifičnimi vonjavami po bitumnu, ki zelo otežujejo oz. slabšajo pogoje dela na proizvodnem obratu in še posebej pri vgrajevanju, neznaten. Ker zmanjšanje temperature nima bistvenega vpliva na te ogljikovodike, se bom omejil le na specifične vonjave po bitumnu.

Pri vonjavah po bitumnu ima temperatura zelo velik vpliv, saj se z višanjem temperature vonj spreminja (povečuje). Ta velik vpliv na človeka, ki jih povzročajo hlapljive organske snovi v bitumnu, lahko z uporabo nizkotemperaturnih mešanic asfaltnih zmesi bistveno znižamo in tako izboljšamo pogoje dela predvsem pri vgrajevanju asfaltnih zmesi.

Specifične vonjave po bitumnu se pojavljajo pri skladiščenju bitumna, med proizvodnjo, nakladanjem, prevozom in vgrajevanjem asfaltne zmesi in so posledica bitumenskih par in aerosolov, ki se sproščajo pri segrevanju bitumna, ti pa so numerično določljivi (izmerljivi).

V Nemčiji obstajajo priporočila, ki opredeljujejo zgornjo dovoljeno mejo za pare bitumna in aerosole pri transportu in vgrajevanju asfaltnih zmesi na skupno največ 10 mg/m<sup>3</sup> zraka.

S stališča možnih ukrepov oz. izboljšav na področju varstva okolja in zaščite delavcev bi ponujena možnost znižanja temperature asfaltnih zmesi pri proizvodnji in vgrajevanju prispevala velik delež, saj znižanje temperature za 10 °C pomeni znižanje emisij par bitumnov in aerosolov za približno 50 %. Pare bitumna v majhni meri vsebujejo nevarni benzo(a)piren,

ki je uvrščen na seznam rakotvornih snovi, zato je prizadevanje k vsakdanji uporabi asfaltnih zmesi, proizvedenih pri nižjih temperaturah, toliko večje.

#### **4.3.3 Sevanje toplote v zrak**

Pri proizvodnji, transportu in vgrajevanju asfaltnih zmesi se zaradi ohlajevanja zmesi v zrak sprošča veliko toplote. Sproščanje toplote je najbolj omejeno pri transportu, kjer se za preprečevanje ohlajevanja asfaltne zmesi uporabljajo različne ponjave ali toplotno izolirani kesoni. Pri proizvodnji in vgrajevanju asfaltnih zmesi pa sproščujoča se toplota otežuje pogoje dela, še posebej to velja za poletne mesece.

Vpliv toplote je največji pri vgrajevanju asfaltnih zmesi, kjer so delavci poleg sproščujoče se toplote asfaltnih zmesi še neposredno izpostavljeni sončnemu sevanju. V primeru velikih zunanjih temperatur se lahko zgodi, da pride tudi do pregretja človeškega organizma.

Znižanje temperature zmesi pri vgrajevanju za 20 do 30 °C pomeni velik prispevek k izboljšanju delovnih pogojev asfaltnih delavcev.

#### **4.4 Znižanje oksidacijskega staranja asfaltne zmesi**

Oksidacijsko staranje je eden od glavnih vzrokov propadanja asfaltnih vozišč. Zaradi oksidacijskega staranja bitumensko vezivo v asfaltni zmesi postaja otrdelo in krhko in kot tako izgublja svojo kohezivno in adhezivno sposobnost.

Glavni povzročitelj oksidacijskega staranja je kisik. Ker se asfaltne zmesi mešajo pri visokih temperaturah, te pa so pospeševalni dejavnik oksidacijskega staranja, pomeni vsako znižanje temperature tudi zmanjšanje oksidacijskega staranja. Zlasti je to pomembno, če vemo, da se večji del staranja izvrši med mešanjem asfaltnih zmesi, manjši del pa v času skladiščenja in transporta mešanice, poleg tega pa se nekaj dodatnega staranja izvrši še v času življenjske dobe vozišča.

Ker uporaba bitumenskega veziva z dodatkom sasobita omogoča mešanje asfaltnih zmesi pri do 30 °C nižjih temperaturah, se oksidacijska krivulja za celotno življenjsko dobo od proizvodnje na asfaltni bazi do izteka uporabe vozišča pomembno zniža.

#### **4.5 Skrajšan čas pripustitve prometa**

Znižana temperatura asfaltnih zmesi pri proizvodnji in vgrajevanju lahko zelo veliko pripomore v primerih časovne stiske.

Vgrajevanje asfaltnih zmesi zahteva dovolj visoko temperaturo zmesi, da se lahko zagotovi dovolj visoka zgoščenost same plasti. Da bi bila asfaltna plast sposobna prevzeti prometno obremenitev, se mora dovolj ohladiti, da bitumen otrdi. V večini primerov asfaltnih zmesi se mora plast na sredini ohladiti na vsaj 30 °C ali manj. V vročem poletnem času pomeni to tudi do 12 ur oziroma mirovanje preko noči.

