



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
TRANSPORTBŪVJU INSTITŪTS

PĒTĪJUMS

**ASFALTA MAISĪJUMA NOTURĪBA PRET PLASTISKĀM
DEFORMĀCIJĀM.
AUGSTAS STIPRĪBAS ASFALTBETONU (HMAC) IZPĒTE (3.
KĀRTA).**

GALA ATSKAITE

Rīga, 2014. gads 9. decembris

Apstiprinu, 09. 12. 2014 (vārds, uzvārds, paraksts)		
Pētniecības projekta nosaukums Asfalta maisījuma noturība pret plastiskām deformācijām. Augstas stiprības asfaltbetonu (HMAC) izpēte (3. kārtā)		
Līguma numurs	Līgums Nr. LVC2014/1.10/4/AC līguma reģ. Nr. 03000-3.1.1/80	
Līguma slēgšanas datums	25. 06. 2014	
Pētniecības projekta stadija	4. stadija (100%)	
Starpziņojumu kopējais skaits	3 starpziņojumi un 1 gala atskaite	
Ziņojuma nodošanas datums	09. 12. 2014	
Pētniecības projekta stadijas izstrādes periods	01. 06. 2014 – 09. 12. 2014	
Lappušu skaits	134	
Disks vai cits datu nesējs (ir/nav)	ir	
Eksemplāru skaits	1	
Pētniecības programma JAUNU TEHNOLOĢIJU IZPĒTES PROGRAMMA 2014. - 2016. GADAM		
Pētniecības projekta izpildītāji	Vārds, Uzvārds	Paraksts
Pētniecības projekta vadītājs	Viktors Haritonovs	
Pētnieks	Jānis Tihonovs	
Pētnieks	Rolands Īzaks	
Pētnieks	Oskars Babrovskis	
Pētnieks	Guntis Brencis	
Projektu finansē	VAS "Latvijas Valsts ceļi" / Satiksmes ministrija	
<p>Īss apraksts</p> <p>HMAC tipa asfalts ir paredzēts lietošanai asfaltbetona seguma apakškārtās un/vai saistes kārtās vidējas vai augstas intensitātes autoceļos, lidlaukos un citās satiksmes platībās, kur nepieciešama augsta asfaltbetona segas pretestība deformācijām un liela nogurumizturība, piemēram, krustojumos, sabiedriskā transporta pieturvietās u.c.</p> <p>Pētījuma projekta 1. un 2. kārtas tika radīti vairāki asfaltbetona sastāvi HMAC (High Modulus Asphalt Concrete) ar augstām ekspluatācijas īpašībām. HMAC asfaltbetona sastāvu izstrādei tika izvēlēti piemēroti izejmateriāli – zemās drupināšanas izturības Latvijas dolomīts, ciets bitumens B20/30, kā arī polimermodificētais PMB 25/55-65 un augsti modificētais bitumens PMB 10/40-65. Analizējot projektēto sastāvu pamatīpašības un ekspluatācijas īpašības, konstatēts, ka tie atbilst High Modulus Asphalt Concrete (HMAC) specifیکāciju prasībām. HMAC specifیکācijas izstrādātas pētījumā „Ilgtspējīgi asfalta segumi jaunajām ES dalībvalstīm” SPENS (Sustainable Pavements for European New Member States) programmas ietvaros.</p> <p>Pētījuma projekta 3. kārtas ietvaros izstrādāti augstas stiprības HMAC tipa asfaltbetona sastāvi, izmantojot Latvijā iegūstamos minerālmateriālus (dolomītu un grants šķembas). Dolomīta un grants šķembas tika iegūtas no SIA „Pļaviņu DM” un SIA „IGATE” karjeriem. Šiem sastāviem veikts ekonomiskais novērtējums, piedāvātas HMAC tipa asfaltbetona specifیکācijas un ceļa segas konstruktīvie risinājumi. Tāpat pētījuma 3. kārtas ietvaros uz HMAC sastāvu bāzes tika izgatavoti fibroasfaltbetona maisījumi, izmantojot aramīda stiegras. Šie sastāvi, salīdzinājumā ar references sastāvu, uzrāda augstāko termoplaisu noturību. Tomēr rezultāti rāda, ka, pievienojot mikrostiegras (fibras), asfaltbetona sastāvu stinguma palielinājums, salīdzinājuma ar references sastāvu, nav nozīmīgs. Līdz ar to, izmantojot tradicionālo bitumenu B70/100 un mikrostiegras, nevar sasniegt SPENS rekomendāciju prasības HMAC asfaltbetona sastāviem.</p> <p>Projektēti asfaltbetona sastāvi ar augstu RAP (<i>recycled asphalt pavement</i>) saturu un noteiktas to ekspluatācijas īpašības. Iegūtie rezultāti norāda, ka nav pamata ierobežot kvalitatīva RAP izmantošanu jaunu HMA maisījumu ražošanā.</p>		
Pielietojums/pētījuma sfēra	Autoceļu būvniecība/Ceļu būvmateriāli	
Papildus izstrādātie materiāli	Zinātniskās publikācijas un rekomendācijas	

SATURS

SATURS	3
IEVADS	5
High Modulus Asphalt Concrete (HMAC)	5
Asfaltbetoni ar augstu RAP (<i>recycled asphalt pavement</i>) saturu	6
1. PROJEKTA MĒRĶIS UN UZDEVUMI	8
2. RAP IZMANTOŠANA JAUNU HMA MAISIJUMU RAŽOŠANĀ	10
3. HMA SEGUMU PĀRSTRĀDE	13
3.1. Asfaltbetons	13
3.1.1. Asfaltbetona īpašības no ķīmiskā aspekta	14
3.1.2. Asfaltbetona īpašības no fizikālā un mehāniskā aspekta	14
3.2. RAP materiāls	15
3.4. RAP materiāla pārstrāde un uzglabāšana	17
2.5. RAP materiāla izmantošana HMA maisījumu rūpnīcās	23
3.5.1. Partijas maisījuma rūpnīca	24
3.5.2. Nepārtrauktas darbības cilindra miksera rūpnīca	29
4. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA (RAP)	32
4.1. Asfaltbetonu maisījumu izstrāde ar augstu RAP saturu	32
4.2. Izejmateriālu īpašības	34
4.2.1. Bitumena īpašību noteikšana	34
4.2.2. RAP bitumena īpašību atjaunošana ar bitumenu B 70/100	38
4.2.3. RAP saistvielas saturs, granulometrija	44
4.2.4. Drupināta dabiska dolomīta no karjera „Pērtņieki” īpašības	46
4.2.5. Maksimālā RAP satura noteikšana HMA maisījumā, izvērtējot atbilstību pēc viendabīguma	48
4.3. Asfaltbetona sastāvi	50
4.3.1. Optimālā bitumena satura noteikšana	50
4.3.2. Asfaltbetona maisījuma AC 16 base/bin granulometriskais sastāvs	53
4.3.3. Asfaltbetona maisījumi AC 16 base/bin ar Salaspils RAP	54
4.3.4. Asfaltbetona maisījumi AC 16 base/bin ar Salaspils RAP	57
4.3.5. Asfaltbetona maisījumu AC 16 base/bin ar dažādiem RAP saturiem pamatīpašības ...	60
4.4. Asfaltbetona maisījuma parauga deformatīvo īpašību eksperimentālā pārbaude	64
4.4.1. Risu noturība	64
4.4.2. Noturība pret noguruma plaisu veidošanos	65
4.4.3. Stingums	68
5. RAP RAŽOŠANAS UN IEKLĀŠANAS REKOMENDĀCIJAS	70
5.1. RAP materiāla izmantošana	70
5.2. Asfaltbetonu maisījumu rūpnīcas	70
5.2.1. Periodiska RAP materiāla pievienošana (Pagaidām aktuāli Latvijā)	70
5.2.2. RAP materiāla nepārtraukta pievienošana	71
5.2.3. RAP materiāla uzkaršēšana atsevišķās iekārtās (2 žāvēšanas cilindri)	72
5.3. RAP materiāls	72
5.4. Galvenie ietekmējošie faktori	72
6. RAP EKONOMISKAIS NOVĒRTĒJUMS	74
6.1. RAP materiālavērtība	74
6.2. Izmaksas	74
6.3. Izmaksas	76
7. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA (FIBROASFALTBETONI)	77
7.1. Fibroasfaltbetoni	77
7.2. Fibru veidi	80

7.2.1 Azbests	81
7.2.2 Tērauds	83
7.2.3 Celuloze	84
7.2.4 Polipropilēna fibras	85
7.2.5 Stikla šķiedra	86
7.2.6 Bazalta šķiedra	87
7.2.7 Neilons	88
7.2.8 Hibrīdais stiegrojums	89
7.3 Eksperimentālās daļas plāns	90
7.4 Dolomīta īpašības	91
7.4.1 Granulometrija	91
7.4.2 Minerālmateriāla fizikālās un mehāniskās īpašības	91
7.4.3 Tradicionālo un HMAC asfaltbetona sastāvu minerālmateriālu īpašību salīdzinājums ..	92
7.4.4 Granulometriskais sastāvs	92
7.4.5 Bitumena īpašības	94
7.4.6 Fibroasfaltbetona sastāvu pamatīpašības	94
7.4.7 Fibroasfaltbetona sastāvu ar SIA „Pļaviņu dolomīts” šķembām ekspluatācijas īpašības	96
8. HMAC SASTĀVI AR GRANTS UN DRUPINĀTU SMILTS	99
8.1 Granulometrija	99
8.2 HMAC ar grants šķembām granulometriskais sastāvs	102
8.4 HMAC sastāvu ar grants šķembām risu noturība	105
8.5 HMAC sastāvu ar grants šķembām ūdensjutība	106
8.6 HMAC sastāvu ar grants šķembām stingums	106
8.7 HMAC sastāvu ar grants šķembām nogurumizturība	107
9. HMAC ASFALTBETONU UN TĀ IZEJMATERIĀLU TEHNISKĀS PRASĪBAS	109
9.1. Bitumens	109
9.1.1. Bitumena klases	109
9.1.2. Bitumena īpašības	109
9.2. Granulometriskais sastāvs un bitumena saturs	110
9.3. Aizpildītāja īpašības	111
9.3.1. Aizpildītāja granulometriskais sastāvs	111
9.3.2. Aizpildītāja īpašības	112
9.4. Pildvielas īpašības	113
9.4.1. Smalkās pildvielas īpašības	113
9.4.2. Vidēji rupjas un rupjas pildvielas īpašības	114
9.5. HMAC asfaltbetona sastāva īpašības	115
10. EKONOMISKAIS NOVĒRTĒJUMS	116
10.1. Izejmateriālu cena	116
10.1.1. Minerālmateriāls	116
10.1.2. Bitumens	117
10.2. Ražošanas izmaksas	117
10.3. Transportēšanas izmaksas	119
11. CEĻA SEGAS RISINĀJUMI AR HMAC KONSTRUKTĪVO SLĀNI	122
11.1. Starpslāņu saķere	122
11.2. Tipveida konstruktīvie risinājumi	123
11.2.1. HMAC tipa asfaltbetons ar SMA tipa asfalta dilumkārtu	123
11.2.2. HMAC tipa asfaltbetons ar ļoti plānas kārtas asfalta dilumkārtu	125
11.2.3. Segas nestspējas aprēķins pēc LVS metodikas (elastīgās ielieces)	126
SECINĀJUMI	128
LITERATŪRA	130

IEVADS

High Modulus Asphalt Concrete (HMAC)

HMAC (*High Modulus Asphalt Concrete*) tipa asfalts ir paredzēts lietošanai asfaltbetona seguma apakškārtās un/vai saistes kārtās vidējas, vai augstas intensitātes autoceļos, lidlaukos un citās satiksmes platībās, kur nepieciešama augsta asfaltbetona segas pretestība deformācijām un liela nogurumizturība, piemēram, krustojumos, sabiedriskā transporta pieturvietās u.c.

Pētījuma projekta 1. un 2. kārtā tika radīti vairāki asfaltbetona sastāvi HMAC ar augstām ekspluatācijas īpašībām. HMAC asfaltbetona sastāvu izstrādei tika izvēlēti piemēroti izejmateriāli – zemas drupināšanas izturības Latvijas dolomīts, ciets bitumens B20/30, kā arī polimermodificētais PMB 25/55-65 un augsti modificētais bitumens PMB 10/40-65.

Izejmateriāli tika piegādāti no SIA „Pļaviņu DM” un Grupa LOTOS S.A (Polija). Analizējot projektēto sastāvu pamatīpašības un ekspluatācijas īpašības, konstatēts, ka tie **atbilst High Modulus Asphalt Concrete (HMAC) specifikāciju prasībām.** HMAC specifikācijas izstrādātas pētījumā „Ilgtspējīgi asfalta segumi jaunajām ES dalībvalstīm” SPENS (*Sustainable Pavements for European New Member States*) programmas ietvaros.

Pētījuma projekta 3. kārtas ietvaros plānots izstrādāt augstas stiprības asfaltbetona sastāvus, izmantojot Latvijā iegūstamos minerālmateriālus (dolomītu un grants šķembas) - pilnīgi vai daļēji aizstājot ar tiem tradicionālās, importētās šķembas (Lietuvas dolomītu, granītu, diabazu u.c.). Dolomīta un grants šķembas tiks iegūtas no vairākiem Latvijas karjeriem (konkrēti karjeri tiks izvēlēti darba gaitā). Tāpat pētījuma 3. kārtas ietvaros plānots izmantot Latvijā ražotu polimērmodificētu bitumenu, kā arī asfaltbetona radītajiem sastāviem noteikt noturību pret termoplaisu veidošanos ar TSRST (*thermal stress restrained specimen test*) metodi atbilstoši LVS EN 12697-46.

Ja pētījuma 3. kārtas ietvaros izdosies radīt vairākus HMAC asfaltbetona sastāvus, izmantojot Latvijas karjeru minerālmateriālu (dolomītu, granti, drupinātu smilti), un tiks pierādīts, ka, izmantojot vietējo materiālu, var radīt augstu ekspluatācijas īpašību asfaltbetona sastāvus, tad plānots piedāvāt iekļaut HMAC asfaltbetona tipu „Ceļu specifikācijas” prasībās, stingri reglamentējot ekspluatācijas īpašības (stingumu, nogurumu un risu noturību).

Asfaltbetoni ar augstu RAP (*recycled asphalt pavement*) saturu

Palielinoties bitumena saistvielas un minerālmateriālu izmaksām, ir palielinājusies interese izmantot augstus RAP procentus, jaunu HMA maisījumu ražošanā. RAP materiāla izmantošana ievērojami palielinājusies pēdējos divus gadu desmitus. Faktiski, RAP izmantošana jaunu ceļu segumu būvniecībā tagad ir kļuvusi par ierastu praksi daudzās valstīs.

Ceļu būvniecība, kā nozare, ir ļoti materiālietilpīga un savos būvniecības procesos patērē ievērojamus energoresursus, kā rezultātā atstāj paliekošas sekas apkārtējā vidē. RAP izmantošana jaunu HMA maisījumu ražošanā ir ne tikai ekonomiska un videi draudzīga, bet arī ļauj ietaupīt un saglabāt neatjaunojamus dabas resursus. Finansiālais ieguvums ir tieši redzams, bet nav vienīgais. Pārstrādājot atgūtos asfaltbetona materiālus, tiek samazināts nepieciešamais energoresursu patēriņš, kas nepieciešams, lai saražotu, piegādātu un iestrādātu jaunus minerālmateriālus būvniecības laikā, tiešā veidā saudzējot apkārtējo vidi.

Ieguvumi no reciklētā asfaltbetona izmantošanas jaunu asfaltbetonu segumu ražošanā:

- ❖ būvniecības izmaksu samazinājums;
- ❖ mazāk nelietderīgo materiālu;
- ❖ transporta izmaksu samazinājums;
- ❖ minerālmateriāla un saistvielas patēriņa samazinājums;
- ❖ enerģijas ietaupījums;
- ❖ vides saglabāšana (toksisko un gāzu emisiju samazinājums);
- ❖ esošā ceļa segas ģeometrijas saglabāšana;
- ❖ samazinās ceļu nolietojums, samazinoties materiālu transportēšanai;
- ❖ 20 – 50% RAP izmantošana maisījumā, dod 14 – 34% izmaksu ekonomiju uz

katru saražoto asfaltbetona tonnu. [1, 2]

Reciklētā asfaltbetona izmantošana jaunu asfaltbetona maisījumu ražošanā Latvijā ir attīstības stadijā, tādēļ darbā tiks apskatītas aktuālās ražošanas, pārstrādes un uzglabāšanas metodes RAP materiālam. Sakarā ar paaugstinātām bitumena saistvielas un izmantotās enerģijas cenām, kuras pakāpeniski pieaug, ir liels ekonomiskais potenciāls izmantot HMA maisījumus ar augstiem RAP saturiem. RAP materiāls ar augstāku bitumena saistvielas saturu dos lielāku ieguldījumu no RAP materiāli, tādējādi samazinot jaunā HMA maisījuma izmaksas. Palielinot kopējo RAP saturu maisījumā, vienmēr tiks samazinātas ražošanas un minerālmateriālu

transportēšanas izmaksas. HMA maisījumu ražošanā, kur RAP saturs pārsniedz 25 M.-%, parasti nepieciešamas būtiskas izmaiņas kvalitātes nodrošināšanas testos un HMA maisījumu rūpnīcu darbībā, tādejādi, pievienojot zemāku RAP saturu, būs nepieciešamas mazākas korekcijas ražošanā un materiālu testēšanā. Augsts RAP saturs samazina kopējās izmaksas saražotajam HMA maisījumam. Kamēr pārstrādāto materiālu izmantošana HMA maisījumos neietekmē vai neapdraud kvalitāti, apjoms, ko izmanto HMA maisījumos, būtu jāoptimizē. Paaugstinoties bitumena saistvielas cenai, ietaupījumi, izmantojot augstus procentus RAP, būs ievērojami. Testos un HMA maisījumu rūpnīcu darbībā, tādejādi, pievienojot zemāku RAP saturu, būs nepieciešamas mazākas korekcijas ražošanā un materiālu testēšanā.

Augsts RAP saturs samazina kopējās izmaksas saražotajam HMA maisījumam. Kamēr pārstrādāto materiālu izmantošana HMA maisījumos neietekmē vai neapdraud kvalitāti, apjoms, ko izmanto HMA maisījumos, būtu jāoptimizē. Paaugstinoties bitumena saistvielas cenai, ietaupījumi, izmantojot augstus procentus RAP, būs ievērojami.

1. PROJEKTA MĒRĶIS UN UZDEVUMI

Projekta mērķis

Projekta mērķis – izstrādāt augstas stiprības asfaltbetona sastāvus, lietojot Latvijā iegūtus minerālmateriālus, un, lai nodrošinātu asfalta lietošanu augstas intensitātes ceļiem, piedāvāt priekšlikumus specifikāciju papildināšanai ar jaunu asfalta tipu, kam projektēšanas prasības balstītas uz fundamentālām testēšanas metodēm.

Darba saturs

1. Izstrādāt pētījuma programmu, ietverot tajā informāciju par pētījuma kalendāro plānu, sadarbības partneriem, izejmateriālu piegādātājiem, asfaltbetona sastāvu projektiem un vienošanās dokumentāciju ar uzņēmējiem par izejmateriālu saņemšanu pētījuma vajadzībām.
2. Salīdzināt Latvijas dolomīta un grants šķembu īpašības ar izvirduma iežu šķembu – granīta, diabaza, gabro un bazalta - īpašībām.
3. Laboratorijā izgatavot augstas stiprības asfaltbetona maisījuma paraugus no dolomīta un grants šķembām (pilnīgi aizvietojot otrajā izpētes kārtā jau lietotos minerālmateriālus) un salīdzināt to īpašības ar tradicionālajiem asfalta veidiem.
4. Laboratorijā izgatavot augstas stiprības asfaltbetona maisījumus ar augstu RAP (*recycled asphalt pavement*) saturu (ar RAP daļēji aizvietojot Latvijas apstākļiem tradicionālo pildvielu).
5. Laboratorijā uz HMAC sastāvu bāzes izgatavot fibroasfaltbetona maisījumus, izmantojot aramīda u.c. stiegras.
6. Veikt asfaltbetona paraugu deformatīvo īpašību eksperimentālās pārbaudes, lietojot ekspluatācijas īpašību testēšanas metodes – riteņu sliežu veidošanās tests, stinguma un noguruma tests, kā arī ūdensjūtību.
7. Aprobēt TSRST metodi HMAC asfaltbetona sastāvu noturības pret termoplaisu veidošanos noteikšanai.
8. Eksperimentālā posma segas konstrukcijas projekta izstrādāšana un projekta iesniegšana apstiprināšanai Projekta komisijā.
9. Publikāciju, plakātu un ziņojumu sagatavošana.

10. Sagatavot dolomīta un grants šķembu lietošanas ar cieta bitumenu (modificētu, augsti modificēto) ekonomisko novērtējumu, dodot Pasūtītājam rekomendācijas, ar kādiem nosacījumiem (transportēšanas attālumi, ražošanas izmaksas) ir lietderīgi plānot šo materiālu lietošanu.
11. Sagatavot projektēšanas rekomendācijas asfaltbetona sastāvam ar augstu RAP saturu. Sagatavot ekonomisko novērtējumu asfaltbetona sastāvam ar augstu RAP saturu.
12. Sagatavot projektēšanas rekomendācijas fibroasfaltbetonam, lietojot aramīda, minerālās un stikla šķiedras. Veikt ekonomisko novērtējumu stiegru lietošanai.
13. Sagatavot HMAC asfaltbetonu un tā izejmateriālu tehniskās prasības „Ceļu specifikācijas 2014” (vai citas – aktuālās specifikāciju versijas) papildināšanai.

Darba izpildes metodika

1. Asfalta maisījumu sastāvu izstrādes pamatā ir standarta LVS EN 13108-1 prasības;
2. Bitumena īpašību noteikšana atbilstoši LVS EN 12591 vai LVS EN 14043 prasībām;
3. Minerālmateriāla īpašību noteikšana atbilstoši LVS EN 13043 prasībām;
4. Eksperimentālās pārbaudes tiks veiktas saskaņā ar aktuālo LVS EN testēšanas metožu prasībām;
5. Asfaltbetona un izejmateriālu īpašības tiks izvērtētās saskaņā ar “Ceļu specifikācijas 2014” un LVS EN prasībām;
6. Darba Izpildītājs piesaista savai darba grupai konsultantu, kurš pētījumu rezultātus apkopo un sagatavo Ceļu specifikāciju sadaļas redakciju.
7. Detalizētu pētījuma programmu un Darba izpildes kalendāro plānu Darba Izpildītājs sagatavos 1.starpziņojumā un iesniegs izskatīšanai Projekta komisijā;
8. Ārvalstīs augstas kravas satiksmes intensitātes posmos noslogojuma asfalta segu izbūvei lietoto tehnoloģiju un specifikāciju aprakstu, kā arī konsultanta rekomendācijas iesniegs Projekta komisijai izskatīšanai 2. starpziņojumā.

2. RAP IZMANTOŠANA JAUNU HMA MAISIJUMU RAŽOŠANĀ

Asfaltbetona segumu pārstrādes vēsture, jaunu HMA maisījumu ražošanā aizsākās tālajā 1915. gadā. Lai nu kā, tā nekļuva par ierastu praksi līdz Arābu naftas embargo 1970. gados, līdz ar to, asfaltbetona segumu pārstrāde mūsdienu praksē kļuvusi plaši izplatīta.[3;4] Sākotnēji, ceļu būvniecības nozarei bija neliela pieredze asfaltbetona ražošanas tehnoloģijās, HMA maisījumu projektēšanā, ceļa segas projektēšanā, būvniecībā. Sniegums pārstrādātajiem asfaltbetona segumiem tika pieņemts eksperimentāli, vai nebija zināms vispār. Tomēr, būvniecības prakse strauji attīstījās un 1978. gadā un 1980. gadā, *National Cooperative Highway Research Program (NCHRP)* publicēja „*Synthesis of Highway Practice*” Nr. 54, „*Recycling Materials for Highways*” un ziņojumu Nr. 224, „*Guidelines for Recycling Pavement Materials*”, kas tika izstrādāts balstoties uz daudzu aģentūru un organizāciju pieredzi, un sniedza praktisku pieeju asfaltbetona segumu pārstrādei jaunu HMA maisījumu ražošanā.[4]

Kopš tehnoloģija asfaltbetona segumu pārstrādei ir kļuvusi ikdienišķa, dažādu valstu specifikācijas parasti atļauj RAP izmantošanu jaunu HMA maisījumu ražošanā. *Superpave* maisījuma projektēšanas process pārveidots tā, lai varētu izvērtēt HMA maisījumus ar RAP.[5]

Frēzēšanas mehānismi padara iespējamu asfaltbetona virskārtu atgūt nepieciešamajā frakciju izmēru diapozonā, ko var izmantot ar minimālu papildus apstrādi HMA maisījumu ražošanā. Dažādu granulometriju sieti asfaltbetona rūpnīcās ļauj saražoto RAP materiālu fracionēt dažādos izmēros, palielinot elastību RAP izmantošanai jaunu HMA maisījumu ražošanā.[4]

Pastāv divu tipu HMA maisījumu rūpnīcas:

- partijas maisījuma rūpnīca;
- cilindra miksera rūpnīca.

