

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,  
diferencialni 3.1 po VŠ-VSS

Kandidat:

**Jure Jančič**

# **Analiza poteka gradbene investicije skozi posamezne faze graditve za izbrani objekt**

**Diplomska naloga št.: 353**

**Mentor:**

izr. prof. dr. Jana Šelih

**Somentor:**

viš. pred. dr. Aleksander Srdić

Ljubljana, 30. 11. 2009

## ERRATA

| <b>Stran z napako</b> | <b>Vrstica z napako</b> | <b>Namesto</b> | <b>Naj bo</b> |
|-----------------------|-------------------------|----------------|---------------|
|-----------------------|-------------------------|----------------|---------------|

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani JELINČIČ JURE izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:  
»RECIKLIRANJE BITUMINIZIRANIH ZMESI PO VROČEM POSTOPKU«.

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske  
separatoteke FGG.

Ajdovščina, 13.8. 2009

**BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK****UDK:** 625.85(043.2)**Avtor:** Jure Jelinčič**Mentor:** prof. dr. Janez Žmavc**Naslov:** Recikliranje bituminiziranih zmesi po vročem postopku**Obseg in oprema:** 90 str., 2 pregl., 21 sl.**Ključne besede:** Recikliranje, voziščne konstrukcije, bituminizirane plasti, saržni postopek proizvodnje, neprekinjeni postopek izdelave.**Izvleček**

Diplomsko delo obravnava recikliranje bitumenskih zmesi. Osredotoča se na reciklažo po vročem postopku v asfaltnem obratu. Najprej so predstavljene najznačilnejše poškodbe, ki nastanejo na vozni površini. Kadar te poškodbe pričnejo slabšati prometno varnost je potrebna obnova vozišča. V naslednjem poglavju so predstavljeni trije najznačilnejši postopki recikliranja bitumenskih vozišč (reciklaža na licu mesta; vroči in hladni postopek ter recikliranje po hladnem postopku v asfaltni bazi). Predstavljena je tudi izbira predhodne sestave v kateri se določi vsebnost bitumna in zmes kamnitih zrn. Pri predhodni sestavi je potrebno predvideti tudi kam se bo po preteku življenjske dobe odpeljalo odpadni material. Peto poglavje se v celoti nanaša na recikliranje bitumenskih zmesi po vročem postopku v asfaltnem obratu. Predstavljena sta oba načina polnjenja (saržni in kontinuirani) in tehnične spremembe, ki so potrebne na asfaltnih bazah, da postanejo primerne za uporabo asfaltnega granulata. V Sloveniji se uporablja le saržni način polnjenja, ki je tudi primernejši za vozišča, ki so obremenjena z največjimi prometnimi obremenitvami. Dodano je poglavje o emisijah, ki se sproščajo pri proizvodnji asfaltnih zmesi. V zadnjem poglavju so predstavljeni novejši postopki ki obljublajo še večji odstotek uporabljenega asfaltnega granulata.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 625.85(043.2)

**Author:** Jure Jelinčič

**Supervisor:** prof. dr. Janez Žmavc

**Title:** Recycling asphalt thru hot process

**Notes:** 90 p., 2 tab., 21 fig.

**Key words:** Recycling, road surface, bituminous layers, asphalt batch plant, continuous asphalt plant.

### **Abstract**

The diploma thesis focus on recycling asphalt thru hot process in the asphalt plant. In the second chapter there are represented the most common road pavement distresses. It is only when distresses start to degrade the level of service for the road when road recycling starts to become an option. In the third chapter are described all the most common recycling methods in the asphalt industry. There are brief description about hot in place and cold in place recycling methods and there is also something about cold in plant recycling. The fourth chapter is entirely focused on making the best asphalt mix by choosing the right amount of bitumen and the right amount of aggregate. Slovenian law states, that when we are planning on building a road in the project there must be stated where the waste materials are going to be deposited. The next chapter is all about recycling asphalt thru hot process in the asphalt mixing plant. Batch mixing plants are the only ones present in Slovenia but in this paper are describe the continuous also. The whole process of making and mixing the aggregate and bitumen are fully described. In this paper there is also a chapter about emission caused by asphalt mixing plants and the danger that this emissions have on people.

## ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. J. Žmavcu. Hvala tudi univ. dipl. inž. Mitji Čotarju za gradivo in pomoč pri iskanju terminoloških izrazov.

Zahvala gre tudi družini za pomoč in podporo v času izdelave naloge, pa tudi v celotnem času študija.

## KAZALO VSEBINE

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>UVOD</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>POŠKODBE NA ASFALTNIH VOZIŠČIH</b>   | <b>4</b>  |
| 2.1      | Vzroki  | 4         |
| 2.1.1    | Obremenitve   | 4         |
| 2.1.2    | Pomanjkljivosti izvedbe   | 5         |
| 2.1.3    | Vzdrževanje   | 7         |
| 2.1.4    | Uporaba   | 8         |
| 2.2      | Značilne vrste poškodb  | 8         |
| 2.2.1    | Preoblikovanja  | 8         |
| 2.2.2    | Razpoke   | 10        |
| 2.2.3    | Razgraditve   | 12        |
| 2.2.4    | Poškodbe površine   | 14        |
| <b>3</b> | <b>POSTOPKI ZA RECIKLIRANJE BITUMINIZIRANIH ZMESI</b>                               | <b>16</b> |
| 3.1      | Recikliranje bituminiziranih zmesi po vročem postopku na licu mesta                 | 16        |
| 3.1.1    | Recikliranje vozišča  | 17        |
| 3.1.2    | Obnavljanje vozišča   | 17        |
| 3.1.3    | Spreminjanje sestave vozišča  | 17        |
| 3.2      | Recikliranje bituminiziranih zmesi po hladnem postopku v asfaltnem obratu           | 18        |
| 3.3      | Recikliranje bituminiziranih zmesi po hladnem postopku na licu mesta                | 21        |
| 3.3.1    | Način izvedbe   | 21        |
| 3.3.2    | Veziva  | 23        |
| 3.3.3    | Primer uporabe recikliranja bituminiziranih zmesi po hladnem postopku na licu mesta | 23        |
| <b>4</b> | <b>NAČRTOVANJE PREDHODNE SESTAVE BITUMINIZIRANIH ZMESI</b>                          | <b>29</b> |
| 4.1      | Pogoji projektiranja  | 31        |
| 4.2      | Priprava in preizkusi vhodnih podatkov  | 32        |
| 4.2.1    | Kamena moka   | 32        |
| 4.2.2    | Pesek   | 33        |
| 4.2.3    | Drobir in prod  | 33        |
| 4.2.4    | Bitumen   | 33        |

---

|               |   |           |
|---------------|---|-----------|
| <b>4.2.5</b>  | <b>Naravni asflat</b>   | <b>34</b> |
| <b>4.2.6</b>  | <b>Asfaltni granulati</b>   | <b>34</b> |
| <b>4.2.7</b>  | <b>Dodatki</b>  | <b>35</b> |
| <b>4.3</b>    | <b>Kakovost materialov</b>  | <b>35</b> |
| <b>4.3.1</b>  | <b>Kamniti material</b>   | <b>35</b> |
| <b>4.3.2</b>  | <b>Bitumen</b>  | <b>35</b> |
| <b>4.3.3</b>  | <b>Asfaltni granulati</b>   | <b>36</b> |
| <b>4.4</b>    | <b>Postopek projektiranja</b>   | <b>38</b> |
| <b>4.5</b>    | <b>Poročilo o predhodni sestavi</b>   | <b>39</b> |
| <b>5</b>      | <b>RECIKLIRANJE BITUMINIZIRANIH ZMESI PO VROČEM POSTOPKU V ASFALTNEM OBRATU</b> | <b>41</b> |
| <b>5.1</b>    | <b>Odstranjevanje obstoječe bituminizirane plasti</b>                           | <b>41</b> |
| <b>5.1.1</b>  | <b>Hladno rezkanje</b>  | <b>41</b> |
| <b>5.1.2</b>  | <b>Strganje</b>   | <b>41</b> |
| <b>5.1.3</b>  | <b>Drobljenje in shranjevanje</b>   | <b>42</b> |
| <b>5.2</b>    | <b>Proizvodnja bituminiziranih zmesi v obratu s saržnim načinom polnjenja</b>   | <b>45</b> |
| <b>5.2.1</b>  | <b>Hladni predozatorji</b>  | <b>45</b> |
| <b>5.2.2</b>  | <b>Shranjevanje kamnitega polnila</b>   | <b>45</b> |
| <b>5.2.3</b>  | <b>Skladiščenje veziva</b>  | <b>45</b> |
| <b>5.2.4</b>  | <b>Sušilni bobeni za agregat</b>  | <b>46</b> |
| <b>5.2.5</b>  | <b>Odpraševalna naprava</b>   | <b>47</b> |
| <b>5.2.6</b>  | <b>Vroči elevator</b>   | <b>48</b> |
| <b>5.2.7</b>  | <b>Vibracijska sita</b>   | <b>49</b> |
| <b>5.2.8</b>  | <b>Vroči silosi</b>   | <b>49</b> |
| <b>5.2.9</b>  | <b>Tehtnica</b>   | <b>50</b> |
| <b>5.2.10</b> | <b>Mešanje zmesi zrn in veziva</b>  | <b>52</b> |
| <b>5.2.11</b> | <b>Bituminizirana mešanica iz asfaltne granulate</b>                            | <b>53</b> |
| <b>5.2.12</b> | <b>Shranjevanje bituminizirane zmesi</b>  | <b>55</b> |
| <b>5.3</b>    | <b>Proizvodnja bituminiziranih zmesi po neprekinjenem postopku</b>              | <b>56</b> |
| <b>5.3.1</b>  | <b>Mešalno – sušilni bobeni</b>   | <b>57</b> |
| <b>5.3.2</b>  | <b>Dodajanje veziva v mešalno – sušilni bobeni</b>                              | <b>61</b> |
| <b>5.3.3</b>  | <b>Polnilo</b>  | <b>62</b> |
| <b>5.3.4</b>  | <b>Dodajanje asfaltne granulate</b>   | <b>62</b> |



|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>5.3.5</b> | <b>Produktivnost asfaltnega obrata</b>   | <b>67</b> |
| <b>5.4</b>   | <b>Emisije</b>   | <b>69</b> |
| <b>5.5</b>   | <b>Preizkušanje bituminiziranih zmesi z različnim deležem asfaltnega granulata</b> | <b>71</b> |
| <b>5.5.1</b> | <b>Rezultati</b>   | <b>71</b> |
| <b>6</b>     | <b>ZAKLJUČEK</b>   | <b>75</b> |
|              | <b>VIRI</b>  | <b>76</b> |

**KAZALO PREGLEDNIC**

|  |    |
|--|----|
| Preglednica 1: Pregled zahtevanih, projektiranih in doseženih lastnosti hladne reciklaže ..... | 27 |
| Preglednica 2: Temperatura skladiščenja za bitumensko vezivo .....                             | 46 |

## KAZALO SLIK

|   |    |
|---|----|
| Slika 1: Kolesnice  | 9  |
| Slika 2: Kolesnice in vzdolžni greben   | 10 |
| Slika 3: Globoke mrežaste razpoke   | 11 |
| Slika 4: Mrežaste razpoke zaradi prevelike prometne obremenitve                       | 11 |
| Slika 5: Vzdolžne razpoke   | 12 |
| Slika 6: Razpoke zaradi posedanja   | 13 |
| Slika 7: Poškodovana površina   | 14 |
| Slika 8: Poškodovana površina   | 15 |
| Slika 9: Shema naprave za recikliranje po vročem postopku na licu mesta               | 18 |
| Slika 10: Shema recikliranja po hladnem postopku na mestu                             | 23 |
| Slika 11: Wirtgen reciklator Wirtgen WR 2500 S  | 25 |
| Slika 12: Voziščna konstrukcija na AC Razdrto – Senožeče; obstoječa in po obnovi      | 26 |
| Slika 13: Karakteristike penjenja bitumna in ITS vrednosti na odseku                  | 28 |
| Slika 14: Podajnost na odseku AC Razdrto – Senožeče – vozni pas                       | 29 |
| Slika 15: Potek spremembe temperature zmesi zrn in plinov                             | 59 |
| Slika 16: Shema vmešavanja odpadnega asfalta v sredino mešalno – sušilnega bobna      | 64 |
| Slika 17: Vmešavanje odpadnega asfalta v dvojni mešalno – sušilni boben               | 67 |
| Slika 18: Produktivnost asfaltne baze v odvisnosti od uporabljenega odpadnega asfalta | 68 |
| Slika 19: Diagram rezultatov poskusa za vzdolžne razpoke                              | 72 |

Slika 20: Diagram rezultatov poskusa za termalne razpoke 73

Slika 21: Diagram rezultatov poskusa preoblikovanje vozne površine 74

## 1 UVOD

Skladno s povečevanjem prebivalstva, je narasla potreba po vedno novih cestah. Večina cest je asfaltiranih, kar posebej velja za ceste državnega pomena. Ker je Slovenija tranzitna država, je na naših cestah veliko tovornih vozil, ki zelo obremenjujejo vozišča, kar privede do razpok in poškodb obrabno-zaporne plasti, kot tudi nosilnih plasti.

V letih, ko so se prometne povezave gradile na novo, je stroške predstavljala gradnja cest, v današnjih časih pa večina stroškov cest odpade na vzdrževanje vozni lastnosti cestišča. Velikokrat se cestišč ni obnavljalo in pravilno vzdrževalo, kar je pripeljalo do tako hudih poškodb, da je potrebna zamenjava vozišča, kar je precej dražje od popravil vozišča. Dobro vzdrževane državne ceste so vitalnega pomena za rastočo ekonomijo. Skrbno in premišljeno vzdrževanje cestnih povezav, je na daljši rok, cenejše kot pa rekonstrukcija obrabno-zaporne plasti skupaj z vezno-nosilnimi plastmi. Študija svetovne banke je pokazala, da na vsak ameriški dolar (USD), ki ga porabimo za vzdrževanje, se nam vrne kot 3 do 4 dolarji pri rekonstrukciji vozišča.

Vzdrževanje cest je proces, pri katerem skušamo s čim manj sredstvi zagotoviti čim boljše vozne lastnosti na cestni mreži. Ena izmed najbolj uporabnih metod je recikliranje asfaltiranih vozišč. Recikliranje asfalta ni nova tehnologija. Začetki segajo v začetek 20. stoletja. Prvi zapisi o recikliranju asfalta so iz leta 1930, pravi razvoj pa je dejavnost doživela od leta 1970 naprej. Za zelo hiter razvoj recikliranja asfalta sta zaslužna predvsem dva dogodka:

- naftna kriza v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja,
- razvoj zmogljivih rezkalnikov.

V zadnjih petindvajsetih letih se je razvoj rezkalnikov asfalta le še okrepil. Najnovejši rezkalniki omogočajo širino rezkanja do 2,2 m in globino rezkanja do 350 mm, oboje pri hitrosti 5 km/h.

Dodaten vidik, ki govori v prid spodbujanju reciklaže, je ekologija. Mnoge države imajo v zakonodaji zapisano, da je potrebno določen delež materialov reciklirati. Ker je gradnja cest zelo velik projekt, je zaželeno, da določen del materiala predstavljajo reciklirani materiali. Recikliranje je ekonomsko upravičeno in zmanjšuje potrebo po deponijah.

V Evropi se pridela približno 300 milijonov ton vročih asfaltnih mešanic. Ta številka se je od leta 1973 zmanjševala vsako leto, vendar poznavalci menijo, da smo dosegli neko spodnjo mejo. Več kot 90 odstotkov cest v Evropi je sedaj asfaltiranih, vendar sedaj vroče bituminizirane zmesi pogosteje uporabljajo za obnavljanje že zgrajenih cest in manj pogosteje za izgradnjo novih.

Bituminizirane zmesi so postale z razvojem tehnologije visoko tehnološki izdelek. V bituminizirane zmesi lahko vgrajujemo le materiale, ki so se v laboratorijskih preizkusih izkazali za primerne. Lastnosti bituminizirane zmesi morajo biti proučene tudi glede na:

- predvideno uporabo (obrabna plast ali vezana nosilna plast),
- predvidene vremenske razmere, katerim bo vozišče izpostavljeno,
- prometne obremenitve,
- lastnosti, zahtevane od vozne površine (trenjska sposobnost, drenažna sposobnost, hrupnost, ...),
- naravne materiale, ki so na razpolago v bližnji okolici gradbišča.

Vedno bolj se uveljavlja dodajanje asfaltnega granulata iz poškodovanega vozišča v nove bituminizirane zmesi. Z asfaltnim granulatom lahko nadomestimo del potrebnih zmesi zrn in tudi veziva. Potrebno je razlikovati recikliranje asfalta in ponovno uporabo asfalta.

- Recikliranje asfalta pomeni dodajanje asfaltnega granulata v novo bituminizirano zmes z dodatkom zmesi zrn in veziva, ki bo vgrajena za enako funkcijo kot prejšnja obrabljena bituminizirana zmes.
- Ponovna uporaba asfalta pa pomeni, da asfaltni granulati porabimo za temeljna tla ali za nosilne plasti. V tem primeru opravlja asfaltni granulati drugačno, manj zahtevno funkcijo kot poškodovano bituminizirano vozišče.

Pri recikliranju asfalta po vročem postopku moramo preveriti ali imamo v odpadnem asfaltu katran. Katran je strupena snov in že dolgo ni več v uporabi, lahko pa imamo opravka s starejšim voziščem, ki vsebuje katran. Kadar ugotovimo katran v asfaltu, ki ga želimo reciklirati, je bolje uporabiti reciklažo po hladnem postopku.

Za reciklažo v asfaltnem obratu je potrebno narediti določene spremembe na asfaltni bazi. Če imamo namen v mešanico reciklirati manj kot 10 % asfaltnega granulata, spremembe na

asfaltni bazi niso nujno potrebne, za večje odstotke recikliranega materiala pa so spremembe nujne. Moderne asfaltne baze so projektirane tako, da se jih lažje predela in omogoči uporaba odpadnega asfalta.

Kadar je odpadni asfalt iz obstoječega vozišča brez neželenih primesi, takrat lahko zagotovimo, da je uporabna celotna količina pridobljenega odpadnega asfalta. Vedno novejša tehnologija in vedno boljše poznavanje asfalta zvišujejo odstotek uporabljenega odpadnega asfalta proti 100 odstotkom. To je ugodno z vidika ekonomije in ekologije.

Kadar imamo na razpolago prevelike količine odpadnega asfalta, ki ni uporaben za asfaltne mešanice, ga lahko uporabimo kot material za manj zahtevne gradbene projekte.

Asfaltna industrija bi lahko reciklirala večji odstotek odpadnega asfalta, kar bi le še pripomoglo k tehnološkemu preboju in zakonskim ureditvam. Težave se pojavijo v državah, v katerih so osnovni materiali razmeroma ceneni in v količinskem izobilju. Tam je ekonomski vidik recikliranja asfalta manj privlačen kot v nekaterih drugih državah.

Skladno z uporabo asfaltne granulata v novih asfaltnih mešanicah, bi morala asfaltna industrija razmišljati o vgradnji drugih odpadkov v bituminizirane zmesi. Seveda se odpadke iz drugih vej industrije uporabi le ob določenih pogojih:

- odpadki, ki jih vgrajujemo ne smejo ogroziti zdravja delavcev,
- ne smejo biti strupeni v času vgradnje in v predvideni dobi uporabe,
- ne smejo vplivati na zmožnost kasnejšega recikliranja asfaltne zmesi in
- mehanske lastnosti morajo biti enake prejšnjim ali vsaj zadovoljive.

Materiali, ki so bili že uporabljeni v bitumenskih mešanicah in so se izkazali za primerne so:

- žlindra,
- rezane pnevmatike,
- elektrofiltrski pepel.

## **2 POŠKODBE NA ASFALTNIH VOZIŠČIH**

### **2.1 Vzroki**

Po vgradnji v vozliščne konstrukcije so vsi materiali izpostavljeni različnim vplivom. Poleg vplivov prometa in podnebja so pomembni tudi vplivi podlage voziščne konstrukcije, izvedbe in vzdrževanja. Učinki vseh vplivov se prej ali slej pokažejo v spremembah, ki so označene kot poškodbe.

#### **2.1.1 Obremenitve**

Spremembe materialov, vgrajenih v voziščne konstrukcije, so v pretežni meri posledica

- normalne uporabe vozniških površin, ki ima za posledico določeno obrabo in utrujanje vgrajenih materialov,
- skritih napak pri vgrajevanju, med njimi predvsem slabše kakovosti materialov ter neustreznih postopkov pri pripravi in vgrajevanju,
- specifične zunanje obremenitve, ki pogojujejo staranje materialov.

##### **2.1.1.1 Prometne obremenitve**

Vpliv prometa na spremembe v voziščne konstrukcije vgrajenih materialov, je odvisen predvsem od:

- gostote prometa,
- strukture prometa,
- osnih obremenitev vozil.

Pnevmatike motornih vozil ustvarjajo med vožnjo na vozniških površinah tlake in sesalne učinke. Zaradi njih se slabijo in trgajo vezi med bitumenskim vezivom in kamnitimi zrn. Kamnita zrna imajo večjo afiniteto do vode kot do bitumenskega veziva. Voda vstopi na oslabiljena mesta v vgrajeni asfaltni plasti in takrat se bitumensko vezivo loči od kamnitih zrn. Ko se cestišče osuši in prometna obremenitev ni dovolj velika, da povzroči ponovno lepljenje bitumenskega veziva in kamnitih zrn, se začnejo nevezana kamnita zrna izločati na površino



vozišča. Tak primer poškodbe lahko privede do zmanjšanja torne sposobnosti in do udarne jame zaradi oslabljenega skeleta.

Poškodbe so navadno posledica večjega števila manjših obremenitev. Le redko pride do poškodbe pri enkratni obremenitvi. Take poškodbe so možne le v kombinaciji z neugodnimi vremenskimi razmerami.

### **2.1.1.2 Klimatske obremenitve**

Med klimatske obremenitve voziščnih konstrukcij uvrščamo predvsem visoke in nizke temperature ter padavine.

Temperature imajo na asfaltne zmesi zelo velik vpliv, saj je količnik temperaturnega raztezka med kamnitimi zrn in bitumnom zelo velik. Toplotni raztezek bitumna je tudi do 20-krat večji od temperaturnega raztezka kamnitih zrn.

Kadar se temperatura bitumna približuje temperaturi zmehčišča, postane bitumenizirana zmes plastična. Tlačne obremenitve takšne asfaltne plasti pogojujejo preoblikovanje strukture vgrajene bitumenizirane zmesi. Kamnita zrna lahko v njej celo zaplavajo.

Pri nizkih temperaturah, so premiki kamnitih zrn pod obremenitvijo oteženi ali celo preprečeni. Bitumensko vezivo se pod vplivom nizkih temperatur krči, medtem ko se kamni agregat ne. To povzroča velike napetosti v bitumnu in posledično odstopanje bitumna od kamnitih zrn.

Vpliv padavin na nastanek poškodb asfaltnih vozišč je zaznati tako na voziščnih konstrukcijah kot na podlagi.

Poleg tega, da voda predstavlja težave pri odstopanju bitumna od kamnitih zrn, lahko voda predstavlja težave tudi v nosilnih plasteh. Kadar imamo v nosilnih plasteh kamnita zrna, ki so občutljiva na vsebnost vode, lahko voda občutno zmanjša nosilnost podlage. Vpliv padavin je prevladujoč, kadar imamo razpokano obrabno-zaporno plast. Voda namreč lahko pronica skozi razpoke in zmanjša nosilnost spodnjih plasti voziščne konstrukcije.