V času nenehne stiske s časom je vsaka izgubljena ura zelo pomembna in tako s strani naročnikov kot izvajalcev ekonomsko izračunljiva. V cestogradbeni praksi je žal tako, da so asfaltna dela vedno na koncu in takrat skoraj vedno zmanjkuje časa, ki pa je seveda omejen. Pri novogradnjah ta problem ni tako velik kot pri sanacijah obstoječih cest, kjer je čas omejen s prometno zaporo ceste, ki je vnaprej določena in ni podaljšljiva.

Pri vgrajevanju asfaltnih zmesi, proizvedenih pri nižjih temperaturah, se čas, ko lahko pripustimo promet, skrajša na račun manjše začetne (vgrajevalne) temperature asfaltne zmesi. Ta je v primeru uporabe bitumnov, pripravljenih na osnovi sasobita, manjša za približno 30 °C.

#### **4.6 Zmanjšanje porabe energentov pri vgrajevanju**

Vgrajevanje asfaltnih zmesi obsega tri delovne postopke:

- dovoz asfaltne zmesi na delovišče (kamioni prekucniki),
- razgrinjanje in predzgostitev asfaltne zmesi (finišer),
- zgoščanje asfaltne zmesi (valjarji).

Nizkotemperaturne asfaltne zmesi, ki se vgrajujejo pri do 30 °C nižji temperaturi od običajnih, imajo pozitiven učinek na porabo energentov pri strojnem razgrinjanju in predzgoščevanju asfaltnih zmesi, medtem ko na dovoz in zgoščevanje asfaltnih zmesi nimajo doprinosa v smislu zmanjšane porabe goriva.

Razgrinjanje in predzgoščitev opravi finiše, ki za svoj pogon potrebuje dizelsko gorivo. Za ogrevanje vseh elementov predzgoščevanja razprostrte asfaltne zmesi se običajno uporablja plin, izjemoma tudi elektrika ali dizelsko gorivo (odvisno od tipa finišeja). Elementi, ki so na finišeju ogrevani, so nabijalne gredi in vibracijske plošče, temperatura, do katere jih je potrebno segreti, pa je neposredno odvisna od vrste oz. temperature asfaltne zmesi, ki se jo vgrajuje. Če se asfaltno zmes vgrajuje kontinuirano in preko celega dneva, se predzgoščevalne elemente finišeja ogreje samo na začetku vgrajevanja, saj se kasneje ogrevajo z asfaltno zmesjo. V primeru nekontinuiranega vgrajevanja pa je potrebno elemente predzgoščevanja stalno dogrevati oz. ogrevati, kar pa je v smislu porabe goriva bolj problematično.

Ker je potrebna temperatura za ogrevanja finišeja sorazmerna s temperaturo asfaltne zmesi, to pomeni, da uporaba oz. vgrajevanje nizkotemperaturnih zmesi prispeva k zmanjšanju porabe goriva za ogrevanje finišeja. Posledično to pomeni tudi manjkratno menjavo plinskih jeklenk (če se finiše ogreva s plinom), kar predstavlja predvsem prihranek časa.



## 5 PRAKTIČNI PRIMER

### 5.1 Opis

V času od 10. do 12. 10. 2005 smo v Cestnem podjetju Ljubljana izvajali preplastitev voziščne konstrukcije na cesti G2-104/1137 Spodnji Brnik–Moste (v dolžini 600 metrov od KM 1 + 000 do KM 1 + 600), in sicer kot preizkusno polje vgrajevanja nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi.

Zaradi primerljivosti rezultatov je bilo preizkusno polje razdeljeno na dve polovici. Na eni polovici so se vgrajevale običajne asfaltne zmesi pri običajnih temperaturah, na drugi polovici pa so se vgrajevale nizkotemperaturne asfaltne zmesi, pripravljene z vezivom, ki mu je bil predhodno dodan organski dodatek Sasobit.