Partijas maisījuma rūpnīcas un cilindra miksera rūpnīcas parasti izgatavotas tā, lai ražotu HMA maisījumus ar reciklētu RAP materiālu. Atšķirība starp abām maisījuma rūpnīcām ir tāda, ka partijas tipa rūpnīcas žāvē un uzkaršē minerālmateriālus un tad atsevišķā mikserī sajauc vienu noteiktu minerālmateriālu partiju ar bitumena saistvielu. Cilindra miksera rūpnīcas žāvē un uzkaršē minerālmateriālu, un sajauc ar bitumen saistvielu nepārtrauktā procesā, vienā iekārtā. [6]

HMA maisījumu ražošanas industrija 2006. gadā atradās līdzīgā situācijā, pielīdzināmai 1970. gadu Arābu naftas embargo laikiem. Bija straujš pieaugums energoresursu izmaksām, kā arī asfaltbetona saistvielas izmaksām, kā rezultātā palielinājās ražošanas un transportēšanas izmaksas. Asfaltbetona segumu materiālu pārstrādei ir vairāki ieguvumi no vides aizsardzības un ekonomikas nostādņēm.[4]

RAP materiāls ir ļoti vērtīgs resurss HMA maisījumu ražotājiem. Tas satur gan minerālmateriālu, gan bitumena saistvielu. RAP izmantošana HMA maisījumu ražošanā aizvieto šos vērtīgos resursus, ietaupot naudu un materiālus. Cik daudz RAP materiāla var izmantot jaunu HMA maisījumu ražošanā, ir atkarīgs no:

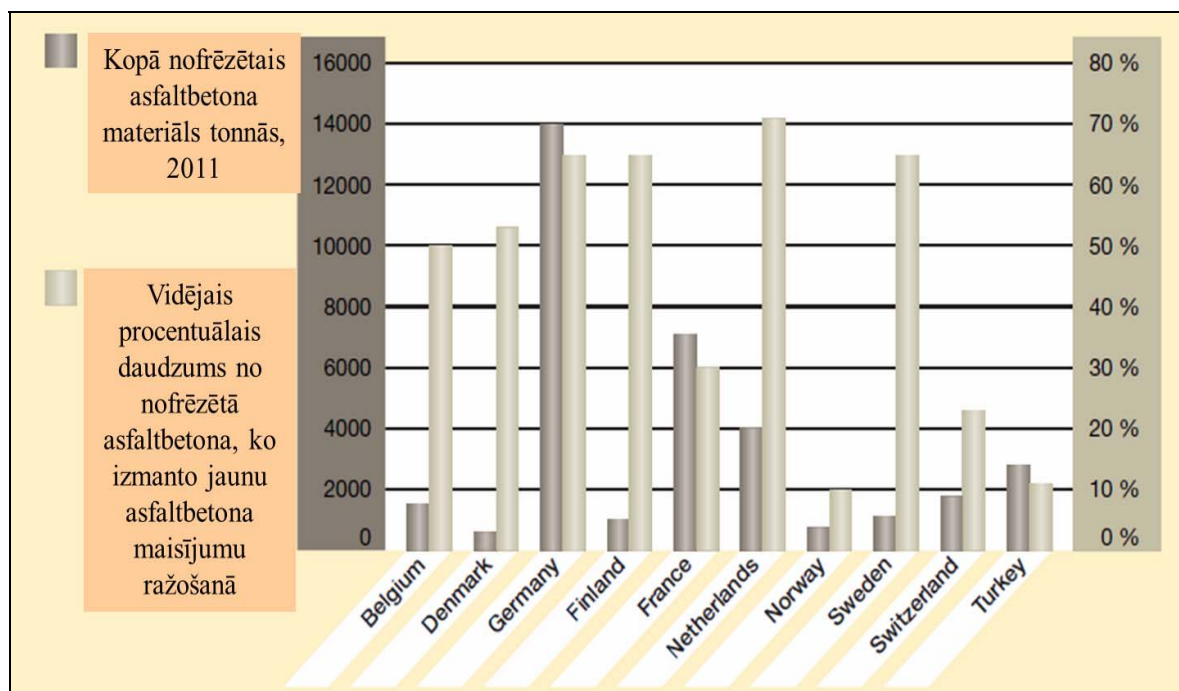
- specifikāciju prasībām (var atšķirties atkarībā no ceļa kategorijas un seguma kārtas);
- RAP materiāla īpašībām:
 - ✓ bitumena saistvielas satura;
 - ✓ bitumena saistvielas īpašībām;
 - ✓ minerālmateriālu granulometrijas;
 - ✓ minerālmateriālu īpašībām.
- RAP materiāla viendabīguma;
- asfaltbetona maisījumu rūpnīcas tipa un iekārtām.[7]

Lai maksimizētu izmantojamo RAP procentuālo daudzumu, ir svarīgi, lai RAP materiāls ir viendabīgs. Pareiza pārstrāde un uzkrāšana palīdzēs nodrošināt nepieciešamās īpašības.[8]

Naftas un minerālmateriālu resursu saglabāšana, kā arī izgāztuvju platību nepalielināšana ir galvenie vides aizsardzības un saglabāšanas ieguvumi. Rezultātā ir mazāk transportlīdzekļu, ko izmanto pārvadājumiem, mazāk patērētas enerģijas un līdz ar to uzlabota gaisa kvalitāte. Rezultātā samazinās enerģijas patēriņa apjoms, minerālmateriālu un asfaltbetona bitumena saistvielas ražošanā. RAP izmantošana HMA maisījumā rada iespēju samazināt izmaksas.[4]

Ja tiek veikta pareiza HMA maisījumu izvērtēšana un projektēšana, saturā iekļaujot RAP materiālu, maisījumi ražoti ar RAP var sasniegt tikpat labus rezultātus vai dažos gadījumos pat labākus nekā maisījumi, kas ražoti tikai ar jauniem, neapstrādātiem materiāliem. HMA maisījumi ir vispārstrādātākais materiāls Amerikā, kur 80 M.-% reciklētā HMA maisījuma tiek iestrādāts atpakaļ ceļos kā jauns karstais asfaltbetona maisījums, kā nesaistīta kārta un kā auksts, reciklēts asfaltbetona maisījums.[4] Jāatzīmē, ka daudzas Eiropas valstis ir panākušas Ameriku reciklētā asfaltbetona atkārtotā izmantošanā jaunu HMA maisījumu ražošanā (sk. 1. att.).

Sākumā *Superpave* asfaltbetona projektēšanas metode un šķembu mastikas asfalta (SMA) maisījuma ieviešana radīja šķērslī, lai izmantotu augstu RAP saturu HMA maisījumos. Vispirms pētnieki un inženieri meklēja risinājumus, kā šīs jaunās tehnoloģijas sasaistīt ar jaunajiem materiāliem, lai tās pilnvērtīgi darbotos. Daudzas valstis patlaban atļauj RAP izmantošanu *Superpave* projektētajos maisījumos, lai gan dažas valstis joprojām vilcinās. Daudzas valstis atļauj RAP izmantot arī SMA maisījumos. Jāatzīmē, ja pienācīgi tiek veikts izvērtējums HMA maisījumiem, tad nav pamata, kāpēc nevarētu RAP izmantot pilnā apmērā, jebkurā HMA tipa maisījumā.[4]



1. att. Nofrēzētā asfaltbetona vidējais izmantotais apjoms jaunu HMA maisījumu ražošanā, 2011 [9]

Bieži vien sniegums RAP maisījumiem tiek minēts kā neprognozējams, satraucoties par RAP saturu maisījumos. Eps (*Epps*) un viņa kolēģi analizēja sniegumu vairākiem asfaltbetona segumiem, kas bija līdz 7 gadus veci un secināja, ka reciklētie HMA maisījumi ir ļoti labi vai pat labāki nekā maisījumi, kas ražoti tikai ar jaunajiem materiāliem.

Čens (*Chen*) un Daleidens (*Daleiden*) veica atkārtotu ekspluatācijas īpašību analīzi reciklētajiem HMA maisījumiem speciālos asfaltbetona seguma pētījumos, „*Longterm Pavement Performance program*” ietvaros. Čens (*Chen*) un Daleidens (*Daleiden*) konstatēja, ka tad, kad maisījumos ar RAP saturu M.-30% izmantoja klasi mīkstāku bitumenu, sniegums abām kārtām - 2 collām (50 mm) un 5 collām (125 mm) - bija teicams vairāk nekā 10 gadu ilgā periodā. Čens (*Chen*) un Daleidens (*Daleiden*) paziņoja, ka 5 collu (125 mm) kārtas bija

nedaudz izturīgākas pret termisko plaisāšanu.[4;10] Brovns (*Brown*) ziņoja par HMA maisījumu rezultātiem, kur tika izmantots RAP, prezentējot pētījumu konferencē, kuru sponsorēja „*National Asphalt Pavement Association*” (*NAPA*). Asociācija deva piemērus no piecām valstīm, kurām bija panākumi HMA maisījumu ražošanā, iekļaujot RAP un panākot lielisku sniegumu asfaltbetona segumiem.[4;11]

Asfaltbetona ražošanas industrijai ir bijuši ļoti veiksmīgi rezultāti HMA maisījumu ražošanā ar atkārtoti pārstrādātiem asfaltbetona segumiem, kā arī citiem pārstrādātiem materiāliem, piemēram, stiklu, riepu gumiju, izdedžu sārņiem utt. Kā jau tika minēts, asfaltbetona pārstrāde aizsākās 1915. gadā, bet tā nekļuva par ierastu praksi līdz 1970. gadu sākumam, kad asfaltbetona bitumena saistvielas cenas strauji pieauga, pateicoties Arābu naftas embargo. Asfaltbetona ražotāji nekavējoties reaģēja uz radušos situāciju, izstrādājot atkārtotas pārstrādes metodes, lai samazinātu pieprasījumu pēc asfaltbetona saistvielas un līdz ar to samazinātu izdevumus asfaltbetona segumu maisījumu ražošanā.[3]

Pārstrādes motivācija ietver sevī neatsveramus vides aizsardzības ieguvumus un ekonomiskos ietaupījumus. Vides aizsardzības ieguvumi ietver ļoti daudz dažādu pakārtotu ieguvumu, piemēram, emisijas samazināšanos un degvielas patēriņa samazināšanos, jo samazinās jaunu materiālu ieguve un transportēšana, samazinās pieprasījums pēc neatjaunojamajiem resursiem. Ekonomiskie ietaupījumi ietver materiālu izmaksu ekonomiju, aizstājot jaunus minerālmateriālus un bitumena saistvielu ar RAP materiālu, kā arī tiek samazinātas izmaksas, kas saistītas ar jaunu materiālu transportēšanu.[3]

Vairāk nekā trīs gadu desmitus ir divas pamatnostādnes asfaltbetona pārstrādei:

- HMA maisījumiem, kas satur RAP, jāatbilst tādām pašām maisījumu prasībām kā maisījumiem, kas satur tikai jaunus materiālus;
- HMA maisījumiem, kas satur RAP, jābūt vienādiem vai labākiem nekā maisījumiem, kas satur tikai jaunus materiālus.[3]

3. HMA SEGUMU PĀRSTRĀDE

3.1. Asfaltbetons

Karstais asfaltbetona maisījums ir mākslīgs materiāls, ko iegūst, apvienojot minerālmateriālus (šķembas, smilti, atsijas, dolomītmiltus) ar organisko saistvielu – ceļu bitumenu. Pēc apvienošanas notiek sarežģīti fizikālķīmiskie procesi, kuru raksturs lielā mērā ir atkarīgs no izejmateriālu īpašībām. Asfaltbetons ir asfaltbetona maisījums sablīvētā veidā.

Tas pēc savas struktūras ir daudzkomponentu konglomerātu sistēma, kurā minerālā daļa atrodas bitumena saistvielas vidē, veidojot vienotu monolītu. Asfaltbetona struktūru raksturo pildvielu granulometriskais sastāvs, forma un īpašības, kā arī bitumena saistvielas struktūra un īpašības. Bitumena saistviela satur vismaz četrus galvenos komponentus, kas ir organiskas izcelsmes un kuru molekulmasa, gaistamība, struktūra u. c. īpašības aptver plašu diapazonu. Pildvielas tāpat veido vairāki ķīmiskie savienojumi, bet jau neorganiskas izcelsmes. Asfaltbetons spēj pildīt paredzētās funkcijas tikai tad, ja starp to veidojošajiem komponentiem pastāv pietiekami stipra adhezīvā saite, kas ir atkarīga no komponentu īpašībām un izgatavošanas un ieklāšanas tehnoloģijas.[12]

3.1.1. Asfaltbetona īpašības no ķīmiskā aspekta

Saskaņā ar asoc. prof. M. Dzeņa atzinumu asfaltbetons ir tipisks kompozītmateriāls, ko veido divi pēc izcelsmes pilnīgi atšķirīgi galvenie komponenti – bitumens un pildviela. Bitumens, kas ir asfaltbetona saistviela, satur vismaz četrus galvenos komponentus, kuri ir organiskas izcelsmes un kuru molekulmasa, gaistamība, struktūra u. c. īpašības aptver plašu diapazonu. Pildvielas tāpat veido vairāki ķīmiskie savienojumi, bet jau neorganiskas izcelsmes. Asfaltbetons spēj veikt paredzētās funkcijas tikai tad, ja starp to veidojošajiem komponentiem pastāv pietiekami stipra adhezīvā saite, kas ir atkarīga no komponentu īpašībām un izgatavošanas un ieklāšanas tehnoloģijas. Asoc. prof. M. Dzenis raksturo bitumenu kā cietu vai sveķveida produktu, ko veido ogļūdeņraži un to atvasinājumi, kas satur skābekli, sēru un atsevišķus metālus. Naftas bitumēni ir dispersas sistēmas, kurās dispersijas vidē ir eļļas un sveķi, bet dispersā fāze – asfaltēni.[12]

3.1.2. Asfaltbetona īpašības no fizikālā un mehāniskā aspekta

Asfaltbetona seguma fizikālās īpašības raksturo trīs tilpuma parametri – gaisa poras (V_a), minerālā karkasa porainība (VMA) un ar bitumenu aizpildīto poru saturs (VFB). Tā deformatīvās īpašības ir atkarīgas no šo pamatkomponentu īpašībām, daudzuma un proporcijas. Svarīgākās asfaltbetona mehāniskās īpašības ir stiprība – spēja pretoties sagraušanai – un deformatīvā noturība – spēja saglabāt savu formu ārējās slodzes iedarbības gadījumā. Asfaltbetona deformatīvo īpašību pētījumu veikšanai ir izstrādāts liels metožu skaits. Testēšanas metodes var iedalīt trīs grupās: pamattesti, empīriskie testi un reālus apstākļus imitējošie testi.[12]

3.2. RAP materiāls

RAP – „*Reclaimed Asphalt Pavement*”, reciklēts asfaltbetona segums. Termins „RAP”, nozīmē jebkuru 100 M.-% asfaltbetona materiālu, kas atgūts no eksistējošā asfaltbetona seguma, kur vairākas asfaltbetona kārtas no dažādiem maisījumu tipiem atgūtas, frēzējot vai sadrupinot asfaltbetona plāksnes. Rezultātā RAP būs visu vai vienas asfaltbetona kārtas maisījums. Galvenās RAP materiāla iezīmes ir bitumena saistviela (stāvoklis, daudzums un konsistence materiālā) un granulometrija.[13] Reciklētais asfaltbetons ir atzīts par svarīgu materiāla avotu, pateicoties savām termoplastiskajām īpašībām. Atkarībā no materiāla piemērotības konstrukcijām un kvalitātes īpašībām materiāls tiek atkārtoti izmantots asfaltbetona apakškārtās, saistes kārtās vai dilumkārtās. [9]

Eksistējošo HMA segumu atgūšana

RAP materiālu parasti iegūst divos veidos:

- veicot frēzēšanu (sk. 2. att.);
- veicot pilnā dziļuma asfaltbetona atgūšanu (sk. 3. att.).

Frēzēšanas mašīnas ir speciāli mehānismi ar rotējošu cilindru, kas tur volframa karbīda zobus. Frēzēšanas mašīna var frēzēt specifiskā dziļumā no eksistējošās seguma virsmas, nesajaucot nesošās vai salturīgās kārtas ceļa konstrukcijā. Frēzēšana bieži tiek izmantota seguma atjaunošanas projektos, kur seguma esošais virskārtas slānis tiek noņemts, pēc tam, uzklājot jaunu seguma virskārtu, tiek pagarināts ceļa segas kalpotspējas cikls.[7;14]

Frēzēts RAP materiāls ir papildu ieguvums, kas gatavs otrreizējai izmantošanai ar minimālu pārstrādes nepieciešamību vai bez tās atkarībā no apjoma, ko izmanto HMA maisījumā. Ja RAP izmanto vairāk par 15 M.-%, var būt nepieciešama papildus pārstrāde, drupināšana un frakcionēšana. RAP materiālam no viena seguma slāņa parasti ir vienādas īpašības (granulometrija, minerālmateriālu kvalitāte, bitumena saturs un bitumena īpašības). Šī iemesla dēļ frēzēto materiālu bieži nošķir un identificē atsevišķās kaudzēs uzglabāšanas vietā. Zinot RAP minerālmateriālu kvalitāti, ļoti iespējams, ka RAP materiālu no viena avota varēs izmantot vairākos HMA maisījuma tipos.[7]



2. att. Asfaltbetona seguma atgūšana frēzējot [15]



3. att. Pilnā dziļuma asfaltbetona atgūšana [16]

Ceļa segumu pilnībā var demontēt tikai pilnīgā ceļa rekonstrukcijas gadījumā. Šajā gadījumā, pamatā buldozers vai ekskavators, salauž visu ceļa segumu transportējamās gabalos, kurus sakrauj kravas transportā, lai pārvietotu uz pārstrādes vietu. Asfaltbetona plātnes gabalus pēc tam sadrupina vajadzīgajā izmērā otrreizējai pārstrādei.[3]

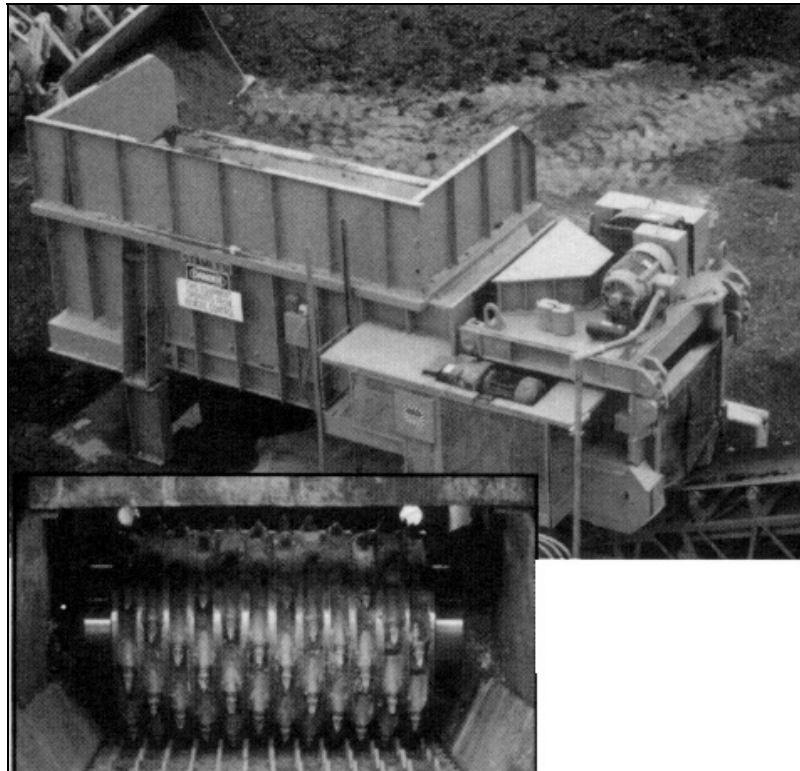
RAP materiāls, kas atgūts pilnā dziļumā varētu tikt nošķirts uzglabāšanas vietā, tāpat kā frēzētais materiāls, bet praktiski šī uzglabāšana atšķiras, balstoties galvenokārt uz RAP materiāla daudzumu. Liels apjoms patstāvīgi viendabīgs, pilnā dziļumā atgūts RAP materiāls var tikt nodalīts drupināšanai un frakcionēšanai pa izmēru arī vēlāk, jo materiāls būs patstāvīgi viendabīgs pēc sadrupināšanas un šķirošanas gan minerālmateriālu granulometrijā, gan kvalitātē, bitumena saturā un bitumena īpašībās. Tomēr bieži segums, kas atgūts pilnā dziļumā, satur no dažādām vietām mazos daudzumos augu daļas un citus piemaisījumus. Šī iemesla dēļ pilnā dziļumā atgūts RAP bieži tiek uzglabāts vienkopus lielā kaudzē, lai pēc tam sajauktu un pārstrādātu. RAP vēlāk tiek drupināts līdz lielākajai minerālmateriālu frakcijai vai kamēr RAP sasniedz viendabīgi vienmērīgu izmēru. Pieredze rāda, ka šādi sajaucot un sadrupinot, var sasniegt viendabīgu RAP materiālu ar viendabīgu saistvielas saturu.[7]

3.4. RAP materiāla pārstrāde un uzglabāšana

Lai izmantotu HMA maisījumos lielāku procentuālo daudzumu RAP, var būt nepieciešams sadrupināt un frakcionēt RAP atsevišķās kaudzēs, lielās un mazās frakcijās. RAP frakcionēšana dod lielāku kontroli, ražojot HMA maisījumus, apmierinot tilpuma īpašības, kuras nosaka dažādas specifikācijas.[7]

RAP materiālu sakraujot kaudzēs, rezultātā rodas lielākas frakcijas materiāls, kas paņem lielāku laiku, lai to pilnvērtīgi samaisītu ar jaunajiem asfaltbetona materiāliem. Lielākas frakcijas rodas RAP materiālam sablīvējoties, sasaistoties frakcijām savā starpā. Lai novērstu lielāku frakciju iekļūšanu ražošanas procesā, uzstāda sietu režģi, parasti starp RAP aukstās dozācijas bunkuru un transportierlenti HMA maisījumu rūpnīcā. Daudzi ražotāji izmanto nelielu ruļļa tipa drupinātāju, parasti tas atrodas starp RAP aukstās dozācijas bunkuru un transportierlenti (sk. 4. att.).[7;17] Lielāka izmēra RAP frakcijas tiek padotas starp drupināšanas ruļļiem, iegūstot nepieciešamo daļiņu lielumu, panākot materiālam labāku siltuma pārnesi un pilnīgāku samaisīšanos ar jaunajiem materiāliem. Šāda tipa drupinātāji domāti neregulāriem lielu gabalu RAP materiāliem, kas no frēzēšanas operācijas nonākuši RAP kaudzē, vai priekš lielākiem gabaliem, kas sakrauti pārstrādes procesa un uzglabāšanas laikā RAP materiāla kaudzē.[7]

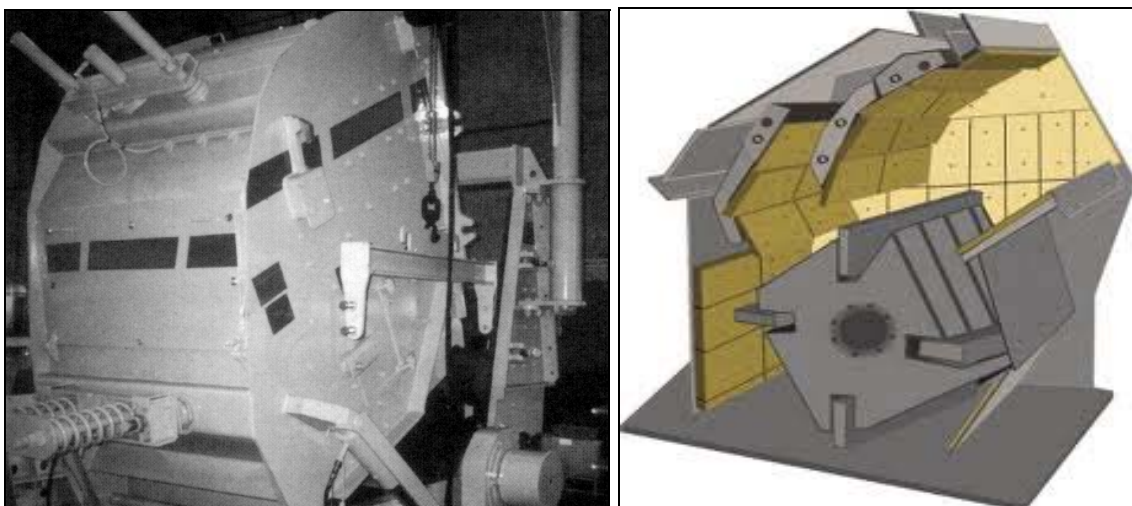
Iegūstot RAP materiālu pilnā dziļumā vai RAP, kas tiek atvests uz rūpnīcu lielos gabalos, to pirms pārstrādes jaunā ceļa segumā ir jāsadrupina. Ir vairāku veidu drupinātāji un drupināšanas konfigurācijas, kuras var izmantot, bet lielākoties būvuzņēmēji izmanto sekojošā tipa iekārtas, kuras sevi pierādījušas kā visefektīvākās.[7]



4. att. Ruļļa drupinātājs [17]

Rotortipa drupinātājs

Rotortipa drupināšanas iekārta ir iekārta cietu, beramu materiālu mehāniskai smalcināšanai ar atsietena metodi (sk. 5. att.).