V obdobju zmrzovanja istočasno vplivajo na stanje asfaltnih vozni površin:

- pronicajoča in kapilarna voda,
- občutljivost materiala,
- trajanje zamrznitve.

Poškodbe, ki nastanejo na vozni površini, so posledica prekomernega povečanja deleža vode v obdobju zmrzovanja ali tajanja zamrznitve. Medtem ko nastanejo poškodbe na vozni površini zaradi zmrzovanja vode ali pod voziščno konstrukcijo, tudi če ni obremenjena s prometom, nastanejo v obdobju tajanja poškodbe predvsem zaradi obremenitev s težjimi vozili. Ker voda, ki nastane zaradi taljenja ledu, skozi še zmrznjeno podlago ne more odteči, zasičuje material med zmrznjenima plastema, ki s tem izgubljata notranje trenje in kohezijo. Stanje je lahko kritično tudi, če skozi razpoke v asfaltni krovni plasti pronica voda v občutljiv material v voziščni konstrukciji ali pod njo. Večja pa je nevarnost za poškodbe voziščne konstrukcije, kadar nastopi odjuga zelo hitro, saj velike količine vode ne morejo odteči.

### **2.1.2 Pomanjkljivosti izvedbe**

Značilne pomanjkljivosti izvedbe del, ki prej ali slej povzroči večje ali manjše poškodbe na asfaltnih voziščih, so:

- neustrezna priprava podlage,
- uporaba neustreznih materialov,
- neustrezna izdelava zmesi in plasti voziščnih konstrukcij,
- pomanjkljivo odvodnjavanje,
- premajhna nosilnost plasti pod asfaltno krovno plastjo.

Vsaka neustreznost pri gradnji znatno poveča možnost nastanka poškodb.

#### **2.1.2.1 Priprava podlage**

Kadar je nosilnost planuma premajhna, je zelo otežena ustrezna zgostitev nadgrajenih plasti. Z valjanjem zgornjih plasti ne bi dosegli izboljšanja v zgoščenosti, ampak le zmanjšanje trenja v plasti. Če je globina zmrzovanja večja, je to potrebno upoštevati pri izbiri materialov. Vsaj do te globine moramo imeti material, ki je zmrzlinško obstojen.

### **2.1.2.2 Uporaba materialov**

Uporabljeni materiali morajo biti prilagojeni za predvidene prometne in klimatske obremenitve. Vsako odstopanje od predpisanih vrednosti lahko vodi v predčasno nastajanje poškodb.

### **2.1.2.3 Izdelava zmesi in plasti**

Pogojene mehanske lastnosti bituminiziranih zmesi za asfaltne krovne plasti so:

- majhna dovzetnost za razpoke pri nizkih temperaturah,
- velika odpornost proti trajnemu preoblikovanju pri visokih temperaturah,
- primerna odpornost proti utrujanju.

Navedene mehanske lastnosti bituminiziranih zmesi je potrebno zagotoviti v predhodni sestavi z:

- deleži posameznega osnovnega materiala v sestavi bitumiziranih zmesi in s tem pogojenima,
- vsebnostjo votlin v bitumizirani zmesi,
- stopnjo zapoljenosti votlin v zmesi kamnitih zrn z bitumnom.

Če mehanske lastnosti bitumizirane zmesi niso zagotovljene, nastanejo v obrabno-zaporni plasti poškodbe značilnih oblik. Na pojav poškodb ne vplivajo samo prometne in klimatske obremenitve, ampak tudi značilnosti cestišča (prisojne lege, vzdolžni nagib, kanaliziranje, ...)

### **2.1.2.4 Odvodnjavanje**

Voda škoduje vozišču predvsem takrat, kadar na njem zastaja. Če hočemo preprečiti nastanek poškodb, je treba čim več vode nadzorovano odvesti in omogočiti regeneracijo prizadete bitumenizirane zmesi pod prometno obremenitvijo.

### **2.1.2.5 Nosilnost**

Premajhna nosilnost oziroma prevelika podajnost voziščne konstrukcije, ki se odraža v poškodbi krovne asfaltne plasti, je lahko posledica:

- neustrezno dimenzionirane voziščne konstrukcije ali

- nehomogenega cestnega telesa.

### 2.1.3 Vzdrževanje

Poškodbe na asfaltnih voziščih, ki so posledica vzdrževanja, so pogojene predvsem z ukrepi v zimski službi, torej pri:

- pluženju snega in
- posipanju soli.

Pri pluženju vozišča, lahko vozila poškodujejo zrna in okrušijo robove vozišča. To vodi v hitrejše nastajanje poškodb zaradi prometnih in klimatskih obremenitev.

Posipavanje vozišča s soljo, da preprečimo nastanek poledice, pa slabo vpliva na bitumen, saj mu odvzema toploto in ga s tem naredi bolj togega, kar lahko vodi v nastanek razpok. Voda, ki prodre skozi razpoke v voziščno konstrukcijo, onemogoča regeneracijo bituminizirane zmesi, saj vstopa med kamnita zrna in bitumen.

Tipične poškodbe, povezane s pomanjkljivim vzdrževanjem, so:

- neprimerno krpanje udarnih jam (neurejeni robovi, pomanjkljiv premaz, premajhna zgostitev bitumizirane zmesi),
- neprimerne obdelave razpok (pozno ali pomanjkljivo zalivanje),
- neprimerne višine bankin in pomanjkljivega odvodnjavanja.

### 2.1.4 Uporaba

Do poškodb na voziščih lahko pride tudi zaradi neprimerne uporabe. Tak primer so vozila, ki imajo osno obremenitev večjo od predpisane, oziroma dovoljene. Med neprimerno uporabo se šteje tudi uporaba snežnih verig na tovornih vozilih.

## 2.2 Značilne vrste poškodb

Značilne vrste poškodb na asfaltnih voziščih so posledica določenih obremenitev, s katerimi so bile prekoračene trdnosti oziroma mejne napetosti v materialih, vgrajenih v voziščne konstrukcije. Takšne poškodbe je mogoče opredeliti kot:

- preoblikovanja,

- razpoke,
- razgraditve,
- poškodbe površine.

### 2.2.1 Preoblikovanja

Preoblikovanje vozne površine nastane takrat, ko so prekoračene strižne in tlačne napetosti v obrabno-zaporni plasti. Drugi način za nastanek preoblikovanja, so poškodbe vezanih nosilnih plasti ali temeljnih tal.

Preobremenjeni materiali se praviloma preoblikujejo v vseh smereh. Za bituminizirane zmesi je značilno predvsem plastično preoblikovanje.

Podrobna razvrstitev preoblikovanj asfaltnih vozišč temelji na značilnih oblikah. Razlikujemo naslednja preoblikovanja:

- prečna, v obliki kolesnic, žlebov in povesov,
- vzdolžna, v obliki valov, perilnika in grebenov,
- nepravilna, v obliki grbin, grebenov, posedkov in dvigov.



**Slika 1:** Kolesnice



**Slika 2:** Kolesnice in vzdolžni greben

Če so na vozišču kolesnice, je velika verjetnost, da se pojavijo tudi ostale vrste preoblikovanja; ob kolesnici lahko nastane vzdolžni greben.

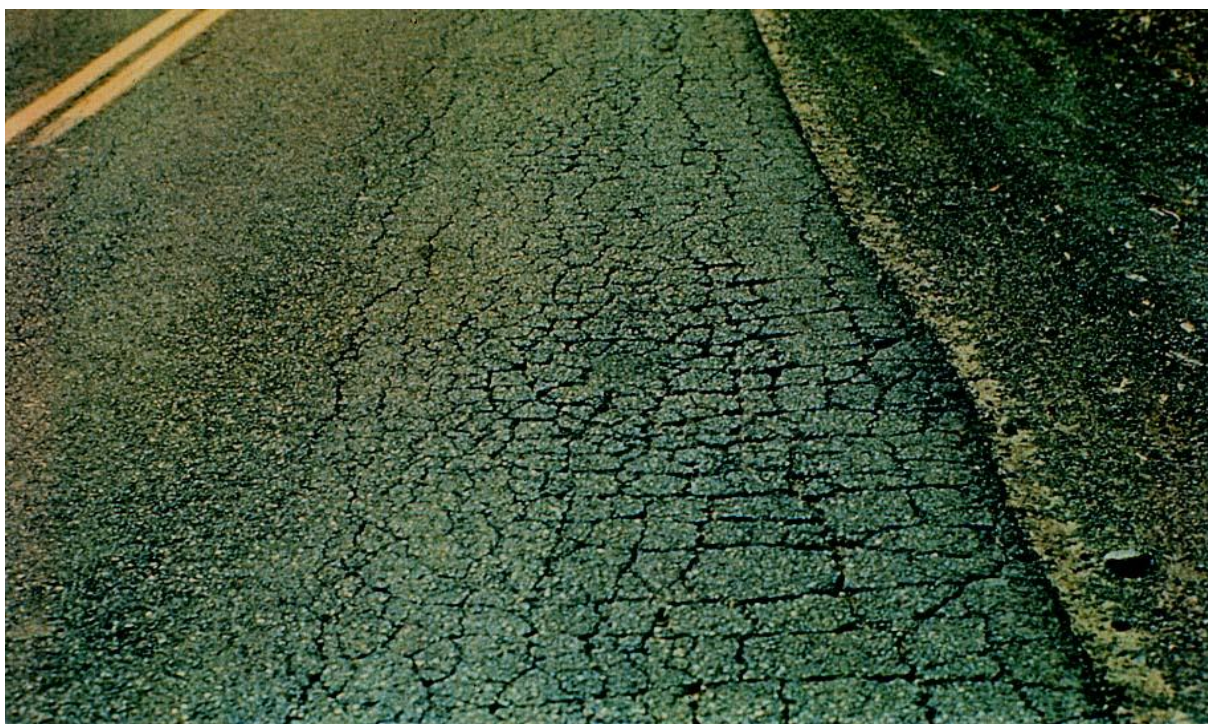
### 2.2.2 Razpoke

Razpoke v asfaltni zmesi nastanejo zaradi prekomernih nateznih napetosti. Maksimalne natezne napetosti, ki jih bitumenska plast prenese, so določene z zlepljenostjo med kamnitimi zrni in bitumnom. Natezne napetosti so posledica prekomernih upogibov krovne plasti kot posledica posedanja pod prometno obremenitvijo ter krčenja vgradnih materialov pri nizkih temperaturah. Navedeni vplivi na vgrajene bitumizirane zmesi pogojujejo utrujanje, ki se odraža v razpokah. Te so lahko:

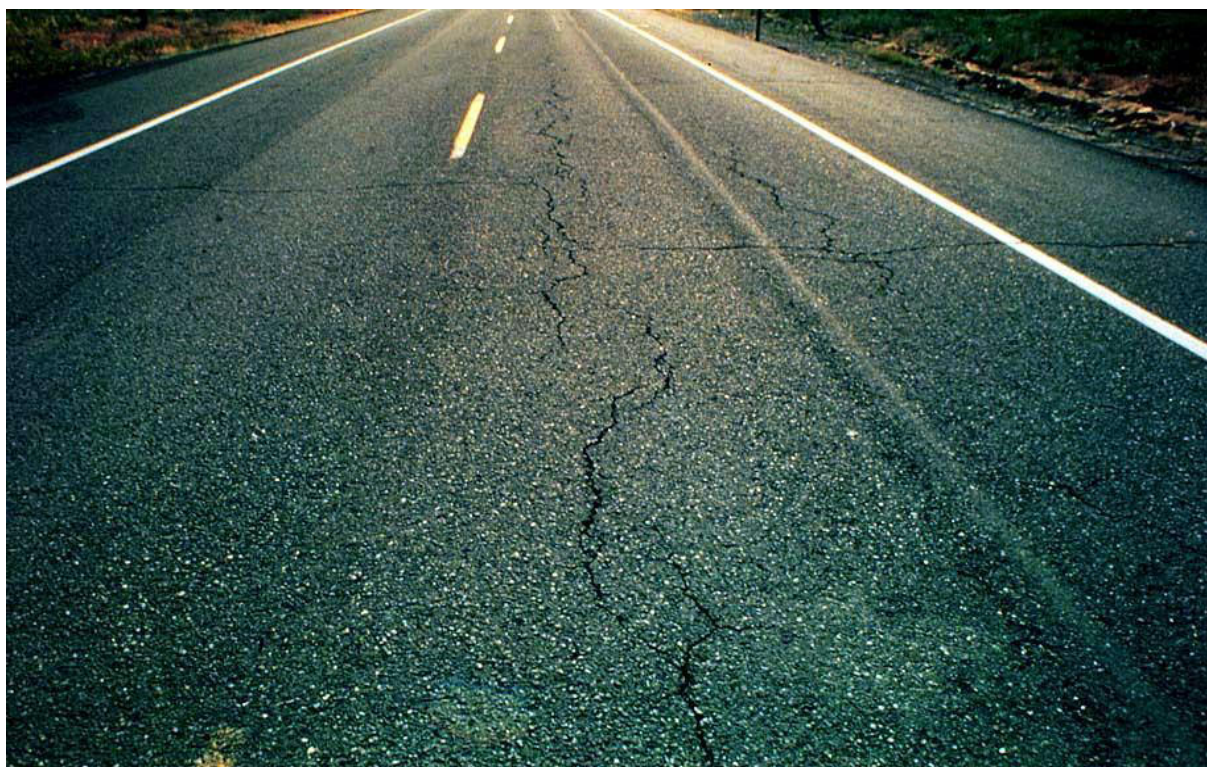
- posamezne: prečne, vzdolžne, nepravilno oblikovane ali
- mrežaste: površinske ali globoke.



**Slika 3:** Globoke mrežaste razpoke



**Slika 4:** Mrežaste razpoke zaradi prevelike prometne obremenitve



**Slika 5:** Vzdolžne razpoke

Poškodbe v obliki posameznih ali mrežastih razpok nastanejo predvsem na:

- na delovnih stikih,
- na stikih plasti bitumiziranih zmesi z drugačnimi materiali,
- na robovih in razširitvah vozišč.

Nastale obremenitve ne povzročajo vedno istih poškodb, vendar pa vseeno lahko opredelimo, da so določene poškodbe posledica posameznih obremenitev:

- mrežaste razpoke v krovni plasti so največkrat posledica premajhne nosilnosti podlage,
- drobne mrežaste razpoke so posledica utrujanja asfaltne plasti,
- vejasto oblikovane razpoke pa so praviloma posledica krčenja zaradi staranja bitumna.

### **2.2.3 Razgraditve**

Številni različni vplivi na obrabne plasti voziščnih konstrukcij pogojujejo prekoračitev sil vezanja, ki jih lahko zagotovi bitumensko vezivo in se odražajo kot:



- zlepljenost kamnitih zrn,
- zlepljenost asfaltnih plasti.

Poškodbe, ki pri tem nastanejo in so zelo različne, je mogoče opredeliti kot razgraditev. Na osnovi značilne oblike je takšne poškodbe mogoče razvrstiti in opredeliti kot:

- normalno ali prekomerno obrabo,
- krušenje malte, skeleta, obrabne ali krovne plasti,
- luščenje obrabne ali krovne plasti,
- poškodbe zaradi mehanskih ali kemičnih učinkov.

Mesta nastanka navedenih poškodb asfaltnih vozišč so praviloma zelo izrazita in jih je lahko določiti. Težje pa jih je nedvoumno razvrstiti, kajti prehodi, sicer značilnih poškodb, v nekaterih primerih niso natančno določljivi.



**Slika 6:** Razpoke zaradi posedanja

#### 2.2.4 Poškodbe površine

Na asfaltnih voziščih nastajajo nekatere škodljive spremembe, ki so označene kot poškodbe površine vozišča. V osnovi so te poškodbe razvrščene glede na njihov vpliv na uporabnost vozne površine:

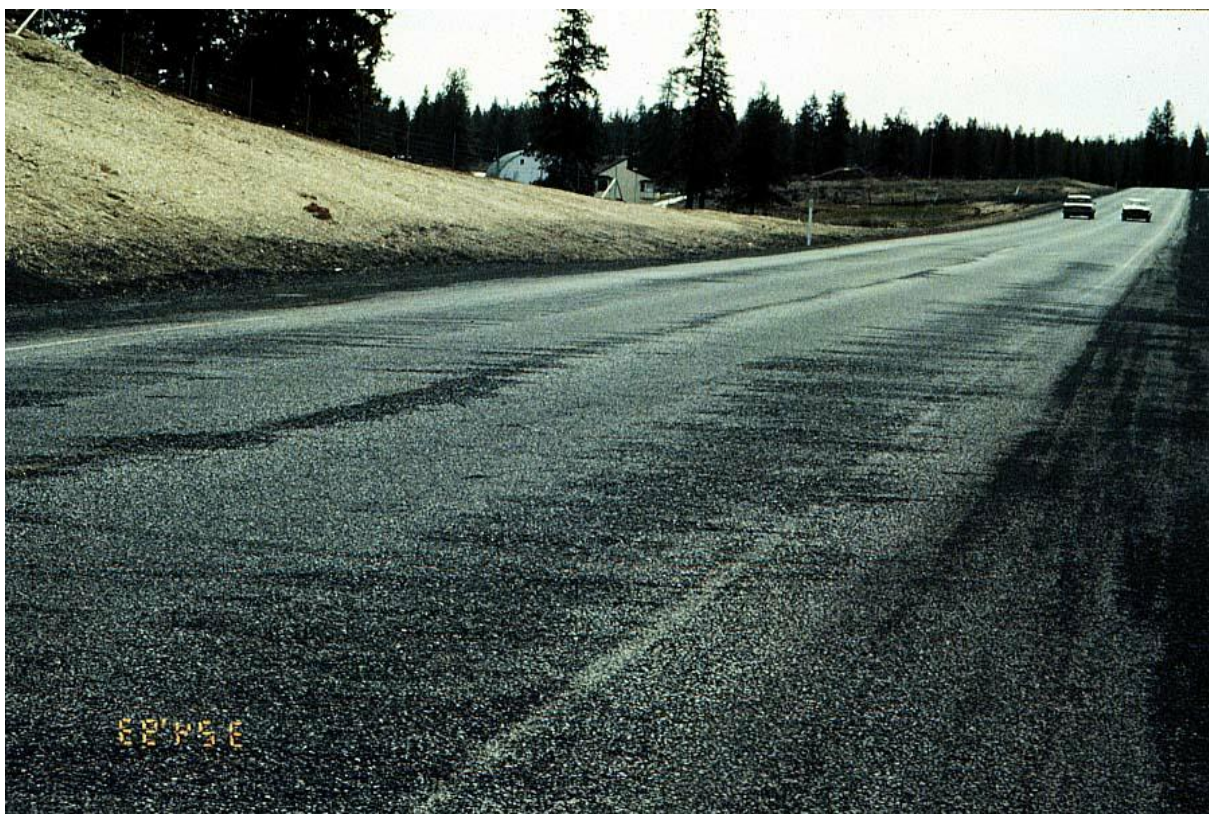
- zmanjšanje torne sposobnosti vozne površine zaradi izstopanja bitumenskega veziva, bitumenske malte, vode ali zemlje,
- zmanjšanje odpornosti proti preoblikovanju zaradi učinkov olj, ki padejo na vozišče iz slabo tesnjenih pogonskih sklopov motornih vozil.

Poškodbe površine, ki vplivajo v manjši meri na uporabnost, v večji pa na trajnost asfaltnih vozišč, so poškodbe zaradi pomanjkljive izvedbe ali pomanjkljivega vzdrževanja.



**Slika 7:** Poškodovana površina

Navidezno manj pomembne poškodbe voznih površin lahko v veliki meri vplivajo na nastanek težjih, drugačnih poškodb, v precejšnji meri pa tudi na varnost vožnje.



**Slika 8:** Poškodovana površina

### 3 POSTOPKI ZA RECIKLIRANJE BITUMINIZIRANIH ZMESI

#### 3.1 Recikliranje bituminiziranih zmesi po vročem postopku na licu mesta

Hot in-place recycling je metoda recikliranja na licu mesta. Ta metoda je uporabna za rehabilitacijo poškodovanih vozišč, ki imajo nosilne plasti v dobrem stanju. Postopek reciklaže se deli na 4 dele:

- mehčanje poškodovanega asfaltnegea vozišča z grelci,
- odstranjevanje segrelih poškodovanih bituminiziranih zmesi,
- mešanje postrganih bituminiziranih zmesi z dodatki, vezivom in po potrebi z novo mešanico,
- vgrajevanje nove bituminizirane zmesi.

Z vročo reciklažo na licu mesta, lahko popravimo poškodbe vozišč, ki niso posledica strukturnih napak. Reciklažo na mestu lahko naredimo v enem ali več hodih. Kadar naredimo vse v enem hodu, se segreta postrgana bituminizirana zmes meša z novo zmesjo kamnitih zrn in se na koncu tudi vgradi v novo asfaltno vozišče. S takim načinom reciklaže recikliramo do globine 50 mm, pri čemer je praksa okrog 25 mm. Kadar po procesu reciklaže na obnovljeno bituminizirano zmes položimo dodatno obrabno-zaporno plast, kot ojačitev voziščne konstrukcije, se šteje, da smo obnavljali vozišče v dveh korakih.

Z metodo reciklaže po vročem postopku na licu mesta lahko:

- recikliramo vozišče,
- obnavljamo vozišče,
- spreminjamo sestavo vozišča.

Dodatke za pomladitev veziva, se lahko dodaja pri vseh treh metodah, dodatno zmes zrn pa le pri obnavljanju in spreminjanju sestave vozišča.

### **3.1.1 Recikliranje vozišča**

Recikliranje je proces obnove, pri katerem lahko popravimo poškodbe vozne površine in pripravimo novo obrabno-zaporno plast na vozišču. Glavna naloga vroče reciklaže na licu mesta je popravilo razpok in geometrijskih napak v obrabno-zaporni plasti.

Dodatke se dodaja, da se omili vpliv staranja bitumna v bituminizirani zmesi. Grelci segrejejo vozišče na temperaturo od 110°C do 160°C.