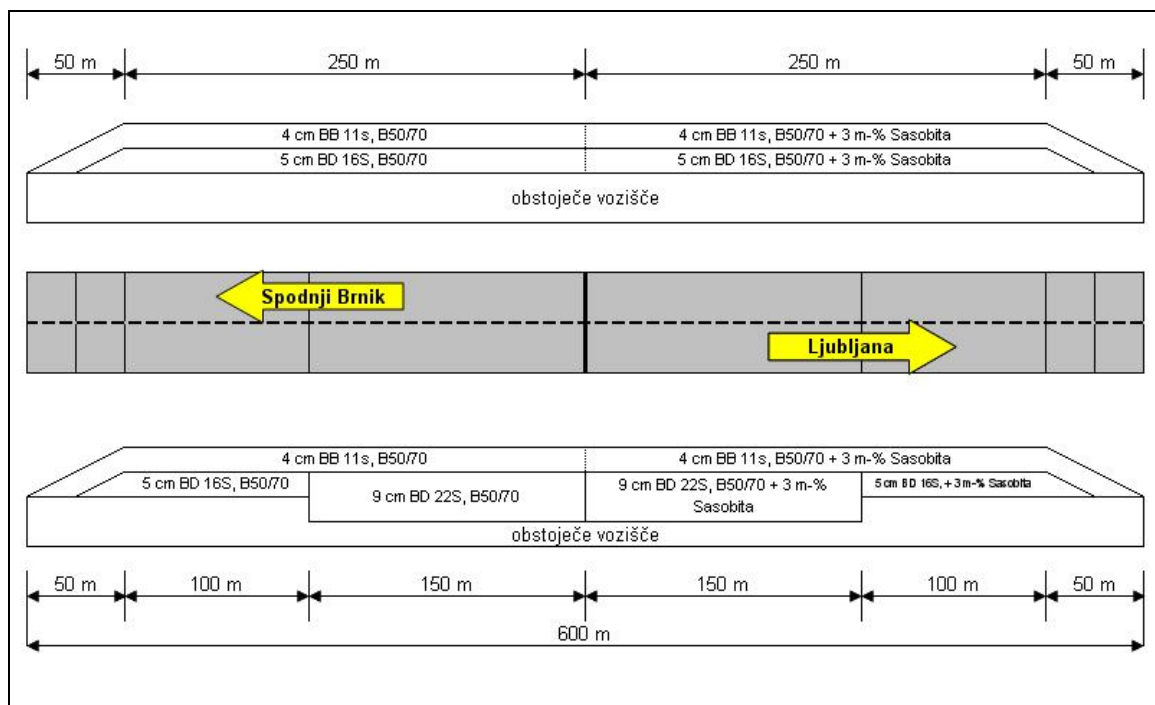
Odsek glavne ceste, na katerem smo izvajali preplastitev vozišča, na dan v povprečju prepelje 12000 vozil, kar se odraža tudi v stanju, v kakršnem je bilo vozišče pred preplastitvijo. Največ je bilo opaziti mrežastih in prečnih razpok, pojavljalo pa se je tudi že izletavanje kosov obrabno-zaporne asfaltne plasti (sliki 5.1 in 5.2). Obstoječa asfaltna plast je bila v povprečju debela 14,5 cm, sestavljena iz:

- 3,0 cm BB 11,
- 5,0 cm BD 22,
- 1,5 cm BB 5,
- 5,5 cm BD 25.



Slika 5.1 in 5.2: Poškodbe na vozišču pred preplastitvijo

Zaradi različnih možnih izvedb same preplastitve in kasnejših obnašanj se je na desnem voznem pasu v smeri Ljubljane v dolžini 300 m odrezkalo 4 cm asfaltne plasti in se jo nadomestilo z 9 cm BD 22S in 4 cm BB 11s. Na levi strani pa se je na celi dolžini izvedla le preplastitev s 5 cm BD 16S in 4 cm BB 11s. Celotna zasnova preizkusnega polja je prikazana na sliki 5.3. Skupna površina je zajemala 3600 m<sup>2</sup>.



Slika 5.3: Zasnova preizkusnega polja

Izvedene so bile naslednje preiskave:

- osnovnih bitumnov pred dodajanjem sasobita,
- bitumnov s 3 m.-% sasobita (pred proizvodnjo asfaltnih zmesi),
- proizvedenih in vgrajenih asfaltnih zmesi,
- meritve dimnih plinov in
- meritve porabe goriva pri proizvodni na asfaltnem obratu in
- meritve bitumenskih hlapov in aerosolov pri vgrajevanju.

## 5.2 Bitumenska veziva

Za pripravo običajnih asfaltnih zmesi smo uporabili cestogradbeni bitumen B50/70, za pripravo asfaltnih zmesi pri nižani temperaturi pa smo uporabili cestogradbeni bitumen B50/70, ki smo mu predhodno dodali 3 m.-% organskega dodatka Sasobit. Pripravo bitumenskega veziva (vmešanje sasobita v bitumen) je izvedlo podjetje IMS Aditoil v Lažah. Preiskave obeh vrst bitumnov so zajemale:

- penetracijo pri 25 °C,
- zmehčišče po PK,
- duktilnost pri 25 °C,
- točko loma po Fraassu,
- ekviviskozno temperaturo in
- gostoto.

Rezultati preiskav obeh vrst bitumnov so prikazani v razpredelnici 5.1.

Razpredelnica 5.1: Rezultati preiskav bitumna B50/70 in B50/70 + 3 m.-% sasobita

	Enota mere	Osnovni bitumen B50/70	Bitumen B50/70 + 3 m.-% sasobita
Penetracija pri 25 °C	0,1 mm	62,0	42,0
Zmehčišče	°C	51,3	77,7
Ekviviskozna temperatura:			
EVT <sub>(170)</sub>	°C	161,8	153,9
EVT <sub>(280)</sub>	°C	148,6	141,2
Pretrgališče po Fraassu	°C	-20,0	-9,5
Duktilnost pri 25 °C, (5 cm/min)	cm	100	84
Gostota pri 25 °C	g/cm <sup>3</sup>	1,0122	1,0082

Pozitivni vpliv dodatka Sasobit na lastnosti bitumna se je pokazal pri:

- znižanju penetracije (vrednost penetracije bitumna z dodanim sasobitom se je znižala za 32,3 %);
- zvišanju zmečkaišča po PK (glede na osnovni bitumen se je zmečkaišče zvišalo za 51,5 %);
- znižanju viskoznosti.