5. att. Rotortipa drupinātājs [16;3]

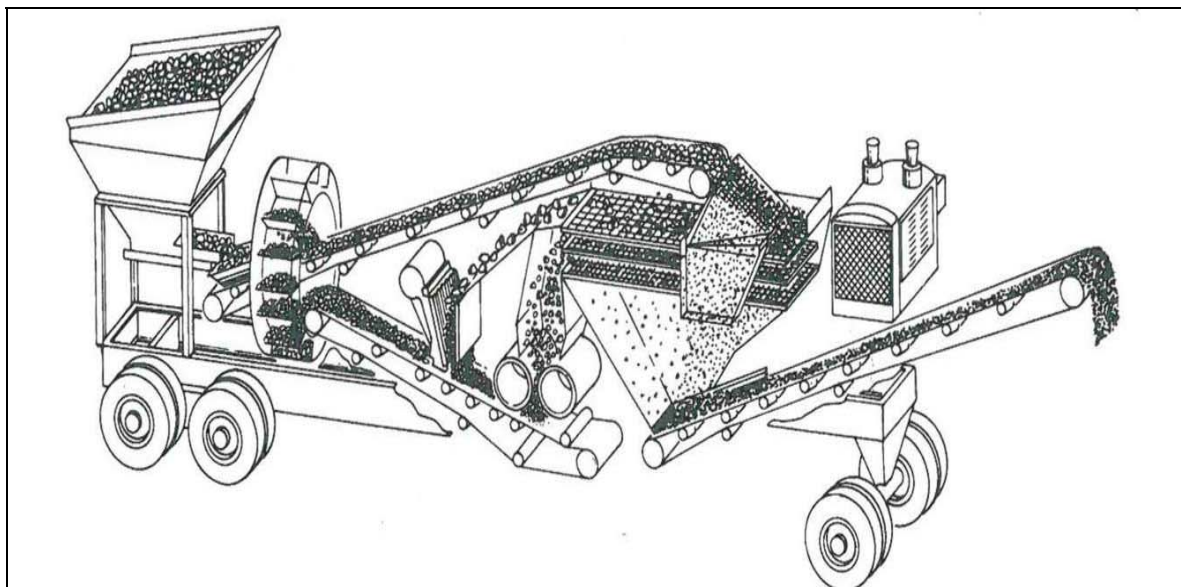
Drupināšana notiek ar masīva rotora griešanās palīdzību, pie kura piestiprinātas plāksnes, kuras sauc par kuļstieņiem vai nažiem. Pārstrādājamais materiāls pēc sadursmes ar

kuļstieņiem nonāk uz atsitiena plāksnēm, kas ir uzstādītas uz drupināšanas kameras sienām. Atsitiena plāksnes palielina sišanas efektu un paātrina smalcināšanas procesu.[18]

Jo ātrāks ir rotora griešanās ātrums, kā arī mazāka distance starp atsitiena plāksnēm un kuļstieņiem, jo smalkāka granulometrija būs drupinātajam materiālam. Ja būs lēnāks rotora griešanās ātrums, kā arī lielāka distance starp atsitiena plāksnēm un kuļstieņiem, jo rupjāka granulometrija būs drupinātajam materiālam. Rotortipa drupinātājus parasti izmanto gan kā primāro, gan kā sekundāro drupinātāju.[7]

Kombinētie drupinātāji

Šāda tipa drupinātāji sevi pierādījuši kā efektīvu RAP materiāla drupinātāju (sk. 7. att.). Pirmais drupinātājs sadrupina asfaltbetona plātnes daudz pārvaldāmākā izmērā, kuru pēc tam sadrupina līdz nepieciešamajam izmēram ruļļa drupinātājs. Parasti šāda tipa kombināciju drupinātāji pārvieto negabarīta pārstrādājamo materiālu pa konveijera lentu atkārtoti caur pirmo drupinātāju, līdz tas sasniedz atbilstošu izmēru, lai tālāk veiktu drupināšanu ar ruļļiem.[17]



7. att. Kombinētais drupinātājs [17]

Parasti kombinētie drupinātāji tiek izmantoti kombinācijā ar diviem fracionēšanas sietiem, ražojot divas frakcijas materiālus, no pilnā dziļumā atgūtā RAP materiāla. Parasti smalko frakciju, kas mazāka par 12 mm, un rupjo materiāla frakciju, kas parasti ir no 12 mm līdz 20 mm. Pieredze rāda, ka ārkārtīgi viendabīgu un patstāvīgi nemainīgu RAP materiālu (granulometriju, bitumena saturu, bitumena īpašības) var sasniegt tikai caur uzmanīgu šķirošanu un kvalitatīvām drupināšanas operācijām.[7]

Pārstrādātā RAP materiāla uzglabāšana

Kad asfaltbetona pārstrāde vispirms sākās 20. gs. 70. gados, tā laika literatūra ieteica RAP materiālu uzglabāt zemos, horizontālos krājumos, baidoties, ka augsts, konisks krājumus varētu izraisīt RAP sablīvēšanos no kaudzes pašsvara. Tomēr pieredze rāda, ka šis nav tas gadījums, un, protams, lieliem, koniskiem krājumiem tiek dota priekšroka (sk. 8. att.). RAP materiālam nav tendence sablīvēties lielos, koniskos krājumos. Negaidīti ir tas, ka RAP materiālam ir tendence veidot garozu 20 cm līdz 25 cm biezumā. Garoza parasti palīdz novadīt ūdeni, to ir viegli salauzt ar frontālo iekrāvēju un tā var palīdzēt pārējo kaudzi pasargāt no sablīvēšanās. Nepareizs ir uzskats, ka garoza RAP kaudzē veidojas dēļ saules termiskā efekta, radot tik lielu RAP virsmas uzsilšanu, ka tā kļūst mīksta un salīp. RAP materiāla krājumiem vienkārši ir tendence veidot šīs 20 cm līdz 25 cm biezās garozas.[7]



8. att. RAP materiāla lieli, koniski krāvumi [15]

RAP materiālam ir tendence uzglabāt un nefiltrēt ūdeni to laika gaitā, kā to dara minerālmateriālu kaudzes. Tāpēc zemi un horizontāli krāvumi ir pakļauti lielākai mitruma ietekmei nekā augsti un koniski krāvumi. Nav nekas neparasts, sastapties ar RAP materiālu, kam mitruma saturs svārstās no 7 līdz 8 M.-%, izmantojot zemus un horizontālus krājumus. Tas procentuāli ievērojami ietekmē RAP daudzumu, ko var pārstrādāt. Rezultātā palielinās degvielas izmaksas, samazinās RAP saturs, ko var pievienot jaunam HMA maisījumam, kā arī tiek ierobežots vispārējais ražošanas apjoms.[7]

Liels RAP materiāla mitruma saturs var negatīvi ietekmēt HMA maisījuma kvalitāti. Ūdens tvaiki, kas rodas no mitrā RAP materiāla, var ietekmēt jauno minerālmateriālu aplipšanu (adhēziju) ar bitumena saistvielu.

RAP krāvumu apsegšana

Kā jau tika minēts, RAP materiāls neizdala un nefiltrē ūdeni kā tipisks minerālmateriāls, un augsts mitruma procents RAP materiālam dod dramatisku efektu uz procentuālo RAP daudzumu, ko var pārstrādāt, tādēļ apsegt RAP krāvumus ir daudz ekonomiski izdevīgāk, nekā apsegt minerālmateriālu krāvumus. RAP nevajadzētu apsegt ar plēvi vai plastikāta materiāliem. Uzglabājot RAP, kur ir mitrs klimats, un apsedzot krāvumus ar plastikāta materiāliem, zem tiem rodas kondensācija, kā rezultātā RAP krāvums tiek papildināts ar mitrumu. Šī iemesla dēļ vairums RAP krāvumus ir labāk atstāt neapsegts vai arī RAP uzglabāt zem jumta konstrukcijām (sk. 9. att.). Atslēga, lai ražotu kvalitatīvu asfaltbetona segumu no RAP, ir īpašību zināšana bitumenam un akmens materiāliem reciklētajam ceļa segumam. Kad pieejami lieli apjomi RAP no dažādiem avotiem, ieteicams kaudzes atdalīt un identificēt pēc tā iegūšanas avota.[7]



9. att. RAP materiāla uzglabāšana [15]

RAP materiāla frakcionēšana

Lai maksimizētu RAP procentuālo daudzumu, ko var izmantot HMA maisījumā un joprojām saglabātu granulometriju un tilpuma īpašības, ir nepieciešams sadrupināt un frakcionēt RAP materiālu dažādās frakcijās (sk. 10. att.). Frēzētajam RAP un RAP, kas atgūts

pilnā dziļumā, nepieciešama drupināšana un frakcionēšana, lai kontrolētu granulometriju. Liela daļa no frēzētā RAP materiāla izies cauri 12 mm sietam un to nevajadzēs papildus drupināt. Frakcionējot RAP materiālu dažādās frakcijās, tiek iegūta lielāka kontrole pār granulometriju un tilpuma īpašībām asfaltbetona sastāvam saražotajam HMA maisījumam. Dažos gadījumos var būt ekonomiski izdevīgi frakcionēt RAP trīs vai pat četrās dažādās frakcijās. Frakcionējot atsevišķi smalkās un rupjās RAP materiāla frakcijas, tiks minimizēta segregācija RAP materiālam un tiks nodrošināta lielāka elastība un pielāgošanas iespēja RAP materiālam gala HMA maisījuma granulometrijai.[7]



10. att. RAP materiāla frakcionēšana [3]

Smalkākajā RAP materiālā bitumena saturs būs lielāks nekā rupjajā RAP materiālā, jo smalkajam materiālam ir lielāks virsmas laukums. Bitumena saturs smalkajā un rupjajā RAP materiāla kaudzē ir gaidāms vairāk konstants, nekā bitumena saturs visām frakcijām atrodies vienā kaudzē. Tas dod iespēju izmantot vairāk smalku RAP materiālu maisījumos, kur ir mazs maksimālais daļiņu izmērs, piemēram, virskārtās vai izlīdzinošajās asfaltbetona kārtās. Savukārt maisījumos ar lielu frakciju var izmantot lielu daļu rupjā RAP materiāla, lai sasniegtu granulometrijas prasības HMA maisījumam.[7]

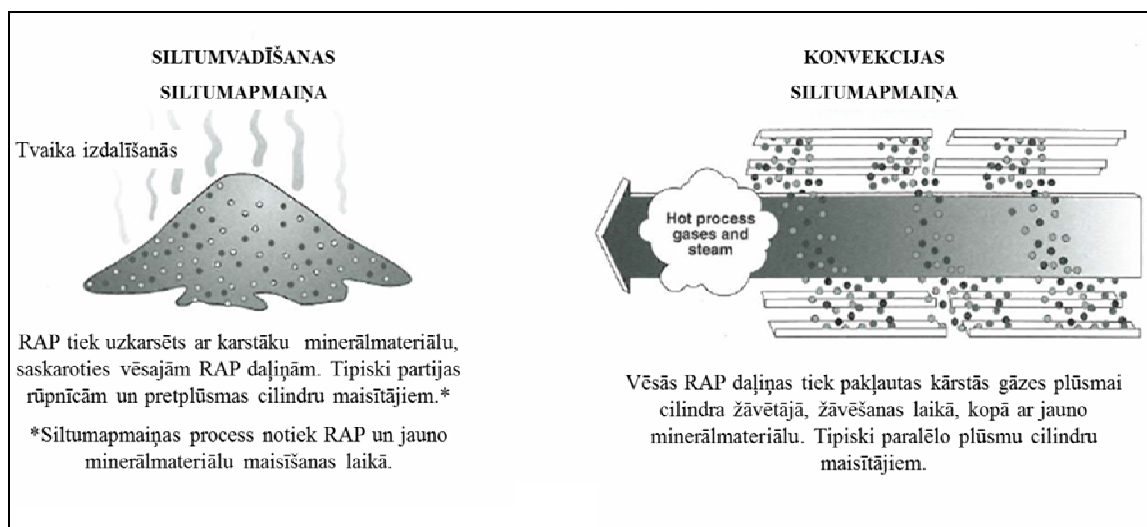
RAP materiāla aukstās dozācijas bunkurs

Arī parastie minerālmateriālu aukstās dozācijas bunkuri var padot RAP materiālu, tomēr RAP materiālu bunkuri ir specializēti, izgatavoti ar daudz slīpākām sānu malām un garākām padeves lentām. Šādu principu izmanto, lai nodrošinātu pēc iespējas brīvāku RAP materiāla pārvietošanos. RAP materiāls prasa speciālu izkraušanu no frontālā iekrāvēja vadītāja, to nedrīkst uzkraut tāpat kā jauno minerālmateriālu. RAP materiāls bunkurā jāuzpilda lēnam, to berot. Strauja visa kausa izbēršana var izsaukt materiāla sablīvēšanos. RAP materiālu nav ieteicams uzglabāt bunkurā, to uzpildot iepriekš pirms HMA maisījumu ražošanas, jo RAP nav brīvi birstošs materiāls kā jauns minerālmateriāls.[7]

2.5. RAP materiāla izmantošana HMA maisījumu rūpnīcās

Kā parādīts 11. attēlā, ir divu veidu siltumapmaiņas procesi, ko, pirmkārt, izmanto HMA maisījumu rūpnīcās, izmantojot RAP materiālu:

- siltumvadīšana – ir siltumapmaiņa, kas notiek vielās temperatūru starpības dēļ;
- konvekcija - ir siltumapmaiņa, kas notiek vienlaikus ar vielas pānesi.



11. att. Siltumvadīšanas un konvekcijas siltumapmaiņa [7]

Siltumapmaiņa caur siltumvadīšanu notiek, ja divi objekti ar dažādām temperatūrām saskaras viena ar otru. Šāda tipa siltuma pārnese tehnika tiek izmantota lielākajā daļā partijas maisījuma rūpnīcu, kā arī, kad RAP izmantošanu ievieša pretplūsmas cilindru žāvētājā, piemēram, kā pretplūsmas cilindru mikserī.[7]

Konvekcijas siltumapmaiņa notiek, kad cietās daļiņas ir pakļautas karstās gāzes plūsmai. Tradicionālie minerālmateriālu žāvētāji izmanto konvekcijas siltumapmaiņu, lai

uzkarsētu un izžāvētu minerālmateriālus visa veida rūpnīcās. Paralēlo plūsmu cilindru mikseri, galvenokārt izmanto konvekcijas siltuma pārneses paņēmieni, kad žāvē RAP, bet ir limitēts RAP daudzums, kas var tikt izmantots saistībā ar emisijas standartiem. Paralēlo plūsmu cilindru mikseriem bieži vien ir nepieciešamas modifikācijas, lai varētu izmantot augstu RAP procentuālo daudzumu HMA maisījumu ražošanā.[7]

Kopš asfaltbetona pārstrāde aizsākās 20. gs. 70. gados, ir izstrādātas vairākas pieejas, kuras tiek izmantotas RAP žāvēšanai un uzkarsēšanai HMA maisījumu rūpnīcās. Šajā agrīnajā attīstības procesā industrijas galvenās bažas bija par to, vai RAP var pārstrādāt praktiski, un rezultātā karstā asfaltbetona maisījuma kvalitāte būs pietiekama. Kad tika sasniegti labi rezultāti, industrija sāka paust bažas par vides piesārņošanu, ko izraisa RAP izmantošana rūpnīcās. Dažādas metodes uzrāda dažādus oglekļa dioksīda un putekļu emisiju līmeņus. Vairāk ierobežojot oglekļa dioksīda daudzumu vai „zilos dūmus”, kā tos parasti sauc, noveda pie jaunu materiālu žāvētāju un apstrādes tehnikas, piemēram, kā pretplūsmas cilindra mikseris (apstrādā augstus procentus RAP) bez negatīvas emisijas ietekmes.[7]

3.5.1. Partijas maisījuma rūpnīca

Kā pamatnoteikums, RAP materiāls vienmēr ir jāizmanto kā sastāvdaļu jaunu asfaltbetona maisījumu ražošanai, jo tas ir vienīgais veids, kā atkārtoti izmantot bitumenu un minerālmateriālu, ko tas satur. Ir pieejamas dažādas HMA maisījumu rūpnīcu tehnoloģijas, lai izmantotu RAP.

Reciklēto asfaltu parasti:

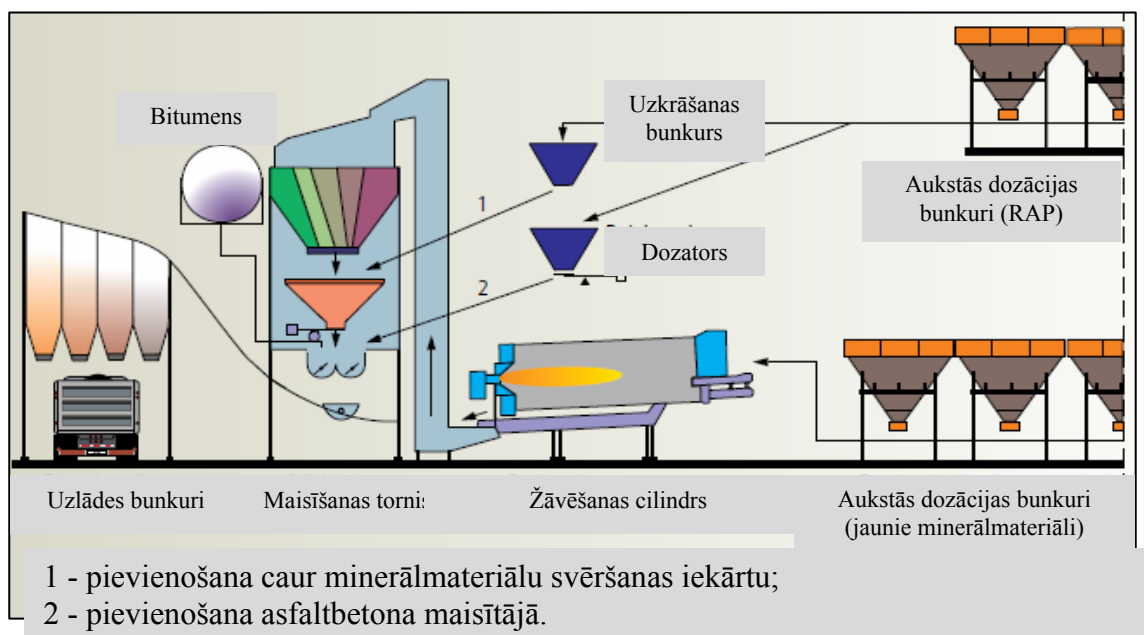
- uzkarsē periodiski vai nepārtraukti ar karstiem minerālmateriāliem;
- uzkarsē kopā ar minerālmateriāliem;
- uzkarsē atsevišķās iekārtās.[9]

HMA maisījumu klašu un tipu dažādības dēļ, kā arī sakarā ar biežiem, maziem ražošanas apjomiem, asfaltbetona maisījumu ražošanā pārsvarā izmanto partijas maisījuma rūpnīcas. Nepārtrauktas darbības cilindra tipa miksera rūpnīcas ekspluatācijā ir daudz mazāk, jo izmantot šāda tipa rūpnīcas atmaksājas tikai tad, ja tiek ražots liels apjoms HMA maisījums, nemainot asfaltbetona klasi vai tipu. Minerālmateriāli, saistviela un iespējamās piedevas tiek nosvērtas partijas maisījuma rūpnīcā atbilstoši miksera izmēram. Reciklētais asfalts var tikt padots uz mikseri dažādos veidos. [9;17;19]

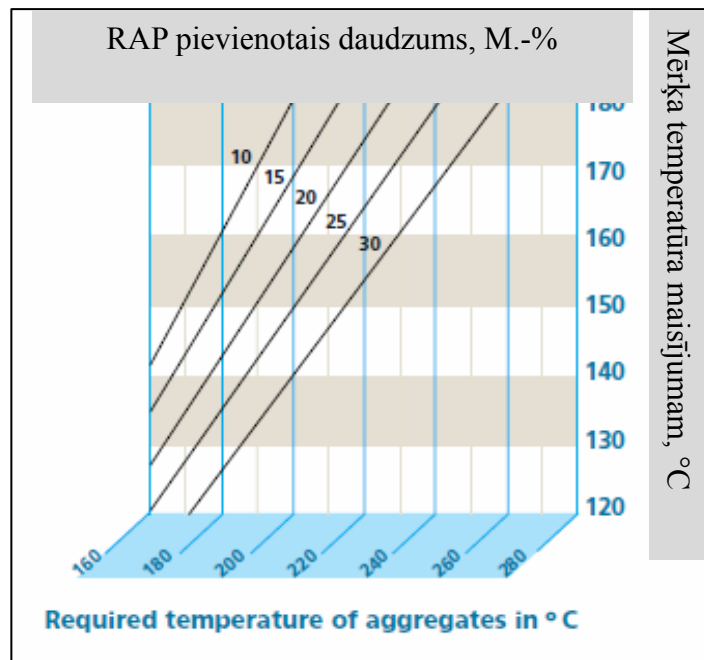
Periodiska RAP materiāla pievienošana

RAP materiāls tiek padots uz mikseri caur aukstās dozācijas bunkuru un minerālmateriālu svēršanas iekārtu (1) vai caur atsevišķu partijas dozatoru (2) (sk. 12. att.). RAP materiāla uzkaršēšana notiek mikserī kopā ar karstajiem minerālmateriāliem.

Temperatūrai uz HMA maisījumu ir ievērojama ietekme gan uz ieklāšanu, gan sablīvēšanu. HMA maisījuma temperatūras robežvērtības, kas noteiktas specifikācijās, nedrīkst būt zemākas. Rezultātā nepieciešama minerālmateriālu papildus uzkaršēšana, lai uzkaršētu RAP materiālu, tas nozīmē, ka minerālmateriāliem jābūt uzkaršētiem atbilstoši augstākā temperatūrā.[8;17] Mitrumam, ko satur RAP materiāls, jābūt iztvaikojošam. Vērtības 13. attēlā un 14. attēlā var tikt izmantotas, lai attiecīgi uzkaršētu jaunus minerālmateriālus atkarībā no mitruma satura RAP materiālā un daudzuma, ko pievieno HMA maisījumam.[8]



12. att. Partijas maisījuma rūpnīca – RAP uzkaršēšana ar karstajiem minerālmateriāliem, periodiska pievienošana [8]



13. att. Nepieciešamā minerālmateriālu temperatūra atkarībā no mērķa temperatūras maisījumam kā funkcija no RAP pievienotā daudzuma [8]

Šādā veidā parasti pievieno ne vairāk par 30 M.-% RAP. Šis apjoms ir noteikts no mitruma satura RAP materiālā, kā arī nepieciešamās minerālmateriālu temperatūras, lai nodrošinātu kvalitatīvu HMA maisījumu. Kad karstums tiek nodots no karstajiem minerālmateriāliem uz reciklēto asfaltbetonu, mitrums, ko tas satur, iztvaiko. Rezultātā strauji tiek radīti ūdens tvaiki, kurus jānovada ar atsūkšanas ierīcēm. Karstos minerālmateriālus vispirms sajauc ar RAP materiālu, lai izvairītos no jaunās bitumena saistvielas sacietēšanas. Pēc tam, kad karstums no minerālmateriāliem žāvēšanas un uzkaršēšanas laikā ir izkliedēts, RAP materiālā tiek pievienota jaunā bitumena saistviela.[8]

RAP pievienotais daudzums, M.-%	Mitruma saturs RAP materiālam, M.-%					
	1	2	3	4	5	6
	Temperatūras korekcija, °C					
10	4	8	12	16	20	24
15	6	12	18	24	30	36
20	8	16	24	32	40	48
25	10	20	30	40	50	60
30	12	24	–	–	–	–

14. att. Nepieciešamā temperatūras palielināšana minerālmateriāliem kā funkcija no mitruma satura RAP materiāla (no iekrāsotā laukuma vērtībām ieteicams izvairīties) [8]

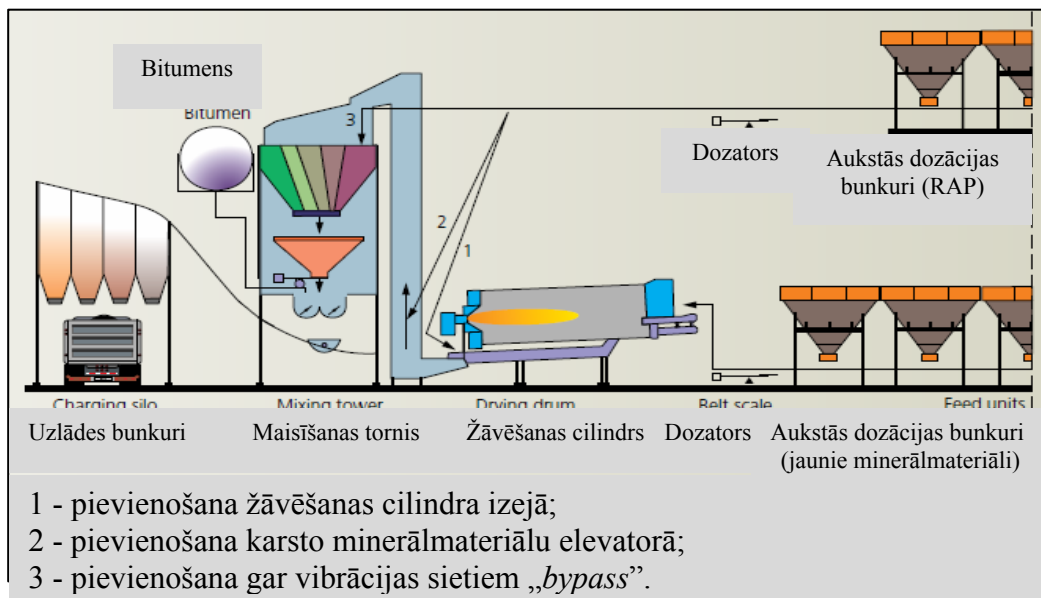
RAP materiāla nepārtraukta pievienošana

RAP materiāla uzkaršēšana ar karstajiem minerālmateriāliem, pievienojot RAP:

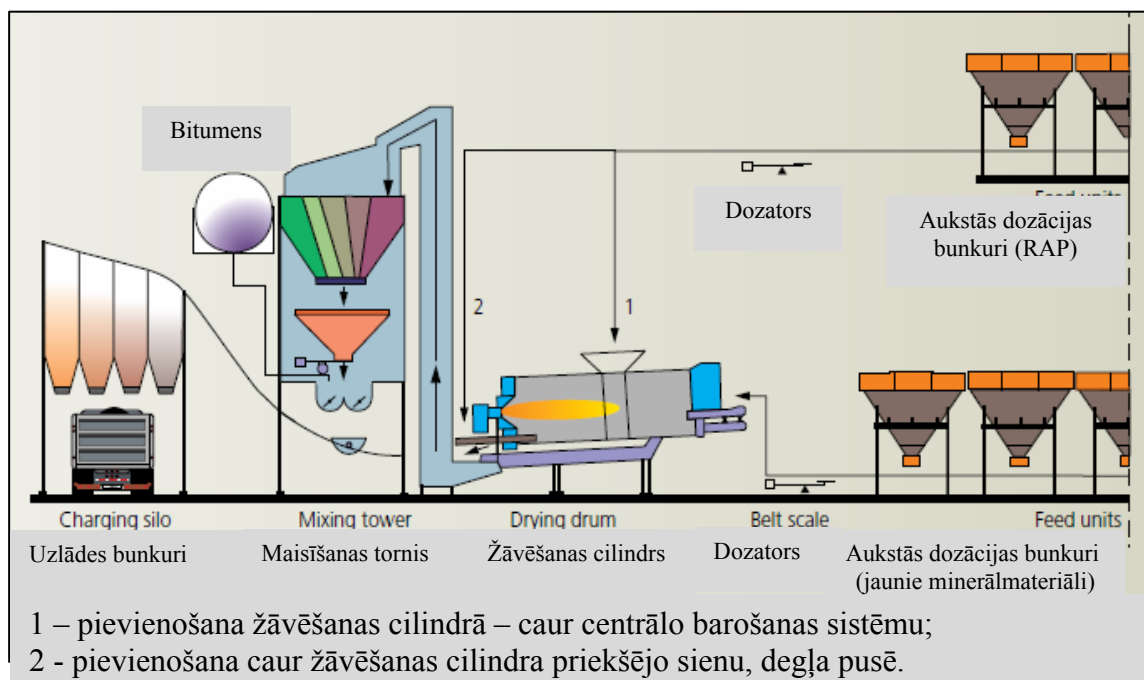
- izejā no žāvēšanas cilindra vai karsto minerālmateriālu elevatorā;
- gar vibrācijas sietiem „bypass” (sk. 15. att.).