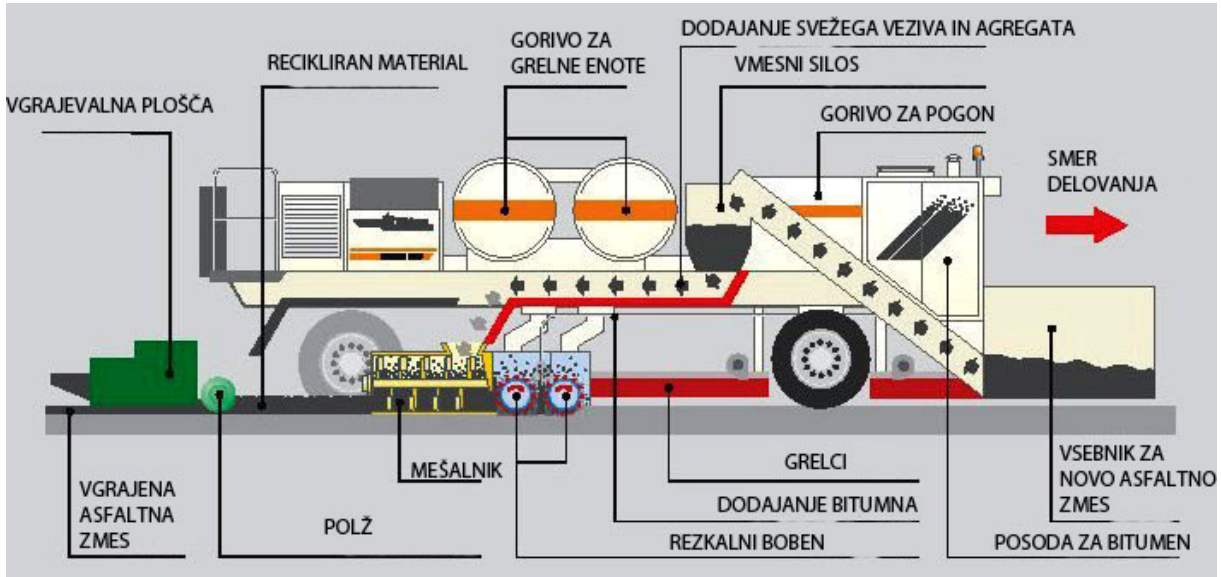
### **3.1.2 Obnavljanje vozišča**

Obnavljanje vozišča je postopek reciklaže, pri katerem po končani reciklaži na obstoječe vozne površine položimo še dodatno obrabno-zaporno plast, ki je sestavljena iz nove zmesi zrn. Proces lahko popravi napake v obstoječi bituminizirani zmesi, ki niso globlje od 50 mm. Proces obnavljanja vozišča uporabljamo takrat, kadar nam sam postopek reciklaže ne zagotovi ustreznih mehanskih lastnosti vozišča. Z reciklatorjem po vročem postopku »na licu mesta« lahko delamo zelo tanke prevleke, globine med 5 in 12 mm. Postopek obnavljanja vozišča je popolnoma enak reciklaži vozišča, s to razliko, da lahko naredimo še dodatno plast. Tudi oprema je popolnoma enaka in deluje po enakem načelu kot pri reciklaži. Grelni paneli asfalt segrejejo, nato se ga postrga z rotirajočimi lopaticami in doda dodatek za bitumen. Dodatke se dodaja, da se omili vpliv staranja bitumna v asfaltni zmesi. Grelci segrejejo vozišče do 190°C. Temperatura, pri kateri se bituminizirana zmes vgrajuje, je okrog 105°C.

### **3.1.3 Spreminjanje sestave vozišča**

Pri tem postopku grelci segrejejo vozišče do globine 50 mm, nato ga z rezkalci porezkamo, dodamo dodatke za izboljšanje bitumna, po potrebi dodamo svežo zmes zrn, vse to premešamo v mešalniku in nato vgradimo, kot homogeno bituminizirano zmes. Postopek uporabljamo takrat, ko z reciklažo in obnovo vozišča nismo dosegli želenih rezultatov. Če želimo povečati nosilnost obrabne plasti, je smiselno uporabiti kvalitetnejšo zmes zrn, kar lahko naredimo le s spremembo sestave. Pri tem postopku se vozišče segreje na temperaturo med 85°C in 110°C. Segreta bituminizirana zmes je nato postrgana in po potrebi zdrobljena v mlinu. V enem hodu se lahko postrga do 50 mm voziščne konstrukcije. V mešalniku se segreti bituminizirani zmesi doda dodatke za izboljšanje bitumna in potrebno količino zmesi

zrn. Premočni infrardeči grelci lahko poškodujejo vezivo v vozišču ter povzročijo prekomerno tvorjenje emisij.



**Slika 9:** Shema naprave za recikliranje po vročem postopku na licu mesta

Vroča reciklaža na licu mesta obsega kompleksno in drago procesno opremo, ki ima praviloma patentirana imena:

- Road train,
- Reshape,
- Repave,
- Remix.

Standardna oprema za reciklažo po vročem postopku na licu mestu zajema:

- infrardeče grelne panele,
- strgalce asfalta,
- grelce za zmes zrn,
- mešalnik,
- finišer.

Pri starejši opremi, se je vozišče segrevalo z direktnim kontaktom ognja in površine, danes se uporabljajo infrardeči grelci. S tem se izognemo reakcijam v vezivu in zmanjšamo količino

emisij. Za ogrevanje se uporablja propan, za pogon pa dizelsko gorivo. Grelni paneli asfalt segrejejo, nato se ga postrga z rotirajočimi lopaticami ter doda dodatke za bitumen.

### **3.2 Recikliranje bituminiziranih zmesi po hladnem postopku v asfaltne obratu**

Metoda reciklaže po hladnem postopku je ekonomsko zelo ugodna, saj nam ni potrebno segrevati materialov. Asfaltni obrati za proizvodnjo nove bituminizirane zmesi po hladnem postopku so lahko prenosljivi in zahtevajo le nekaj ur za montažo in demontažo celotnega obrata. Zaradi hitrost pri postavitvi je ta metoda idealna za manjše projekte, ki so preveč oddaljeni od stacionarnih asfaltnih baz. V postopku lahko uporabimo do 100 % asfaltne granulata, vendar za doseg zadovoljivih lastnosti dodajamo od 2 do 4 % bitumna, vodo in 10 do 20 % zmesi zrn. Pred uporabo je treba asfaltni granulata presejati in po potrebi zdrobiti v manjša zrna. Za določitev potreb po novem vezivu in zmesi zrn je potrebno preveriti lastnosti nove mešanice v laboratoriju. Test predvsem zahteva:

- presojo kvalitete stare bituminizirane zmesi,
- zrnovostno strukturo asfaltne granulata,
- izbiro primerne količine in kvalitete veziva,
- mehanske in reološke teste asfaltne granulata.

Metoda recikliranja po hladnem postopku je predvsem primerna za vozišča, ki so srednje ali lažje obremenjena. Za težje obremenjena vozišča se uporablja recikliranje po vročem postopku.

Razvoj asfaltnih baz, ki delujejo po hladnem postopku se je začel v šestdesetih letih prejšnjega stoletja. Moderne naprave so enako natančne, kot tiste za mešanice po vročem postopku. Pri hladnem postopku se asfaltni granulata in zmes zrn ne segrevata, vezivo pa je ogreto na 50°C do 60°C, da se zagotovi tekoče stanje. Pri hladnem postopku v asfaltni bazi prevladuje neprekinjen postopek izdelave, čeprav tudi saržni postopek ni povsem opuščen. Tipična asfaltna baza po saržnem postopku izdelava med 100 in 150 tonami bituminizirane zmesi na uro.

Pri hladnem postopku se uporablja bitumenske emulzije in velikokrat se dodaja voda ter zmes zrn. Razvile so se različne vrste mešanja, ki zagotavljajo optimalno obvitost zmesi zrn z vezivom.

Asfaltni granulati so asfalt, ki se ga je z rezkanjem pridobilo iz obstoječe obrabljene asfaltne plasti. Delci so v večini primerov kepe agregata in veziva. Za zagotovitev ustreznih kvalitete nove bituminizirane zmesi je potrebno asfaltni granulati zdrobiti in presejati. Za obrabnozaprone plasti naj velikost zrn ne bi bilo presegala 16 mm, zrna vezane plasti pa naj ne bi presegala 22 mm. Kadar presejemo asfaltni granulati, ga navadno ločimo po frakcijah:

- od 0 do 8 mm,
- od 8 do 16 mm,
- od 8 do 22 mm.

Vodo dodajamo, da olajšamo mešanje in napravimo mešanico, ki se bo lažje vgrajevala. Zmes postane zaradi dodajanja vode bolj plastična. Kadar imamo agregat, ki ima visok odstotek vlage (nad 5 %), takrat vode ne dodajamo. Če hočemo zagotoviti optimalni delež vode v mešanici moramo opraviti preizkus za določitev optimalnega razmerja med vodo in bitumensko emulzijo. Določitev deleža vode se lahko opravi s Proctorjevim preizkusom. Pri običajni zrnastni sestavi, se delež vlažnosti giblje med 6 in 7 %. Sveži agregat dodajamo, da povečamo stabilnost same mešanice, kadar ima asfaltni granulati več kot 6 % bitumna. S tem se izboljša konsistenca bituminizirane zmesi.

Pri mešanju bituminizirane zmesi po hladnem postopku lahko uporabljamo različne bitumenske emulzije. Izbira je odvisna od predvidenih prometnih obremenitev in klimatskih pogojev, predvsem pa je odločujoča globina zmrzovanja. Kadar imamo lahko prometno obremenitev, se odločimo za mehki bitumen, saj je tak bitumen tudi bolj primeren za ekstremne klimatske razmere. Trši bitumen se uporablja takrat, kadar je zahtevana večja nosilnost bituminizirane zmesi.

Bituminizirana zmes po hladnem postopku ni tako občutljiva na vremenske pogoje transporta. Predvsem dež ne ovira transporta. Vseeno pa je priporočljivo, da se mešanico vgrajuje kadar je zunanja temperatura nad 5°C, da se vodi omogoči izparitev iz mešanice in se vezivo primerno otrdi.



Za valjanje veljajo enaki postopki kot za mešanice po vročem postopku. V praksi se je izkazalo, da se bituminizirane zmesi po hladnem postopku težje vgrajujejo kot mešanice po vročem postopku. Za valjanje sta potrebna valjarja s kovinskimi in gumijastimi kolesi. Valjar s kovinskimi kolesi poskrbi za zgostitev v globino, medtem ko je valjar na pnevmatikah primeren za zgladitev površine. Število hodov valjarjev se določi s testom za analizo zgoščevanja. Največkrat se potrebuje od 4 do 6 prehodov.

### **3.3 Recikliranje bituminiziranih zmesi po hladnem postopku na licu mesta**

Obnovo dotrajanega vozišča po hladnem postopku z uporabo upenjenega bitumna ali bitumenske emulzije kot veziva, je smiselno izvesti, ko je bila cesta že v tolikšni meri zakrpana, da popravilo krovnih asfaltnih plasti ni več ekonomsko upravičeno. Problematična je tudi šibka nevezana nosilna plast, ki leži na relativno zdravih temeljnih tleh. Glavna prednost recikliranja na licu mesta po hladnem postopku je, da je mogoče dotrajano voziščno konstrukcijo z ustreznimi dodatki homogenizirati in ojačati ter z minimalno preplastitvijo spet usposobiti za nemoteno odvijanje prometa.

Postopek hladne reciklaže se praviloma izvaja z reciklatorjem. To je stroj, ki je opremljen z mletveno-mešalnim bobnom, v katerem se zdrobijo in zmešajo obdelovani materiali, hkrati se v enem prehodu materialu primešajo veziva in voda, potrebna za zgostitev.

Vgradnja recikliranega materiala je možna s finiškero ploščo, pritrjeno na reciklator ali z grederjem in valjarji.

#### **3.3.1 Način izvedbe**

Predhodno se na delu vozišča, predvidenem za reciklažo, odvzame vzorce, na osnovi katerih se pripravi predhodna delovna sestava, vključno z določitvijo vseh potrebnih dodatnih materialov.

Izvedba recikliranja na licu mesta po hladnem postopku sestoji iz naslednjih operacij:

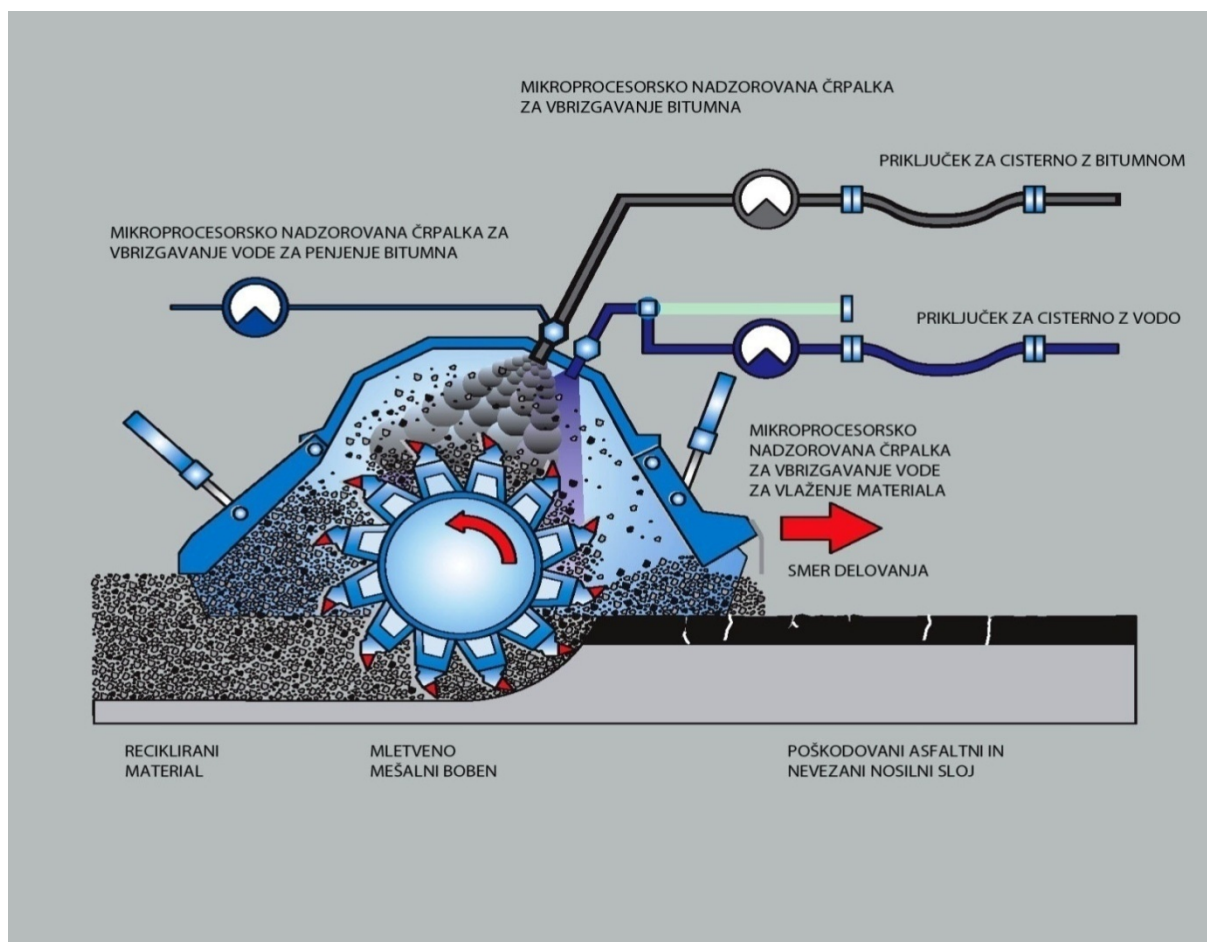
- razprostiranja dodatnih frakcij zmesi zrn, če je to potrebno,
- posipanja cementa za zgostitev zadostne količine finih delcev in vrednosti indirektna natezne trdnosti,

- postavitve reciklažnega niza, ki sestoji iz cisterne za vodo, cisterne za bitumensko vezivo, reciklatorja, valjarja in grederja.

Med recikliranjem potiska reciklator pred seboj cisterni za vodo in bitumensko vezivo, ki sta nanj in med seboj povezani s potisnimi drogovi. Glede na vnesene podatke o prostorninski masi zmesi, globini in širini obdelave ter opredeljeni hitrosti stroja se v mletveno-mešalni bobni z mikroprocesorji nadzorovanimi črpalkami dovaja zahtevana količina upenjenega bitumna in vode, ki je potrebna za doseganja optimalne vlage ali bitumenske emulzije.

Takoj za reciklatorjem je potreben prehod valjarja, ki mora zagotoviti, da je recikliran material čim hitreje ustrezno zgoščen. Po doseženi zahtevani zgoščenosti se material z grederjem vgradi na željeno višino.

V odkopnem in istočasno tudi mešalnem bobnu stroja za recikliranje se zdrobljena obstoječa bituminizirana zmes premeša najprej z dodatno, še potrebno vbrizgano vodo in nato z vbrizganim upenjenim bitumnom ali z bitumensko emulzijo. Količine teh dodatkov morajo biti vnaprej točno določene glede na značilnosti materiala, ki bo recikliran in debelino plasti. Slednja znaša praviloma vsaj 15 cm, kajti postopek recikliranja na mestu vgradnje je predvsem primeren za homogeniziranje celotne obstoječe voziščne konstrukcije, kar velja predvsem za poškodovane oziroma dotrajane voziščne konstrukcije na cestah z manjšo prometno obremenitvijo. V takšnih pogojih je praviloma potrebno nadgraditi reciklirano plast samo z novo obrabno plastjo asfaltne zmesi.



**Slika 10:** Shema recikliranja po hladnem postopku na mestu

Glede na debelino plasti recikliranega materiala je treba izbrati primerne vibracijske valjarje za zahtevano zgostitev zmesi, ki je za obstojnost posebno pomembna.

### 3.3.2 Veziva

Za postopek hladne reciklaže so potrebna ustrezna bitumenska veziva za hladno obdelavo. Poleg bitumenskih emulzij je takšno vezivo tudi upenjeni bitumen. To je zmes zraka, vode in vročega bitumna, pri čemer je tipično razmerje 98 % bitumna in 2 % vode. Ko pride vroč bitumen (segret na 160 do 200°C) v stik s hladno vodo (približno 20°C), se tej zmesi hipoma za približno 20-krat poveča prostornina in se tako tvori pena.

Na karakteristike upenjanja bitumna vplivajo številni dejavniki, najpomembnejši pa so:

- temperatura bitumna; upenjenje večine bitumnov se izboljša z višjimi temperaturami,

- količina bitumnu dodane vode; običajno se ekspanzijsko razmerje poveča s povečanjem količine dodane vode, medtem ko se razpolovna doba skrajša,
- tlak, pod katerim se bitumen vbrizgava v ekspanzijsko komoro; nizki tlaki (manj kot 3 bare) vplivajo negativno tako na ekspanzijsko razmerje kot tudi na razpolovno dobo,
- prisotnost protipenilnih snovi, kot so silikatne spojine.

Delež dodanega bitumna v zmes pri reciklaži se običajno giblje med 1,5 % in 4,5 %. Učinek upenjenega bitumna se lahko poveča, če se materialu, namenjenemu za recikliranje, doda manjša količina (do 2 %) utrjevala, kot sta cement ali apno.

### **3.3.3 Primer uporabe recikliranja bituminiziranih zmesi po hladnem postopku na licu mesta**

V letu 2006 je Primorje d.d. pridobilo delo na odseku avtoceste Razdrto – Senožeče. Obnova vozišča je zajemala pas v dolžini od km 1,050 do km 3,140. Po ogledu terena je bilo ugotovljeno, da je v območju od km 2,800 do km 3,140 vozni in delno prehitevalni pas močno dotrajan in bi bile potrebne lokalne sanacije. Predlagana je bila sanacija z uporabo hladne reciklaže in dodajanjem penjenega bitumna v debelini 20 cm.

Karakteristike vozišča:

- PLDP = 17610 vozil,
- skupna ekvivalentna prometna obremenitev v 10-letnem obdobju z rastjo prometa 3 % letno;  $T_{10} = 5,4 * 10^6$  prehodov NOO 82 kN,
- vizualna ocena stanja vozišča po MSI = 4,7 - kar predstavlja slabo stanje vozišča,
- v juniju 2005 so bile izvedene meritve nosilnosti s FWD deflektometrom. Rezultati so pokazali, da je nosilnost vozišča zelo iztrošena,
- globina zmrzovanja 70 cm,
- neugodni hidrološki pogoji – nekontrolirani izviri zaledne vode.

Hladno reciklažo na mestu vgradnje se je izvedlo z reciklatorjem WirtgenWR 2500 S.



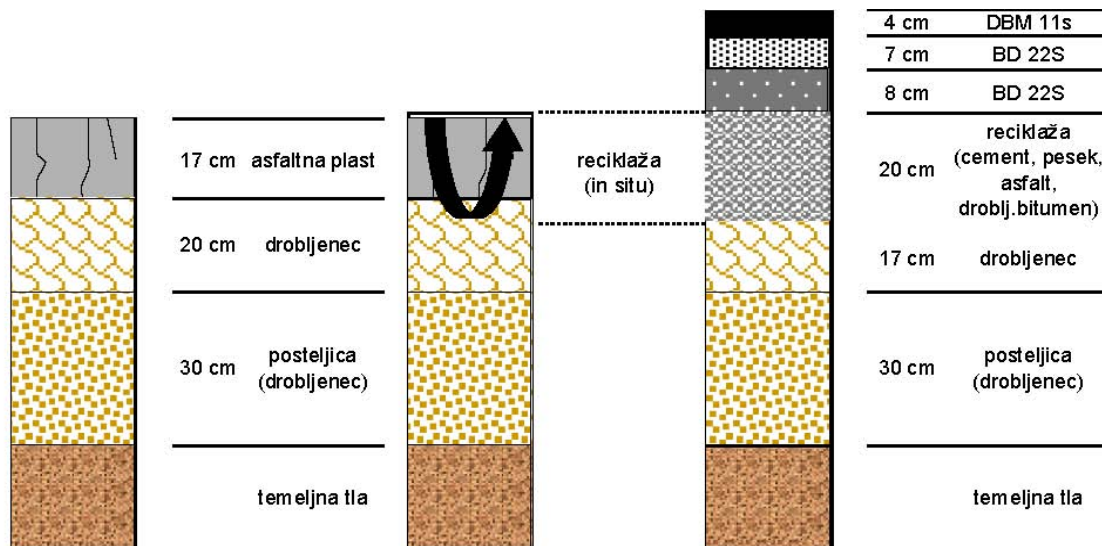
**Slika 11:** Wirtgen reciklator Wirtgen WR 2500 S

To je bil prvi poskus hladne reciklaže na slovenskih avtocestah, zato so se z investitorjem odločili za testno polje. Testno polje zajema vozni pas in deloma prehitevalni pas v dolžini 340 m od km 2,800 do km 3,140, skupaj 1530 m<sup>2</sup>.

Na testnem polju se je z reciklatorjem odvzelo vzorce kamnitih materialov v predvideni debelini 20 cm. Obstoječa voziščna konstrukcija je bila sestavljena iz povprečno 17 cm asfaltne plasti (BD in BB), povprečno 20 cm drobljenca (zrnivosti 0/45 mm) in 30 cm posteljice (zrnivosti 0/90 mm). V laboratoriju IGMAT so izvedli zrnivosti reciklaže in izračun skupne zrnivosti z dodatkom 2 % cementa. Skupna zrnivost je prikazana na naslednji sliki.