Negativni vpliv dodatka Sasobit pa se je pokazal pri:

- zvišanju točke loma po Fraassu (točka loma po Fraassu se je zvišala za 10,5 °C oz. za 52,5 %, kar ne potrjuje navedb, da sasobit nima negativnih vplivov na lastnosti pri nizkih temperaturah),
- znižanju duktilnosti.

### **5.3 Proizvodnja asfaltnih zmesi**

Proizvodnja vseh asfaltnih zmesi je potekala v asfaltnem obratu Cestnega podjetja Ljubljana v Podutiku z nazivno kapaciteto 100 t/h. Asfaltni zmesi smo proizvajali po predhodnih sestavah, določenih za vsako vrsto asfaltni zmesi (razpredelnica 5.2). Za asfaltni zmesi BD 16S in BD 22S sta bili predhodni sestavi narejeni le z običajnim vezivom B50/70, medtem ko se je za asfaltno zmes BB 11s poleg predhodne sestave z običajnim bitumnom B50/70 preiskala tudi predhodna sestava z uporabljenim bitumnom B50/70 z dodanim sasobitom pri štirih različnih temperaturah. Odločili smo se za temperaturo mešanja nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi, ki je za 25 °C nižja od običajne, vendar smo kasneje pri mešanju v povprečju dosegli le 20 °C nižjo temperaturo.

Uporabljene zmesi kamnitih zrn za nosilne plasti BD 16S in BD 22S so bile sestavljene iz izključno drobljenih frakcij karbonatnih kamnin (0/4 – grobi pesek, 4/8, 8/11, 11/16 in 16/22) in polnila z razmerjem lastnega proti tujem (karbonatnem) 60 : 40. Pri asfaltni zmesi BB 11s pa je zmes kamnitih zrn sestavljena iz drobljene frakcije 0/2 karbonatnega izvora, drobljenih frakcij 2/4, 4/8 in 8/11 iz silikatnih kamnin (diabaz) in polnila v razmerju lastnega proti tujemu 30 : 70.

Razpredelnica 5.2: Rezultati preiskav predhodnih sestav

Predhodna sestava	Temperatura preizkusa	Vsebnost bitumna [m.-%]	Stabilnost [kN]	Tečenje [mm]	Prostorn. masa [g/cm <sup>3</sup> ]	Spec. prost. masa [g/cm <sup>3</sup> ]	Vsebnost celo. votlin [V.-%]	Vsebnost votlin v zmesi kamn. zrn [V.-%]	Zapolnjenost votlin v zmesi kamn. zrn [V.-%]
BD 16S									
B50/70	150 °C	4,1	10,2	3,1	2,396	2,546	5,9	15,5	61,9
BD 22S									
B50/70	150 °C	3,7	10,3	3,1	2,390	2,569	7	15,6	55,2
BB 11s									
B50/70	150 °C	5,1	11,1	4,1	2,523	2,618	3,6	16,1	77,6
B50/70 + 3 m.-% sasobita	145 °C	5,1	11,8	4,4	2,550	2,616	2,5	15,2	83,6
	135 °C	5,1	10,9	4,5	2,548	2,616	2,6	15,2	83,6
	125 °C	5,1	10,6	4,8	2,539	2,616	2,9	15,5	81,3
	115 °C	5,1	10,2	4,5	2,531	2,616	3,2	15,8	79,7

Rezultati preizkusov asfaltnih zmesi z uporabo Sasobita oz. brez njega so prikazani v razpredelnici 5.3. Preizkušanci so bili za bitumen B50/70 pripravljene pri t.i. standardni temperaturi, to je 150 °C, medtem ko je za bitumen B50/70 + 3 m.-% Sasobita temperatura preizkusa znašala pri BD 16S 140 in 150 °C, pri BD 22S in BB 11s pa 135 in 120 °C.