Ar žāvēšanas cilindru, kas darbojas saskaņā ar pretplūsmas principu, RAP materiāls var tikt pievienots caur centrālo barošanas sistēmu vai caur žāvēšanas cilindra priekšējo sienu degļa pusē (sk. 16. att.). Šajā gadījumā RAP materiāls ir uzkaršēts kopā ar minerālmateriāliem. Abos procesos var pievienot apmēram līdz 40 M.-% RAP. RAP materiāls tiek pievienots nepārtraukti mazākās partijās, samazinot pēkšņu masveida ūdens tvaiku rašanos. Pievienošanas daudzums RAP materiālam tiek kontrolēts caur lentas dozatoru.

Karstā sijāšana maisījumiem, kas sastāv no minerālmateriāliem un RAP materiāla, rada aizķepēšanu sietiem, kas tādējādi izslēdz pievienošanas daudzumu lielāku par 10 M.-%. Maisījums tādējādi tiek virzīts gar vibrācijas sietiem (sk. 15. un 16. att.). Granulometriskais sastāvs rezultējošam minerālmateriālu maisījumam tiek noteikts vienīgi caur minerālmateriālu un RAP materiālu viendabīguma, kā arī, nosakot aukstās dozācijas vērtības. Turpmāka korekcija vairs nav iespējama.[8;17]



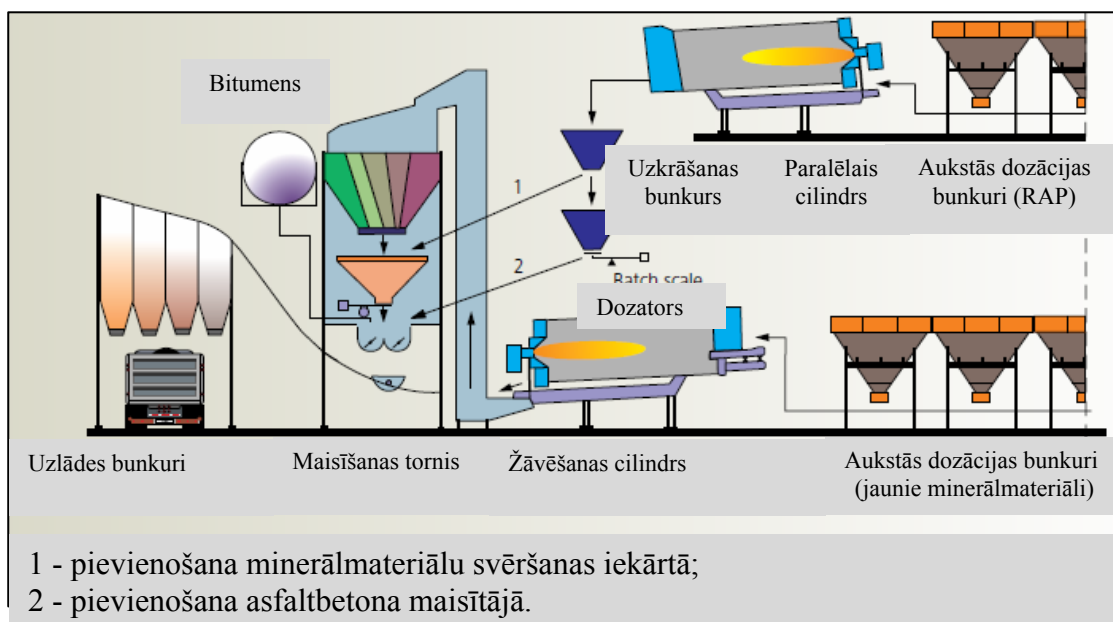
15. att. Partijas maisījuma rūpnīca - uzkarsēšana ar karstajiem minerālmateriāliem, nepārtraukta pievienošana [8]



16. att. Partijas maisījuma rūpnīca - uzkarsēšana kopā ar minerālmateriāliem, nepārtraukta pievienošana [8]

RAP materiāla uzkaršēšana atsevišķās iekārtās

Paralēlie cilindri (sk. 17. att.) ir izrādījušies ļoti efektīvi, kur RAP materiāls var tikt uzkaršēts atsevišķi. Šādā gadījumā RAP var pievienot līdz pat 80 M.-%, ražojot asfaltbetona saistes kārtas. Ražojot asfaltbetona apakškārtas maisījumus, pievienot RAP var līdz pat 100 M.-%. Šī procesa laikā RAP materiāls tiek uzkaršēts līdz maksimālai temperatūrai 130°C, lai saglabātu bitumena saistvielu un ierobežotu emisiju. Pievienojot lielu apjomu RAP materiālu, palielinās tā ietekme uz jaunā HMA maisījuma sastāvu, tāpēc ir īpaši svarīgi, lai RAP materiāls atbilstu paredzētajiem mērķiem attiecībā uz HMA maisījumu sastāvu un viendabīgumu.[8;17]



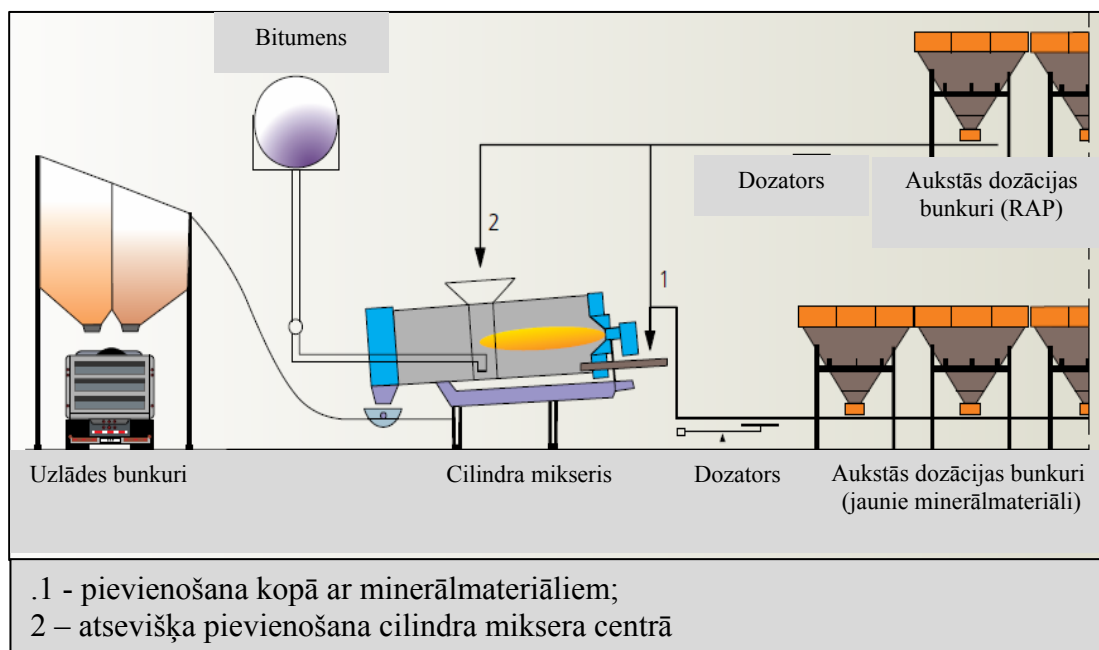
17. att. Partijas maisījuma rūpnīca – RAP materiāla uzkaršēšana atsevišķās iekārtās, (paralēlie cilindri) [8]

3.5.2. Nepārtrauktas darbības cilindra miksera rūpnīca

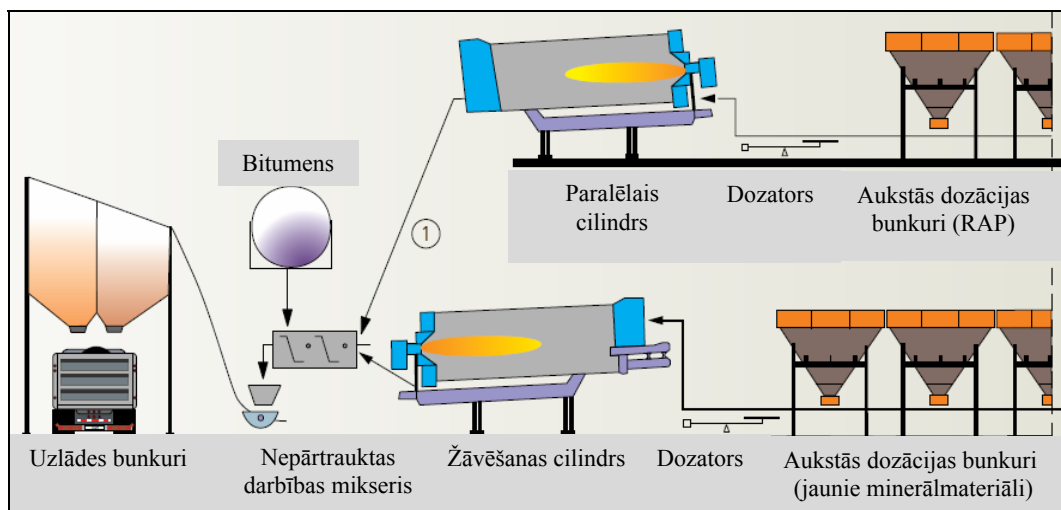
Šāda tipa rūpnīcās jaunais minerālmateriāls tiek maisīts nepārtraukti cilindra mikserī (sk. 18. att.), vai pakārtotajā nepārtrauktas darbības mikserī (sk. 19. att.). No tā izriet, ka RAP materiāls nepārtraukti tiek pievienots ražošanas procesa laikā. HMA maisījuma sastāva viendabīgums lielākoties atkarīgs no minerālmateriālu un reciklētā asfaltbetona viendabīguma. RAP materiāls tiek uzkaršēts nepārtraukti kopā ar minerālmateriāliem. RAP tiek pievienots vai nu ar aukstajiem minerālmateriāliem, vai tuvu cilindra centram (sk. 18.

att.). Jaunie minerālmateriāli un RAP materiālu tiek nosvērti atsevišķi, izmantojot lentas dozatoru. Materiāli tiek žāvēti un uzkaršēti kopā vienā cilindrā, kā arī tiek samaisīti ar papildus bitumena saistvielu vienā operācijā. Abos procesos var pievienot līdz apmēram 50 M.-% RAP materiāla.

Nepārtrauktas darbības cilindra miksera rūpnīcās RAP materiāls var tikt uzkaršēts arī atsevišķās iekārtās paralēlajā cilindrā (sk. 19. att.), lai arī temperatūra nedrīkst būt augstāka par 130°C, lai tādejādi saglabātu bitumena saistvielu un ierobežojot emisiju. Tāpat kā partijas maisījuma rūpnīcās var pievienot līdz pat aptuveni 80 M.-% RAP, kad ražo asfaltbetona saistes kārtas maisījumus un līdz pat 100 M.-%, kad ražo asfaltbetona apakškārtas maisījumus.[8;17]



18. att. Nepārtrauktas darbības cilindra miksera rūpnīca – RAP uzkaršēšana kopā ar minerālmateriālu [8]



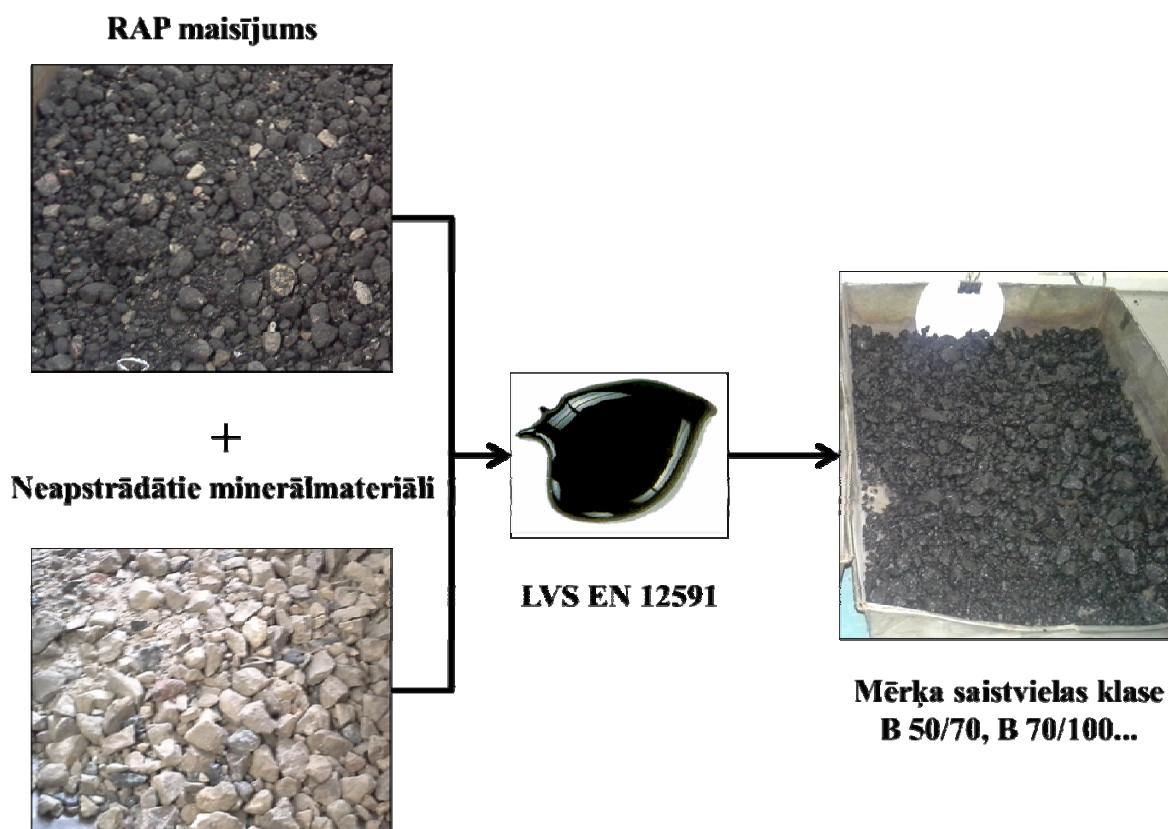
19. att. Nepārtrauktas darbības cilindra miksera rūpnīca – RAP uzkaršēšana atsevišķā iekārtā, pievienošana nepārtrauktas darbības mikserī [8]

4. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA (RAP)

4.1. Asfaltbetonu maisījumu izstrāde ar augstu RAP saturu

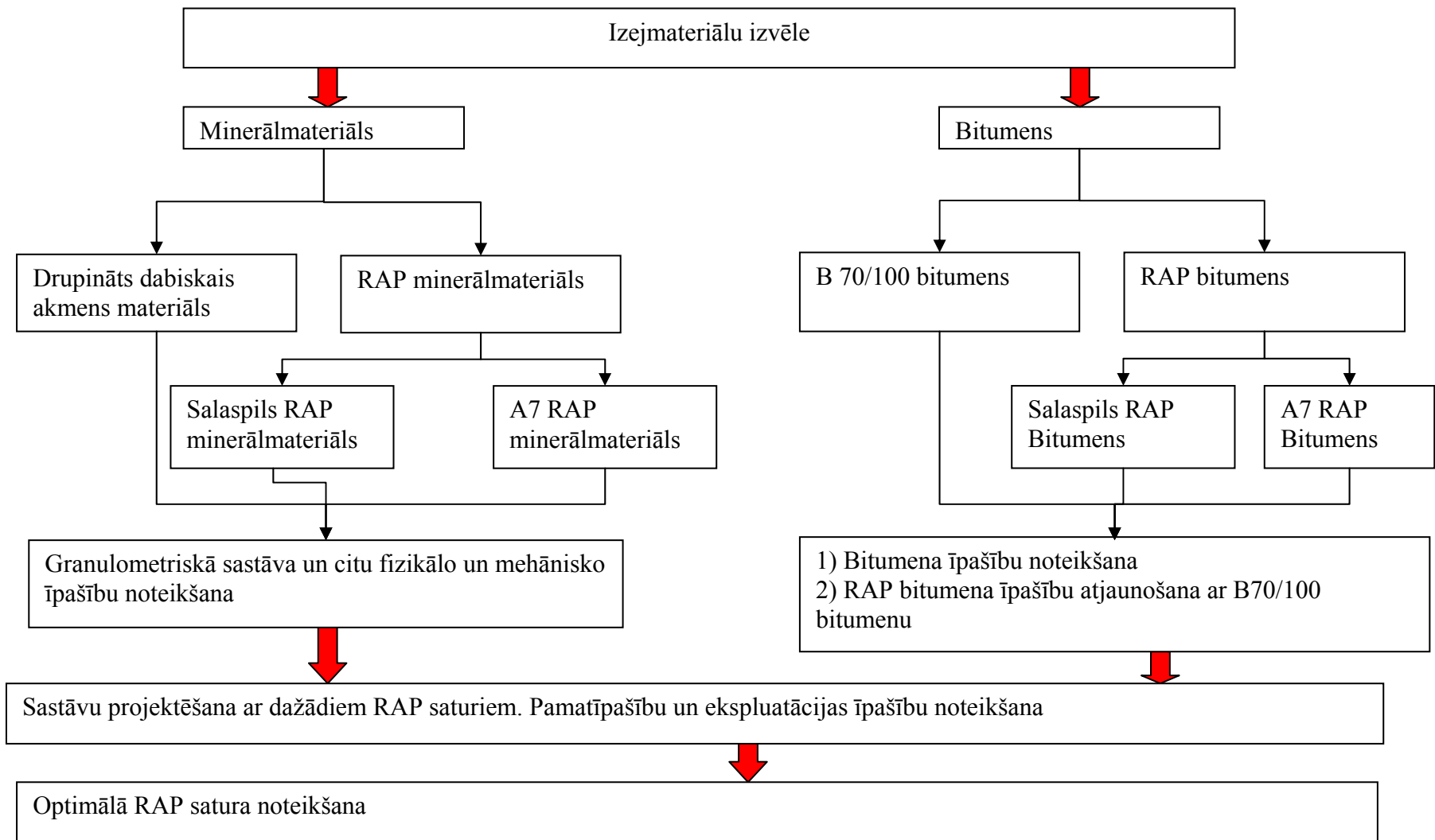
Asfaltbetona sastāvu izstrāde veikta (sk. 20. att.), izmantojot RAP un jaunus materiālus. Izejmateriāli, projektēšana un testēšanas metodes izvēlētas tā, lai sasniegtu darba izvirzīto mērķi un uzdevumus. Izmantojot RAP atgūto bitumenu un minerālmateriālu, izstrādāt asfaltbetona sastāvus vidēji un smagi noslogotiem Latvijas ceļiem, un pārbaudīt šādu maisījumu īpašības.

Maisījumu izstrāde un testēšana veikta ievērojot LVS EN standartus un „Ceļu specifikācijas 2014” norādījumus.



20. att. HMA maisījumu izstrāde, iekļaujot RAP materiālu

Asfaltbetonu maisījumu izstrāde notika pakāpeniski. Tika izvērtēti paredzētie minerālmateriāli, jaunā bitumena saistviela, to atbilstība paredzētajiem mērķiem. Paralēli tika pārbaudīti RAP materiāli, granulometrija, saistvielas saturs, stāvoklis un atbilstība. Tika izstrādāts eksperimentālās daļas plāns veiksmīgai darbu realizācijai (sk. 21. att.).



21. att. Eksperimentālās daļas plāns

4.2. Izejmateriālu īpašības

4.2.1. Bitumena īpašību noteikšana

Bitumenam saskaņā ar LVS EN 12591 standartu „Ceļu bitumena tehniskie noteikumi” noteiktas galvenās fizikālās un mehāniskās īpašības (adatas penetrācija, mīkstēšanas temperatūra un frasa trausluma temperatūra).

➤ LVS EN 1426 „Adatas penetrācijas noteikšana”

Princips: Mēra standarta adatas iegrimi kondicionētā testēšanas paraugā (sk. 22. att.). Penetrāciju līdz aptuveni 330 x 0.1mm nosaka 25 °C temperatūrā ar slodzi 100g, un sloģšanas ilgumu 5 s. Penetrācijai virs aptuveni 330 x 0.1 pārbaudes temperatūra tiek samazināta uz 15 °C, bet operāciju parametri pieliktajai slodzei un sloģšanas laiks paliek nemainīgi.

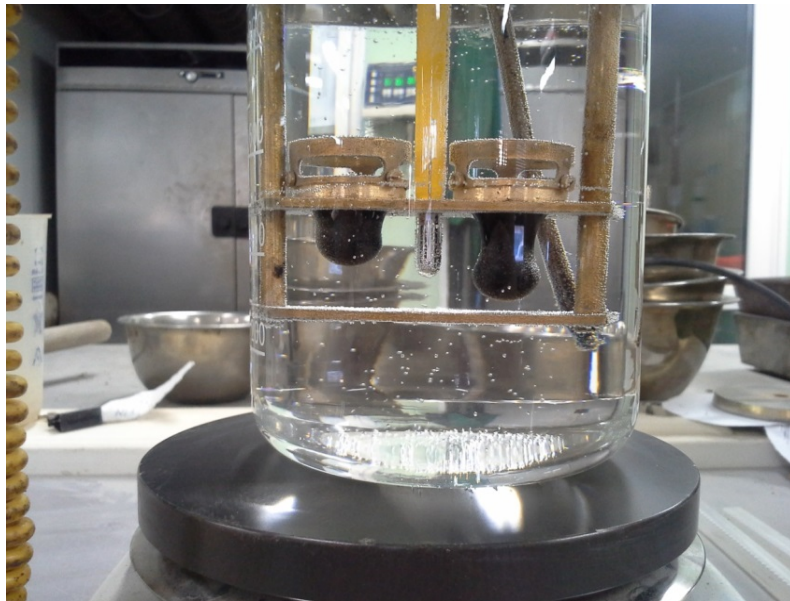


22. att. Bitumena penetrācijas noteikšana ar penetrometru

➤ LVS EN 1427 „Mīkstēšanas temperatūras noteikšana. Gredzens un lodes metode”

Princips: Divi horizontāli bitumena saistvielas diski, kas iekausēti misiņa gredzenos ar apmali un uz kuriem ir novietotas tērauda lodītes, ar kontrolētu intensitāti tiek sildīti šķidrums vannā. Mīkstēšanas temperatūru nosaka kā vidējo temperatūru, pie kuras divi bitumena

paraugi kļūst pietiekami mīksti, lai tērauda lodītes, kas novietotas uz paraugiem, nosēžas par (25 ± 0.4) mm (sk. 23. att.).



23. att. Mīkstēšanas temperatūras noteikšana

➤ **LVS EN 12593 „Frasa trausluma temperatūras noteikšana”**

Princips: Bitumena saistvielas paraugu vienmērīgā biezumā uzklāj uz metāla plāksnes. Plāksni vienmērīgi atdzesē un atkārtoti saliec, kamēr saistvielas kārtā salūzt; temperatūra, pie kuras parādās pirmā plaisa, tiek reģistrēta kā Frasa trausluma temperatūra (sk. 24. att.).



24. att. Frasa trausluma temperatūras noteikšana

4.2.1.1. Bitumena B 70/100 īpašības

Asfaltbetona sastāvu izgatavošanai ar augstu RAP saturu izvēlēts vienu klasi mīkstāks bitumens, nekā paredzēts gala maisījumam (bitumena atjaunošanu ar vienu klasi mīkstāku bitumenu rekomendē vairākos tehniskos noteikumos un zinātniskās publikācijas [1-4]). RAP bitumena atjaunošanai izvēlēts bitumens B70/100, lai gala rezultātā iegūt bitumenu B 50/70. Bitumenam noteikti galvenie raksturlielumi, penetrācija, mīkstēšanas temperatūra un Frasa trausluma temperatūra (sk. 1. tab.).