## OBSTOJEČA VOZIŠČNA KONSTRUKCIJA

## VOZIŠČNA KONSTRUKCIJA PO OBNOVI



**Slika 12:** Voziščna konstrukcija na AC Razdrto – Senožeče; obstoječa in po obnovi

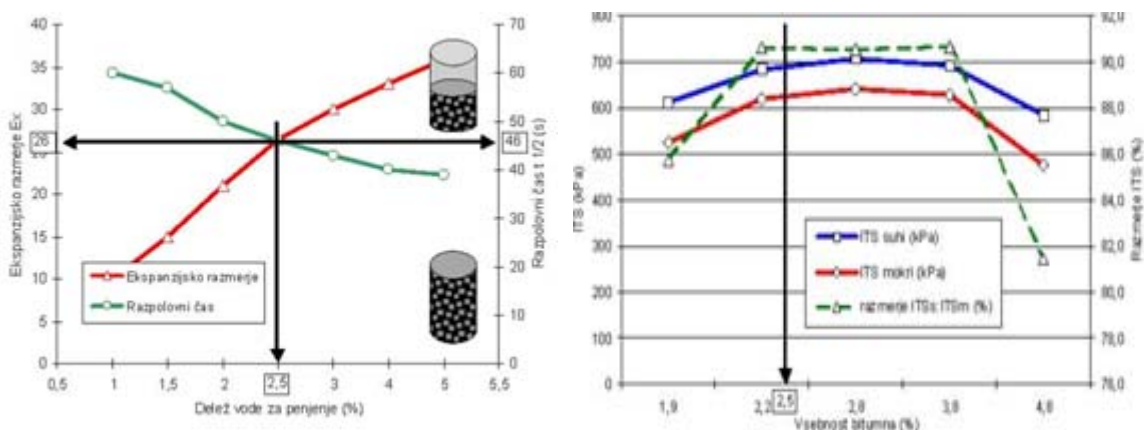
Po izračunani in sestavljeni zrnivosti se je v laboratoriju določilo maksimalno suho prostorninsko maso in optimalno vlago po Proctorjevem preskusu. Rezultati so predstavljeni v naslednji tabeli.

| Lastnosti                              |                           |                   | Zahteve<br>(minimalne) | AC Razdrto - Senožče |         |
|--|---------------------------|-------------------|------------------------|----------------------|---------|
|  |                           |                   |                        | projektiran          | izveden |
| <b>Kameni material</b>                 | Obstoječ rezkan asfalt    | %                 |                        | 85                   |         |
|  | Obstoječ drobljenec       | %                 |                        | 15                   |         |
|  | Agregat 0/2 D Laže        | %                 |                        | 0                    |         |
|  | Cement                    | %                 |                        | 2,0                  |         |
|  | Suha prostorninska masa   | Kg/m <sup>3</sup> |                        | 2175                 | 2075    |
|  | Optimalna vlažnost        | %                 |                        | 5,8                  | 3,9     |
|  | Delež bitumenskega veziva | %                 |                        | 3,0                  |         |
| <b>Bitumen</b>                         | Tip, proizvajalec         |                   |                        | BIT 70/100 Mantova   |         |
|  | Zmehčišče                 | °C                |                        | 48,0                 | 45,4    |
|  | Penetracija               | Mm/10             |                        | 96,0                 | 95,0    |
|  | duktilnost                | cm                |                        | ≥100                 |         |
| <b>Karakteristike penjenja bitumna</b> | Temperatura               | °C                |                        | 175                  |         |
|  | Delež vode                | %                 |                        | 2,5                  |         |
|  | Ekspanzijsko razmerje     |                   | 10                     | 26                   |         |
|  | Razpolovni čas            | s                 | 10                     | 46                   |         |
| <b>Optimalna vsebnost bitumna</b>      | Delež bitumna             | %                 |                        | 2,5                  | 2,3     |
|  | ITS suhi                  | kPa               | 200                    | 700                  | 673     |
|  | ITS mokri                 | kPa               | 120                    | 630                  | 625     |
|  | ITSm/ITSs                 | %                 | 60                     | 90                   | 93      |
| <b>Vgrajena plast</b>                  | zgoščenost                | %                 | 97                     |                      | 98      |

**Preglednica 1:** Pregled zahtevanih, projektiranih in doseženih lastnosti hladne reciklaže

Izbran je bil bitumen BIT 70/100 Mantova – Sciumato. Določilo se je zmehčišče, penetracijo, raztegljivost in karakteristike penjenega bitumna. V preizkusu se je določilo tudi ekspanzijsko

razmerje, razpolovni čas, temperaturo bitumna ter deleže vode, ki so potrebni za penjenje bitumna. Rezultati karakteristik penjenja bitumna so prikazani na naslednjih dveh slikah.



**Slika 13:** Karakteristike penjenja bitumna in ITS vrednosti na odseku

### 3.3.3.1 Analiza rezultatov

Pred recikliranjem se je izvedlo posip s cementom (CEM V/A/(S-P) 32,5 N-LH »Salodur«). Z dodajanjem cementa se zagotovi večji delež zrn manjših od 0,075 mm, ter s tem povzroči boljše razporejanje penjenega bitumna po celotnem volumnu. Z dodajanjem cementa zagotavljamo tudi višje ITS vrednosti in višje razmerje med suho in mokro ITS vrednostjo ob enakem odstotku dodanega bitumna.

Uporabljeno je bilo bitumensko vezivo, tipa BIT 70/100, proizvajalca IES Mantova, ki je posebej pripravljen za penjenje »Sciumato«. Ta bitumen ima večje ekspanzijsko razmerje od bitumnov ostalih proizvajalcev ter tudi večji razpolovni čas. Za najboljšo peno velja tista, ki ima čim večje ekspanzijsko razmerje in čim daljši razpolovni čas.

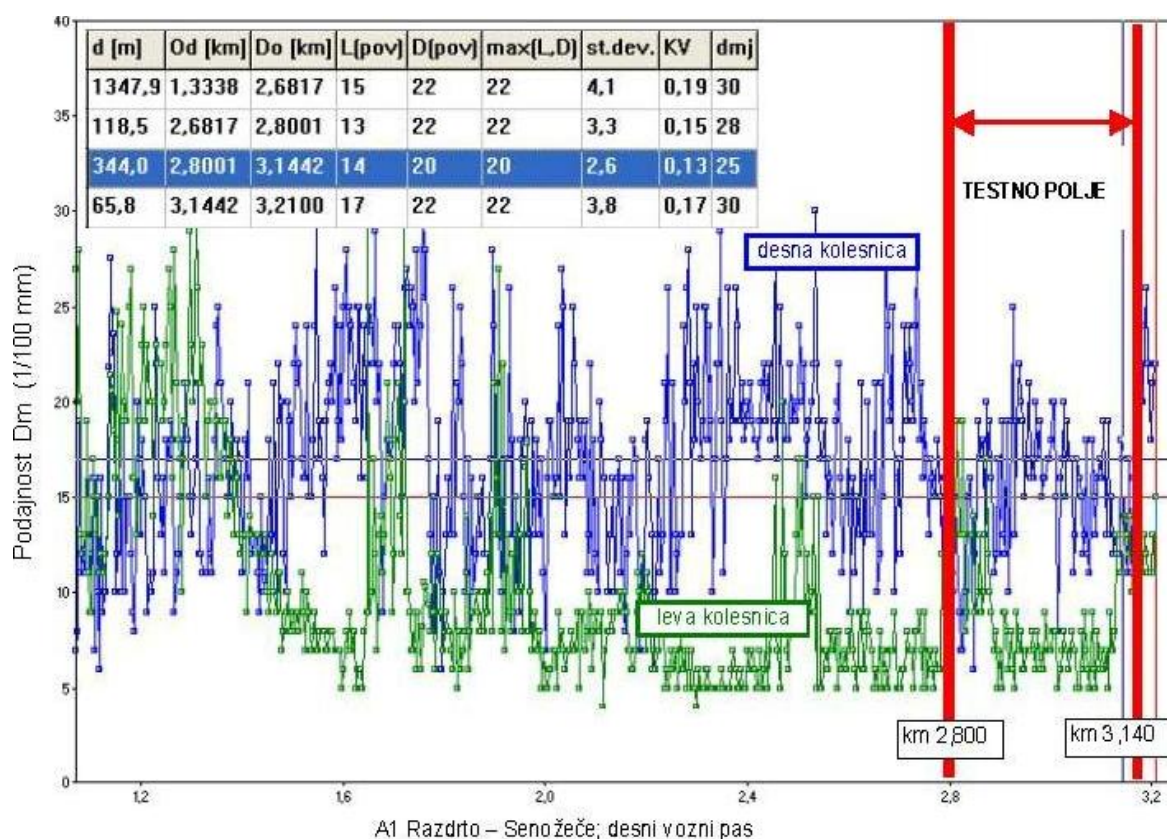
Delež dodanega bitumna se navadno giblje med 2,0 in 4,5 %. Velja, da je delež dodanega bitumna manjši pri uporabi rezkanca asfalta iz obstoječega vozišča. Na recikliranem odseku se je uporabilo 85 % asfaltne rezkanca, zato je odstotek dodanega bitumna nižji.

Reciklirano plast se je zgostilo s kombiniranim valjarjem mase 20 ton. Nato se je reciklirano plast porezalo na ustrezno višino z grederjem in se jo nato zgostilo na predvideno zgoščenost.



ZAG je v mesecu juliju 2006 izvedel meritve podajnosti z deflektografom Lacroix z namenom preveritve stanja nosilnosti po izvedeni rekonstrukciji voziščne konstrukcije. Meritve so se izvajale z obremenitvijo zadnje osi 100 kN v skladu z TSC 06.630. Naprava omogoča pridobivanje podatkov o strukturnih lastnostih voziščne konstrukcije na vsake 4 m vzdolž merjene površine.

Rezultati so obdelani po homogenih odsekih s povprečnimi vrednostmi in standarnimi odkloni ter izračuni merodajnih defleksij  $D_m$ , z upoštevanjem vrednosti 1,00 za sezonski faktor. Rezultati so prikazani na naslednji sliki.



**Slika 14:** Podajnost na odseku AC Razdrto – Senožeče – vozni pas

Ugotovljene merodajne vrednosti  $D_m$  so ugotovljene med 21 in  $44 \cdot 10^{-2}$  mm. Med rezultati meritev se je posebej izvedlo izračun merodajnih vrednosti na odseku za desni vozni pas med km 2,800 in km 3,140, kjer je bila uporabljena hladna reciklaža obstoječih asfaltnih in tamponskih materialov, stabiliziranih s cementom in bitumnom. Pokazalo se je, da je na odseku dobljena vrednost  $D_m = 25 \cdot 10^{-2}$  mm, pred odsekom 28 in za odsekom  $30 \cdot 10^{-2}$  mm.

Vse vrednosti so sicer v enakem velikostnem redu in ni mogoče trditi, da gre za kakršno koli izrazito razliko stanja podajnosti, saj se vrednosti razlikujejo samo v okviru točnosti meritev. Kljub temu ne gre zanemariti podatka, da so najboljše vrednosti najboljše ravno na testnem polju, ob upoštevanju, da je debelina asfaltne nadgradnje 19 cm.

#### 4 NAČRTOVANJE PREDHODNE SESTAVE BITUMINIZIRANIH ZMESI

Predhodna sestava pomeni izbiro materialov in njihovega razmerja v sestavi bituminiziranih zmesi, ki je potrebna za zagotovitev načrtovanih lastnosti. S predhodno sestavo je treba zagotoviti zahtevane lastnosti bituminiziranih zmesi. Pri pripravi predhodne sestave bituminiziranih zmesi pa je potrebno upoštevati zakonitosti načrtovanja sestave in parametre, ki na bituminizirane zmesi učinkujejo v času njihove dobe trajanja.

Značilnosti, ki definirajo optimalne asfaltne zmesi so:

- primerna vsebnost votlin v komprimirani bituminizirani zmesi,
- zadovoljiva vgradljivost in sposobnost razgrnitve,
- zahtevana torna sposobnost,
- ustrezen delež veziva,
- zadovoljiva stabilnost bituminizirane zmesi.

V Sloveniji je uveljavljen postopek, ki temelji na teoriji votlin in je opisan v tehnični specifikaciji za ceste 06.730. Najbolj uporabljen postopek za projektiranje bituminiziranih zmesi je postopek, imenovan po ameriškem inženirju Marshallu. Pri tem postopku se določi delež veziva pri želeni gostoti, ki zagotavlja minimalno stabilnost.

Postopek projektiranja bituminiziranih zmesi po Marshallu je sestavljen iz šestih osnovnih korakov:

- izbira primernega kamnitega materiala,
- izbira veziva,
- priprava vzorcev,
- določitev stabilnosti in tečenja,
- izračuna gostote in vsebnosti votlin,
- izbira optimalnega deleža veziva.

Postopek priprave predhodne sestave bituminiziranih zmesi, kot je opisan v TSC 06.730, zajema naslednje aktivnosti:

- zbiranje informacij o prometni in klimatski obremenitvi ter položaju bituminizirane zmesi v voziščni konstrukciji,

- vzorčenje materialov, namenjenih za izdelavo bituminizirane zmesi (zmesi kamnitih zrn, bitumna, polnila in dodatkov),
- določitev lastnosti vzorčenih materialov s standardnimi preskusi,
- izračun sestave ustrezne zmesi kamnitih zrn,
- pripravo bituminiziranih zmesi z različnimi deleži bitumna ter izdelavo preizkušancev,
- določitev prostorske gostote in navidezne gostote bituminizirane zmesi in preizkušancev ter izračun vsebnosti votlin v preizkušancih in stopnje zapoljenosti votlin z bitumnom v zmesi kamnitih zrn,
- določitev napetostno-deformacijskih lastnosti bituminizirane zmesi po Marshallovem postopku (stabilnost, tečenje, togost).

Tak postopek, kot je opisan v TSC 06.730, je primeren predvsem za bituminizirane zmesi, ki bodo proizvedene v asfaltnem obratu po vročem postopku.

#### **4.1 Pogoji projektiranja**

Za pripravo predhodne sestave bituminizirane zmesi je privzet model sestave bituminizirane zmesi, ki predstavlja osnovo za načrtovanje. V osnovnem modelu so materiali v sestavi bituminizirane zmesi glede na funkcijo razdeljeni v sistem s tremi komponentami:

- zmes kamnitih zrn,
- bitumen,
- votline.

#### **4.2 Priprava in preizkusi vhodnih podatkov**

Uporabnost vseh materialov, predvidenih za predhodno sestavo bituminiziranih zmesi po vročem postopku, mora biti preverjena z ustreznimi predhodnimi preskusi in ustrezno dokazana.

Če so v bituminizirani zmesi potrebni dodatki za izboljšanje določenih lastnosti, morajo biti za uporabo teh dodatkov zagotovljena natančna navodila proizvajalca.

Za bituminizirane zmesi so lahko uporabljeni tako naravni kot tudi umetni materiali. Osnovni material v bituminizirani zmesi so zrna kamnitega materiala, ki so v sestavi bituminizirane zmesi glavni nosilec odpornosti proti deformacijam, bitumen pa nastopa kot vezivo.

Zrna kamnitega materiala so lahko proizvedena iz kamnin sedimentnega ali eruptivnega izvora.

#### **4.2.1 Kamena moka**

Sestavni del zmesi kamnitih zrn v bituminizirani zmesi je kamena moka. To je zmes zrn, manjših od 0,71 mm.

Polnilo v kameni moki (zrna velikosti do 0,09 mm) ima skupaj z vezivom, bitumnom, funkcijo zapolnjevanja votlin v bituminizirani zmesi.

#### **4.2.2 Pesek**

Pesek je kamniti material, ki se ga glede na velikost zrn lahko uvršča med:

- drobni pesek 0/1 mm,
- srednji pesek 0/2 mm,
- grobi pesek 0/4 mm.

V zmesi kamnitih zrn v bituminizirani zmesi se lahko uporabi naravni ali drobljeni pesek, pridobljen z drobljenjem kamnitega materiala.

#### **4.2.3 Drobir in prod**

Zmesi kamnitih zrn za bituminizirane zmesi lahko vsebujejo zrna kamnitega materiala, pridobljenega z drobljenjem (drobljenec) ali zrna naravnega kamnitega materiala (prodec).

Kamnita zrna drobirja in proda (velikost nad 2 mm) morajo biti za pripravo bituminiziranih zmesi po vročem postopku praviloma razvrščena v naslednje razrede:

- od 2 do 4 mm
- od 4 do 8 mm
- od 8 do 11,2 mm
- od 11,2 do 16 mm

- od 16 do 22,4 mm
- od 22,4 do 31,5 mm
- od 31,5 do 45 mm.

#### 4.2.4 Bitumen

Bitumen v bituminizirani zmesi povezuje kamnita zrna in predstavlja viskoelastično komponento. V sestavi bituminizirane zmesi zavzema razmeroma majhen delež.

Bitumen je po vrednostih penetracije razvrščen v naslednje vrste:

- BIT 200
- BIT 130
- BIT 90
- BIT 60
- BIT 45
- BIT 25
- BIT 15

Za izboljšanje kakovosti bitumna se lahko uporabijo dodatki, obstojni na temperaturi (elastomeri, plastomeri). V ustreznih obratih je treba pripraviti homogeno fizikalno mešanico ali produkt kemijske reakcije bitumna in dodatka.

S polimeri modificirani bitumni (PmB) so razvrščeni v naslednje osnovne vrste:

- PmB I
- PmB II
- PmB III
- PmB IV

#### 4.2.5 Naravni asfalt

V sestavi bituminizirane zmesi se lahko uporabi tudi naravni asfalt.

Pri izračunih sestave bituminizirane zmesi je treba praviloma upoštevati tudi delež drobnih zrn (polnila), ki jih vsebuje naravni asfalt.

#### **4.2.6 Asfaltni granulati**

V sestavi bituminizirane zmesi se lahko ponovno uporabi že obstoječa asfaltne zmes – asfaltni granulati.

Z rezkanjem pridobljeni asfaltni granulati so primereni za ponovno uporabo, če vsebuje ustrezna kamnita zrna ter ustreznimi bitumen za predvideni namen uporabe.

#### **4.2.7 Dodatki**

Za izboljšanje določenih lastnosti bituminizirane zmesi ali sestavin, se po potrebi lahko uporabijo naslednji dodatki:

- dupi za izboljšanje obvitosti kamnitih zrn z bitumnom,
- stabilizatorji bitumna, ki so nosilci veziva predvsem v bituminiziranih zmesih z velikim deležem bitumna ali z majhnim deležem peska in polnila,
- sredstva za regeneracijo bitumenskega veziva.

### **4.3 Kakovost materialov**

Vse pogojene vrednosti za kakovosti materialov bituminizirane zmesi so podrobno opredeljene v tehničnih predpisih. Pogojene osnovne lastnosti, navedene v tehničnih predpisih, morajo biti zagotovljene.

#### **4.3.1 Kamniti material**

Zahtevano kakovost zmesi kamnitih zrn je treba zagotoviti pri proizvodnji.

Skladnost lastnosti dobavljenega kamnitega materiala s podatki dobavitelja ali proizvajalca je treba preveriti v sklopu predhodne sestave bituminizirane zmesi v pogledu zrnivosti, oblike zrn, količine slabih zrn, žilavosti (po postopku Los Angeles), vodovpojnosti, obvitosti zrn z bitumnom, zmrzljive obstojnosti ustreznih frakcij in porekla kamnine.

Zmesi kamnitih zrn morajo biti predhodno preverjene tudi v pogledu čistosti in tudi homogenosti, preverjena pa mora biti tudi ustreznost deponij.

Zahtevane lastnosti zmesi kamnitih zrn so podrobno opredeljene v tehničnih predpisih, iz katerih je razvidna tudi njihova uporabnost.

Za predhodno sestavo bituminizirane zmesi je potrebno določiti naslednje kakovostne karakteristike zmesi kamnitih materialov:

- zrnavost kamene moke,
- votline po Rigdenu,
- zrnavost zmesi zrn,
- vpijanje vode,
- navidezno specifično gostoto frakcij kamnitih zrn,
- navidezno specifično gostoto kamene moke.

#### **4.3.2 Bitumen**

Lastnosti bitumna, ki jih je potrebno obvezno preiskati pri izdelavi predhodne sestave bituminizirane zmesi, so:

- penetracija,
- zmehčišče (PK),
- indeks penetracije (IP),
- navidezna gostota.

Vse pogojene vrednosti za kakovost bitumnov, navedene v tehničnih predpisih, so mejne, zato morajo biti zagotovljene.

#### **4.3.3 Asfaltni granulati**

V asfaltni zmesi se lahko ponovno uporabi samo rezkanec, ki je pridobljen v primerno velikih količinah iz enovitih plasti asfalta. Pomembno je, da je asfaltni rezkanec primerno uskladiščen, da se zrna ponovno ne zlepijo (manjša višina deponije, pokrite deponije).

Za določitev lastnosti asfaltne granule ga je potrebno pred izvedbo laboratorijskih preiskav homogenizirati, enakomerno razgrniti in posušiti. Sušenje mora trajati 24 ur pri temperaturi, ki ne sme presegati 70°C.



## **Agregat**

Testi za določanje primernosti asfaltnega granulata so enaki kot testi za sveže materiale pri proizvodnji vročih bituminiziranih zmesi. Kadar želimo preveriti kakovost kamnitih zrn v asfaltne granulatu, moramo ločiti zrna in vezivo. To se počne s pomočjo topil, ki ločijo vezivo od kamnitih zrn. Ko imamo ločena kamnita zrna, pa so testi zanje popolnoma enaki, kot pri izdelavi nove asfaltne mešanice.

Mineraloških in prostorskih značilnosti kamnitih zrn, ki smo jih pridobili iz asfaltne granulata, ni potrebno preverjati. Potrebe po tem ni, saj so bile te zahteve izpolnjene in preverjene že pri prvi izdelavi asfaltne mešanice.

## **Zrnavaost**

Kamnita zrna, ki smo jih pridobili iz porezkane bituminizirane zmesi, morajo imeti ustrezno presežno krivuljo. Pri tem je treba upoštevati pojav določenega deleža prahu, ki je posledica ločevanja bitumna in kamnitih zrn s pomočjo topila.

Kadar projektiramo novo asfaltno mešanico z dodatkom odpadnega asfalta, je potrebno preveriti, da je skupna presežna krivulja kamnitih zrn ustrezna oziroma, da je enaka projektirani. Asfaltni granulati imajo navadno finejšo sestavo kamnitih zrn, saj se nekatera zrna poškodujejo in prelomijo pri rezkanju in drobljenju. To pomanjkljivost je potrebno odpraviti s primerno sejalno krivuljo zmesi zrn.

## **Odpornost proti drobljenju**

Odpornost proti drobljenju kamnitih zrn se navadno ugotavlja z postopkom Los Angeles. Preizkus temelji na določanju njene odpornosti proti drobljenju in istočasni obrabi zrn zaradi medsebojnega trenja. Pri tem postopku jeklene krogle, vstavljene skupaj z zmesjo kamnitih zrn v predpisani bobni, med vrtenjem drobijo in meljejo zrna.

## Odpornost proti zglajevanju

Odpornost kamnitih zrn je pomembna predvsem za obrabno-zaporne plasti. V teh plasteh so prisotne velike vodoravne napetosti, ki jih povzroča prometna obremenitev. Odpornost proti zglajevanju je pomembna za doseganje zadovoljive torne sposobnosti vozišča.

## Oblika zrn

Oblika zrna je razmerje med dolžino in debelino. V asfaltni stroki ločimo med seboj le naravna in drobljena zrna. Drobljena zrna so tista, ki imajo ravne stranice in ostre robove, medtem ko imajo naravna zrna bolj zaobljene robove in zglajene stranice.

Oblika zrna znatno vpliva na njegovo sposobnost proti preoblikovanju:

- kubična zrna se tlačno zdrobijo
- na ostrih robovih pride do odlamljanja delcev
- če obtežba deluje v smeri razpok se zrno lahko prelomi
- podolgovata zrna so posebno občutljiva na upogib

Določanje deleža naravnih in kamnitih zrn se določa tako, da vzamemo zrna in jih pregledamo z očesom. To velja le za zrna večja od 2 mm. Najbolj primerna oblika je kubična. Taka zrna najbolje prenašajo obtežbo v skeletu in večajo prostorsko gostoto kamnite zmesi. Ploščata zrna so nezaželena, saj ob porušitvi drsijo.

Obliko zrn določamo s kljunastim merilnikom po Schulzeju, ki ima določeno razmerje obeh odprtin (3: 1). Dobra zrna so tista, ki imajo razmerje manjše od 3 : 1, vsa ostala zrna so slabo oblikovana.

## Bitumen

Bitumen iz odpadnega asfalta je potrebno testirati preden ga lahko uporabimo v novi asfaltni mešanici. Ko testiramo vezivo iz odpadnega asfalta, imamo dva skrajna primera:

- kadar uporabljamo odpadni asfalt za temeljna tla, se ga uporablja v hladnem stanju, kar pomeni, da vezivo predstavlja trdno snov
- kadar ga uporabljamo v novih bituminiziranih zmesih, ga predhodno segrejemo in upoštevamo, da bo vezivo postalo tekoče in omogočalo obvitje vseh kamnitih zrn.