Razpredelnica 5.3: Lastnosti proizvedenih asfaltnih zmesi

Lastnosti proizvedene asfaltne zmesi	Temperatura preizkusa	Vsebnost bitumna [m.-%]	Stabilnost [kN]	Tečenje [mm]	Prostorn. masa [g/cm <sup>3</sup> ]	Spec. prost. masa [g/cm <sup>3</sup> ]	Vsebnost celo. votlin [V.-%]	Vsebnost votlin v zmesi kamn. zrn [V.-%]	Zapolnjenost votlin v zmesi kamn. zrn [V.-%]
BD 16S									
B50/70	150 °C	4,0	10,8	3,2	2,367	2,557	7,4	16,6	55,4
B50/70 + 3 m.-% sasobita	140 °C	3,9	11,2	3,6	2,391	2,559	6,6	15,6	58,0
	130 °C	3,9	9,7	3,2	2,387	2,559	6,7	15,8	57,4
BD 22S									
B50/70	150 °C	3,5	9,9	3,6	2,366	2,564	7,7	15,8	51
B50/70 + 3 m.-% sasobita	135 °C	3,5	8,9	3,0	2,359	2,563	8,0	16,0	50,3
	120 °C	3,5	7,8	3,0	2,349	2,563	8,3	16,4	48,9
BB 11s									
B50/70	150 °C	5,2	13,8	4,5	2,501	2,608	4,1	16,8	75,5
B50/70 + 3 m.-% sasobita	135 °C	5,0	11,8	4,3	2,531	2,614	3,2	15,5	79,5
	120 °C	5,0	11,2	4,5	2,525	2,614	3,4	15,7	78,5

Rezultati preiskav proizvedenih asfaltnih zmesi kažejo dobro ujemanje s predhodnimi sestavami in ustrezno kakovost nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi, ki je povsem primerljiva z običajnimi asfaltnimi zmesmi, proizvedenimi pri 20 oz. 30 °C višjimi temperaturami. Najboljše rezultate smo dosegli pri asfaltni zmesi BB 11s, kjer je prostorninska masa asfaltne zmesi, proizvedene pri 30 °C nižji temperaturi, še vedno za 27 kg/m<sup>3</sup> višja v primerjavi z običajno asfaltno zmesjo. Iz rezultatov je razvidno tudi, da se prostorninske mase pri nizkotemperaturnih asfaltnih zmesih izrazito znižujejo z višanjem nazivne frakcije asfaltne zmesi.

### **5.3.1 Meritve dimnih plinov**

Ena od navedb dobaviteljev dodatka Sasobit je, da uporaba bitumenskih veziv z dodanim sasobitom pri proizvodnji asfaltnih zmesi pomembno vpliva na količino emisij dimnih plinov. Namen meritev je bil primerjati meritve dimnih plinov pri proizvodnji običajnih in nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi. Meritve dimnih plinov je izvedlo podjetje Elektroinštitut Milan Vidmar iz Ljubljane, in sicer 11. 10. 2006 pri proizvodnji bituminiziranih drobljencev BD 16S in BD 22S.

Za odvzem vzorcev dimnih plinov je bila uporabljena obstoječa odprtina v dimovodnem kanalu, kamor so namestili merilnik (analizator dimnih plinov). Merilnik je omogočal neprekinjen odvzem in analizo vzorcev plinov in je sekundno beležil njihove vrednosti. Čas trajanja meritev je pri običajnih asfaltnih zmesih trajal 36 minut, pri nizkotemperaturnih asfaltnih zmesih pa 54 minut. Kasneje so se te vrednosti statistično obdelale in so kot rezultat emisijskih vrednosti dimnih plinov skupaj z vrednostmi porabe goriva prikazane v razpredelnici 5.4.

Razpredelnica 5.4: Rezultati meritev dimnih plinov

Asfaltna zmes	Enota mere	Bitumen B50/70		Bitumen B50/70 + 3 m.-% sasobita		Razlika	
		BD 16S	BB 11s	BD 16S	BB 11s	BD 16S	BB 11s
		BD 22S		BD 22S		BD 22S	
Temperatura proizvedene asfaltne zmesi	°C	171	164	152	144	19	20
		165		144		21	
Emisije dimnih plinov:							
- ogljikov monoksid (CO)	mg/m <sup>3</sup>	1117,6		487,7		629,9	
- dušikov dioksid (NO <sub>2</sub> )	mg/m <sup>3</sup>	82,4		32,5		49,9	
- žveplov dioksid (SO <sub>2</sub> )	mg/m <sup>3</sup>	47,6		26,5		21,1	

Vrednosti izmerjenih koncentracij emisij dimnih plinov pri proizvodnji nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi v primerjavi z običajnimi asfaltnimi zmesmi izkazujejo naslednje rezultate:

- vrednosti ogljikovega dioksida so se zmanjšale za 56 %;
- vrednosti dušikovih oksidov, izraženih kot NO<sub>2</sub>, so se zmanjšale za 61 %;
- vrednosti žveplovih oksidov, izraženih kot SO<sub>2</sub>, so se zmanjšale za 44 %.

### 5.3.2 Meritve porabe goriva

Zmanjšana poraba goriva pri proizvodnji nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi v ekonomskem pogledu predstavlja glavni podatek za asfaltersko industrijo.

Količino porabljenega goriva smo beležili samo za sušilni boben, in sicer preko pretočnega števca. Asfaltni obrat v Podutiku za sušenje zmesi kamnitih zrn uporablja lahko kurilno olje.