1. tabula

Bitumena B 70/100 īpašības

Adatas penetrācijas noteikšana LVS EN 1426						
Pārbaudes Nr.	1	2	3	4	5	Vidējā vērtība, * 0.1 mm
Penetrācija 25°C temperatūrā	85	86	86	87	86	86.0

Mīkstēšanas temperatūras noteikšana LVS EN 1427						
Pārbaudes Nr.	1	2	3	4	5	Vidējā vērtība, t°C
Mīkstēšanas temperatūra	46	47	45	45	47	46.0

Frasa trausluma temperatūras noteikšana LVS EN 12593						
Pārbaudes Nr.	1	2	3	4	5	Vidējā vērtība, t°C
Frasa trausluma temperatūra	-20	-20	-21	-22	-21	-20.8

4.2.1.2. Salaspils RAP bitumena īpašības

Salaspils RAP materiāls ir reciklēts visu asfaltbetonu kārtu maisījums, kas satur gan asfaltbetona apakškārtas, saistes kārtas un virskārtas materiālus (sk. 25. att.). Salaspils RAP materiālam veikta drupināšana, fracionējot to 0/11 frakcijās. Bitumena saistvielas ekstrakcija veikta pēc LVS EN 12697-1 un atgūšana veikta pēc LVS EN 12697-3 (sk. 26. att.). Salaspils RAP bitumena īpašības skatīt 2. tabulā.



25. att. Salaspils RAP materiāls, fracionēts 0/11



26.att. Bitumena atgūšana ar rotācijas iztvaicētāju, pēc LVS EN 12697-3

2. tabula

Salaspils RAP bitumena īpašības

Adatas penetrācijas noteikšana LVS EN 1426						
Pārbaudes Nr.	1	2	3	4	5	Vidējā vērtība, * 0.1 mm
Penetrācija 25°C temperatūrā	83.0	85.0	83.0	84.0	83.0	83.6

Mīkstēšanas temperatūras noteikšana LVS EN 1427						
Pārbaudes Nr.	1	2	3	4	5	Vidējā vērtība, t°C
Mīkstēšanas temperatūra	50	52	50	50	49	50.2

Frasa trausluma temperatūras noteikšana LVS EN 12593						
Pārbaudes Nr.	1	2	3	4	5	Vidējā vērtība, t°C
Frasa trausluma temperatūra	-8	-8	-7	-9	-9	-8.2

4.2.1.3. A7 RAP bitumena īpašības

A7 RAP materiāls ir frēzēšanas ceļā iegūts autoceļa A7 asfaltbetona virskārtas maisījums (sk. 27. att.).



27. att. A7 RAP materiāls

Materiāls satur tikai asfaltbetona virskārtas materiālus. Šajā gadījumā papildus apstrāde RAP materiālam nebija nepieciešama, tādēļ tiek izmantots frēzēts materiāls bez papildus apstrādes. A7 RAP bitumena īpašības skatīt 3. tabulā. Bitumena saistvielas ekstrakcija veikta pēc LVS EN 12697-1 un atgūšana veikta pēc LVS EN 12697-3 (sk. 26. att.)

3. tabula

A7 RAP bitumena īpašības

Adata penetrācijas noteikšana LVS EN 1426						
Pārbaudes Nr.	1	2	3	4	5	Vidējā vērtība, * 0.1 mm
Penetrācija 25°C temperatūrā	39.0	38.0	38.0	40.0	37.0	38.4

Mīkstēšanas temperatūras noteikšana LVS EN 1427						
Pārbaudes Nr.	1	2	3	4	5	Vidējā vērtība, t°C
Mīkstēšanas temperatūra	56	56	56	57	57	56.4

Frasa trausluma temperatūras noteikšana LVS EN 12593						
Pārbaudes Nr.	1	2	3	4	5	Vidējā vērtība, t°C
Frasa trausluma temperatūra	-10	-10	-9	-10	-9	-9.6

4.2.2. RAP bitumena īpašību atjaunošana ar bitumenu B 70/100

RAP bitumena īpašību atjaunošana tiek veikta ar bitumenu B 70/100. Īpašību atjaunošanai izvēlētas sekojošās RAP bitumena un B70/100 bitumena proporcijas 0/100, 20/80, 30/70, 40/50, 50/50, 60/40, 70/30, 80/20, un 100/0. No 6. - 7. tabulai un no 28. – 33. attēlam apkopotas RAP bitumena īpašību izmaiņas atkarībā no pievienotā B70/100 satura.

„Ceļu specifikācijas 2014” paredz, ja asfaltbetona maisījumos vairāk par 20 procentiem izmanto RAP, tad jālieto piemērota bitumena atjaunošanas piedeva, kā arī jānodrošina asfalta maisījuma kopējās saistvielas (vecās un jaunās) mērķa penetrācijas atbilstība.[1]

Asfaltbetona maisījuma kopējās saistvielas penetrācijas aprēķins:

$$a \lg pen_1 + b \lg pen_2 = (a + b) \lg pen_{max} \quad (1)$$

kur: pen_{max} – maisījuma, kas satur reciklēto asfaltu, saistvielas aprēķinātā penetrācija;

pen_1 – saistvielas, kas atgūta no reciklētā asfalta, penetrācija;

pen_2 – pievienotās saistvielas penetrācija;

a un b – saistvielas no reciklētā asfalta (a) un no pievienotās saistvielas (b) maisījumā masas proporcijas; $a+b=1$.

Saistvielas atgūšana no RAP testēšanai veikta atbilstoši LVS EN 12697-3 un LVS EN 12697-4. Pievienotās un atgūtās saistvielas penetrācija noteikta atbilstoši LVS EN 1426.

Maisījuma kopējās saistvielas īpašībām jānodrošina mērķa saistvielas klasi, tādēļ jānodrošina arī mīkstēšanas temperatūras un Frasa trausluma temperatūras atbilstību mērķa saistvielas klasei.

Asfaltbetona maisījuma kopējās saistvielas mīkstēšanas temperatūras aprēķins:

$$T_{RAS\,mix} = a \times T_{RAS1} + b \times T_{RAS2} \quad (2)$$

kur: $T_{RAS\,mix}$ – maisījuma, kas satur reciklēto asfaltu, saistvielas aprēķinātā mīkstēšanas temperatūra;

T_{RAS1} – saistvielas, kas atgūta no reciklētā asfalta, mīkstēšanas temperatūra;

T_{RAS2} – pievienotās saistvielas mīkstēšanas temperatūra;

a un b – saistvielas no reciklētā asfalta (a) un no pievienotās saistvielas (b) maisījumā masas proporcijas; $a+b=1$.

Pievienotās saistvielas un atgūtās saistvielas mīkstēšanas temperatūra jānosaka atbilstoši LVS EN 1427.

Asfaltbetona maisījuma kopējās saistvielas Frasa temperatūras atbilstībai jābūt pēc 4. tabulas prasībām:

4. tabula

Prasības saistvielai, kas atgūta no asfaltbetona, atbilstoši „Ceļu specifikācijām 2014” 6.2-11. tabulai

Īpašība	Mērvienība	Testēšanas metode	Kategorija	Prasība
Frasa trausluma temperatūra	°C	LVS EN 12593	7. klase	≤ -15

4.2.2.1. Prasības mērķa saistvielas īpašībām B 50/70 atbilstoši LVS EN 12591 1.A. tabulai un „Ceļu specifikācijām 2014” 6.2-11. tabulai

5. tabula

Īpašība	"Ceļu specifikācijas 2014" prasības	LVS EN 12591 standarta prasība bitumenam B50/70
Penetrācija, 0.1mm	Atbilstība standartam LVS EN 12591	50 - 70
Mīkstēšana, t°C		46 - 54
Fras, t°C	≤ - 15	-

4.2.2.2. Salaspils RAP bitumena ar B 70/100 atjaunotā bitumena īpašības

6. tabula

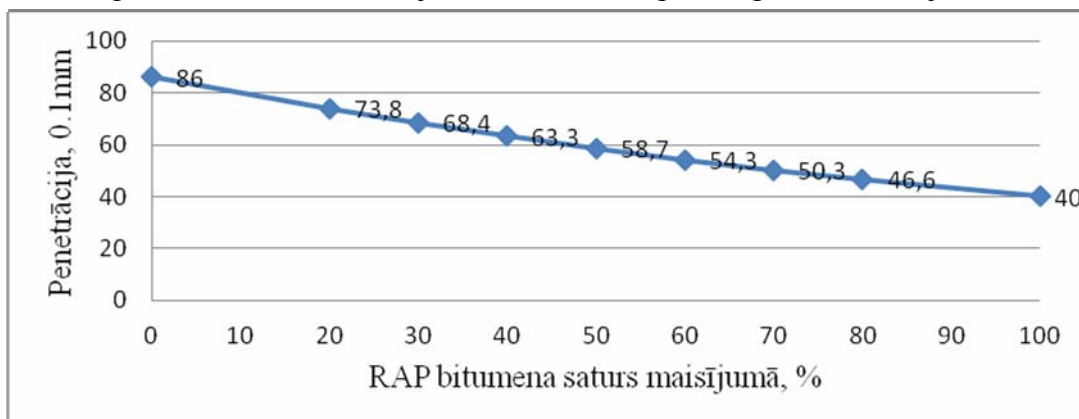
Nosakāmais parametrs	Standarts	Saistvielas no reciklētā asfalta un no pievienotās saistvielas maisījumā masas proporcija								
		0/100	20/80	30/70	40/60	50/50	60/40	70/30	80/20	100/0
Penetrācija, 0.1mm	LVS EN 1426	86	73.8	68.4	63.3	58.7	54.3	50.3	46.6	40
Mīkstēšana, t°C	LVS EN 1427	46	46.8	47.3	47.7	48.1	48.5	48.9	49.4	50.2
Fras, t°C	LVS EN 12593	-20.8	-18	-16	-15	-15	-13	-10	-9	-8.2

4.2.2.3. A7 RAP bitumena ar B 70/100 atjaunotā bitumena īpašības

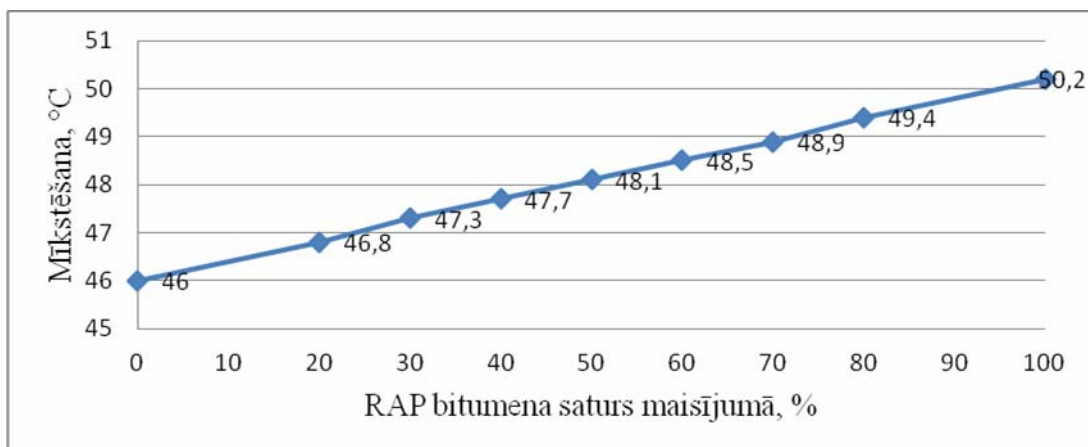
7. tabula

Nosakāmais parametrs	Standarts	Saistvielas no reciklētā asfalta un no pievienotās saistvielas maisījumā masas proporcija								
		0/100	20/80	30/70	40/60	50/50	60/40	70/30	80/20	100/0
Penetrācija, 0.1mm	LVS EN 1426	86	73.2	67.5	62.3	57.5	53	48.9	45.1	38.4
Mīkstēšana, t°C	LVS EN 1427	46	48.1	49.1	50.2	51.2	52.2	53.3	54.3	56.4
Fras, t°C	LVS EN 12593	-20.8	-19	-17.5	-17	-16	-13	-12	-10	-9.6

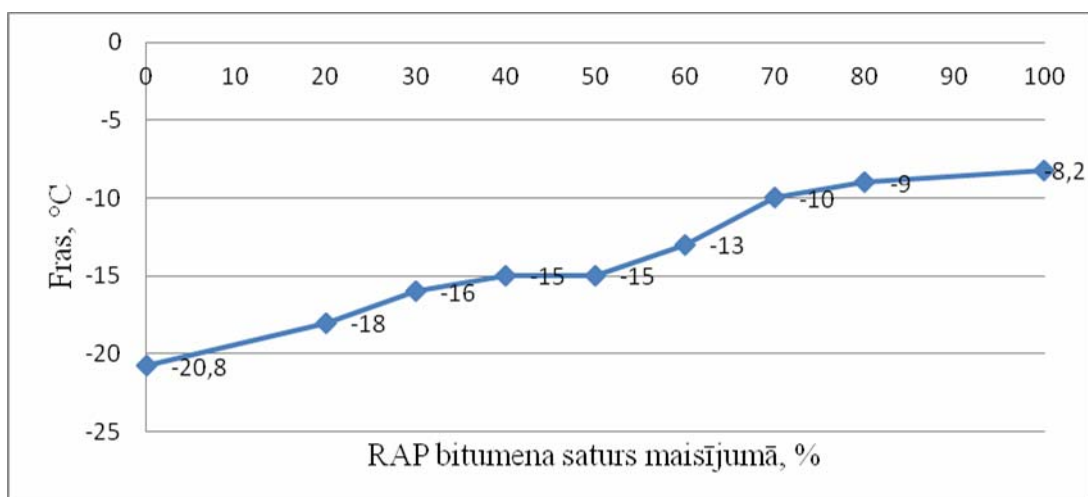
4.2.2.4. Salaspils RAP ar B 70/100 atjaunotā bitumena īpašību grafisks attēlojums



28. att. Penetrācijas izmaiņas atkarībā no RAP bitumena satura

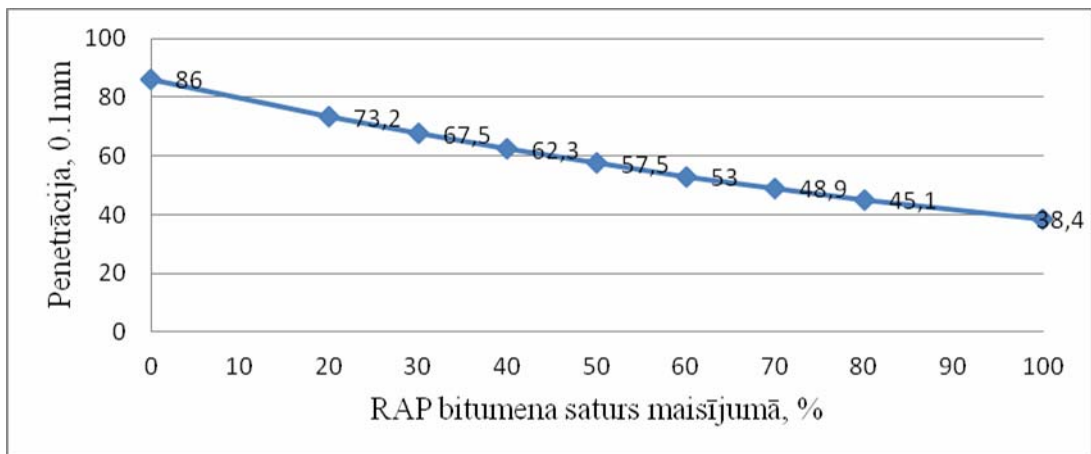


29. att. Mīkstēšanas temperatūras izmaiņa atkarībā no RAP bitumena satura

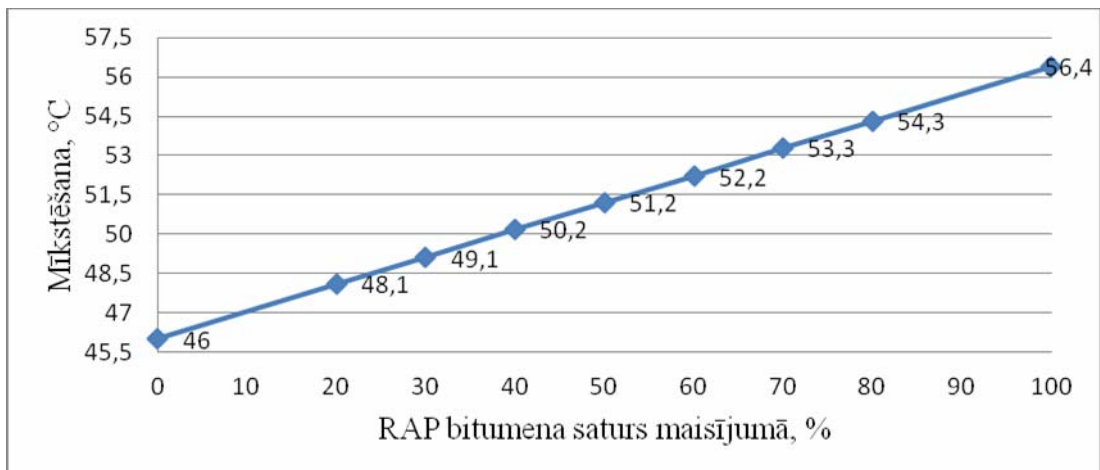


30. att. Frasa trausluma temperatūras izmaiņa atkarībā no RAP bitumena satura

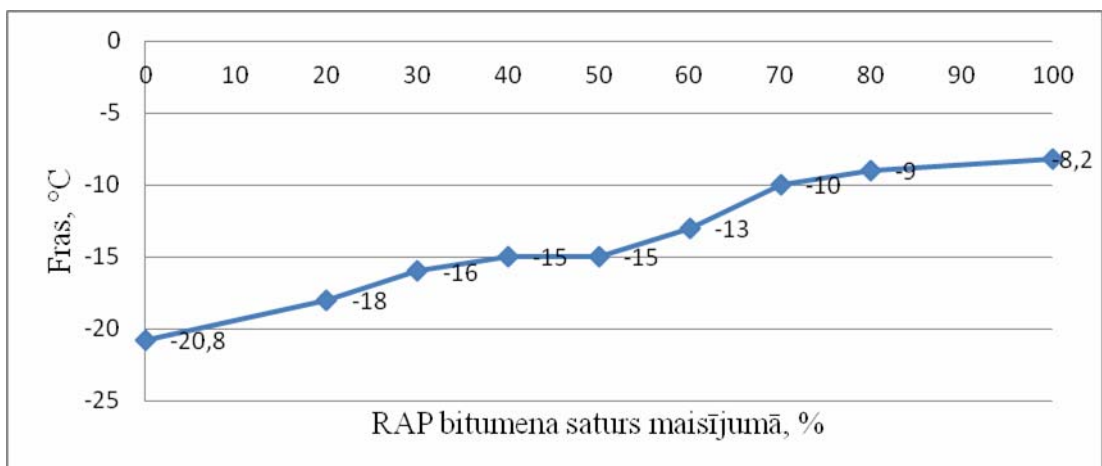
4.2.2.5. A7 RAP ar B 70/100 atjaunotā bitumena īpašību grafisks attēlojums



31. att. Penetrācijas izmaiņas atkarībā no RAP bitumena satura



32. att. Mīkstēšanas temperatūras izmaiņa atkarībā no RAP bitumena satura



33. att. Frasa trausluma temperatūras izmaiņa atkarībā no RAP bitumena satura

4.2.2.6. Atjaunotā bitumena atbilstības izvērtējums

8. tabula



Salaspils RAP bitumena īpašību izvērtējums pievienojot jaunu bitumenu B 70/100

Īpašība	„Ceļu specifikācijas 2014” prasības	LVS EN 12591 standarta prasība bitumenam B50/70	Saistvielas no reciklētā asfalta un no pievienotās saistvielas maisījumā masas proporcija								
			0/100	20/80	30/70	40/60	50/50	60/40	70/30	80/20	100/0
Penetrācija, 0.1mm	Atbilstība standartam LVS EN 12591	50 – 70	86	73.8	68.4	63.3	58.7	54.3	50.3	46.6	40
Mīkstēšana, t°C		46 – 54	46	46.8	47.3	47.7	48.1	48.5	48.9	49.4	50.2
Fras, t°C	≤ - 15	-	-20.8	-18	-16	-15	-15	-13	-10	-9	-8.2

9. tabula

A7 RAP bitumena īpašību izvērtējums pievienojot jaunu bitumenu B 70/100

Īpašība	"Ceļu specifikācijas 2014" prasības	LVS EN 12591 standarta prasība bitumenam B50/70	Saistvielas no reciklētā asfalta un no pievienotās saistvielas maisījumā masas proporcija								
			0/100	20/80	30/70	40/60	50/50	60/40	70/30	80/20	100/0
Penetrācija, 0.1mm	Atbilstība standartam LVS EN 12591	50 - 70	86	73.2	67.5	62.3	57.5	53	48.9	45.1	38.4
Mīkstēšana, t°C		46 - 54	46	48.1	49.1	50.2	51.2	52.2	53.3	54.3	56.4
Fras, t°C	≤ - 15	-	-20.8	-19	-17.5	-17	-16	-13	-12	-10	-9.6

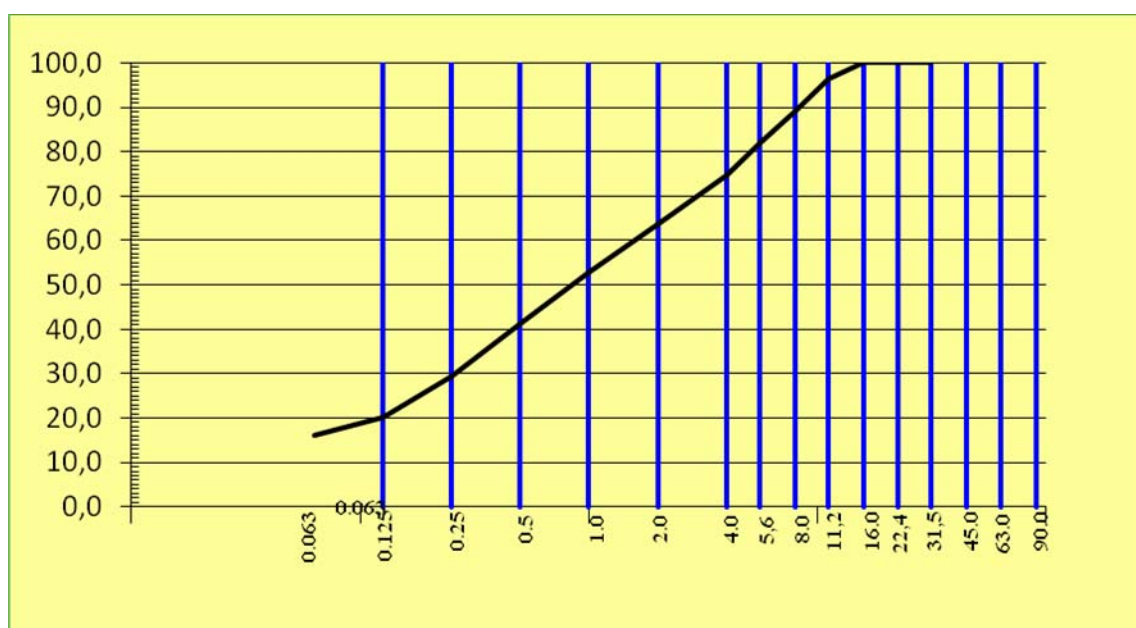
 Neatbilst
 Atbilst

4.2.3. RAP saistvielas saturs, granulometrija

4.2.3.1. Salaspils RAP bitumena saistvielas saturs un minerālmateriālu granulometriskais sastāvs

10. tabula

Saistvielas saturs LVS EN 12697		Granulom. sastāvs LVS EN 12697				
Sietu svars, g	2641.70	Sieti, mm	Masa, g	Daudz. %	daļiņas %	Caursij. %
Parauga masa, g	1146.60	31.5		0.0	0.0	100.0
Sieta + parauga masa pēc ekstrakcijas, g	2641.90	22.4		0.0	0.0	100.0
Čaula + filtrs, g	537	16		0.0	0.0	100.0
	711.5	11.2	39.3	3.6	3.6	96.4
Parauga masa pēc ekstrakc., g	913.4	8	77.3	7.1	10.7	89.3
Putekļa masa pēc ekstrakc., g	174.5	5.6	80.1	7.4	18.1	81.9
Bitumena saturs, g	58.7	4	77.8	7.2	25.2	74.8
Bitumena saturs, %	5.12	2	118.9	10.9	36.2	63.8
		1	119.2	11.0	47.1	52.9
		0.5	124.8	11.5	58.6	41.4
		0.25	129.9	11.9	70.5	29.5
		0.125	100.3	9.2	79.7	20.3
		0.063	43.8	4.0	83.8	16.2
		<0,063	176.5	16.2	100.0	0.0
			1087.9			



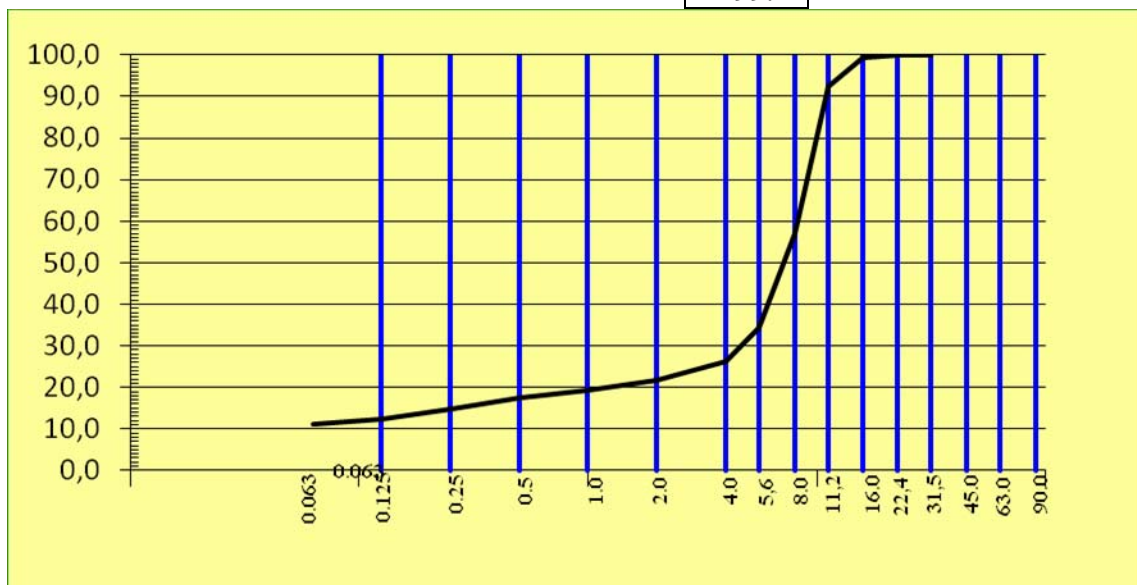
Salaspils RAP minerālmateriālu granulometriskais sastāvs

4.2.3.2. A7 RAP saistvielas saturs un minerālmateriālu granulometriskais sastāvs

11. tabula

Saistvielas saturs LVS EN 12697	
Sietu svars, g	2641.80
Parauga masa, g	1261.20
Sieta + parauga masa pēc ekstrakcijas, g	1066.90
Čaula + filtrs, g	2641.9
	672.7
Parauga masa pēc ekstrakc., g	1067
Putekļa masa pēc ekstrakc., g	132.4
Bitumena saturs, g	61.8
Bitumena saturs, %	4.90

Granulom. sastāvs LVS EN 12697				
Sieti, mm	Masa, g	Daudz. %	daļiņas %	Caursij. %
31.5		0.0	0.0	100.0
22.4		0.0	0.0	100.0
16	7.3	0.6	0.6	99.4
11.2	84.4	7.0	7.6	92.4
8	423.3	35.3	42.9	57.1
5.6	272.0	22.7	65.6	34.4
4	98.8	8.2	73.9	26.1
2	53.8	4.5	78.3	21.7
1	28.4	2.4	80.7	19.3
0.5	23.1	1.9	82.6	17.4
0.25	29.5	2.5	85.1	14.9
0.125	28.6	2.4	87.5	12.5
0.063	16.8	1.4	88.9	11.1
<0,063	133.4	11.1	100.0	0.0
	1199.4			



A7 RAP minerālmateriāla granulometrija

4.2.4. Drupināta dabiska dolomīta no karjera „Pērtnieki” īpašības


Asfaltbetona pildviela izvēlēta tā, lai tā saskaņā ar „Ceļu specifikācijas 2014” atbilstu vidēji un smagi noslogotiem ceļiem. Šajā etapā asfaltbetona sastāvu izgatavošanai izvēlēts vietējais minerālmateriāls no karjera „Pērtnieki”. Minerālmateriālam noteiktas galvenās fizikālās (daļiņu forma, blīvums, granulometrija u.c.) un mehāniskās (drupināšanas izturība) īpašības un izvērtēta atbilstība tehnisko noteikumu prasībām (sk. 12. – 18. tab.).