Bitumen je material, ki se stara. Proces staranja je zelo počasen in se meri v letih, tudi desetletjih. Pri staranju se lastnosti bitumna bistveno spreminjajo. Razlikujemo tri vrste staranja:

- zaradi izhlapevanja,
- zaradi oksidacije,
- strukturno staranje.

Staranje bitumna zmanjša penetracijo, zvišuje zmečkaišče po PK, viša točko loma, manjša duktilnost in veča viskoznost. Vse naštete spremembe povečujejo možnost nastanka razpok.

Za preiskave bitumna se uporabljata dve metodi:

- penetracija; je merilo trdote bitumna pri 25°C,
- zmečkaišče; temperatura pri kateri bitumen teče.

Načrtovanje bituminizirane zmesi z uporabo asfaltnega rezkanca mora biti sicer v celoti skladno z obstoječimi tehničnimi predpisi.

#### **4.4 Postopek projektiranja**

Predhodna sestava vključuje pripravo materialov, mešanje in preizkuse v laboratoriju. Pri predhodni sestavi bituminizirane zmesi je potrebno v celoti upoštevati vse zahteve za kakovost bituminizirane zmesi, navedene v tehničnih predpisih.

Praviloma je potrebno za predhodno sestavo pripraviti pet vzorcev bituminiziranih zmesi z enako sestavo zmesi kamnitih zrn in različnimi deleži bitumna. Delež bitumna je potrebno prilagoditi sestavi zmesi kamnitih zrn. Priporočljiva razlika med deleži bitumna v vzorcih asfaltnih zmesi je med 0,3 in 0,5 %.

Kadar upoštevamo s polimeri modificirani bitumen, moramo z ustreznim postopkom določiti dinamično viskoznost bitumna. Nujno potrebno je upoštevati navodila in priporočila proizvajalca modificiranega bitumna.

Standardne preizkuse bituminiziranih zmesi je potrebno izvršiti po navodilih, ki so podana v veljavnih tehničnih predpisih. Obvezni preizkusi asfaltnih zmesi so:

- izrednotenje navidezne gostote zmesi zrn in bituminiziranih zmesi,
- izrednotenje prostorske gostote,
- izračun votlin v zgoščeni bituminizirani zmesi in stopnje zapolnjenosti votlin v zmesi zrn z bitumnom,
- določitev napetostno-deformacijskih lastnosti bituminiziranih zmesi v preizkušancih po Marshallu.

Glede na izrednotene lastnosti preizkušenih bituminiziranih zmesi se odločimo za optimalno sestavo. Izbira optimalne sestave bituminizirane zmesi pomeni izbiro optimalnega deleža bitumna za izbrano sestavo zmesi kamnitih zrn. Optimalna sestava pomeni tudi bituminizirano zmes z lastnostmi, predpisanimi glede na namen uporabe. Lastnosti optimalne sestave bituminiziranih zmesi morajo biti prikazane tako v tabelarični kot v grafični obliki.

Kadar delamo predhodno sestavo bituminizirane zmesi za pomembnejše objekte ali posebne namene, so potrebni dodatni preizkusi. Z njimi določamo:

- odpornost bituminizirane zmesi proti deformacijam,
- obnašanje bituminizirane zmesi pri nizkih temperaturah,
- odpornost bituminizirane zmesi proti zgostitvi.

#### **4.5 Poročilo o predhodni sestavi**

Poročilo o predhodni sestavi bituminizirane zmesi mora vsebovati naslednje sklope podatkov o predhodni sestavi bituminizirane zmesi:

- splošne podatke o pripravi bituminizirane zmesi,
- osnovne podatke o sestavi bituminizirane zmesi,
- rezultate preizkusov poskusnih bituminiziranih zmesi,
- predlog za optimalno sestavo bituminizirane zmesi.

## **5 RECIKLIRANJE BITUMINIZIRANIH ZMESI PO VROČEM POSTOPKU V ASFALTNEM OBRATU**

Pravilno dimenzionirana in pravilno vgrajena reciklirana bituminizirana zmes po vročem postopku je dokazano enako dobra ali pa vsaj enakovredna klasični bituminizirani zmesi iz asfaltne obrate. Na voljo imamo več različnih možnosti recikliranja. Recikliranje po vročem postopku se je izkazalo kot primereno in zelo uporabno. Lahko se ga uporablja za korekcijo sestave že vgrajene obrabne plasti, kot tudi za popravo morebitnih geometrijskih nepravilnosti. Recikliranje po vročem postopku lahko uporablja isti material znova in znova z majhnimi popravki že obstoječe asfaltne baze. Z recikliranjem odpravimo problem odpadkov in deponij, med drugim pa je tudi onesnaževanje zraka pri recikliranju manjše.

Recikliranje po vročem postopku je definirano kot postopek, pri katerem asfaltnemu granulatu dodajamo svežo zmes kamnitih zrn in dodatno vezivo. Kot rezultat dobimo vročo bituminizirano zmes. Asfaltni granulati lahko pridobimo z mletjem, rezkanjem ali pa z drobljenjem obstoječi asfaltnih plasti.

### **5.1 Odstranjevanje obstoječe bituminizirane plasti**

Dve najpogostejši metodi za odstranjevanje obrabne plasti sta rezkanje in strganje.

#### **5.1.1 Hladno rezkanje**

Od obeh omenjenih metod je rezkanje najpogosteje uporabljena metoda. Postopek rezkanja je popolnoma revolucioniral recikliranje bituminiziranih plasti. Rezkanje je metoda, pri kateri stroj avtomatsko postrga asfaltno plast do zelene globine s posebnimi rezkalnimi glavami. Rezkanje se lahko tudi uporablja za povrnitev hrapavosti vozne površine, popravo geometrije, zmanjšanje kolesnic in grbin.

Rezkanje je kontrolirano odzemanje bituminiziranih plasti do zelene globine, s posebnimi rezkalnimi stroji. Rezkanje se lahko uporablja za odvzem ene ali vseh plasti voziščne konstrukcije. Globina rezkanega materiala se lahko spreminja, da dosežemo željeno globino rezkanja. Rezkanje navadno uporabljamo skupaj z drugimi metodami recikliranja. Prekinitve

prometa so lahko zelo kratke, saj lahko vozila spustimo po porezkani površini takoj, ko se odstrani ves porezkani material.

Razvoj rezkalnih naprav se je začel v poznih sedemdesetih letih dvajsetega stoletja. Naprave so različnih dimenzij; od majhnih (približno pol-metrski pas) do največjih naprav, ki v enem prehodu porezkajo do širine 2,5 m in do globine 300 mm.

Rezkalniki imajo lahko obračalne gosenice spredaj, zadaj ali na obeh koncih. To jim zagotavlja optimalno mobilnost in sposobnost, da rezkajo okrog majhnih radijev.

Rezkalna glava je hitro zamenljiva, kar omogoča hitrejšo rezkanje, saj se zobje na vrtilni glavi hitro obrabijo. Zobje so obrnjeni v spiralo, kar potiska porezkani material proti sredini rezkalne glave.

Moderni aparati za rezkanje so, med drugim, opremljeni s pogonskim sklopom, pri čemer ne potrebujemo dodatne opreme za pogon stroja. Najmodernejši rezkalni stroji nalagajo porezkani material pred njimi na tovornjake. To je posebej ugodno, ker se poveča varnost in olajša delo za voznike tovornjakov, saj jim ni potrebno voziti vzvratno.

### **5.1.2 Strganje**

Kot alternativa rezkanju se pojavlja strganje in drobljenje dotrajanega asfaltnega vozišča. Za to uporabljamo riper. Odpadni material je naložen na tovornjake in spravljen za mletje. Ta metoda je primerna predvsem tam, kjer je potrebno vozišču zagotoviti dodatno nosilnost. Velika prednost rezkanja pred strganjem je predvsem v tem, da rezkalnik hkrati porezka in zdrobi material, kar precej pripomore k večji produktivnosti. Pri strganju pa dobimo bituminiziran material v kosih, ki jih je potrebno še zdrobiti. Prednost strganja pred rezkanjem pa je v tem, da imamo pri strganju manj prašnih delcev.

### **5.1.3 Drobljenje in shranjevanje**

Namen drobljenja je, da zdrobimo pridobljene delce do maksimalne dovoljene velikosti. En tak primer je, da gre 95% asfaltne granulate skozi 50-milimetrsko sito. Rezkanje lahko recikliran material zdrobi že na mestu recikliranja. Pri strganju pa je potrebno zdrobiti produkt

v asfaltni bazi. Problem pri strganju je, da lahko to poškoduje zmes zrn, zato je potrebno tudi na tak način pridobljeno zmes zrn presejati in po potrebi dodati dodatne frakcije. Za drobljenje v centralnem obratu imamo različne postopke drobljenja: drobljenje s pritiskom ali udarno drobljenje.

Udarno drobljenje je najpogostejši način drobljenja. To pa zato, ker se pri hidravličnih drobilnikih včasih zlepijo lopatice. Udarni drobilniki so primerni tako za primarno kot sekundarno drobljenje.

Pri horizontalnemu udarnemu drobilniku fiksne drobilne palice, pritrjene na rotor, drobijo pridobljeni odpadni material tako, da ga pritiskajo ob stacionarno drobilno ploščo. Tak način drobljenja lahko uporabljamo kot primarni in sekundarni. Kot sekundarnega se ga uporablja takrat, ko imamo za primarni drobilnik čeljustni drobilnik.

Kladivni drobilnik, pri katerem se drobilne palice vrtijo na rotorju in s tem ustvarjajo učinek vrtljivega kladiva, se lahko uporablja za primarno drobljenje, za sekundarno drobljenje pa, kadar uporabljamo za primarno drobljenje čeljustni drobilnik. Včasih uporabljamo za primarnega čeljustni drobilnik, kot sekundarnega pa valjčni mlin. Čeljustni drobilnik drobi večje kose v manjše, ki jih potem dokončno zdrobijo valjčni mlini.

Tako čeljustni kot tudi valjčni mlini lahko premeljejo reciklirani material v kontinuirano maso, posebno kadar je vreme toplo in vlažno. Takih problemov pri horizontalnih drobilnikih in valjčnih mlinih nimamo. Da bi zagotovili homogenost recikliranega materiala, ga najprej dobro premešamo, potem pa zdrobimo do velikosti zrn, ki je eno mero manjša od največje debeline plasti, ki jo bomo vgradili. To počnemo zato, da zagotovimo, da je zmes zrn pravilna. V mešanici ne sme biti nadmernih zrn. Če imamo drobilec na mestu vgradnje, manjše količine preverimo glede na njihovo konsistenco in jih šele nato uporabimo. Prednost drobilca na licu mestu je tudi v tem, da imamo manjše kupe agregata, ki jih lahko hitreje porabimo in preprečimo, da se navlažijo, kar bi povečalo stroške sušenja agregata v centralnem obratu in zmanjša odstotek odpadnega asfalta, ki ga lahko uporabimo.

Pri drobljenju moramo paziti, da ne izgubimo najmanjših delcev, saj nosijo največji delež bitumenskega veziva. Zaželeno je tudi, da drobilec agregata ne proizvaja preveliko prašnih delcev, ker ti zahtevajo večjo dodatno količino veziva.

Pridobljeni asfaltni granulati, ki je bil pridobljen na različnih mestih ima različno količino veziva in različne velikosti agregatov, se mora shranjevati na posameznih kupih in ne na istem. Odpadni asfalt se lahko hrani nezdobljen ali zdobljen. Pomisleka pri hranitvi materialov v kupih sta konsolidacija in vlaženje.

V preteklosti je prevladovalo mnenje, da so za hrambo recikliranih bituminiziranih zmesi bolj primerni dolgi in nizki kupi, kot pa visoki konični kupi. Novejše raziskave so pokazale, da se dejansko boljše obnašajo visoki konični kupi. Tendencia je, da se naredi skorja, debeline od 20 do 25 cm. Gradbeni stroji to skorjo zlahka zdobijo. Skorja brani pred padavinami in preprečuje kompaktiranje ostalega materiala. Skorja se pojavlja tudi pri nizkih in dolgih kupih, kjer ima iste prednosti. Slabost nizkih kupov je tudi v tem, da se morajo bagri dlje premikati za zajemanje materiala, kar pomeni podaljšanje časa nalaganja.

Kupi, v katerih skladiščimo asfaltni granulati, morajo biti grajeni na trdi podlagi, da preprečimo kontaminacijo, tako temeljnih tal kot tudi skladiščenega materiala. Najmanjši delci, ki jih dobimo z drobljenjem in rezkanjem absorbirajo vlago in jo tudi zadržijo. S tem se stroški proizvodnje in teža materiala povečajo, kar je slabo za sušenje in prevažanje. Toplota v obratu prihaja iz segretega kamenega agregata. Ker obstaja limit temperature, do katere lahko segrejemo agregat, moramo znižati odstotek uporabljenega asfaltne granulate v novi vroči asfaltni mešanici.

Jasno je, da morajo biti kupi materiala dobro drenirani. Visoki konusni kupi so, kar se dreniranja tiče, precej boljši. Če je vsebnost vlage na območju skladišča posebno visoka, je potrebno razmisliti o hrambi materiala pod streho ali vsaj pokritju materiala z zaščitno folijo.



## **5.2 Proizvodnja bituminiziranih zmesi v obratu s saržnim načinom polnjenja**

### **5.2.1 Hladni preddozatorji**

Nekatere starejše asfaltne baze so opremljene s tekočimi trakovi konstantne hitrosti, ki odnašajo zmes zrn od preddozatorjev do sušilnega bobna. Regulacijo zmesi zrn, ki pade na tekoči trak, se določa z velikostjo odprtine vsakega preddozatorja. Novejše asfaltne baze pa imajo tekoče trakove variabilnih hitrosti, tako da se količino zmesi zrn določa s tekočimi trakovi in širino odprtine preddozatorja. Vsak preddozator ima svoj tekoči trak, ki nalaga zrna na skupni tekoči trak, ki dovaja zrna v sušilni boben.

Asfaltni granulati navadno hranimo stran od zmesi zrn. Podobno kot za zmes zrn, imamo tudi za odpadni asfalt preddozatorje. Zdrobljeni odpadni asfalt iz preddozatorjev pade na tekoči trak, ki vodi v transportni tekoči trak, ta pa vodi asfaltni granulati do enega izmed treh prostorov:

- v spodnji del vročega elevatorja,
- vroče silose za odpadni asfalt na vrhu stolpa,
- v tehtnico pred mešalnikom.

Odpadnega asfalta navadno ne segrevamo v sušilnem bobnu, saj se pri tem procesu sprošča velika količina ogljikovodikov. Zato se vodi odpadni material stran od zmesi zrn, ki pa morajo skozi sušilni boben.

### **5.2.2 Shranjevanje kamnitega polnila**

Zaradi velike specifične površine zrn (velikost do 0,71 mm, od tega do 85% do velikosti 0,063 mm) je polnilo zelo občutljivo. Zaradi velike afinitete navzame in adhezijsko veže velike količine vode. V takšnem stanju bi bila uporaba v proizvodnji bituminiziranih zmesi zelo otežena. Zato je na vsakem obratu za proizvodnjo bituminiziranih zmesi pogojeno skladiščenje polnila v zaprtih silosih, ločeno za lastno in dodatno polnilo. To je potrebno za zagotovitev primerne kakovosti polnila za bituminizirane zmesi pri zahtevnejših pogojih uporabe. Lastno polnilo, pridobljeno bodisi iz kamnitega prahu v postopku priprave – sušenja in segrevanja zmesi zrn – za proizvodnjo bituminiziranih zmesi ali pri odpraševanju proizvodnje zmesi zrn v kamnolomih, bi zaradi primesi, tudi slabših, predvsem manj

obstojehnih zrn, lahko bistveno vplivalo na trajnost bituminizirane zmesi. Zato sta kot kvalitetni zahtevi za polnilo določena indeks otdritve bitumna in indeks plastičnosti polnila.

Osušitev in delno segrevanje dodatnega polnila je mogoče zagotoviti s toploto plamenskih plinov iz sušilnega bobna, ki je sicer izgubljena.

### 5.2.3 Skladiščenje veziva

Za skladiščenje veziv, ki jih uporabljamo v proizvodnji bituminiziranih zmesi, morajo biti izpolnjeni naslednji pogoji:

- za vsako vrsto veziva, ki je predvideno za uporabo, mora biti dovolj zmogljivosti za skladiščenje, ki omogočajo neprekinjeno proizvodnjo določene vrste bituminizirane zmesi
- vse cisterne za vezivo morajo biti opremljene z napravami za posredno segrevanje v času skladiščenja in zagotoviti vrsti bitumna primerno temperaturo skladiščenja
- vse cisterne morajo biti opremljene s termometri
- vse dovodne oziroma razvodne cevi za bitumen morajo biti ustrezno izolirane.

| TIP BITUMNA | TEMPERATURA SKLADIŠČENJA (°C) |            |
|-------------|-------------------------------|------------|
|             | optimalna                     | maksimalna |
| 160/220     | 130                           | 140        |
| 100/150     | 140                           | 150        |
| 70/100      | 145                           | 160        |
| 50/70       | 150                           | 165        |
| 35/50       | 155                           | 175        |
| 20/30       | 160                           | 180        |

#### **Preglednica 2:** Temperatura skladiščenja za bitumensko vezivo

Tudi za vse tekoče dodatke v proizvodnji bituminiziranih zmesi morajo biti zagotovljeni primerni pogoji skladiščenja pred uporabo, kot jih zahteva proizvajalec dodatka.

#### 5.2.4 Sušilni boben za agregat

Dozirni trakovi preddozatorjev dovajajo volumsko določeno količino zmesi zrn v sušilni boben. Tu se kamniti material posuši, segreje in odpraši.

Sušilni boben ima obliko podolgovatega valja z dvema nosilnima obročema in leži na nosilih (lahko tudi pogonskih) valjih. Pogon bobna je lahko verižni, z zobnikom ali pa z nosilno-pogonskimi valji. Na izpustu iz bobna je gorilnik, ki je lahko oljni, plinski, na mazut, na premogov prah ali pa kombiniran. Ob gorilniku je ventilator, ki dovaja v gorilnik svež zrak. Najboljši kurilni medij je vsekakor zemeljski plin, ki oddaja v ozračje najmanj nevarnih snovi, poleg tega pa je cenovno ugoden. Za rezervo pa je v primeru izpada potrebno izbrati še kak drug energent.

Dimenzije sušilnega bobna so naslednje:

- dolžina med 6 in 12 m,
- premer med 1,5 in 3 m.

Sušilni boben ima obliko valja, ki rotira glede na svoje težiščno os. Razmerje med dolžino in premerom je 1 : 4. Naloga sušilnega bobna je, da zmes zrn posuši in segreje na predvideno temperaturo. Izstopna temperatura je navadno med 138 in 163°C. Vsebnost vlage v zmesi zrn se zniža na vsaj 0,5 %, po možnosti pa še nižje, do 0,2 %.

Zmes zrn prihaja v sušilni boben na vrhu prek tekočega traku. Tekoči trak prenese zmes zrn od preddozatorjev do sušilnega bobna. Varjene lopatice na steni bobna premešajo in potiskajo zmes zrn proti izhodni točki. Med pomikanjem se zrna segrejejo in vlaga izpari zaradi vročih plinov, ki nastajajo zaradi gorilnika. Vroči plini grejejo zrna s pomočjo kondukcije, konvekcije in radiacije. Protitočni sistem je ekonomsko ugodnejši od paralelno usmerjenega, saj porabi manj goriva.

Čas, ki je potreben, da zmes zrn prepotuje skozi sušilni boben, je odvisen od:

- dolžine bobna,
- naklona bobna,
- hitrosti rotacije bobna,
- števila lopatic na obodu bobna.

Če po praznjenju bobna v njem ostane več kot 0,5 % zmesi zrn, je potrebno zmanjšati naklon bobna, kar pomeni, da bo zmes zrn ostala v bobnu dalj časa. Več materiala kot ostane v njem, bolj je oviran pretok vročih plinov in slabša je učinkovitost sušilnega bobna. Ker se zmanjša učinkovitost, moramo povečati čas, da iz bobna pride primerno suha in segreta zmes.

Ker zmes zrn predstavlja med 92 in 96 % teže končne bituminizirane zmesi, njegova temperatura odloča o kvaliteti bituminizirane zmesi. Vroča zmes zrn in vezivo se združita v mešalniku. Če imamo preveč segrete zmes zrn, obstaja nevarnost, da se bo bituminizirana mešanica v mešalniku prehitro otrdila, kar lahko zaustavi mešalec in posledično celotno asfaltno bazo. Kadar imamo opravka z asfaltno mešanico proizvedeno iz odpadnega materiala, zmesi zrn in veziva, takrat je potrebno zmes zrn segreti na višjo temperaturo. To je postopek indirektnega segrevanja odpadnega asfalta z vročimi kamenimi zrn.

#### **5.2.5 Odpraševalna naprava**

Služi za izločanje prašnih delcev iz dimnih plinov in je z dovodno cevjo povezana s sušilnim bobnom. Na njej je vgrajena loputa za dovod svežega zraka v primeru nenadnega dviga temperature dimnih plinov, izsesanih iz sušilnega bobna.

Odpraševalna naprava je sestavljena iz hladilnika z zbirnim polžem za grobo lastno polnilo, filtra z vrečami za čiščenje dimnih plinov z zbirnim polžem za fino lastno polnilo, sesalnega ventilatorja s dušilno loputo ter dimnika. Njena glavna naloga je očistiti dimne pline večine prašnih delcev, da jih ostane manj kot 20 mg/m<sup>3</sup>.

Dimni plini se v hladilniku ohladijo. Če so prevroči, se avtomatsko odpre loputa za svež zrak, nakar se iz njih izločijo grobi delci (grobo polnilo), ki se preko zbirnega polža transportirajo v silos za lastno polnilo. Dimni plini potujejo nato skozi vrečasti filter, kjer se na vrečah odlagajo najfinejši delci, kateri se z izpihovanjem vreč odlagajo na dnu filtra in se nato preko zbirnega polža transportirajo v silos za lastno polnilo. Tako shranjeno polnilo se lahko kontrolirano dodaja v vsako posamezno asfaltno zmes glede na zahtevnost recepture.

Dimni plini se nato odvajajo skozi dušilno loputo in sesalni ventilator ter dimnik v ozračje. Dušilna loputa služi za regulacijo podtlaka v sušilnem bobnu, kar je pogoj za dobro izgorevanje in brezhibno delovanje filtra.

### **5.2.6 Vroči elevator**

Segreta in posušena zmes zrn je odvedena iz sušilnega bobna na tekoči trak, ki prepelje zmes zrn v vroči elevator. V vročem elevatorju je neprekinjen tekoči trak, ki se pomika vertikalno. Na traku so posode v katere se nalaga zmes zrn in potujejo proti vrhu, kjer je zmes zrn raztovorjena na vibracijska sita.

Odpadnega asfaltna ni priporočljivo dodajati na dnu vročega elevatorja, kadar njegov delež presega 10 %. Najbolje je, če se ga doda vroči zmesi zrn takoj po tem, ko prišla iz sušilnega bobna. Zaželeno je, da se zmleti odpadni asfalt stresa prek vroče zmesi zrn in da se jo stresa v sredino posod v vročem elevatorju. Kadar to ni mogoče, bi moral odpadni asfalt imeti poseben dostop do vročega elevatorja. Odpadni material naj bo stresen v vedro šele potem, ko bo v vedru že vroča zmes zrn, da bi preprečili lepljenje asfaltnih zrn na stene vedra.