Razpredelnica 5.5: Rezultati meritev porabe goriva

Asfaltna zmes	Enota mere	Bitumen B50/70		Bitumen B50/70 + 3 m.-% sasobita		Razlika	
		BD 16S	BB 11s	BD 16S	BB 11s	BD 16S	BB 11s
		BD 22S		BD 22S		BD 22S	
Temperatura proizvedene asfaltne zmesi	°C	171	164	152	144	19	20
		165		144		21	
Poraba goriva za sušenje oz. segrevanje zmesi kamnitih zrn	lit./t	6,1	6,8	4,9	6,0	1,2	0,8
		5,6		4,9		0,7	

Iz rezultatov porabe goriva je razvidno, da je bila pri povprečno 20 °C nižji temperaturi proizvodnje nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi poraba lahkega kurilnega olja nižja za 14,6 %, kar predstavlja skoraj linearno zvezo med znižanjem temperature proizvodnje asfaltnih zmesi in porabo goriva. Hkrati se je z zmanjšanjem porabe goriva za 14,6 % v enakem deležu zmanjša tudi količina emitiranega CO<sub>2</sub>, saj je njegova količina neposredno odvisna od količine porabljenega goriva.

#### **5.4 Vgrajevanje asfaltnih zmesi**

Vgrajevanje asfaltnih zmesi je potekalo tri dni, in sicer 10., 11. in 12. 10. 2006. Vremenske razmere so bile dobre, vreme je bilo sončno, s temperaturami do 19 °C in vetrom, ki je dosegal maksimalno hitrost 1,7 m/s in je pihal iz smeri, pravokotno na smer vgrajevanja (od jugozahoda proti severovzhodu). Pri vgrajevanju smo uporabljali naslednjo mehanizacijo:

- finišer ABG Titan 326,
- tandem vibracijski valjar BW 174 z obratovalno težo 11 t,
- kombinirani vibracijski valjar BW138 z obratovalno težo 4 t.

Vsak sloj asfaltne zmesi je bil vgrajen na predhodno očiščeno in pobrizgano površino s 40-odstotno kationsko bitumensko emulzijo. Vgrajevalna širina je bila 3 m.

Meritve prostorninskih mas asfaltnih plasti so bile izvedene z izotopskim merilnikom (skupaj je bilo izvedenih 60 meritev). Odvzeta pa so bila tudi asfaltna jedra premera 200 mm, na katerih so bile opravljene preiskave tvorbe kolesnic, t. i. Hamburg Wheel Tracking Test. Preiskava tvorbe kolesnic je bila izvedena po metodi EN 12697-22 (mala naprava v vodnem mediju) pri 60 °C. Kot rezultat preiskave se podaja hitrost tvorbe kolesnic (WTR) v mm na 1000 prehodov. Preiskavo je izvedel ZAG Ljubljana.

Rezultati meritev z izotopskim merilnikom so skupaj z izračunanimi vrednostmi zgoščenosti plasti, vsebnosti votlin v plasteh, temperaturami asfaltnih zmesi pri vgrajevanju in rezultati preiskave tvorbe kolesnic prikazani v razpredelnici 5.5.



Razpredelnica 5.6: Lastnosti vgrajenih asfaltnih zmesi in temperature vgrajevanja

	Enota mere	Bitumen B50/70		Bitumen B50/70 + 3 m.-% Sasobita		Razlika	
		BD 16S	BB 11s	BD 16S	BB 11s	BD 16S	BB 11s
		BD 22S		BD 22S		BD 22S	
Temperatura asfaltne zmesi pri vgrajevanju	°C	154 161	155	138 136	132	16 25	23
Prostorninska masa asfaltne plasti	g/cm <sup>3</sup>	2,331 2,363	2,464	2,359 2,368	2,495	+ 0,028 + 0,005	+ 0,031
Zgoščenost plasti	%	98,5 99,9	98,5	98,8 100,8	98,7	- 0,3 - 0,9	- 0,2
Vsebnost votlin v plasti	V.-%	8,8 7,8	5,5	7,8 7,6	5,1	- 1,0 - 0,2	- 0,4
Tvorba kolesnic (Hamburg Wheel Tracking Test):							
Debelina plasti	cm	3,7	/	3,7	/		
		6,2		6,6			
Globina kolesnice	mm	9,7	/	3,1	/	6,6	
		8,2		5,7		2,5	
Odstotek kolesnice glede na debelino plasti	%	26,2	/	8,4	/		
		13,2		8,6			
Hitrost tvorbe kolesnic	mm/1000	0,26	/	0,12	/		
		0,64		0,34			

Rezultati preiskav vgrajenih nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi zadoščajo pogojem, ki so določeni v Tehničnih specifikacijah za bitumenske betone in bituminizirane drobljence, in hkrati izkazujejo povsem primerljive oz. boljše rezultate vgradljivosti pri tudi 25 °C nižji temperaturi vgrajevanja od običajne. Zvišanje stopnje zgoščenosti in zmanjšanje vsebnosti votlin v plasteh pri nizkotemperaturnih asfaltnih zmesih potrjuje navedbe o izboljšanju obdelovalnosti asfaltnih zmesi, pripravljenih z vezivom na osnovi dodanega sasobita.