4.2.4.1. Granulometriskais sastāvs

12. tabula

Minerālmateriālu granulometriskais sastāvs

Frakcija, d/D	Caur sietiem izgājusī masas procentuālā daļa												Kategorija LVS EN 13043		
	22.4	16	11.2	8	5.6	4	2	1	0.5	0.25	0.125	0.063	Fakt.	Prasība	„Ceļu specifikācijas 2014”
Dolomīta šķembas 11/16	100.0	96.3	22.2	3.2	1.6	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	0.8	Gc85/20	Gc85/20	6.2-2 tabula
Dolomīta šķembas 8/11	100.0	100.0	89.1	26.6	4.0	1.9	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.8	Gc85/30		
Dolomīta šķembas 5/8	100.0	100.0	100.0	95.5	23.3	4.7	2.0	1.7	1.6	1.5	1.4	1.1	Gc85/20		
Dolomīta šķembas 2/5	100.0	100.0	100.0	100.0	92.4	47.2	3.5	1.6	1.6	1.6	1.5	1.2	Gc85/20		
Dolomīta atsijas 0/2	100.0	100.0	100.0	100.0	99.0	97.0	82.7	60.4	46.0	34.6	15.9	4.2	GF80	GF85	
Dabīgā smiltis	100.0	100.0	100.0	100.0	99.8	99.3	94.6	82.7	61.6	28.4	5.6	1.5	GF85		

 - atbilst

 - neatbilst

4.2.4.2. Fizikālās un mehāniskās īpašības

13. tabula

Dabīgās smiltis fizikāli – mehāniskās īpašības

Nosakāmais parametrs	Standarts	Rezultāts	„Ceļu specifikācijas 2014”	
			Prasība	Atbilstoši
Smalknes saturs, %	LVS EN 933 -1	1.5	≤ 10	6.2-5 tabula
Plūšanas koeficients, sek	LVS EN 933 -6	25.4	≥ 30	6.2-6 tabula
Daļiņu blīvums, $\frac{g}{cm^3}$	LVS EN 1096 -7	2.666	-	-

 - atbilst

 - neatbilst

14. tabula

Dolomīta atsiju 0/2 fizikāli – mehāniskās īpašības

Nosakāmais parametrs	Standarts	Rezultāts	„Ceļu specifikācijas 2014”	
			Prasība	Atbilstoši
Smalknes saturs, %	LVS EN 933 -1	4.2	≤ 10	6.2-5 tabula
Plūšanas koeficients, sek	LVS EN 933 -6	30	≥ 30	6.2-6 tabula
Daļiņu blīvums, $\frac{g}{cm^3}$	LVS EN 1096 -7	2.802	-	

- atbilst

- neatbilst

15. tabula

Frakcijas 2/5 fizikāli – mehāniskās īpašības

Nosakāmais parametrs	Standarts	Rezultāts	„Ceļu specifikācijas 2014”	
			Prasība	Atbilstoši
Smalknes saturs, %	LVS EN 933 -1	1.2	≤ 4	6.2-5 tabula
Daļiņu blīvums, $\frac{g}{cm^3}$	LVS EN 1096 -7	2.790	-	

- atbilst

- neatbilst

16. tabula

Frakcijas 5/8 fizikāli – mehāniskās īpašības

Nosakāmais parametrs	Standarts	Rezultāts	„Ceļu specifikācijas 2014”	
			Prasība	Atbilstoši
Smalknes saturs, %	LVS EN 933 -1	1.1	≤ 4	6.2-5 tabula
Formas indekss (SI), %	LVS EN 933 -4	13.7	≤ 25	6.2-7 tabula
Daļiņu blīvums, $\frac{g}{cm^3}$	LVS EN 1096 -7	2.782	-	

- atbilst

- neatbilst

17. tabula

Frakcijas 8/11 fizikāli – mehāniskās īpašības

Nosakāmais parametrs	Standarts	Rezultāts	„Ceļu specifikācijas 2014”		
			Prasība		Atbilstoši
			S - I	S - II	
Smalknes saturs, %	LVS EN 933 -1	0.8	≤ 4		6.2-5 tabula
Formas indekss (SI), %	LVS EN 933 -4	13.3	≤ 25		6.2-7 tabula
Daļiņu blīvums, $\frac{g}{cm^3}$	LVS EN 1096 -7	2.786	-		
Losandželosas koeficients (LA)	LVS EN 1097 -2	23	≤ 20	≤ 25	6.2-7 tabula
Nordiskā abrazīvā vērtība (A_{N})	LVS EN 1097 -9	17	≤ 14	≤ 10	
Magnija sulfāta rādītājs (MS), %	LVS EN 1097 -6	5	≤ 25	≤ 18	

- atbilst

- neatbilst

Frakcijas 11/16 fizikāli – mehāniskās īpašības

Nosakāmais parametrs	Standarts	Rezultāts	„Ceļu specifikācijas 2014”	
			Prasība	Atbilstoši
Smalknes saturs, %	LVS EN 933 -1	0.8	≤ 4	6.2-5 tabula
Formas indekss (SI), %	LVS EN 933 -4	14.8	≤ 25	6.2-7 tabula
Daļiņu blīvums, $\frac{g}{cm^3}$	LVS EN 1096 -7	2.773	-	

- atbilst
 - neatbilst

4.2.5. Maksimālā RAP satura noteikšana HMA maisījumā, izvērtējot atbilstību pēc viendabīguma

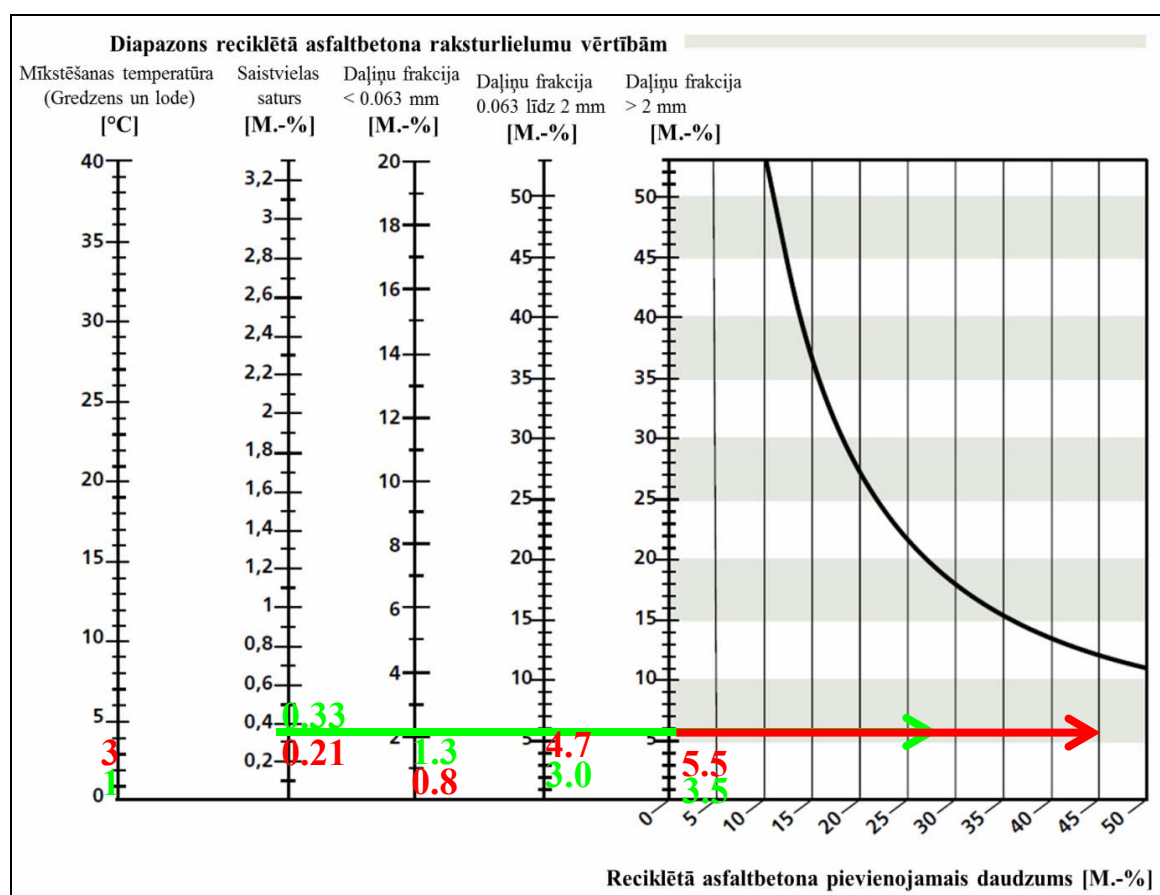
Lai noteiktu maksimālo iespējamo RAP materiāla pievienošanas daudzumu, atsaucoties uz RAP materiāla raksturlielumu viendabīgumu, var izmantot grafiku. RAP materiāla viendabīgums ir noteikts, izmantojot parametru diapazonus, testē vismaz piecas paraugu masas. *Mūsu gadījumā RAP tiks izmantots, lai ražotu asfaltbetona saistes kārtas maisījumus (saistes kārtas maisījumos atbilstoši Ceļu specifikācijas prasībām var izmantot lielāku RAP saturu, kā arī to praktiski vieglāk realizēt nekā dilumkārtas un seguma apakškārtas maisījumiem).* Raksturojošie raksturlielumi ir granulometrija, saistvielas saturs un mīkstēšanas temperatūra (sk. 19. – 20. tab.). Starpības starp maksimālo un minimālo vērtību individuālajiem raksturlielumiem tiek atliktas nomogrammā uz ordinātām. Starpība, kas atrodas uz kādu no ordinātas visaugstāk, ir izšķirošā, pēc kuras tiek noteikts maksimālais iespējamais RAP pievienošanas daudzums, atsaucoties uz viendabīgumu (sk. 34. att.).

Salaspils RAP materiāla raksturlielumu viendabīgums

Raksturlielums	Mīkstēšana, t°C <i>(T_{1,RAP})</i>	Saistvielas saturs (%)	Daļiņu izmērs < 0.063 mm (%)	Daļiņu izmērs 0.063 mm līdz 2 mm (%)	Daļiņu izmērs > 2 mm (%)
Paraugs Nr. 1	50.0	5.12	16.8	49.9	33.3
Paraugs Nr. 2	52.0	5.11	16.0	47.6	36.4
Paraugs Nr. 3	50.0	5.26	16.5	48.0	35.5
Paraugs Nr. 4	49.0	5.05	16.2	47.6	36.2
Paraugs Nr. 5	50.0	5.08	16.0	45.2	38.8
Vidējā vērtība	50.2	5.12	16.3	47.7	36.0
Starpība	3.0	0.21	0.8	4.7	5.5

A7 RAP materiāla raksturlielumu viendabīgums

Raksturlielums	Mīkstēšana, t°C ([7][1][1][1])	Saistvielas saturs (%)	Daļiņu izmērs < 0.063 mm (%)	Daļiņu izmērs 0.063 mm līdz 2 mm (%)	Daļiņu izmērs > 2 mm (%)
Paraugs Nr. 1	56.0	4.90	11.1	10.6	78.3
Paraugs Nr. 2	56.0	4.85	11.0	8.9	80.1
Paraugs Nr. 3	56.0	5.13	11.9	11.5	76.6
Paraugs Nr. 4	57.0	5.05	12.3	9.3	78.4
Paraugs Nr. 5	57.0	4.80	11.5	8.5	80.0
Vidējā vērtība	56.4	4.95	11.6	9.8	78.7
Starpība	1.0	0.33	1.3	3.0	3.5



34. att. Nomogramma, lai noteiktu maksimāli iespējamo RAP pievienošanas daudzumu asfaltbetona virskārtām un saistes kārtām, atsaucoties uz reciklētā asfaltbetona pieciem raksturlielumiem [2]

➤ Salaspils RAP vērtības nomogrammā atzīmētas ar sarkano krāsu. Visaugstāk atrodas daļiņu frakcija, kas lielāka par 2 mm. Tātad šo vērtību pieņemam, lai noteiktu reciklētā asfalta maksimālo pievienošanas daudzumu, atsaucoties uz viendabīgumu. Rezultātā redzam, ka reciklētā asfalta viendabīgums neietekmē maksimālo pievienošanas daudzumu.

➤ A7 RAP vērtības nomogrammā atzīmētas ar zaļo krāsu. Šajā gadījumā visaugstāk atrodas saistvielas saturs starpība. Tātad šo vērtību pieņemam, lai noteiktu reciklētā asfalta maksimālo pievienošanas daudzumu, atsaucoties uz viendabīgumu. Rezultātā redzam, ka reciklētā asfalta viendabīgums neietekmē maksimālo pievienošanas daudzumu.

4.3. Asfaltbetona sastāvi

Kopā laboratorijā izgatavoti seši asfaltbetona maisījuma sastāvi.

4.3.1. Optimālā bitumena saturs noteikšana

Projektēto maisījumu optimālais saistvielas saturs noteikts, izejot no šādiem iepriekš uzdotiem kritērijiem:

- granulometriskais sastāvs;
- tilpuma parametri (Va, VMA un VFB);
- bitumena daudzuma optimizācija atbilstoši Maršala metodei „Ceļu specifikācijas 2014” p. 6.2.3.6.2, lai sasniegt tabulās 6.2-13 un 6.2-42 izvirzītām prasībām;
- paraugu izgatavošanas nosacījumi – triecienu skaits un sablīvēšanas temperatūra.

Granulometriskā sastāva projektēšanas pamatuzdevums ir noteikt dažādu frakciju pildvielas proporciju tā, lai uzprojektētā pildvielas maisījuma granulometriskais sastāvs apmierinātu asfaltbetona maisījumu AC minimālo un maksimālo pieļaujamo robežu, kas dota tehniskajos noteikumos.[3]

Tilpuma parametru noteikšanai nepieciešams aprēķināt teorētisko optimālo bitumena saistvielas saturu (sk. 22. tab.), kurš saskaņā ar 3. vienādojumu ir atkarīgs no izvēlēta materiāla daļiņu blīvuma un dažādu frakciju minerālmateriāla daudzuma projektētā asfaltbetona maisījumā (sk. 4. vien.).

$$B^{teor} = \frac{2.650}{\rho_{min}} \times B^{2.650} \quad (3)$$

kur B^{teor} – teorētiskais saistvielas saturs, masas %;

$B^{2.650}$ - saistvielas saturs, ja pildvielas daļiņu blīvums ir 2,650 g/cm³;

ρ_{min} - minerālmateriāla daļiņu blīvums, g/cm³.

Tā kā kopējais minerālmateriāla maisījums sastāv no vairākām dažāda blīvuma frakcijām – rupjajām un smalkajām pildvielām un aizpildītāja, kopējo minerālmateriāla blīvumu aprēķina pēc formulas (sk. 21. tab.):

$$\rho_{min} = \frac{100}{\left(\frac{P_1 + P_2 + P_3}{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3}\right)} \quad (4)$$

kur P_1, P_2, P_3 – minerālmateriālu frakciju daudzums kopējā minerālmateriālu maisījumā, %;
 ρ_1, ρ_2, ρ_3 – minerālmateriālu frakciju blīvums, g/cm³.

21. tabula

Kopējais minerālmateriālu blīvums

Salapils RAP saturs	$\frac{\rho_{min}g}{cm^3}$	A7 RAP saturs	$\frac{\rho_{min}g}{cm^3}$
30%	2.734	30%	2.721
40%	2.716	40%	2.707
50%	2.698	50%	2.691

22. tabula

Optimālais teorētiskais bitumena saistvielas saturs

Salapils RAP saturs		A7 RAP saturs	
30%	4.1	30%	4.1
40%	4.1	40%	4.1
50%	4.1	50%	4.1

4.3.1.1. RAP minerālmateriāla daļiņu blīvums

Lai aprēķinātu minerālā materiāla karkasa porainību (VMA), vai lai noteiktu optimālo bitumena saturu maisījumam, ir nepieciešams zināt kombinēto minerālmateriālu daļiņu blīvumu. Kad minerālmateriālos iekļauts RAP, process var būt daudz sarežģītāks. Aprēķinot kombinēto minerālmateriāli daļiņu blīvumu, ir nepieciešams zināt daļiņu blīvumu katram minerālmateriālu komponentam. Tas var būt sarežģīti akurāti noteikt daļiņu blīvumu RAP minerālmateriālam. Lai noteiktu RAP minerālmateriāla daļiņu blīvumu, būtu nepieciešams veikt bitumena ekstrakciju, izsijāt rupjajās un smalkajās frakcijās, un noteikt daļiņu blīvumu katrai frakcijai. Ekstrakcijas process var mainīt minerālmateriāla īpašības un ietekmēt rezultātu, izmainot smalkā materiāla daudzumu, kas galu galā var ietekmēt daļiņu blīvumu.

Ir divas pieejas, lai atrisinātu šo problēmu. Pirmā pieeja ir izmantot RAP minerālmateriāla efektīvo blīvumu daļiņa blīvumu vietā. Daudzas valstis šo pieeju izmantoja pagātnē. Otra pieeja ir aprēķināt RAP minerālmateriāla daļiņu blīvumu, balstoties uz

maksimāli teorētisko blīvumu RAP maisījumam (sk. 23. un 24. tab.) un pieņemt vērtību RAP minerālmateriāla absorbcijai.[4-6]

23. tabula

Maksimālais blīvums Salaspils RAP materiālam, pēc LVS EN 12697 – 5

Piknometra Nr.	2	7
Piknometra tilpums, V_p , m ³	1313.6	1313
Piknometra masa, m_1 , g	687.6	691
Pikometra + parauga masa, m_2 , g	1802.3	1813.3
Pikometra + parauga + šķīdināt/ūdens. masa pēc 30 min, m_3 , g	2670.1	2674.6
Ūdens blīvums, ρ_w , Mg/cm ³	25.1	0.9971
Maksimālais blīvums, P_{mv} , Mg/m ³	2.515	2.499
Atkārtotamība, Mg/m ³	-0.008	0.008
Maksimālais blīvums, P_{mv} , Mg/m ³	2.507	

24. tabula

Maksimālais blīvums A7 RAP materiālam, pēc LVS EN 12697 – 5

Piknometra Nr.	17	21
Piknometra tilpums, V_p , m ³	1316.8	1316.3
Piknometra masa, m_1 , g	701.4	696.9
Pikometra + parauga masa, m_2 , g	1859.7	1816.1
Pikometra + parauga + šķīdināt/ūdens. masa pēc 30 min, m_3 , g	2710.6	2686
Ūdens blīvums, ρ_w , Mg/cm ³	25.1	0.9971
Maksimālais blīvums, P_{mv} , Mg/m ³	2.499	2.522
Atkārtotamība, Mg/m ³	0.011	-0.011
Maksimālais blīvums, P_{mv} , Mg/m ³	2.510	

Efektīvā blīvuma noteikšana Salaspils RAP materiālam:

$$G_{se} = \frac{100 - 5.12}{\frac{100}{2.507} - \frac{5.12}{1.020}} = 2.72$$

kur: G_{mm} - teorētiski maksimālais blīvums RAP;

G_b - tilpumblīvums RAP saistvielai (1.020);

P_b - RAP saistvielas saturs;

G_{se} - efektīvais blīvums minerālmateriālam;

Efektīvā blīvuma noteikšana Salaspils RAP materiālam:

$$G_{sra} = \frac{100 - 4.90}{\frac{100}{2.510} - \frac{4.90}{1.020}} = 2.71$$

Efektīvais blīvums RAP tiek izmantots, lai pārrēķinātu atpakaļ daļiņu blīvumu RAP minerālmateriālam. Daļiņu blīvuma noteikšana Salaspils RAP materiālam:

$$G_{sb} = \frac{2.72}{\left[\frac{1.5 \times 2.72}{100 \times 1.020} + 1 \right]} = 2.615$$

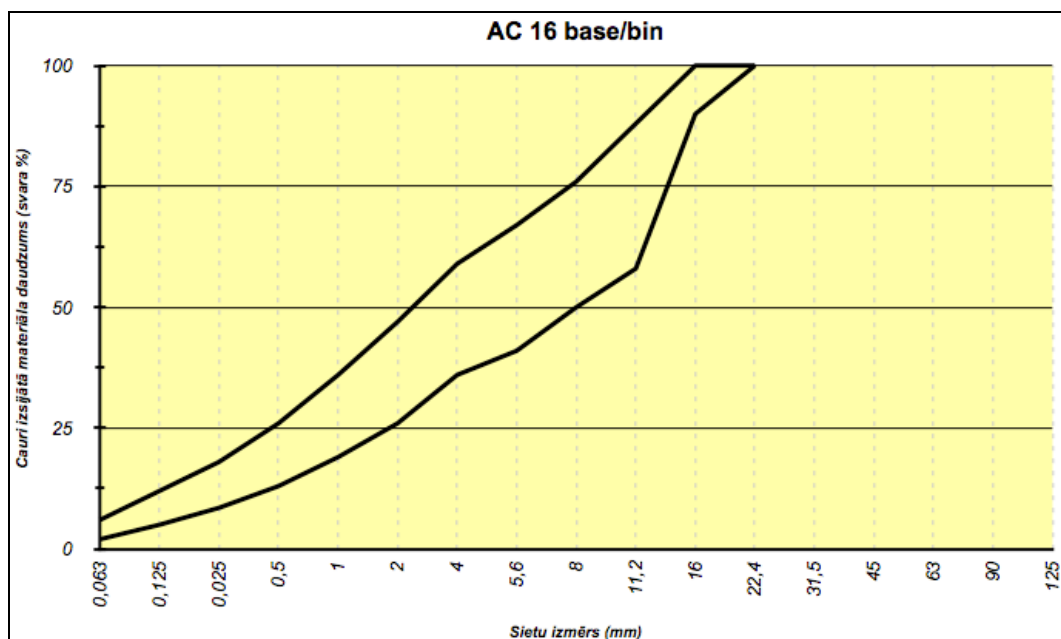
kur G_{sb} - daļiņu blīvums minerālmateriālam;

P_{ba} - absorbētā saistviela, % svars no minerālmateriāla (paredz 1.5%).