Obstaja omejitev dovoljenih odstotkov odpadnega asfaltna, ki jih lahko zmešamo z vročo zmesjo zrn v dnu vročega elevatorja. Pogojen je s prenosom toplote iz zmesi zrn na odpadni material. Delež asfaltnega granulata je tudi odvisen od vsebnosti vlage in vremenskih pogojev. Vse to vpliva na prenos toplote iz zmesi zrn pri dvigovanju po vročem elevatorju. Če se odpadni material preveč segreje, imamo lahko probleme na vibracijskih sitih, saj bi se delci obdani z bitumnom lahko prilepili in tako zamašili sita. Če bi se preveč sit zamašilo, bi morali ustaviti proizvodnjo bituminizirane zmesi.

### **5.2.7 Vibracijska sita**

Zmes zrn se na vrhu vročega elevatorja stresa v niz vibracijskih sit. Sita služijo za razmeščanje zrn glede na njihovo velikost. Običajno imamo štiri sita. Prvo sito služi za izločanje presežnih zrn, ki gredo potem nazaj v drobilnik. Ostala tri sita poskrbijo za razvrščanje zrn v štiri različne frakcije. Vsako sito ima različne odprtine, da se izboljša sejanje in prepreči poškodba manjših sit zaradi večjih zrn.

Sita imajo največkrat kvadratne odprtine, lahko pa so tudi pravokotne. Tipične dimenzije za sita so:

- prvo sito: 32 mm,
- drugo sito: 16 mm,

- tretje sito: 8 mm,
- četrto sito: 4 mm.

Zrna manjših dimenzij padajo neposredno skozi vsa sita in gredo v prvi vroči silos. Zrna, ki so večja od 4 mm, vendar manjša od 8 mm, padejo v drugi silos in tako naprej. Kadar želimo narediti posebne bituminizirane zmesi, moramo spremeniti sestavo sit v sistemu.

Sistemi vibracijskih sit imajo velikokrat različne velikosti odprtin v eni ravnini. Na situ imamo lahko na enem delu luknje s premerom 8 mm in na drugem delu odprtine z luknjo 32 mm. Zrna, ki gredo skozi 32 mm sito, v tem primeru padajo neposredno v tretji ali četrti silos. Tak način sejanja pripomore k učinkovitosti celotnega sistema.

Seveda vsako zrno ne pristane v tistem silosu, kjer bi moralo. Včasih se zgodi, da manjša zrna padejo mimo sit, namesto, da bi šla skozi njih in tako pristanejo v silosih za večja zrna. Takih zrn naj bi bilo približno 10 %. Zrna »zgrešijo« sita predvsem zaradi zamašitve odprtin z drugimi zrn ali zaradi prevelike količine zmesi zrn, ki pada na sita.

Pojavijo se lahko tudi razpoke v samih sitih, kar povzroči, da zrna večjih dimenzij končajo v silosih za manjša zrna. Potrebne so periodične kontrole sit, da poiščemo morebitne poškodbe sit in preverimo ali so katere odprtine zamašene. Preiskava bituminizirane zmesi lahko pokaže, na katerih sitih so bile napake in koliko zrn je prešlo skozi odprtine.

Nekatere asfaltne baze nimajo vibracijskih sit. Ko pride zmes zrn po vročem elevatorju do vrha stolpa se vsa zrna stresejo direktno v prvi silos. To pomeni, da zrnovostno strukturo bituminizirane zmesi določa zrnovostna struktura v preddozatorjih za zmesi zrn. Zmes zrn pride iz enega samega vročega silosa in se premeša z vezivom. Tak način je manj natančen, razen kadar se zahteva, da imamo v bituminizirani zmesi le eno frakcijo zrn in smo tako frakcijo zrn že določili v preddozatorjih.

### **5.2.8 Vroči silosi**

Kapaciteta vročih silosov ja največkrat pogojena z velikostjo mešalnika. Silosi niso enakih dimenzij. Silos za najmanjše frakcije je največji. Ta navadno predstavlja 40 do 50 % celotne

količine zmesi zrn, ki pride po vročem elevatorju. Približne dimenzije silosov (odstotek teže agregata):

- prvi silos (40 do 50 %),
- drugi silos (25 do 30 %),
- tretji silos (15 do 20 %),
- četrti silos (okrog 10 %).

Segregacija zrn se pojavlja tudi v silosih. Pojav je posebno značilen za silos, kjer so najmanjša zrna. Do segregacije pride, ker manjša zrna hitreje potujejo skozi sita kot večja, kar povzroči, da so prva zrna v silosih navadno najmanjša. Zrna ob stranici, ki je bližja vertikalnemu tekočemu traku vročega elevatorja, so navadno manjših dimenzij kot zrna na drugi stranici.

Pregrade med posameznimi silosi morajo biti periodično pregledane, da zagotovimo, da ni lukenj, ki bi omogočale, da bi zmes zrn prehajala v neprave silose. Pri vsakem silosu je potrebno zagotoviti tudi, da v primeru prevelikega toka zrn, tok usmerimo mimo silosa. Pri silosih, ki nosijo najmanjša zrn se lahko pojavi problem finih zrn ob stranicah. Posebno problematično postane, kadar je silos razmeroma prazen in fina zrna napredujejo v mešalnik. Bituminizirane zmesi nismo projektirali s tako veliko koncentracijo finih zrn, zato je potrebno fina zrna izločiti. To naredimo z ploščo, ki najfinejša zrna usmerja proti sredini silosa.

Čeprav imamo vibracijska sita, ki poskrbijo, da v mešalnik pridejo pravilne količine raznih frakcij, je potrebno zagotoviti, da preddozatorji dobivajo ustrezne količine zrn. Lahko se namreč zgodi, da bi imeli preveliko koncentracijo večjih zrn, kar bi povzročilo, da bi bil prvi silos prazen, medtem ko bi bilo v ostalih silosih preveč zrn. Vibracijska sita ne smejo biti uporabljena za odpravo problema nepravilne sestave zmesi v preddozatorjih.

V nekaterih asfaltnih bazah je asfaltni granulati, po posebnem tekočem traku, dodan zmesi zrn direktno v vroče silose. Tak način ni priporočljiv. Pri tem postopku odpadni material ne gre skozi vibracijska sita, ampak gre mimo njih in se odloži v prvi ali zadnji silos. Ugodneje je, če se dovaja v prvi silos, skupaj z najmanjšimi zrn, saj je v tem primeru boljše prevajanje toplote med zmesjo zrn in asfaltnim granulatom.

Slabost dodajanja asfaltne granulate direktno v vroče silose je, da lahko pride do lepljenja z bitumnom oblitih zrn na stene silosa. To je posebno pogosto, če je delež asfaltne granulate visok ali če ima visok odstotek vlage in ga osušimo tako, da povečamo temperaturo zmesi zrn.

### 5.2.9 Tehtnica

Če proizvajamo obrabno-zaporno asfaltno plast, je značilno, da so vsi štirje vroči silosi napolnjeni z zrn. Če izdelujemo vezano nosilno plast, navadno potrebujemo le dva, maksimalno tri silose in njihove zrnivosti. Agregat iz silosov je v tehtnico lahko dodan v poljubnem redu. Grobe zrnivosti so navadno prej stresene v tehtnico kot finejše frakcije. To počnemo zato, da preprečimo finejšemu materialu, da bi uhajal skozi vratca.

- **PRIMER TEHTANJA:** Najprej se odprejo vratca pod tretjim silosom, odprta pa so ravno toliko časa, da spusti točno določeno količino zrn te frakcije. Vratca se nato zaprejo in se odprejo vratca pod drugim silosom. V tem primeru tehtnica izmeri kumulativno težo, ko je ta dosežena, se vratca zaprejo. Nato se dodajo zrna iz drugih dveh silosov na enak način. Tehtanje vsake frakcije traja približno 5 sekund. Pomembno je, da so zrna iz vsakega silosa dodana čim bolj v sredino tehtnice. To izboljša ravnotežje tehtnice, in prepreči razlitje zrn.

Kamnito polnilo (kamnito moko) se navadno dodaja zmesi zrn na tehtnico. Kamnito polnilo se največkrat prenaša po tekočih trakovih iz lastnega silosa do vrha stolpa. Za kamnito polnilo imamo navadno posebno posodo, locirano direktno nad tehtnico. Ko stehamo potrebno količino polnila, se to spusti direktno v mešalnik. V nekaterih asfaltnih bazah imamo za kamnito polnilo posebno tehtnico, ki spusti polnilo na tehtnico šele potem, ko smo stehali pravilne količine vseh frakcij in potrebno količino polnila.

Večina asfaltnih baz je vodena avtomatsko ali polavtomatsko. Različne frakcije kamnitih zrn so začasno shranjene v vročih silosih, kjer se s pomočjo tehtnice odtehta točno določene mase posameznih frakcij. Če v vročem silosu ni dovolj materiala, mora sistem ustaviti tehtanje, dokler ne pride nova pošiljka zrn. Za neprekinjeno delovanje obrata je potrebna zanesljiva in konstantna dobava pravih frakcij kamnitega materiala. Da bi to dosegli, je potrebna pravilna hramba zmesi zrn in pravilno dodajanje zrn v preddozator. Če zmes zrn, ki pride od



predozatorja ni enakomerna, pride do prenapolnjenja enega silosa, medtem ko v drugem primanjkuje materiala. V takih primerih, upravljalec asfaltne obrata ročno upravlja obrat, dokler se ne vzpostavi ravnotežje v silosih. Premalo zrn določene frakcije v asfaltni zmesi spremeni njene mehanske lastnosti, zato je potrebno konstanto preverjanje zalog zrn v silosih.

Odpadni asfalt se najpogosteje dodaja v tehtnico. Ko smo v tehtnici stehali potrebne posamezne količine vsake sarže, se doda še asfaltni granulati. Lahko se ga dodaja tudi prej, vendar pa nikoli ne kot prvega. Tekoči trak, ki dovažata asfaltni granulati, mora biti večjih dimenzij kot tekoči trak za zmes zrn. Odpadni asfalt se namreč ne dodaja kontinuirano ampak glede na potrebe. Asfaltni granulati moramo položiti na strmino, ki ga usmerja proti sredini tehtnice. Strmina mora biti zadosti strma, da prepreči ustavljanje odpadnega asfalta.

### **5.2.10 Mešanje zmesi zrn in veziva**

Zmes zrn in vezivo sta premešana v dvodelnem mešalniku. V mešalniku imamo dve vrtljivi mešalni palici, vsaka se vrtili v svojo smer. Zmes zrn najprej spustimo v mešalnik in ga mešamo za kratek čas. To se imenuje »suhi« čas mešanja. Nato spustimo v mešalnik še bitumen in začne se »mokri« čas mešanja. Ko je mešanje končano, je bituminizirana mešanica spuščena na tovornjak ali na tekoči trak, ki odpelje vročo mešanico v shranjevalnik za bituminizirane zmesi.

#### **5.2.10.1 Kapaciteta mešalnika**

Produktivnost asfaltne baze najbolj določa kapaciteta mešalnika. Najmanjši mešalniki imajo kapaciteto približno 1 tone, medtem ko ima večina asfaltnih baz mešalnice s kapaciteto med 2 in 5 tonami. Kapaciteta mešalnika je določena z območjem učinkovitega mešanja (live – zone). Pri mešanju je potrebno zagotoviti optimalno napolnjenost mešalnika. Tako premalo kot preveč poln mešalnik, sta neučinkovita. Če imamo preveč materiala, potem zmes, ki je nad območjem mešanja, ne bo premešana. Če imamo premalo poln mešalnik, bodo lopatice zrna metala okrog, kar bo preprečilo učinkovito mešanje.

Vsaka sarža naj bo enake velikosti, saj le to zagotavlja enakomernost bituminizirane zmesi. Najbolje je, da se izbere nekoliko manjšo saržo, raje kot maksimalno mogočo.

- **PRIMER:** Če imamo asfaltno bazo s kapaciteto 3 ton in tovornjak lahko sprejme 14 ton, projektiramo cikle po 2,5 tone in napolnimo tovornjak s petimi cikli. Tako je bolje kakor narediti 4 cikle po 3 tone in zadnji cikel po 2 toni.

Dodajanje asfaltne granulate v mešalnik se v zadnjem času vedno bolj spodbuja. V tem primeru moramo, poleg tehtnic za kameni material in vezivo, imeti tudi posebno tehtnico za odpadni asfalt. Tudi pri tem postopku imamo enake težave kot pri postopku, kjer dodajamo asfaltni granulati v tehtnico. Težave so:

- prenos toplote,
- velika količina sproščene pare,
- omejen odstotek asfaltne granulate.

Ima pa tak postopek tudi določene prednosti:

- Natančnejše tehtanje, saj tehtanje lahko traja več časa in tako lahko zmanjšamo vpliv parjenja vodne pare.
- Manjšanje obrabe mehanskih delov.
- Produktivnost baze lahko povečamo, saj se čas mešanja in tehtanja skrajša.

Prevoz asfaltne granulate od tehtnice do mešalnika se navadno opravi na dva načina:

- hitri tekoči trak,
- primerna strmina.

### **5.2.11 Bituminizirana mešanica iz asfaltne granulate**

Vsebnost vlage v asfaltne agregatu in temperatura zmesi zrn določata količino odpadnega asfalta, ki ga lahko dodamo v mešanico. Da zagotovimo zadosten prenos toplote iz vročega agregata na zmleto asfaltne zmes, je potrebno zmes zrn segreti na višjo temperaturo kot pri pripravi navadne asfaltne mešanice. Prenos toplote iz zmesi zrn na asfaltni granulati lahko poteka na različnih mestih v asfaltni bazi:

- v vročem elevatorju,
- v vročih silosih,
- v tehtnici,
- v mešalniku.

Večina sušilnih bobnov segreje zmes zrn do približno 260°C. Višje temperature niso priporočljive, saj se v notranjosti bobna nabira vlaga in življenska doba sušilnega bobna se znatno skrajša.

Tri glavne spremenljivke, ki določajo temperaturo na, katero moramo segreti zmes zrn, so:

- vsebnost vlage v odpadnem asfaltu,
- temperatura vroče bituminizirane zmesi,
- količina uporabljenega asfaltnega granulata.

Teoretično bi na tak način lahko uporabili do 50 % asfaltnega granulata. V realnosti se odstotek giblje med 30 in 40 %.

#### **5.2.11.1 Vlažnost asfaltnega granulata**

Kadar se vlažnost odpadnega asfalta poveča, se znatno poveča tudi potrebna temperatura za vročo zmes zrn, da se zagotovi ustrezen prenos temperature iz zrn na asfaltni granulata.

- PRIMER: Če uporabimo 20 % odpadnega asfalta, ki ima vlažnost 1 % in projektirano temperaturo bituminizirane zmesi 127°C, moramo zmes zrn segreti na 177°C. Če bi pri enakih pogojih imel odpadni material 4 % vlažnost, bi morali zmes zrn segreti na 199°C če bi hoteli uporabiti enak odstotek asfaltnega granulata v mešanici.

#### **5.2.11.2 Temperatura vroče bituminizirane zmesi**

Je temperatura, ki jo ima nova bituminizirana mešanica, kadar je pripravljena za nakladanje na tovorno vozilo. Kadar želimo imeti vročo bituminizirano zmes višje temperature, moramo povečati temperaturo segrevanja zmesi zrn.

- PRIMER: Uporabili bomo 30 % recikliranega asfalta, ki ima 3 % vlažnost. Če projektiramo, da bo končna temperatura 104°C, moramo agregat segreti na 196°C. Če končno temperaturo mešanice dvignemo na 138°C, moramo agregat segreti na 246°C.

#### **5.2.11.3 Odstotek uporabljenega asfaltnega granulata**

Povečevanju odstotka uporabljenega asfaltnega granulata mora odgovarjati ustrezen dvig temperature vročih kamnitih zrn.

- **PRIMER:** Če se odločimo, da bomo v novo mešanico vmešali 20 % asfaltne granulata in bo končna temperatura mešanice 138°C, moramo agregat segreti na 213°C. Če bi se odločili, da bi povečali odstotek asfaltne granulata na 50 %, bi morali zmes zrn segreti na 405°C, da bi zagotovili ustrezen prenos toplote. Ta temperatura je tehnično težko dosegljiva, saj krepko presega 260°C, ki je tehnološko priporočljiva zgornja meja.

Odstotek odpadnega asfalta, ki ga lahko uporabimo v novi bituminizirani zmesi je odvisen od načina proizvodnje in tehnološke opremljenosti posamezne asfaltne baze. Pri proizvodnji po vročem postopku s saržnim načinom polnjenja in indirektnim segrevanjem lahko dodamo do 40 % odpadnega asfalta. Kadar imamo dodaten sušilni boben za asfaltni granulata z direktnim segrevanjem, lahko uporabimo do 80 % asfaltne granulata.

#### **5.2.12 Shranjevanje bituminizirane zmesi**

Pri neposrednem nalaganju bituminizirane zmesi na tovornjake, velja pravilo, da se prvo saržo spusti na začetek prikolice, naslednjo na konec prikolice, ostale pa vmes. Med različnimi saržami mora voznik premikati tovornjak. Tak način polnitve zmanjšuje razdalje, do koder se lahko odkotalijo največja zrna, kar prepreči k segregacijo in nehomogenost bituminizirane zmesi.

Začasno uskladiščenje proizvedene bituminizirane zmesi je običajno pri klasičnem saržnem postopku proizvodnje, kjer sprememba sestave bituminizirane zmesi pogojuje določeno izgubo časa. S pripravo bituminizirane zmesi vnaprej in ustreznim skladiščenjem je mogoče zadostiti različnim potrebam.

Začasno skladiščenje je primerno tudi pri manjši zmogljivosti proizvodnje bituminiziranih zmesi, saj lahko teče neprekinjeno, vozila pa nakladajo ustrezne količine bituminizirane zmesi brez zastojev.

Silos za začasno skladiščenje bituminiziranih zmesi so praviloma večpreklatni in dobro izolirani, da so izgube toplote v času uskladiščenja bituminiziranih zmesi neznatne. Izpusti iz silosov morajo biti ogrevani in pnevmatično krmiljeni.

## 5.3 Proizvodnja bituminiziranih zmesi po neprekinjenem postopku

### 5.3.1 Mešalno-sušilni boben

Zmes zrn lahko v sušilno-mešalni boben uvajamo na dva načina. Prvi način je prek posebne klančine, ki zmes zrn uvaja v boben stran od gorilnika. Pomembno je, da zmes zrn ne pride v neposreden stik s plameni. Klančina je usmerjena tako, da pripomore k potiskanju zmesi zrn proti koncu bobna.

Drugi način je, da zmes zrn uvajamo preko posebnega tekočega traku, ki je položen pod gorilnikom. Hitrost delovanja tekočega traku se lahko regulira, da zagotovimo bolj enakomeren tok zmesi zrn v boben.

Večina gorilnikov je prirejenih, da lahko kurijo več vrst goriva. Goriva se med seboj delijo na:

- plinska (naravni zemeljski plin, naftni plin,
- tekoča (propan, butan, nafta,...),
- trdna (premog in biomasa v peletih).

Gorivo, ki ga uporabljamo, mora zagotavljati popolno avtomatizacijo procesa. Nekatera težka olja pri zunanji temperaturi ne gorijo. Taka goriva je treba hraniti v posebnih cisternah, ki jih je mogoče segrevati.

Neporabljeno gorivo je ekonomski strošek, poleg tega pa lahko poškoduje gorilnik. Nepopolno izgorevanje goriva zmanjša proizvedeno količino toplote, kar zmanjša učinkovitost segrevanja in sušenja zmesi zrn.

Neporabljeno gorivo, lahko vpliva tudi na kvaliteto bituminizirane zmesi. Ostanek goriva lahko zmanjša viskoznost veziva in s tem zmanjša strjevanje veziva med mešanjem. Lahko pa gorivo ustvari tudi film prek zrn in s tem zmanjša oprijemljivost veziva z zrn. Obe težavi zmanjšata trdoto, stabilnost in kvaliteto bituminizirane zmesi. Poznamo dva načina, da ugotovimo, kdaj gorilnik ne porabi vsega goriva:

- Lahko uporabljamo posebno kamero, ki glede na barvo ognja presodi ali je porabljeno celotno gorivo ali ne.

- S poslušanjem. Kadar gorilnik deluje pravilno in porabi celotno gorivo je zvok konstanten, kadar je zvok kašljajoč oziroma prekinjen, je to znak, da gorilnik ni porabil goriva.

Primarna naloga gorilnika je, da pri gorenju uporablja dovolj kisika, da se zagotovi popolno izgorevanje. Za zagotovitev zadostne količine kisika je potrebno v mešalno-sušilne bobne vpihovati zrak. Nekateri gorilniki imajo posebne ventilatorje, ki tako zagotavljajo do 70 % potrebnega zraka, ostalega zagotovi ventilator, ki vpihuje zrak v okolico gorilnika. Modernejši mešalno-sušilni bobni imajo gorilnike (total air burner), ki vpihujejo ves potreben zrak za popolno izgorevanje. Taki gorilniki so tišji in imajo boljši izkoristek.

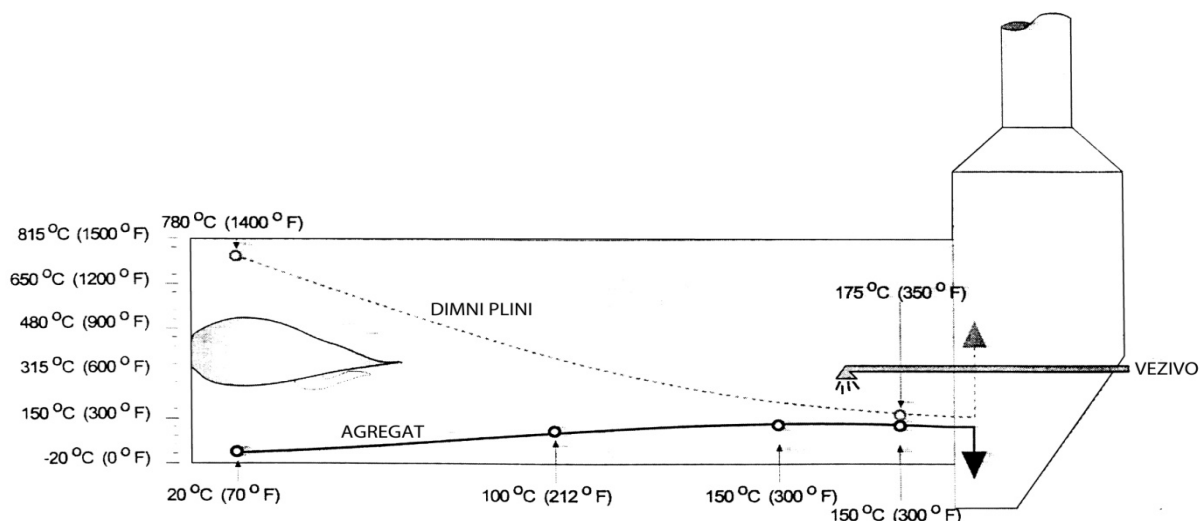
Gorilnike je treba kalibrirati glede na:

- količino kamnitega materiala v bobnu,
- spremembo vlage kamnitega materiala,
- spremembo izstopne temperature bituminizirane zmesi.

Večina mešalno-sušilnih bobnov ima gorilnike, ki so opremljeni s senzorji, ki spremljajo izstopno temperaturo mešanice. Pomanjkanje goriva in pomanjkanje zraka se odražata v večjih izgubah. Posebej težavno je zagotoviti potrebno količino zraka. Ventilator za odvajanje izpušnih plinov, mora zagotoviti tudi ustrezno odvajanje vodne pare iz mešalno-sušilnega bobna.