Iz rezultatov tvorbe kolesnic na asfaltnih jedrih zgornjih nosilnih plasti bituminiziranih drobljencev BD 22S in BD 16S je razvidno, da se je pri nizkotemperaturnih zmesih globina kolesnice res zmanjšala, in sicer pri BD 16S, kjer so rezultati najbolj primerljivi zaradi enake debeline plasti, za 68 %, in pri BD 22S za 34,5 %, hitrosti tvorbe kolesnic pa so se pri obeh zmesih zmanjšale za približno polovico. Preiskava obrabno-zaporne plasti bitumenskega betona BB 11s je zaradi tehnične težave na asfaltnem obratu (slabo tesnjenje lopute za

dodajanje kamene moke, zaradi česar je bilo v asfaltne zmesi dodane preveč) izkazala neprimerljive rezultate (prevelike kolesnice), zato jih v podanih rezultatih ne navajam.

### 5.5 Meritve bitumenskih hlapov in aerosolov

V okviru preiskav nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi pri vgrajevanju je 11. 10. 2006 nemško podjetje BG BAU izvajalo meritve bitumenskih hlapov in aerosolov pri vgrajevanju klasičnih in nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi bituminiziranih drobljencev BD 16S in BD 22S.

Meritve so se izvajale na treh točkah:

- na mestu voznika finišeja (levo),
- na mestu desnega upravljalca vibracijske plošče,
- na mestu levega upravljalca vibracijske plošče.

V času izvajanja meritev je bilo vreme sončno, temperatura zraka je bila 19 °C, hitrost vetra pa je v povprečju pri vgrajevanju klasičnih asfaltnih zmesi znašala 0,9 m/s, pri nizkotemperaturnih zmesih pa 1,2 m/s. Rezultati meritev so prikazani v razpredelnici 5.5.

Razpredelnica 5.7: Vrednosti meritev bitumenskih hlapov in aerosolov in temperature asfaltnih zmesi pri vgrajevanju

Asfaltna zmes	Enota mere	Bitumen B50/70	Bitumen B50/70 + 3 m.-% sasobita	Razlika
		BD 16S, BD 22S	BD 16S, BD 22S	BD 16S, BD 22S
Temperatura vgrajevanja	°C	167,5	142,9	24,6
Aerosoli: Bitumenske pare + aerosoli:				
- upravljalca vibracijske plošče, levo	mg/m <sup>3</sup>	< 1,17 9,4	< 0,61 5,1	4,3
- upravljalca vibracijske plošče, desno	mg/m <sup>3</sup>	< 0,16 2,7	< 1,17 2,7	0
- voznik finišeja, levo	mg/m <sup>3</sup>	< 1,17 3,8	< 1,17 2,8	1,0

Pri vrednotenju rezultatov je potrebno upoštevati, da je v času meritev smer vetra potekala od desne proti levi v smeri vgrajevanja in tako nekoliko "popačila" rezultate. Posledica smeri vetra je relativno visoka vrednost bitumenskih hlapov in aerosolov, izmerjenih pri levem upravljalcu deske, in enaki vrednosti pri desnem upravljalcu deske. Na mestu voznika finišeja so se vrednosti bitumenskih hlapov in aerosolov pri nizkotemperaturnih asfaltnih zmesih znižale za 45,7 %, pri levem upravljalcu deske pa za 26,3 %.

Iz rezultatov je razvidno, da bi vgrajevanje nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi pomenilo skoraj za polovico manj bitumenskih hlapov in aerosolov, ki so jim izpostavljeni delavci pri vgrajevanju in okolje oz. narava.

## 5.6 Zaključek

Zaključek je ugotovitev, da asfaltne zmesi, pripravljene na osnovi sasobita, dejansko omogočajo vgrajevanje pri nižjih temperaturah od običajnih in so hkrati bolj prijazne do človeka in okolja. Z dobljenimi rezultati na primeru iz prakse smo strokovno podprli teoretične navedbe in tako spodbudili asfaltno industrijo k večji proizvodnji nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi. Edini zadržek so slabše lastnosti bitumnov z dodanim sasobitom pri nizkih temperaturah, ki pa pri nas niso zanemarljivo majhne.

Za asfaltno industrijo predstavlja največji pozitiven učinek teh zmesi prepolovljen vpliv onesnaževanja okolja ter zmanjšan vpliv bitumenskih hlapov na ljudi. Drugi največji pozitiven vpliv, ki pa ni tako velik, je seveda ekonomski učinek. Ta je ob upoštevanju zmanjšanja porabe goriva velik, vendar pa strošek dodatka bitumnu ni majhen. Če ob tem upoštevamo še dejstvo, da so bile proizvedene količine nizkotemperaturnih asfaltnih zmesi premajhne za izmero dejanske porabe goriva, je ta prihranek še manjši. Mislim, da je to edini razlog, zakaj se tovrstne nizkotemperaturne asfaltne zmesi ne proizvajajo v večji meri.