Daļiņu blīvuma noteikšana A7 RAP materiālam:

$$G_{sb} = \frac{2.71}{\left[\frac{1.5 \times 2.71}{100 \times 1.020} + 1 \right]} = 2.61$$

4.3.2. Asfaltbetona maisījuma AC 16 base/bin granulometriskais sastāvs



Sieti, mm	0,063	0,5	1	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4
Maks. %	6	26	36	47	59	67	76	88	100	100
Min. %	2	13	19	26	36	41	50	58	90	100

35. att. Prasības karstā asfalta AC 16 base/bin granulometriskajam sastāvam atbilstoši

„Ceļu specifikācijas 2014” 6.2-43 tabulai

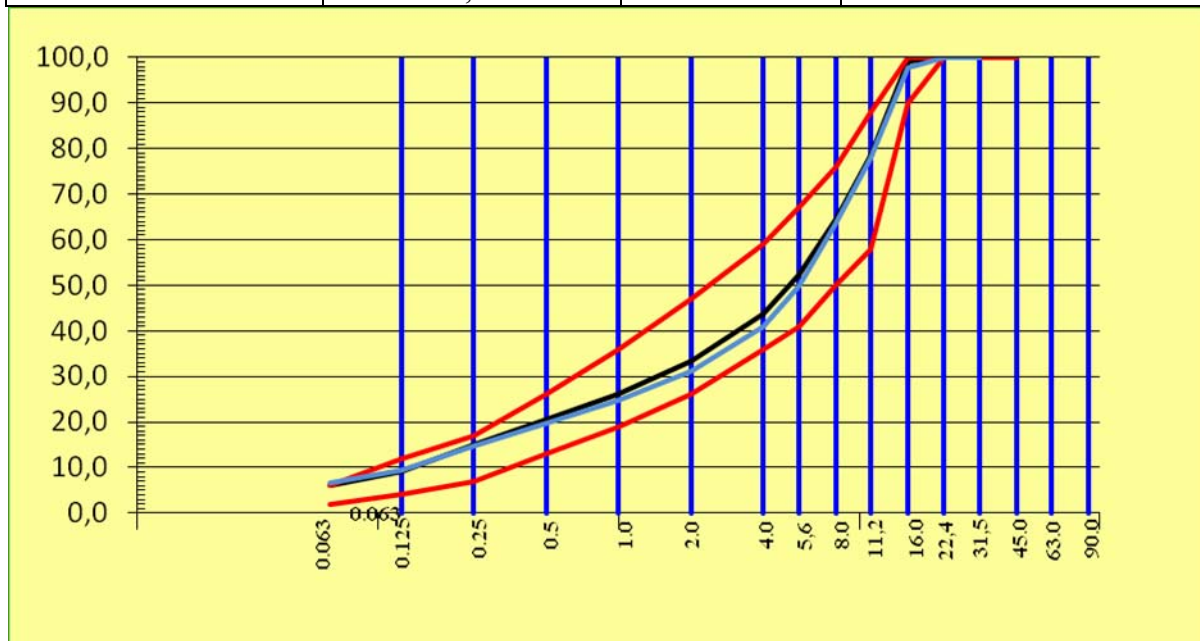
4.3.3. Asfaltbetona maisījumi AC 16 base/bin ar Salaspils RAP

4.3.3.1. AC 16 base/bin maisījums ar Salaspils RAP saturu 30 %

25. tabula

Asfaltbetona recepte

Materiāls	Izcelsme	Frakcija	Daudzums (masa %)
Reciklētais asfalts	Salaspils	16 RA 0/11	28.77
Dolomīta šķembas	"Pērtnieki"	11/16	23.98
Dolomīta šķembas	"Pērtnieki"	8/11	9.59
Dolomīta šķembas	"Pērtnieki"	5/8	8.63
Dolomīta šķembas	"Pērtnieki"	2/5	9.59
Dolomīta atsijas	"Pērtnieki"	0/2	15.34
Smilts	"Pērtnieki"		0.00
Aizpildītājs	"Saulkane S"		0.00
Bitumens	"Orlen", Lietuva	70/100	4.1



Causijātas daļiņas % projektā

0.0	6.0	9.2	15.0	20.4	26.2	33.3	43.6	52.4	64.5	78.4	99.1	100.0	100.0	100.0
-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------

Darba formula

6.6	9.3	14.8	19.6	24.8	31.1	41.0	49.9	63.7	77.9	97.7	100.0	100.0	100.0
-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------

Granulometriskā sastāva prasības atbilstoši „Ceļu specifikācijas 2014” 6.2.-43 tabulai

Max %	6	12	17	26	36	47	59	67	76	88	100	100	100	100
Min %	2	4	7	13	19	26	36	41	50	58	90	100	100	100

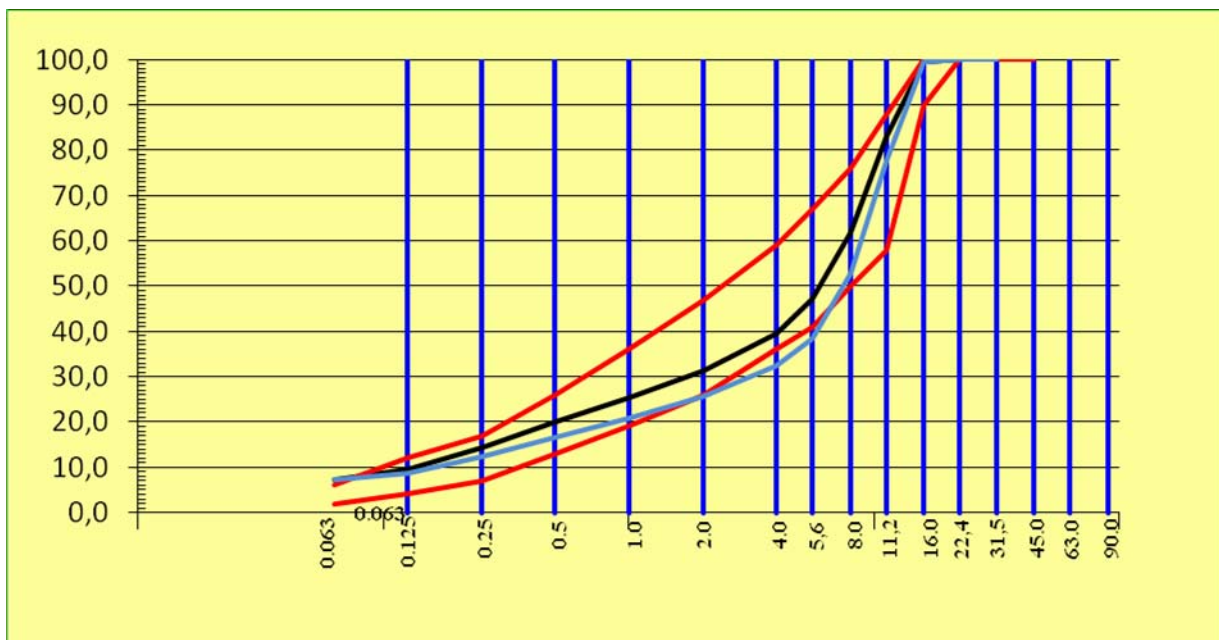
36. att. Asfaltbetona AC 16 base/bin projekts ar 30% Salaspils RAP saturu

4.3.3.2. AC 16 base/bin maisījums ar Salaspils RAP saturu 40 %

26. tabula

Asfaltbetona recepte

Materiāls	Izcelsme	Frakcija	Daudzums (masa %)
Reciklētais asfalts	Salaspils	16 RA 0/11	38.36
Dolomīta šķembas	"Pērtnieki"	11/16	16.30
Dolomīta šķembas	"Pērtnieki"	8/11	21.10
Dolomīta šķembas	"Pērtnieki"	5/8	8.63
Dolomīta šķembas	"Pērtnieki"	2/5	5.75
Dolomīta atsijas	"Pērtnieki"	0/2	5.75
Smilts	"Pērtnieki"		0.00
Aizpildītājs	"Saulkane S"		0.00
Bitumens	"Orlen", Lietuva	70/100	4.10



Causijātas daļiņas % projektā

0.0	7.2	9.6	14.5	19.9	25.4	31.3	39.5	47.2	61.9	83.0	99.4	100.0	100.0
-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------

Darba formula

7.1	8.7	12.3	16.5	20.8	25.5	32.3	38.5	52.9	77.6	99.5	100	100.0
-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----	-------

Granulometriskā sastāva prasības atbilstoši „Ceļu specifikācijas 2014” 6.2.-43 tabulai

Max %	6	12	17	26	36	47	59	67	76	88	100	100	100
Min %	2	4	7	13	19	26	36	41	50	58	90	100	100

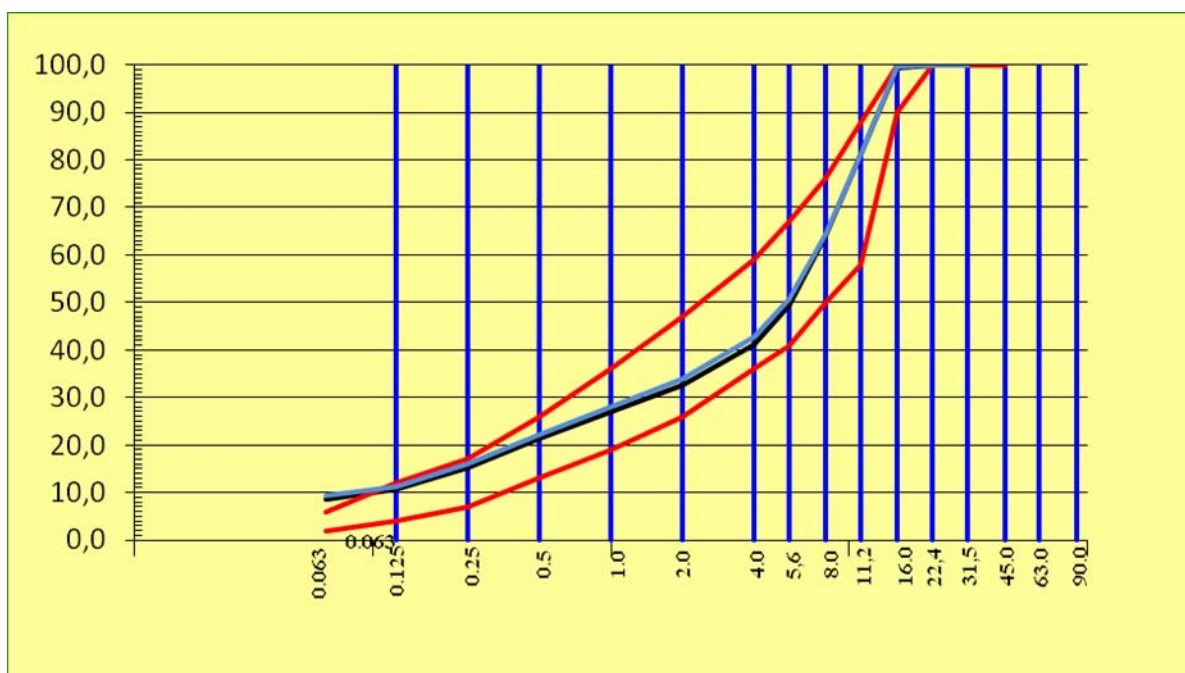
37. att. Asfaltbetona AC 16 base/bin projekts ar 40% Salaspils RAP saturu

4.3.3.3. AC 16 base/bin maisījums ar Salaspils RAP saturu 50 %

27. tabula

Asfaltbetona recepte

Materiāls	Izcelsme	Frakcija	Daudzums (masa %)
Reciklētais asfalts	Salaspils	16 RA 0/11	47.95
Dolomīta šķembas	"Pērtņieki"	11/16	19.18
Dolomīta šķembas	"Pērtņieki"	8/11	13.43
Dolomīta šķembas	"Pērtņieki"	5/8	9.59
Dolomīta šķembas	"Pērtņieki"	2/5	5.75
Dolomīta atsijas	"Pērtņieki"	0/2	0.00
Smilts	"Pērtņieki"		0.00
Aizpildītājs	"Saulkane S"		0.00
Bitumens	"Orlen", Lietuva	70/100	4.10



Causijātās daļiņas % projektā

0.0	8.5	10.6	15.3	21.3	27.1	32.7	41.2	49.5	64.1	81.2	99.3	100.0
-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------

Darba formula

9.3	11.2	16.0	22.2	28.1	34.0	42.8	50.7	64.5	81.3	99.6	100.0
-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------

Granulometriskā sastāva prasības atbilstoši „Ceļu specifikācijas 2014” 6.2.-43 tabulai

Max %	6	12	17	26	36	47	59	67	76	88	100	100
Min %	2	4	7	13	19	26	36	41	50	58	90	100

38. att. Asfaltbetona AC 16 base/bin projekts ar 50% Salaspils RAP saturu

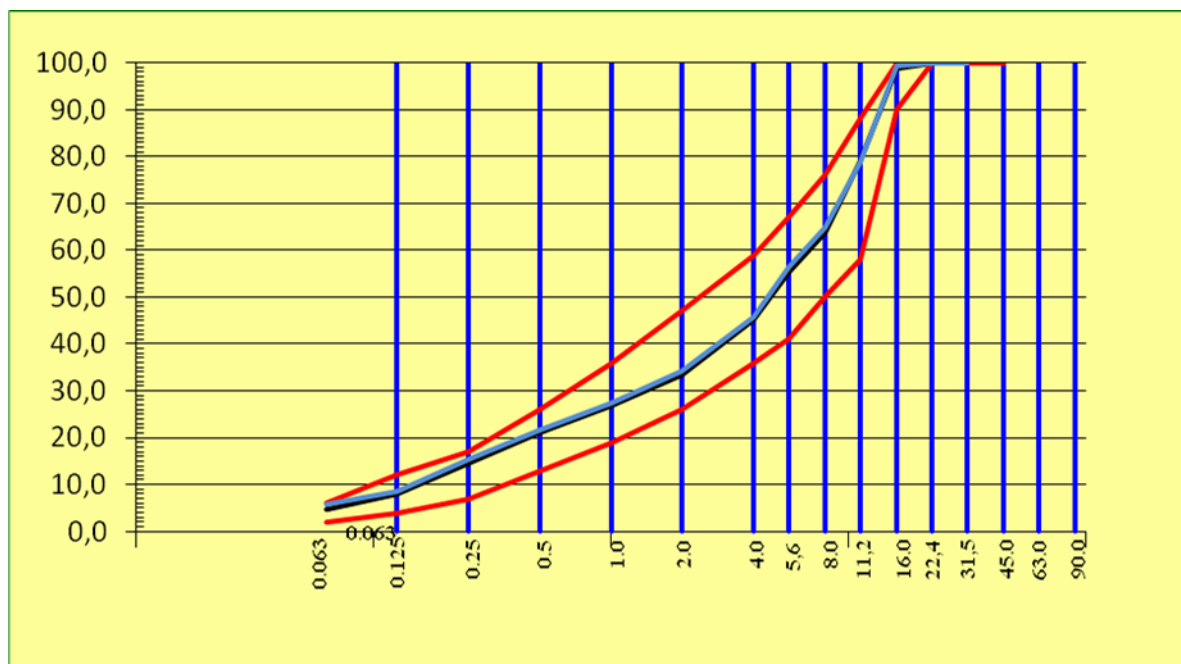
4.3.4. Asfaltbetona maisījumi AC 16 base/bin ar Salaspils RAP

4.3.4.1. AC 16 base/bin maisījums ar A7 RAP saturu 30 %

28.tabula

Asfaltbetona recepte

Materiāls	Izcelsme	Frakcija	Daudzums (masa %)
Reciklētais asfalts	Salaspils	22.4 RA 0/11	28.77
Dolomīta šķembas	"Pērtņieki"	11/16	23.02
Dolomīta šķembas	"Pērtņieki"	8/11	0.00
Dolomīta šķembas	"Pērtņieki"	5/8	0.00
Dolomīta šķembas	"Pērtņieki"	2/5	15.34
Dolomīta atsijas	"Pērtņieki"	0/2	18.22
Smilts	"Pērtņieki"		10.55
Aizpildītājs	"Saulkane S"		0.00
Bitumens	"Orlen", Lietuva	70/100	4.10



Caursijātas daļiņas % projektā

0.0	4.7	7.9	14.7	21.2	26.9	33.4	45.1	55.3	63.9	79.0	98.9	100.0
-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------

Darba formula

5.8	8.5	15.3	21.7	27.4	34.2	45.7	56.4	64.8	78.9	99.3	100.0
-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------

Granulometriskā sastāva prasības atbilstoši „Ceļu specifikācijas 2014” 6.2.-43 tabulai

Max %	6	12	17	26	36	47	59	67	76	88	100	100
Min %	2	4	7	13	19	26	36	41	50	58	90	100

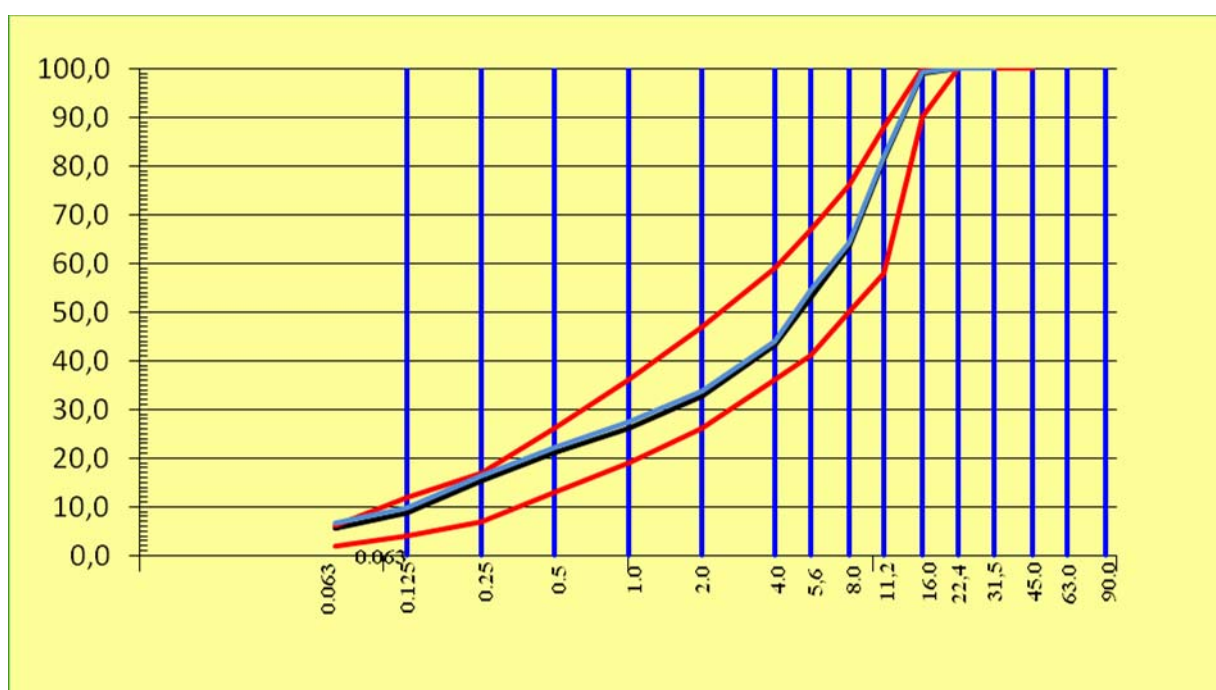
39. att. Asfaltbetona AC 16 base/bin projekts ar 30% A7 RAP saturu

4.3.4.2. AC 16 base/bin maisījums ar A7 RAP saturu 40 %

29.tabula

Asfaltbetona recepte

Materiāls	Izcelsme	Frakcija	Daudzums (masa %)
Reciklētais asfalts	Salaspils	22.4 RA 0/11	38.36
Dolomīta šķembas	"Pērtņieki"	11/16	19.18
Dolomīta šķembas	"Pērtņieki"	8/11	0.00
Dolomīta šķembas	"Pērtņieki"	5/8	0.00
Dolomīta šķembas	"Pērtņieki"	2/5	12.47
Dolomīta atsijas	"Pērtņieki"	0/2	18.22
Smilts	"Pērtņieki"		7.67
Aizpildītājs	"Saulkane S"		0.00
Bitumens	"Orlen", Lietuva	70/100	4.10



Caursijātās daļiņas % projektā

0.0	5.7	8.9	15.2	21.0	26.2	32.6	43.2	52.9	63.5	81.4	99.0	100.0
-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------

Darba formula

6.7	9.8	16.4	22.1	27.5	33.7	44.1	54.6	64.2	81.9	99.1	100.0
-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------

Granulometriskā sastāva prasības atbilstoši „Ceļu specifikācijas 2014” 6.2.-43 tabulai

Max %	6	12	17	26	36	47	59	67	76	88	100	100
Min %	2	4	7	13	19	26	36	41	50	58	90	100

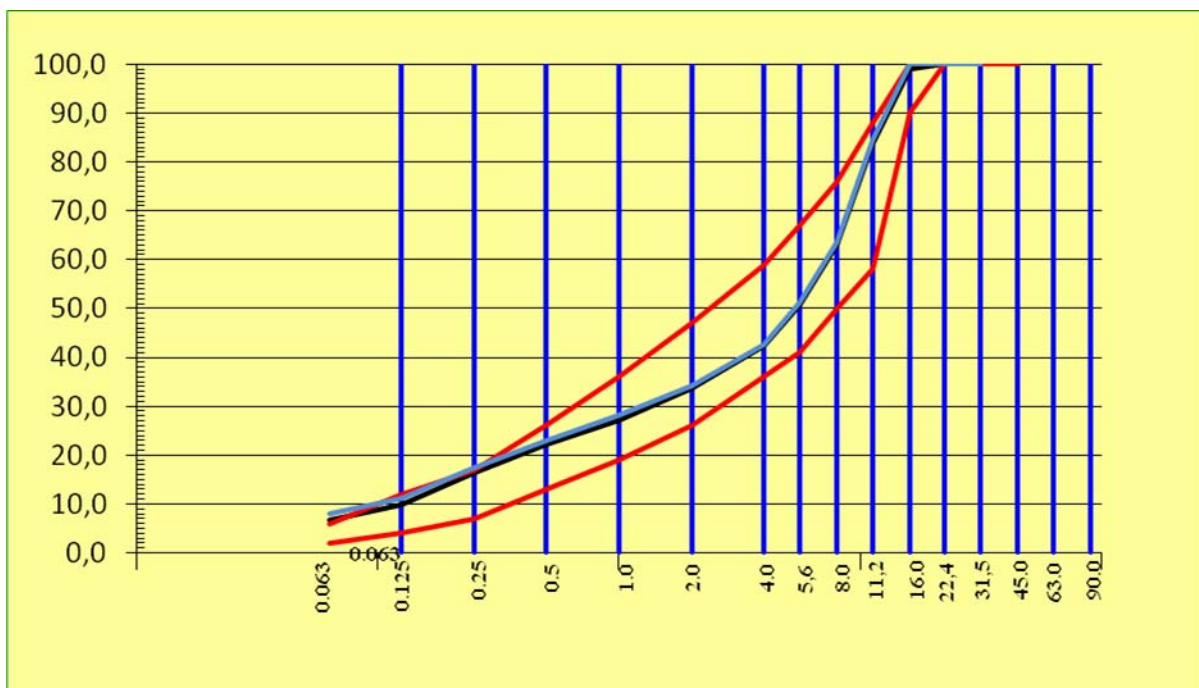
40. att. Asfaltbetona AC 16 base/bin projekts ar 40% A7 RAP saturu

4.3.4.3. AC 16 base/bin maisījums ar A7 RAP saturu 50 %

30. tabula

Asfaltbetona recepte

Materiāls	Izcelsme	Frakcija	Daudzums (masa %)
Reciklētais asfalts	Salaspils	22.4 RA 0/11	47.95
Dolomīta šķembas	"Pērtņieki"	11/16	15.34
Dolomīta šķembas	"Pērtņieki"	8/11	0.00
Dolomīta šķembas	"Pērtņieki"	5/8	0.00
Dolomīta šķembas	"Pērtņieki"	2/5	7.67
Dolomīta atsijas	"Pērtņieki"	0/2	18.22
Smilts	"Pērtņieki"		6.71
Aizpildītājs	"Saulkane S"		0.00
Bitumens	"Orlen", Lietuva	70/100	4.10



Caursijātās daļiņas % projektā

0.0	6.7	9.9	16.3	22.0	27.2	33.6	42.4	50.6	63.0	83.7	99.1	100.0
-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------

Darba formula

8.0	11.1	17.5	23.0	28.1	34.1	42.5	51.3	63.6	84.7	100.0	100.0
-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------

Granulometriskā sastāva prasības atbilstoši „Ceļu specifikācijas 2014” 6.2.-43 tabulai

Max %	6	12	17	26	36	47	59	67	76	88	100	100
Min %	2	4	7	13	19	26	36	41	50	58	90	100

41. att. Asfaltbetona AC 16 base/bin projekts ar 50% A7 RAP saturu

4.3.5. Asfaltbetona maisījumu AC 16 base/bin ar dažādiem RAP saturiem pamatīpašības

Projektētajiem asfaltbetona sastāviem noteiktas fizikālās un mehāniskās pamatīpašības un izvērtēta atbilstība tehnisko noteikumu prasībām (sk. 31. tab.). Projektētā asfaltbetona ar Salaspils RAP saturu 40% rezultāti netiek ņemt vērā, pamatojoties uz lielu neatbilstību granulometriskā sastāva prasībām.

31. tabula

Asfaltbetona sastāvu AC 16 base/bin īpašības ar dažādiem RAP saturiem

Nosakāmais parametrs	Mērvienība	"Ceļu specifikācijas 2014" prasība	Salaspils RAP saturs			A7 RAP saturs		
			30%	40%	50%	30%	40%	50%
Bitumena saturs	%	4.1 (± 0.3)	3.96	3.64	4.26	4.25	4.28	4.26
Poru saturs	%	3 - 5 (± 1.0)	6.8	5.9	4.6	5.5	5.1	4.5
Ar bitumenu piepildīto poru daudzums	%	≤ 80	57.7	59.1	68.9	64.4	66.6	69.1
Minerālā karkasa porainība	%	≥ 14	16.1	14.5	14.7	15.5	15.2	14.7
Maršala stabilitāte	kN	>7.5	13.6	13.3	14.9	10.5	12.6	14.2
Maršala plūstamība	mm	1 - 4	2.89	3	3.46	1.66	2.25	2.86

- atbilst
 - neatbilst

Porainība ir gaisa tilpums starp pildvielas daļiņām, pārklātām ar bitumena saistvielu. Porainību nosaka saskaņā ar 5. formulu:

$$V_a = 100 \times \frac{\rho_{max} - \rho_{rtip}}{\rho_{max}} \quad (5)$$

kur V_a – Maršala parauga porainība, tilpuma %;

ρ_{rtip} – asfaltbetona Maršala parauga tilpumblīvums (ar porām), g/cm³;

ρ_{max} – asfaltbetona maisījuma maksimālais blīvums (bez porām), g/cm³.