#### **5.3.1.1 Prenos toplote**

Ogenj gorilnika v mešalno-sušilnem bobnu lahko doseže temperature do 1400°C, odvisno od vrste goriva. Izpušni plini, ki jih odvajamo v prezračevalni sistem, imajo navadno okrog 30°C višjo temperaturo kot bituminizirana mešanica. Kadar izmerimo višjo temperaturo izpušnih plinov, je to znak nepravilnega delovanja gorilnika. Tipični potek temperature znotraj bobna je prikazan na naslednji sliki.



**Slika 15:** Potek spremembe temperature zmesi zrn in plinov

Na tej sliki tudi vidimo, kako se spreminja temperatura plinov v mešalno-sušilnem bobnu in kako se spreminja temperatura kamnitega materiala. Razlika v temperaturi zmesi zrn in vročih plinov je pokazatelj izkoristka naprave. Idealen izkoristek bi bil pri enaki temperaturi izpušnih plinov in bituminizirane mešanice.

Tak način merjenja izkoristka pa ni najbolj točen. Temperaturo izpušnih plinov je v mešalno-sušilnem bobnu težko določiti, zato jo navadno določamo pri napeljavi plinov do kontrolnika emisij. Temperatura v tem delu ne sme odstopati za več kot 10°C od tiste, ki jo ima bituminizirana mešanica.

Denimo, da smo izmerili temperaturo izpušnih plinov 180°C in temperaturo bituminizirane zmesi 140°C, takšna razlika v temperaturi je pokazatelj, da je v mešalnem bobnu premalo zrn, ki ščitijo zrna pred direktnimi plameni. To se kaže v večjih izgubah mešalno-sušilnega bobna, kot so:

- povečana poraba goriva,
- povečana obraba filtrov v prezračevalnem sistemu,
- separacija finejšega materiala od večjih zrn.

Temperaturo plinov moramo preverjati tudi na področju, kjer mešamo vezivo in zmes zrn. Določena veziva vsebujejo olja, ki izgorevajo že pri nižjih temperaturah (okrog 330°C). Kadar

je temperatura višja od te temperature, pride do izrazitega povečanja emisij, še posebno ob prisotnosti vlage. Temu problemu se lahko izognemo tako, da preprečujemo nastanek visokih temperatur.

Kadar imamo poleg zmesi zrn v mešalno-sušilnem bobnu tudi asfaltni granulati, takrat so potrebne višje temperature. Višje temperature so posledica manjše količine kamnitega materiala, ki bi ščitil pred direktnim kontaktom z gorilnikom. Zaradi tega, se zmanjša tudi izkoristek mešalno-sušilnega bobna. Večji kot je odstotek uporabljenega asfaltnega granulata, manj bo kamnitega materiala in večje bodo izgube. Za preprečitev prevelikih emisij, mora biti temperatura plinov, na mestu kjer uvajamo asfaltni granulati v bobnen, manjša od 200°C.

### 5.3.1.2 Lopatice v bobnu

Zrna se pomikajo po bobnu s pomočjo gravitacije in lopatic, ki dvigujejo in potiskajo zrna proti izstopu. Na hitrost pomikanja zmesi zrn skozi mešalno-sušilni bobnen vplivajo:

- naklon bobna,
- dolžina in premer bobna,
- število lopatic v bobnu,
- hitrost rotacije bobna,
- zrnava sestava kamnitega materiala.

Od trenutka, ko zmes zrn vstopi in do trenutka, ko bituminizirana zmes zapusti mešalno-sušilni bobnen, preteče med 4 in 8 minut.

Mešalno-sušilni bobni različnih proizvajalcev med seboj niso enaki, tako tudi lopatice v samem bobnu niso enake. Funkcije lopatic se ne spreminjajo. Te so:

- mešanje zmesi zrn z vezivom
- izpostavljanje kamnitega materiala segretim plinom
- segrevanje bituminizirane zmesi na predvideno temperaturo.

Ogenj gorilnika naj bo čim manjši in čim bolj razpršen. Zmes zrn ne sme nikoli priti v neposreden stik z ognjem, saj se lahko zgodi, da zrna pogasijo ogenj. Dolžina plamenov ne sme biti prevelika, saj lahko povišana temperatura v zadnjem delu bobna negativno vpliva na



kvaliteto bituminizirane zmesi. Lopatice na začetku bobna usmerjajo zmes proti koncu bobna tako, da ne pride v neposreden stik s plameni.

Naslednja serija lopatic ima nalogo premetavati zmes zrn in jo čim večkrat spustiti skozi vroče pline. Na sredini bobna imamo že toliko kamnitega materiala, da ta ustvari nekakšno tančico. To je pomembno, saj se le tako zagotavlja učinkovit prenos temperature iz plinov na kamnita zrna. Bolj kot je tančica gosta, bolj je uspešen prenos temperature in manjša je poraba goriva.

Mešalno-sušilni bobni imajo na sredini dolžine navadno naprave, ki zavirajo pretok zmesi zrn proti izstopni coni. Največkrat je to narejeno z:

- obročem na notranji strani, ki zmanjša premer na tem delu ali
- s posebnimi lopaticami, ki usmerjajo zrna nazaj proti začetku bobna.

Če zmanjšamo premer bobna, izboljšamo prenos toplote iz plinov na kamniti material. To ima tudi potencialno slabo stran. Hitrost izpušnih plinov se zaradi zmanjšanja premera znatno poveča, kar lahko poveča količino prašnih delcev v izpušnih plinih.

Od sredine proti koncu mešalno-sušilnega bobna je del, kjer zmesi zrn dodamo vezivo. V tem delu se spremenijo tudi lopatice bobna, da omogočijo čim boljše mešanje. Tudi v tem delu še vedno poteka prevajanje toplote in sicer do tiste temperature, ki je predvidena za bituminizirano zmes. V zadnjem delu bobna so posebne lopatice, ki usmerjajo bituminizirano zmes proti izstopni strmini, od koder gre bituminizirana zmes v silose.

Lopatice se zaradi abrazije hitro obrabijo. Ker so za zagotavljanje prenosa toplote tako pomembne, jih je potrebno periodično preverjati. Obrabljene in manjkajoče lopatice je potrebno zamenjati. Kadar s trenutno postavitvijo lopatic ne dosežemo zadostnega prenosa toplote, lahko položaj lopatic spremenimo, da ugodimo zahtevam.

### **5.3.1.3 Dimenzije mešalno-sušilnega bobna**

Prvi mešalno-sušilni bobni so imeli razmerje med dolžino in premerom 4 : 1. Modernejše naprave imajo večje razmerje, kar pomeni, da so pri istem premeru daljše. Daljši bobni zagotavljajo boljši prenos toplote in hkrati zmanjšajo količino emisij, posebno takrat, ko

dodajamo asfaltni granulat v novo bituminizirano zmes. Novejši mešalno-sušilni bobni imajo razmerje med dolžino in premerom od 5 : 1 do 6 : 1.

### 5.3.2 Dodajanje veziva v mešalno-sušilni boben

V prvih mešalno-sušilnih bobnih se je dodajalo vezivo takoj na začetku bobna, pri gorilniku. Prednost dodajanja veziva na začetku je, da vezivo ujame veliko prašnih delcev, ima pa tudi slabe strani:

- vezivo lahko postane trdno zaradi visokih temperatur,
- povečanje emisij zaradi izhlapevanja olj iz veziva,
- povečevanje vlage v mešanici; vezivo prehitro obda zrna s filmom, ki preprečuje njihovo nadaljnje sušenje.

Modernejši bobni imajo sistem dodajanja veziva na različnih mestih, v večini primerov se nahaja med polovico in dvema tretjinama dolžine bobna (gledano od gorilnika med 60 % in 70 % dolžine bobna). V tem delu bobna je zmes zrn že precej suha, če pa je odstotek vlage še vedno previsok, je z vbrizganjem veziva potrebno počakati.

### 5.3.3 Polnilo

Zadnje čase se, v želji doseči čim večjo kvaliteto, vse bolj uporablja le tuje polnilo, ker zanj na podlagi certifikata in odvzetih vzorcev vemo, kakšne lastnosti ima. Lastno polnilo, pridoljeno pri sušenju zmesi kamnitih zrn, nima niti enakomerne sestave niti enakomernih lastnosti. Odvisno je od vira dobave (material je lahko sedimentnega ali eruptivnega, pa tudi dolomitnega ali apnenčevega izvora), tako da ne moremo z gotovostjo predpostaviti njegovega obnašanja v bituminizirani zmesi.

Kamnito moko moramo imeti shranjeno v silosih ali drugih primernih prostorih. Vsak silos ima sistem upravljanja s tehtnico, ki natančno odmerja, koliko polnila bo spustilo na tekoči trak, ki ga dovažajo do mešalno-sušilnega bobna. Silosi morajo biti tudi prezračevani, da preprečimo strjevanje polnila.

### 5.3.4 Dodajanje asfaltne granulate

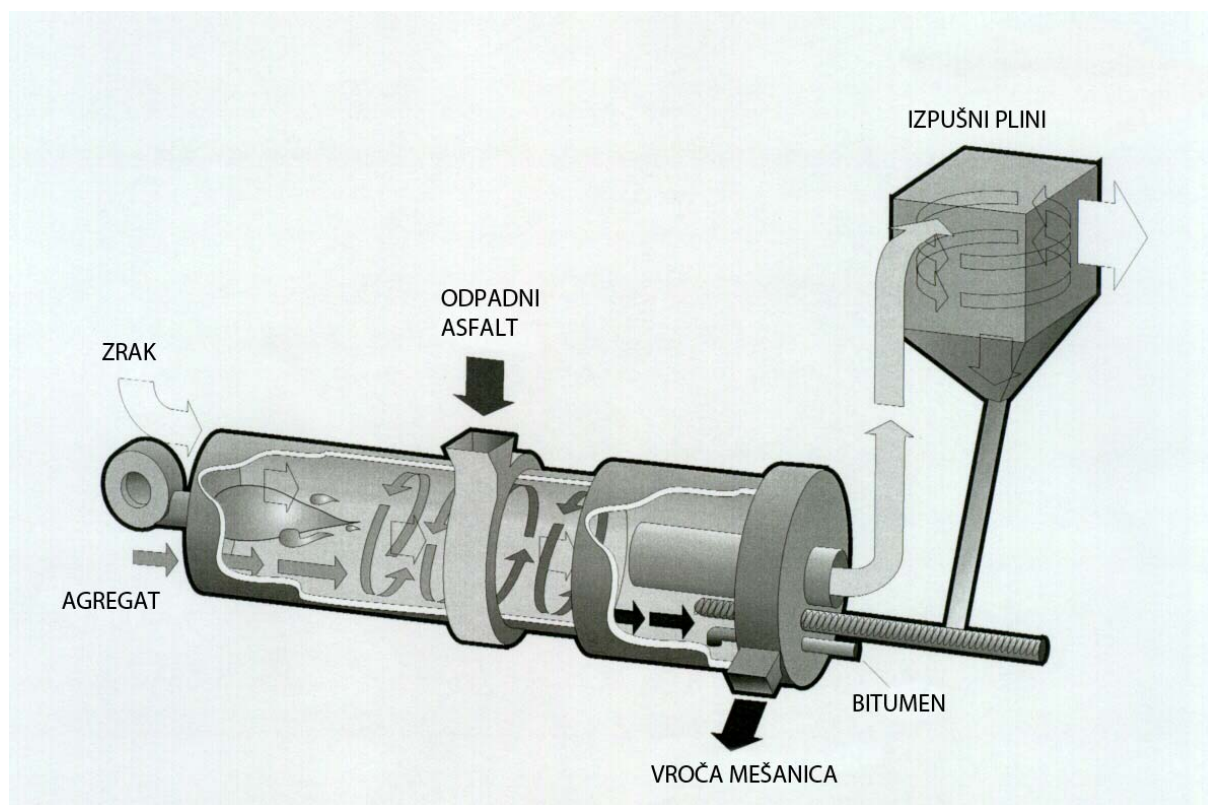
Asfaltne granulate ne moremo dodajati direktno v navadnen sušilno-mešalni boben zaradi prekomerne tvorbe »modrega plina«, ki je posledica stika asfaltne granulate s segretim plini v bobnu. Težavo predstavljajo tudi drobne frakcije in bitumen prisoten v asfaltne granulate, ki lahko ovirajo mešanje. Pojav »modrega plina« gre pripisati lahkim oljem, prisotnim v bitumnu in raznim dodatkom za pomlajevanje veziva. Problem plina se lahko rešuje na več načinov:

- manjšanje temperature v bobnu
- manjšanje produktivnosti asfaltne baze
- povečevanje vlažnosti v odpadnem asfaltu
- vpihovanje zraka v boben za boljše izgorevanje.

Izkazalo se je, da je najučinkovitejši način za preprečitev pojava »modrega plina« modifikacija proizvodnega obrata.

#### 5.3.4.1 Vmešavanje v sredino bobna

Čeprav obstajajo tudi variacije, je dodajanje asfaltne granulate v sredino bobna najpogosteje uporabljena metoda v neprekinjenem procesu izdelave bituminiziranih zmesi. V takem obratu se asfaltne granulate dodaja stran od grelca. V bobnu se zmeša s segreto zmesjo zrn, ki ga prek kondukcije segreje. Zmes zrn ščiti asfaltne granulate pred direktnim kontaktom s plameni. Pomembno je, da preprečimo kontakt med hladnim asfaltne granulatom in plameni, saj bi se v tem primeru sprostilo veliko plinov. Če bi prišlo v mešalnem bobnu do kontakta plamenov z odpadnim materialom, bi se spremenile lastnosti materiala in mogoče ne bi bil več uporaben ali pa bi morali zmanjšati količino odpadnega asfalta v novi mešanici.



**Slika 16:** Shema vmešavanja odpadnega asfalta v sredino mešalno – sušilnega bobna

Zmes zrn je hranjena v zelo vročem delu blizu gorilnika. V tem delu je njena temperatura okrog 260°C. Boben ima na tem delu posebne lopatice, ki zagotavljajo, da bo zmes zrn dovolj časa v tem delu, da doseže želeno temperaturo. Z zmesjo vročih zrn nato segrejemo asfaltni granulati. Ko kamena zrna potujejo proti izhodnemu delu bobna, se ohlajajo, saj oddajo svojo toploto odpadnemu asfaltu. Bituminizirana mešanica se ob koncu bobna segreje na izstopno temperaturo. Paralelni sistem bobna je v uporabi že nekaj časa, vendar se pojavljajo težave pri emisijah plinov. Problemi nastajajo pri uparitvi lahkih olj, ki izhajajo iz asfaltne granulata in veziva. Velik del problema pri emisijah je količina vodne pare, ki se sprosti, ko zmešamo vročo zmes zrn in hladni asfaltni granulati, ki ni nikoli povsem suh. Težave so tudi visoke temperature in vlaga, katerim je vezivo izpostavljeno dalj časa. Zato so razvili vrsto različnih mešalnikov, z namenom zmanjšanja problema emisij. Generalno gledano, se pri teh metodah trudi, da bi bilo vezivo čim krajši čas izpostavljeno pari in vročim plinom. V nadaljevanju so predstavljeni različni tipi polnjenj.

## **Paralelni**

V bobnu s paralelnim načinom mešanja, je mešalni del varjen na boben in se ob vrtenju bobna vrti tudi mešalnik. Para je izločena preden pride do mešanja med asfaltnim granulatom in vročo zmesjo kamnitih zrn. Sistem za izpušne pline mora imeti posebne filtre za zajemanje večjih prašnih delcev. Ti delci se navadno zbirajo na filtrih in jih lahko v procesu mešanja ponovno uporabimo.

## **Protitočni**

V paralelnem bobnu s protitočnim sistemom mešanja je asfaltni granulata dodan v hladnejšem delu bobna in se nato premika proti grelcem, kjer se meša z zmesjo zrn, preden preide v predel, kjer se odpadni asfalt, zmes zrn in dodatno vezivo premešajo. Pri takih vrstah mešalno-sušilnih bobnov je manj izpustov ogljikovodikov, saj bituminizirana zmes ne pride v stik z vročo paro, ker je vroča zmes zrn predhodno zmešana z asfaltnim granulatom v hladnejšem delu bobna.

Težavo previsokih temperatur izpušnih plinov lahko premagamo tako, da spremenimo konfiguracijo bobna v konfiguracijo s protitočnim sistemom. V tem primeru zrna potujejo v nasprotni smeri kot vroči plini. Mešalno-sušilnemu bobnu lahko dodamo tudi posebno komoro, v kateri se asfaltni granulata segreva z vročo zmesjo zrn. V takem primeru lahko uporabimo višji odstotek asfaltne granulata, saj se zmes zrn in asfaltni granulata več časa mešata v najbolj vročem delu bobna, najbližje grelcem.

V mešalnem bobnu s protitočnim sistemom lahko imamo v istem bobnu sistem za sušenje zmesi zrn in mešalno napravo. V taki napravi se zmes zrn segreva s pomočjo konvekcije, asfaltni granulata pa prek kondukcije, s pomočjo segrelih kamnitih zrn. Pri tem mešalnem bobnu se v mešalnem delu hkrati premešajo vse tri glavne komponente: zmes zrn, asfaltni granulata in dodatno vezivo.

V mešalno-sušilnem bobnu je sušilni boben kombiniran z mešalnikom. Zmes zrn gre najprej v notranjosti po sušilnem bobnu in je potem potisnjen proti zunanemu obroču, ki predstavlja mešalnik. V mešalniku so lopatice obrnjene tako, da potiskajo zmes zrn proti vrhu mešalnika, kjer se zmesi zrn doda asfaltni granulata in vezivo.

## Ločeni

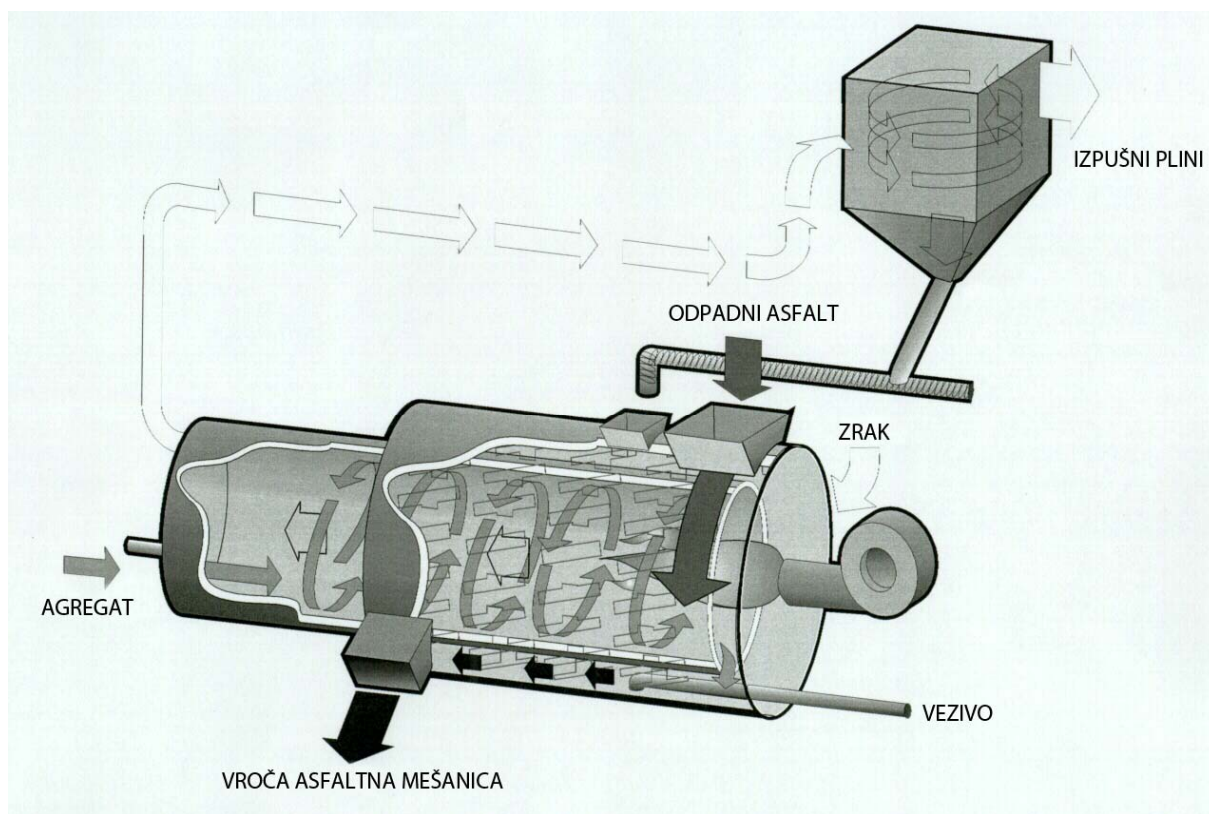
Obstajajo tudi bobni, ki imajo mešalni del popolnoma ločen od grelcev. Tudi v tem primeru asfaltne granulate ne segrevamo, ampak segrevamo le zmes zrn, ki potem s pomočjo kondukcije segreje asfaltni granulati in dodatno vezivo. Pri takih vrstah bobnov je količina uporabljenega asfaltne granulate vezana na sposobnost prevajanja toplote med zrn in asfaltnim granulatom. Da bi preprečili nastanek ogljikovodikov, paro in ostale pline usmerimo nazaj proti grelni enoti, kjer ogljikovodiki izgorijo. Slaba stran takih mešalnih bobnov je v relativno majhnem odstotku asfaltne granulate, ki ga lahko uporabimo v postopku pridobivanja nove bituminizirane zmesi.

## Mešalno-sušilni s sistemom dvojnega in trojnega bobna

Od osemdesetih let naprej sta se pojavila nova načina prenosa toplote iz segrelih kamnitih zrn na asfaltni granulati. To sta:

- sistem dvojnega bobna,
- sistem trojnega bobna.

Sistem z dvojnimi bobni ima več mešalnega prostora kot navaden mešalni bobnen. Zunanji del bobna deluje kot dvigalo in zaščita za notranji bobnen. Dimenzije bobna znašajo od 3 do 3,5 metrov premera, to pa zato, ker je mešalni del zelo dobro toplotno izoliran. Zmes zrn je sušena v notranjem bobnu, kjer se segreje na 315 do 350°C. Temperatura, do katere moramo segreti zmes zrn, je predvsem odvisna od količine uporabljenega asfaltne granulate v mešanici. Zrna nato skozi luknje v notranjem bobnu padejo v zunanji, kjer se zmešajo skupaj z odpadnim asfaltom. Postopek mešanja traja približno minuto in pol. Zunanji bobnen je nepremičen, kar olajša dodajanje asfaltne granulate in različnih dodatkov. Toplota iz notranjega bobna se prenaša tudi na zunanji, ker pa je zunanji bobnen dobro izoliran, je njegova zunanja temperatura le okrog 50°C. Pri tej metodi zmes zrn in asfaltni granulati nista izpostavljena vročim plinom in vodni pari.