## VIRI

- Arnold, J. C. 2006. Temperaturreduzierter Asphalt mit Fischer-Tropsch-Paraffin: Erste slowenische Erprobungsstrecke in der Nähe von Ljubljana. Asphalt, Heft 1:19-23.
- Cotič, Z. 2005. Primeri asfaltnih zmesi za različne pogoje uporabe. V: 10. kolokvij o asfaltnih in bitumnih. Kranjska Gora 2005, Združenje asfalterjev Slovenije: str.229-239.
- Damm, K.-W., et al. 2002. Asphaltverflüssiger als »intelligenter Füller« für den Heißeinbau – ein neues Kapitel in der Asphaltbauweise. Bitumen 64,1:19-29.
- Emmel, C., Kunzelmann, S. 2005. Bericht über die Messung von Gefahrstoffen in der Luft in Arbeitsbereichen. Poročilo o preskusu. München, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit: 12 f.
- Iljaž, K. 2005. Gospodarski vidiki nizkotemperaturnih asfaltov. V: 10. kolokvij o asfaltnih in bitumnih. Kranjska Gora 2005, Združenje asfalterjev Slovenije: str. 258-262.
- Kosi, I. 2003. Poročilo in ocena o emisiji snovi v zrak iz kurilne naprave- asfaltna baza Podutik. Poročilo o preiskusu.Ljubljana, Komplast d.o.o.: 12 f.
- Kosi, I. 2004. Poročilo in ocena o emisiji snovi v zrak iz kurilne naprave. Poročilo o preiskusu.Ljubljana, Komplast d.o.o.: 12 f.
- Landa, P.A., Kneepkens, T., Zwan, J. 2004. Low temperature-asphalt, a production process with the possibility to produce and pave hot mix asphalt at temperatures below 100 °C or 212 °F. V: 3<sup>rd</sup> Eurasphalt & Eurobitume Congress Vienna 2004, Bruselj, EAPA: knjiga 1, str. 1027-1033.
- Larsen, O.R., et al.2004. Wam foam asphalt production at lower operating temperatures as an environmental friendly alternative to HMA. V: 3<sup>rd</sup> Eurasphalt & Eurobitume Congress Vienna 2004, Bruselj, EAPA: knjiga 1, str. 641-650.
- Ljubič, A., Willenpart, B. 2004. Nizkotemperaturni asfalti. V: 9. kolokvij o asfaltnih in bitumnih. Kranjska Gora 2004, Združenje asfalterjev Slovenije: str.9-25.
- Lukač, B. 2001. Okoljski vidiki pri proizvodnji in vgrajevanju asfaltnih zmesi. V: 6. kolokvij o bitumnih. Gozd Martuljek 2001, Združenje asfalterjev Slovenije: str.60-69
- SIST EN 12591. 2004. Bitumen in bitumenska veziva – Specifikacije za cestogradbene bitumne: 19 str.

Taube, A. 2004. Nizkotemperaturni asfalti- tehnologije, možnosti in omejitve pri uporabi. V: 9. kolokvij o asfaltih in bitumnih. Kranjska Gora 2004, Združenje asfalterjev Slovenije: str.26-32.

TSC 06.730: 2001 Predhodna sestava asfaltne zmesi: 16 str.

TSC 06.411: 2003 Vezane asfaltne obrabne in zaporne plasti Bitumenski betoni: 30 str.

TSC 06.412: 2001 Vezane obrabne in zaporne plasti Drobir z bitumenskim mastiksom: 17 str.

TSC 06.310: 2001 Vezane zgornje nosilne in nosilnoobrabne plasti z bitumenskimi vezivi: 27 str.

Uredba o emisiji snovi v zrak iz kurilnih naprav. UL RS, št. 73/94.

Uredba spremembah in dopolnitvah uredbe o emisiji snovi v zrak iz kurilnih naprav. UL RS, št. 51/98, 83/98, 105/00.

Willenpart, B., et al. 2000. 3. regijsko izobraževanje tehničnega asfalterskega kadra. Povzetki predavanj. Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije: 58 f.

Završan M., Škantar J., Dremelj B. 2005. Meritve emisijskih koncentracij in pretoka odpadnih plinov na asfaltni bazi Podutik. Poročilo o preskusu. Trzin, Ims aditoil: 13 f.

Žmavc, J. (Ur), Čulič, B. (Ur). 2003. Varovanje zdravja delavcev in okolja v asfalterski industriji. Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije: 60 str.

### **Spletne strani:**

The German Bitumen forum - Co-operation in partnership  
<http://www.gisbau.de/bitumen/Wien.pdf> (28.05.2005)

Warm mix asphalt technologies and research  
<http://www.fhwa.dot.gov/pavement/wma.htm> (13.04.2005)

Cestno podjetje Ljubljana  
<http://www.cp-lj.si> (17. 08. 2005)

Verbesserung der Verdichtbarkeit von Asphalt durch Sasobit  
<http://www.eng.auburn.edu/center/ncat/reports/rep05-06.pdf> (09.06.2005)

Niedrigtemperatur-asphalt  
<http://www.gisbau.de/bitumen/Niedrigtemp.pdf> (09.06.2005)

Sasol  
<http://www.sasolwax.com> (10.06.2005)