**Slika 17:** Vmešavanje odpadnega asfalta v dvojni mešalno – sušilni boben

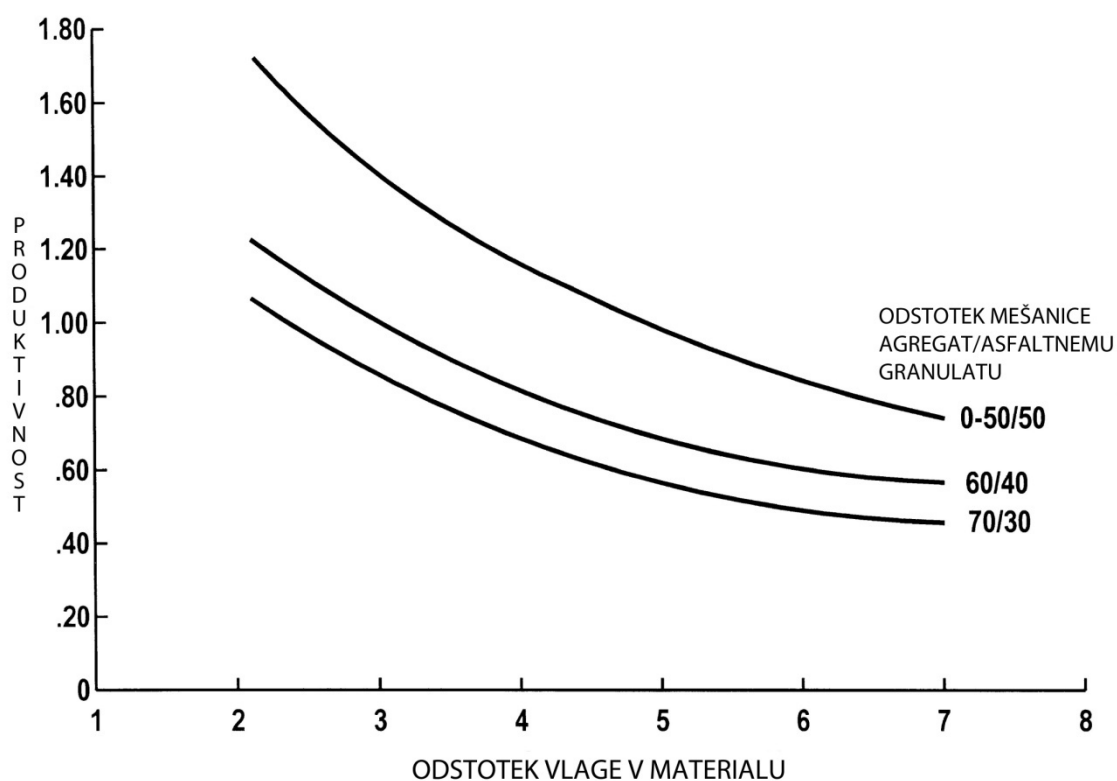
Druga dobra stvar takih vrst asfaltnih baz je daljša življenjska doba vreč za lovljenje prahu, zaradi nižje temperature izpušnih plinov. Ko napolnimo vrečo s prahom, se prah izprazni na tekoči trak, ki ga nato odpelje do zunanjega ovoja bobna. Luknje, skozi katere se pretaka vroča zmes zrn iz notranjega bobna v zunanji, so tudi uporabne, saj usmerjajo izpušne pline proti zunanjemu delu. Tako gredo polutanti direktno v plamen gorilnika, kjer enostavno zgorijo. Pri taki vrsti mešalno-sušilnega bobna se znatno zmanjša količina izpustov v ozračje. Obrat s protitočnim sistemom je tudi ekonomsko najbolj upravičen, zaradi visoke produkcije in nižje porabe goriva.

Tudi sistemi s trojnim bobnom imajo zunanji obod, ki služi kot zapora komore za izogrevanje. Zunanji boben se uporablja za učinkovito prenašanje toplote na asfaltni granulati z radiacijo in kondukcijo. Zmes zrn se dodaja iz nasprotnega dela, stran od gorilnika. Asfaltni granulati dodajamo v prostor med mešalnim bobnom in zunanjim obodom. Vročna zmes zrn se v tem prostoru meša z asfaltnim granulatom in ga tako segreje.

### 5.3.5 Produktivnost asfaltne obrata

Produktivnost asfaltnih baz se meri v količini proizvedene bituminizirane zmesi v tonah na uro. Samo produktivnost asfaltne baze primerjamo glede na različne pogoje:

- temperaturo hladne zmesi zrn,
- projektirano temperaturo bituminizirane zmesi,
- specifično toploto kamnitega materiala.



**Slika 18:** Produktivnost asfaltne baze v odvisnosti od uporabljenega odpadnega asfalta

- PRIMER: denimo, da imamo mešanico iz 60 % asfaltne granulate in 40 % zmesi zrn s skupno vlažnostjo 5 %, v tem primeru vidimo iz diagrama, da je produktivnost baze le 70 %. Produktivnost 100 %, bi bila, ko bi imeli le svežo zmes zrn.

Na produktivnost asfaltne baze vpliva več dejavnikov:

- premer mešalno-sušilnega bobna,
- vrsta goriva,



- hitrost izpušnih plinov,
- sposobnost prezračevalnega sistema,
- vremenski pogoji,
- vsebnost vlage v zmesi zrn in asfaltne granulata,
- odstotek uporabljenega asfaltne granulata.

Kadar imamo v novi mešanici več kot 50 % asfaltne granulata, se produktivnost baze zmanjša. Zmanjšanje je posledica dejstva, da je v bobnu premalo vročega kamnitega materiala, ki bi zagotovil ustrezno prevajanje toplote iz zmesi zrn na asfaltni granulata. To je tudi praktični limit asfaltne granulata, ki ga lahko uporabimo v novi mešanici.

#### 5.4 Emisije

Vroče bituminizirane zmesi se v največji meri uporabljajo pri gradnji cest. Bituminizirana zmes je največkrat sestavljena iz zmesi zrn in veziva. Količino enega in drugega materiala se določa glede na zahtevane lastnosti vozišča. Asfaltne baze se delijo glede na postopek izdelave in sicer:

- saržni postopek izdelave,
- neprekinjeni postopek izdelave.

Pri saržnem postopku imamo sušilni boben, ki zmes zrn osuši in segreje na primerno temperaturo, nato se v mešalniku zmesi zrn doda potrebno količino veziva. Neprekinjeni postopek pa ima mešalno – sušilni boben, v katerem zmes zrn segrejemo in hkrati premešamo z zahtevano količino veziva. Po mešanju se vroče bituminizirano zmes začasno shranjuje v ogrevanih silosih, da se ohranja primerno temperaturo.

Največ emisij se tvori v sušilnih bobnih ter mešalnikih, manjša količina pa tudi pri ogrevanih silosih in nalaganju na tovorna vozila. Emisije se delijo na:

- PM (particular matter - trdni delci),
- NO<sub>x</sub> (dušikovi oksidi),
- SO<sub>2</sub> (žveplov dioksid),
- CO (ogljikov monoksid),
- VOC (Volatile organic compounds - topne organske spojine).

**PM (particular matter - trdni delci):** Nastajajo zaradi mešanja različnih polutantov v atmosferi. Med njimi so toksične spojine, kot na primer težke kovine in hidrokarbonati. Velikost teh delcev je od 0.001 do 50  $\mu\text{m}$ . Le drobni delci ( $< 10\mu\text{m}$ ) ostajajo v zraku. Glavni vir drobnih delcev so tovorna vozila. Delci lahko nastanejo tudi v ozračju s kemijskimi spremembami plinskih polutantov kot so žveplov dioksid, dušikovi oksidi, amonijak, hlapne organske spojine, ali z drugimi kemijskimi reakcijami, ki potekajo v atmosferi. Koncentracije trdnih delcev v zraku lahko merimo z različnimi metodami, ki pa imajo tudi različno učinkovitost vzorčevanja. Delci s premerom, manjšim od desetih mikrometrov, so zdravju nevarnejši kot večji delci, ker človek vdihava delce teh velikosti globlje v pljuča. Akutni učinki delcev na dihala so dobro znani, povzročajo pa razne bolezni dihal. Drobni delci lahko potujejo daleč po dihalnih poteh, povzročajo bolečine v dihalih ali celo raka.

**NO<sub>x</sub> (dušikovi oksidi):** Najpomembnejša sta dušikov oksid (NO) in dušikov dioksid (NO<sub>2</sub>). Prvi nastaja pri procesih izgoravanja. V atmosferi NO oksidira in tvori dušikov dioksid. NO<sub>x</sub> povzročajo draženje in bolečine dihal, sodelujejo pri nastajanju kislega dežja in pri tvorbi ozona. V kategorijo dušikovih oksidov spada tudi didušikov oksid N<sub>2</sub>O. Ima močan toplogredni učinek in je po svojem toplogrednem učinku na tretjem mestu, takoj za ogljikovim dioksidom in metanom.

**SO<sub>2</sub> (žveplov dioksid):** Nastaja pri izgoravanju fosilnih goriv z visoko vsebnostjo žvepla, glavni vir so industrijske emisije in promet. Draži sluznico in dihala, povzroči lahko edem na pljučih in bronhijih. Posledica SO<sub>2</sub> je tudi kisel dež.

**CO (ogljikov monoksid):** Nastaja pri nepopolnem izgoravanju goriv v motorjih z notranjim izgoravanjem. Visoke koncentracije CO so tam, kjer je dotok svežega zraka omejen. Z oddaljenostjo od vira se vse več CO pretvori v CO<sub>2</sub>. Visoke koncentracije CO povzročajo komo, lahko so tudi smrtne. Podobno kot NO<sub>x</sub> in hidrokarbonati, tudi CO sodeluje pri nastanku troposferskega ozona.

**VOC (Volatile organic compounds - topne organske spojine):** Mednje sodijo različni polutanti, med drugim hidrokarbonati, topila in nekatere organske spojine. Nekateri hidrokarbonati so karcinogeni. Hidrokarbonati izvirajo iz topil, barv in vozil. Prispevajo k toplogrednem učinku. Sodelujejo v reakcijah, v katerih nastaja metan, pa tudi v reakcijah, v

katerih nastaja troposferski ozon. Zadnje škodljive vplive VOC na okolje so odkrili v devetdesetih letih. Satelitske meritve so pokazale, da VOC povzročajo močno zmanjševanje koncentracije ozona v stratosferi nad Antarktiko. Prav tako so odkrili, da nekatere organske spojine v gornjih plasteh atmosfere absorbirajo sončno sevanje in s tem vplivajo na spremembo klime.

## **5.5 Preizkušanje bituminiziranih zmesi z različnim deležem asfaltne granulate**

V ZDA so na univerzi »University of New Hampshire« naredili računalniški program s katerim so ocenjevali obnašanje obrabno – zaporne plast z različnimi deleži asfaltne granulate. V tej simulaciji so »uporabili« ceste, katere spodnje plasti kot so: posteljica, nevezana nosilna plast in vezani nosilni plasti niso spreminjali, ampak so le obrabno – zaporno plast spreminjali.

Težava se jim je pojavila ko so hoteli v program vpeljati lastnosti bitumna v asfaltne granulate, saj ne obstaja enačba, ki bo opisovala razmerje med svežim bitumnom in starim bitumnom. Predvidevalo se je, da bitumen v asfaltne granulate ne doseže stopnje novega bitumna, vendar še vedno ohrani zadovoljive lastnosti. Delež in vrsto bitumna v asfaltne granulate se določi v laboratoriju.

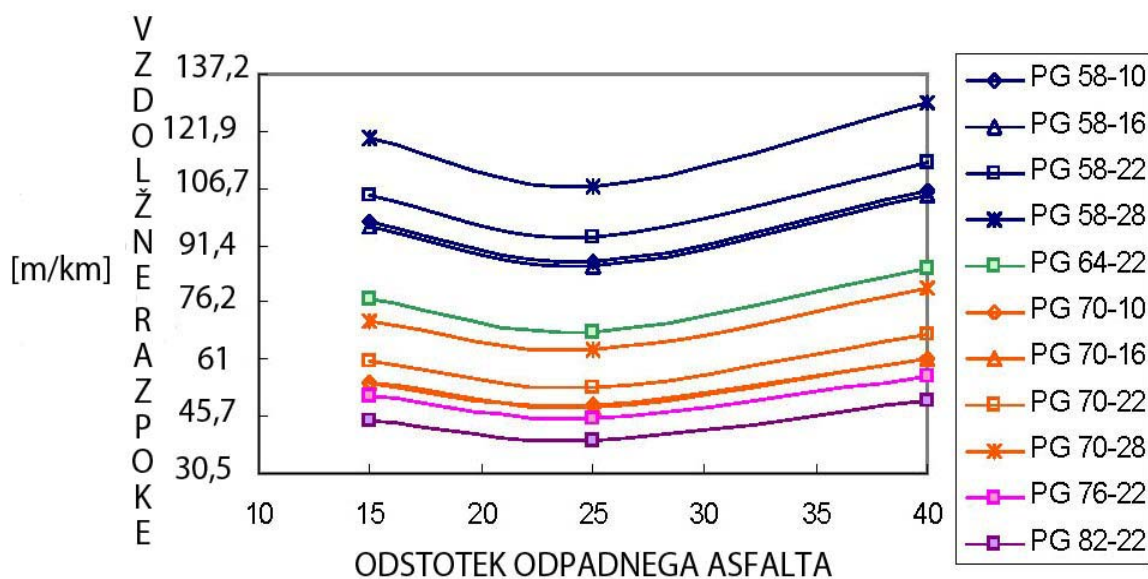
Za uspešno primerjavo med novo asfaltne mešanico in asfaltne mešanico, ki vsebuje določen delež odpadnega asfalta so naredili preizkuse za 4 različne mešanice:

- bituminizirana mešanica iz novih materialov (kontrolna skupina),
- bituminizirana mešanica s 15% odpadnega asfalta,
- bituminizirana mešanica s 25% odpadnega asfalta,
- bituminizirana mešanica s 40% odpadnega asfalta.

### **5.5.1 Rezultati**

#### **Vzdolžne razpoke**

Predvidena dolžina vzdolžnih razpok v 10 letnem obdobju je bila 170 m na kilometer dolžine. Nobena izmed mešanic z deležem asfaltne granulate ni preseгла te dolžine.



**Slika 19:** Diagram rezultatov poskusa za vzdolžne razpoke

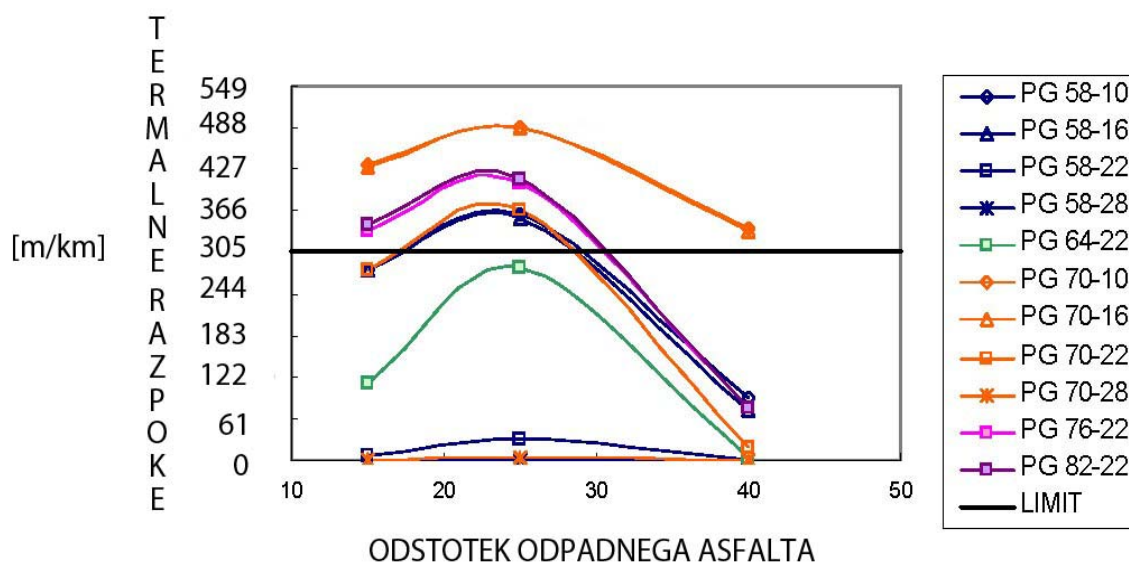
Dolžina razpok se malo zmanjša kadar povečamo odstotek odpadnega asfalta iz 15 na 25 %, vendar se nato spet malce poveča pri asfaltni mešanici s 40 % deležem odpadnega asfalta. Ta trend naraščanja je viden pri vseh izbranih vrstah bitumna, vendar je najbolj opazen pri PG 58-XX; ki spada med najmehkejše bitumne. To je verjetno posledica, ker ima bituminizirana mešanica s 25 % deležem asfaltne granulate največji delež (odstotno gledano) bitumna. Nadaljnje povečevanje deleža asfaltne granulate v mešanici povzroči, da postane bituminizirana mešanica bolj trda, s tem pa tudi bolj krhka.

### Termalne razpoke

Termalne razpoke, kot že ime pove, niso odvisne od prometne obremenitve ampak od temperaturnih obremenitev. V tem testu so se mešanice z asfaltnim granulatom slabo odrezale. Kontrolna mešanica (z 0 % odpadnega asfalta) je imela 56 m na tekoči kilometer razpok.

Na sliki vidimo, da je mejno vrednost za razpoke 190 m na tekoči kilometer preseгла večina preizkušenih mešanic. To je posledica količine bitumna v bituminizirani zmesi. Proti termalnim razpokam se najboljše obnesejo bituminizirane zmesi s čim manjšim deležem

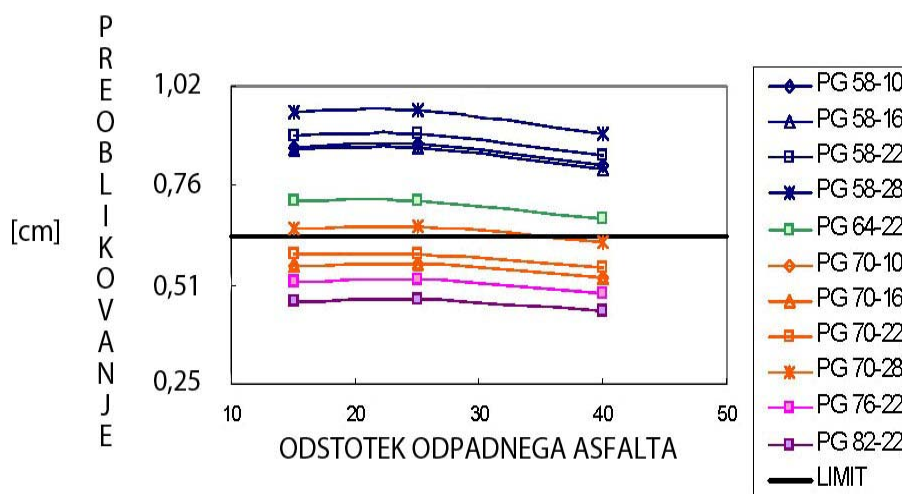
bitumna. Zato se je v tem testu najbolj obnesla mešanica s 40 % odpadnega asfalta. Termalne razpoke so posledica različnih temperaturnih raztezkov bitumna in kamnitega materiala. Bitumen se razteza in krči, medtem ko se kamnita zrna le malenkostno. To povzroča velike napetosti katerih posledica je odstopanje bitumna od kamnitih zrn.



Slika 20: Diagram rezultatov poskusa za termalne razpoke

### Preoblikovanja

Pri preoblikovanjih igra najbolj pomembno vlogo kvaliteta bitumna. Najbolj se preoblikujejo asfaltne zmesi, ki uporabljajo najmehkejše bitumne. Kontrolna mera je bila 0,84 cm v globino po koncu uporabne dobe 10 let.



**Slika 21:** Diagram rezultatov poskusa preoblikovanje vozne površine

Najbolj izrazito preoblikovanje se je pokazalo na mešanici s 25 % asfaltne granulata. Pričakovali bi, da bodo mešanice z večjim deležem asfaltne granulata izkazovale večjo trdnost, vendar je, pri preoblikovanju odločujoči delež bitumna in ta je pri mešanici s 25 % asfaltne granulata, najvišji. Najmanjše preoblikovanje se izkaže pri mešanici s 40 % asfaltne granulata. V tej mešanici je delež bitumna najmanjši.

## 6 ZAKLJUČKI

V zadnjem času se vedno bolj spodbuja recikliranje asfaltnih vozišč na licu mesta, saj je taka metoda reciklaže najhitrejša in najbolj ekonomsko upravičena. Dogaja pa se, da je reciklaža po vročem postopku v asfaltnem obratu še vedno najbolj pogosto uporabljena. Reciklaža v asfaltnem obratu je najprimernejša za najbolj obremenjena vozišča, ker je tak postopek reciklaže najpogosteje in najučinkoviteje preverjen v praksi. Začetki reciklaže v asfaltnih obratih segajo v začetke prejšnjega stoletja kar pomeni, da imamo največ podatkov in izkušenj prav za ta postopek. Raziskave v zadnjih letih so pokazale, da so bitumenske zmesi z dodatkom asfaltnega granulata enakovredne bitumenskim mešanicom iz svežih materialov. To pomeni, da ni razloga, da odpadkov ni mogoče uspešno uporabiti pri izvedbi novih bituminiziranih zmesi.

Argumenti, ki govorijo v prid recikliranju bituminiziranih zmesi so naslednji:

- manjša poraba materialov,
- manjša potreba po naravnih virih, kar manjša negativne vplive na okolje,
- zmanjšuje se potreba po deponijah odpadnih materialov in ohranja okolje,
- bituminizirane zmesi so v celoti primerne za reciklažo.

## VIRI

Asfalt. 2006. Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije: 285 str.

Freddy L. Roberts., Prithvi S. Kandhal., E. Ray Brown., Dah-Yinn Lee., Thomas W. Kennedy., 2003. Vruće asfaltne mješavine. Zagreb, Hrvatski savez građevinskih inženjera, Institut građevinarstva Hrvatske: 468 str.

Cotić, Z., Čotar, M. 2006. Obnova državnih cest s ponovno uporabo materialov iz voziščne konstrukcije. V: Zbornik referatov, 8. Slovenski kongres o cestah in prometu. Portorož, 25 – 27. Oktober 2006. Ljubljana, DRC – Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije: str 579-588.

The asphalt handbook. 2007. Lexington, Asphalt Institute: str 832.

Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments., Participant's Reference Book.

<http://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/98042/index.cfm> (1.7.2009).

Žmavc, J., 2007. Gradnja cest. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, DRC – Družba za raziskave v cestni in prometni stroki slovenije: 357 str.

Rok, A. Breda. 2004. Poškodbe na asfaltnih voziščih. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Prometna smer: 78 f.

Zore, D. 2001. Ponovna uporaba asfalta v proizvodnji vročih asfaltnih zmesi. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Prometna smer: 49 f.



Kerstein, A., Kerstein Trauner A., 2004. Gradbeni odpadki z bitumenskimi vezivi. V: 9. Kolokvij o asfaltih in bitumnih. Kranjska gora, 25 – 26. November 2004, ZAS – Združenje asfalterjev Slovenije: str 33-48.

Arguments to stimulate the government to promote asphalt reuse and recycling. 2008.  
[http://www.epa.org/default\\_news.htm](http://www.epa.org/default_news.htm) (1.8.2009).

Asphalt in figures 2007. 2007.  
[http://www.epa.org/default\\_news.htm](http://www.epa.org/default_news.htm) (1.8.2009).

TSC 06.730 : 2001, Tehnična specifikacija za javne ceste, Predhodna sestava asfaltne zmesi, Direkcija Republike Slovenije za ceste, Ljubljana, 2001.

TSC 06.800 : 2001, Tehnična specifikacija za javne ceste, Ponovna uporaba materialov v cestogradnji recikliranje, Direkcija Republike Slovenije za ceste, Ljubljana, 2001.