Minerālā karkasa porainība sastāv no gaispildītām porām un neabsorbētas bitumena saistvielas. To nosaka saskaņā ar formulu:

$$VMA = 100 \times \frac{\rho_{rtip} - P_2}{\rho_{min}} \quad (6)$$

kur VMA – minerālā karkasa porainība, tilpuma %;

P_2 – minerālmateriāla daudzums asfaltbetona maisījumā, masas %.

Ar bitumenu aizpildīto poru saturs raksturo minerālā karkasa aizpildījuma pakāpi ar porām un ir atkarīgs no porainības, jo, samazinoties paliekošajai porainībai, palielinās ar bitumenu aizpildīto poru saturs. To nosaka saskaņā ar formulu:

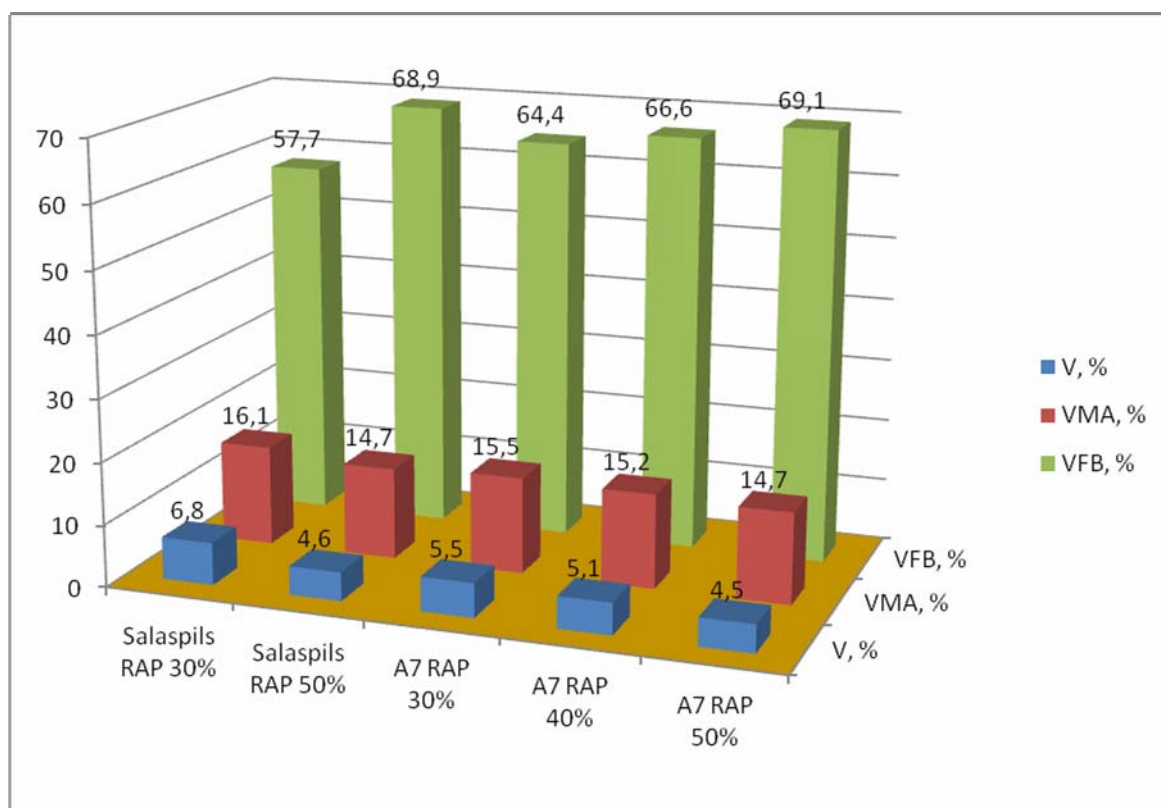
$$VFB = 100 \times \frac{VMA - V_a}{VMA} \quad (7)$$

kur VFB – ar bitumenu aizpildīto poru saturs, tilpuma %;

VMA – minerālā karkasa porainība, tilpuma %;

V_a – Maršala paraugu porainība, tilpuma %.

Analizējot uzprojektēto paraugu īpašības, tika konstatēts, ka tilpuma parametri testa paraugiem AC 16 base/bin vairumā gadījumu apmierināja tehnisko noteikumu prasības. No tehnisko noteikumu robežām, attiecībā uz poru saturu, izkrita AC 16 base/bin ar Salaspils RAP saturu 30%. Pie atbilstības izvērtējuma netiek apskatīts asfaltbetona maisījums ar Salaspils RAP saturu 40%, sakarā ar lielo neatbilstību granulometrijas prasībām. Asfaltbetonu sastāvu fizikālās īpašības apkopotas 42. attēlā.



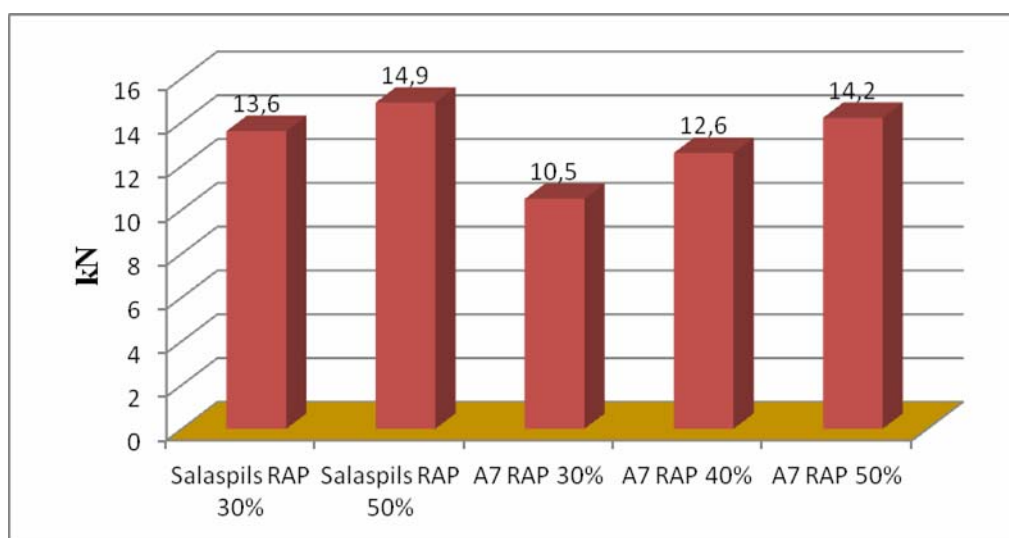
42. att. Asfaltbetonu sastāvu fizikālās īpašības

Ja tilpuma parametri ir ārpus maisījuma darba formulas vai specifikāciju prasībām, tad cēlonis ir jāatrod un jālabo. Piemēram, ja poru saturs ir pārāk zems un VMA ir zems, ir divas pieejas, ko izmēģināt, lai novērstu problēmu:

➤ Pirmkārt, jāveic minerālmateriālu granulometrijas korekcija, būtu jāpamēģina to pārvietot tālāk no maksimālā blīvuma līnijas. Tas var būt saistīts ar smalko vai rupjo minerālmateriālu palielināšanu, vienlaikus mēģinot saglabāt granulometriju atbilstoši specifikācijas prasībām;

➤ Otrkārt, bitumena saistvielas daudzumu, ko izmanto maisījumā var samazināt, palielinot VMA un gaisa poras. Ja gaisa poras ir augstas un VMA poras ir zemas, būtu jāapsver nedaudz palielināt bitumena saturu un pielāgot minerālmateriālu kopējo granulometriju.[4;5]

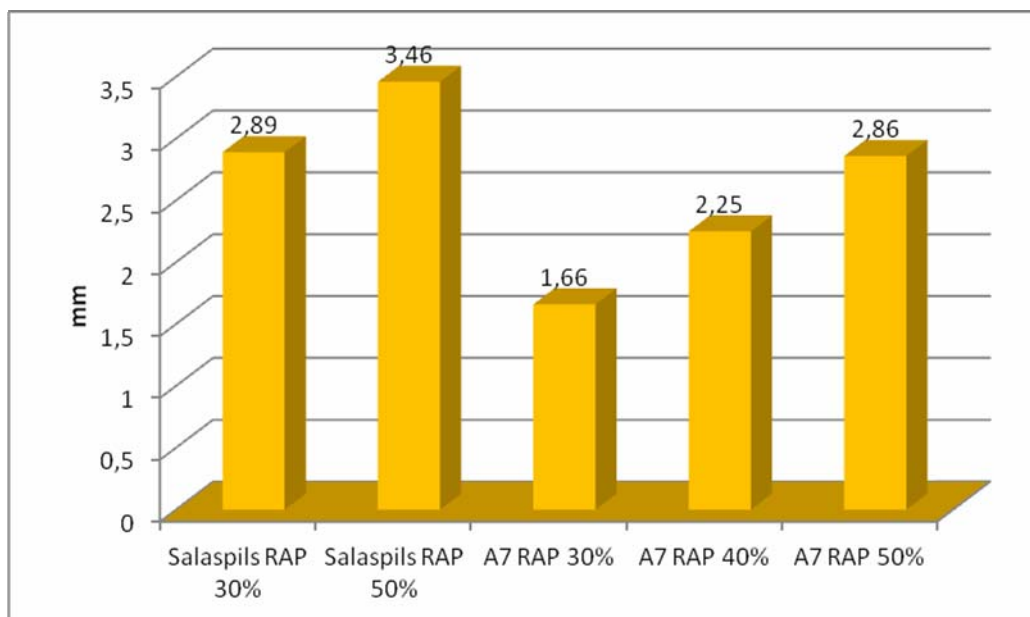
43. un 44. attēlā apkopotas testa paraugu mehāniskās īpašības: paraugu spiedes stiprība zem statiskā slogojuma 60 °C temperatūrā (Maršala stabilitāte sk. 43. att.) un deformācija sabrukšanas brīdī (Maršala plūstamība) pie paraugu sablīvējumiem ar optimālu bitumena saistvielas saturu (sk. 22. tab.). Salīdzinot iegūtos rezultātus, redzams, ka asfaltbetona paraugam ar A7 RAP saturu 30% ir nedaudz mazāka Maršala stabilitāte, salīdzinot ar citiem asfaltbetona sastāviem. Tomēr, visu testa paraugu mehāniskās īpašības atbilst „Ceļu specifikācijas 2014” prasībām.



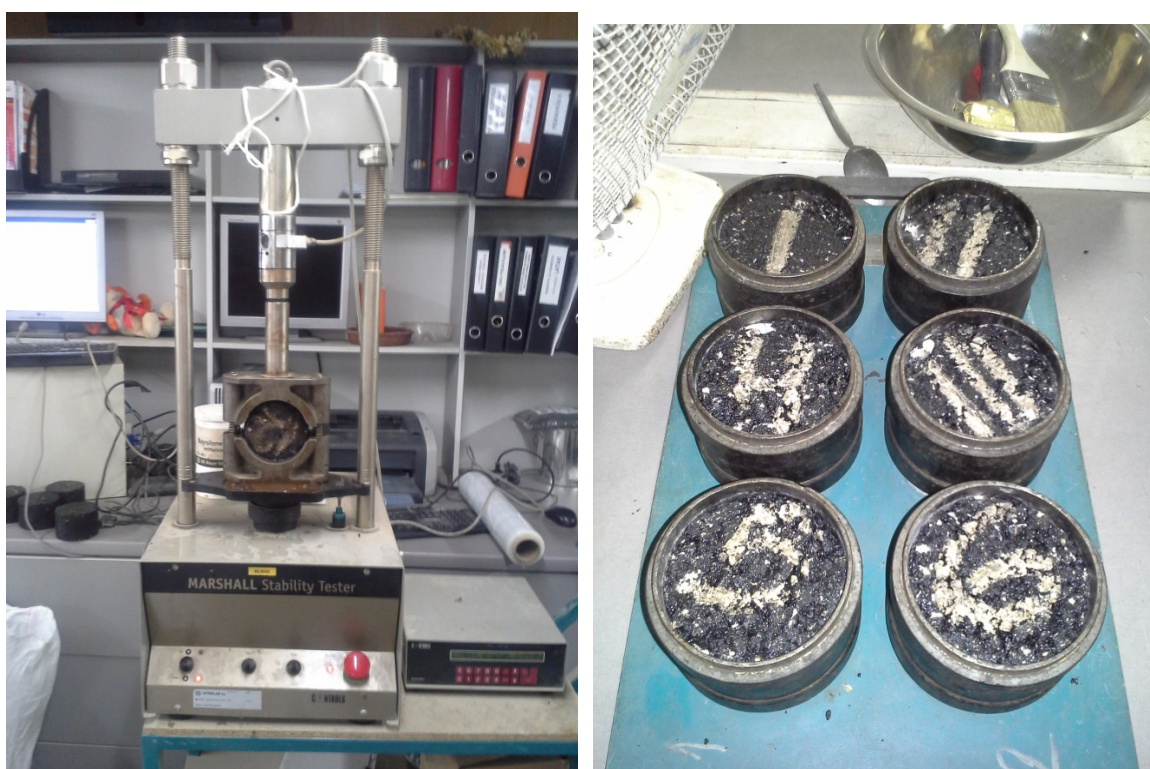
43. att. Asfaltbetona sastāvu mehāniskā īpašība: Maršala stabilitāte

Rezultāti parāda, ka Maršala stabilitāte pakāpeniski pieaug, pieaugot RAP saturam asfaltbetona sastāvā, neatkarīgi no RAP materiāla. Maisījumiem ar Salaspils un A7 RAP saturu M.-50%, ir vislabākie rezultāti, un tie ir līdzīgi.

To pašu mēs redzam attiecībā uz Maršala plūstamības rādītājiem, kas pakāpeniski pieaug, pieaugot RAP saturam asfaltbetona sastāvā, neatkarīgi no RAP materiāla.



44. att. Asfaltbetona sastāvu mehāniskā īpašība: Maršala plūstamība



45. att. Maršala stabilitātes un plūstamības testēšana pēc LVS EN 12697-34

4.4. Asfaltbetona maisījuma parauga deformatīvo īpašību eksperimentālā pārbaude

4.4.1. Risu noturība

Kā galvenais rādītājs asfalta segas pretestībai pastāvīgo deformāciju veidošanās procesam ir rišu veidošanās ātrums (WTS_{air}). Riteņu sliežu veidošanās tests (*Wheel Tracking Test*), atbilst standarta testēšanas metodei pēc LVS EN 12697-22.

Riteņu sliežu veidošanās tests ir Eiropā izplatītākā un saskaņā ar LVS EN 12697-22 standartizētā testēšanas metode rišu noturības noteikšanai laboratorijas apstākļos. Asfaltbetona deformatīvo noturību nosaka prizmveida asfaltbetona paraugiem, izgatavotiem saskaņā ar standartu LVS EN 12697-33, pakļaujot tos 700 N lielai kustīgā riteņa cikliskai slodzei ar ātrumu 26,5 cikli minūtē, pārbaudes ilgums ir 20 000 cikli. Testējamā parauga izmēri ir 305×305 mm, biezums – 40–100 mm. Testēšanu veic 40–60 °C temperatūrā. Riteņa iespiešanās dziļumu nosaka ar LVDT pārvietojuma indikatoru. Rezultātā tiek iegūts grafiks: ciklu skaits - paliekošā deformācija (sk. 53. att.). Analizējot iegūtos rezultātus, aprēķinām deformācijas ātrumu WTS_{air} un nosakām to atbilstību tehnisko noteikumu prasībām.[3] Asfaltbetonu deformācijas ātrumi ir reglamentēti „Ceļu specifikācijas 2014” prasībās. 32. tabulā apkopoti izstrādāto asfaltbetonu maisījumu sastāvu WTS_{air} rādītāji.

32. tabula

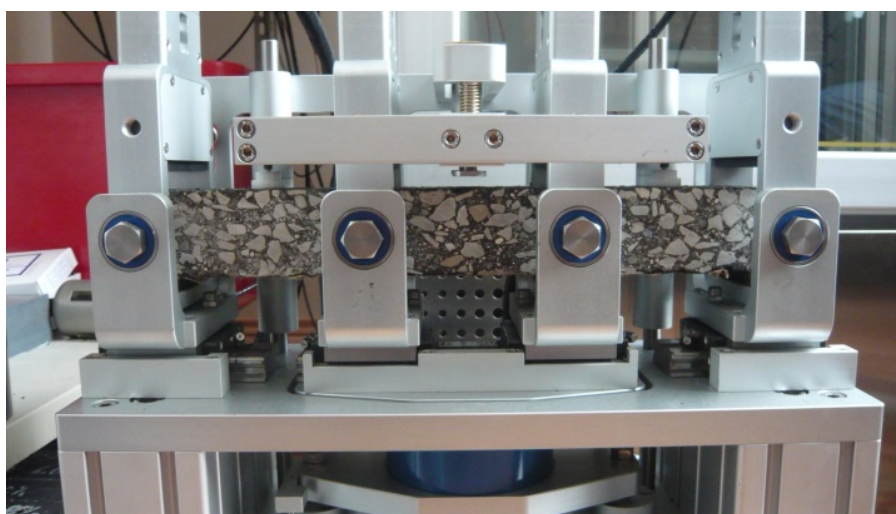
Izstrādāto asfaltbetonu maisījumu deformācijas ātrumi

Maisījuma tips	Maksimālā saskaņā ar LVS EN 13108-1 WTS_{air} kategorija (mm/1000 složošanas cikli)	Faktiskā WTS_{air} kategorija (mm/1000 složošanas cikli)	„Ceļu specifikācijas 2014” prasības. Maksimālais riteņa sliedes slīpums mm uz 10^3 slodzes ciklu					Risu dziļums, (mm)
			AADT < 500	AADT < 501 - 1500	AADT < 1501 - 3500	AADT < 3501 - 5000	AADT > 5000	
Salaspils RAP 30%	1.00	0.04	1.0	0.8	0.5	0.3	0.1	1.8
A7 RAP 30%		0.06						2.5
A7 RAP40%		0.06						2.0
A7 RAP50%		0.08						2.9

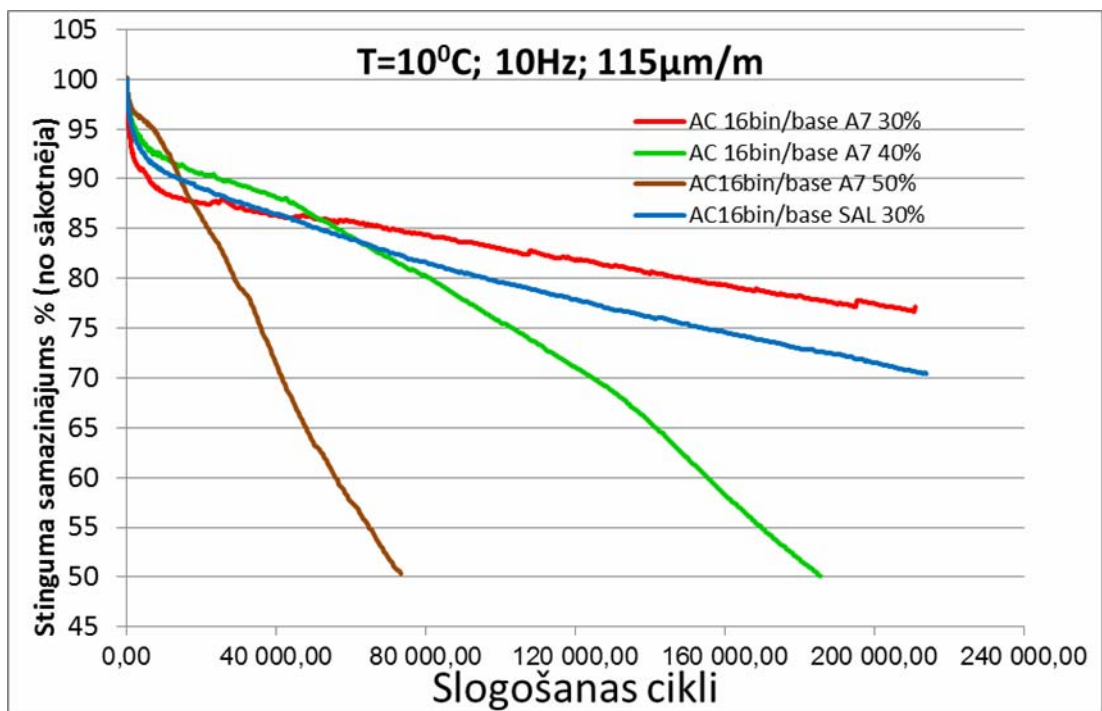
Kā redzams 32. tabulā, deformācijas ātrumi visiem izstrādātajiem asfaltbetona maisījumiem parāda ļoti labus rezultātus. Ar šādiem labiem risu noturības rādītājiem, visi maisījumi ir piemēroti ieklāšanai uz intensīvi slogotiem ceļiem, kur intensitāte AADT > 3500. Protams, risu noturības tests nenodrošina asfaltbetona visu mehānisko īpašību atbilstību. RAP materiāla vecās saistvielas novecošanās ietekmē kopējās bitumena saistvielas stingumu. Stinga saistviela pozitīvi ietekmē risu noturības testu, bet problēmas var rasties nogurumplaisu izturībā.

4.4.2. Noturība pret noguruma plaisu veidošanos

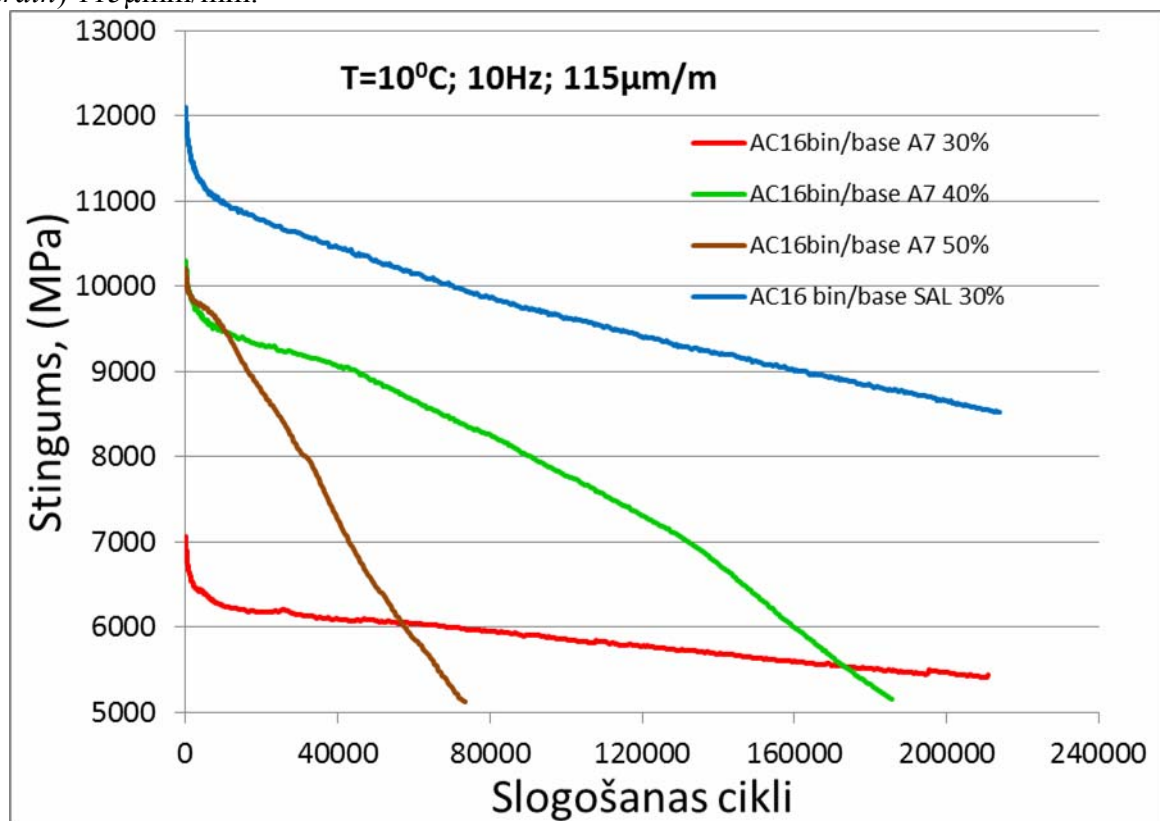
Asfaltbetona sastāvu ar augstu RAP saturu nogurumizturības pārbaudes veiktas ar četrpunktu lieces testēšanas metodi (sk. 46. att). Testēšana veikta 10Hz frekvencē, kas atbilst automobiļu braukšanas ātrumam 90km/st., 10°C pie sijas relatīvās izlieces (*micro strain*) 115µmm/mm un 130µmm/mm. Nogurumizturības kritērijs ir stinguma samazinājums < 50% cikliskās slodzes iespaidā ($0,2 \cdot 10^6 - 1,0 \cdot 10^6$ ciklos). Tas nozīmē, ka nogurumizturīgi ir tie sastāvi, kuriem pie izvēlētas (atkarībā no ceļa noslodzes) izlieces, frekvences, kā arī temperatūras stingums, testēšanas laikā, samazināsies līdz 50% no sākotnējās vērtības. 47. – 50. attēlos ir apkopoti nogurumizturības rezultāti. Asfaltbetona sastāvi AC 16base/bin ar 30% RAP no A7 un Salaspils iztur nogurumizturības testus 10°C, 10Hz un 115µmm/mm (sk. 47. - 48. att.). Tomēr palielinot relatīvo izlieci līdz 130µmm/mm, noguruma testu iztur tikai asfaltbetona sastāvi AC 16base/bin ar 30% RAP no A7 ceļa (sk.49. – 50. att.).



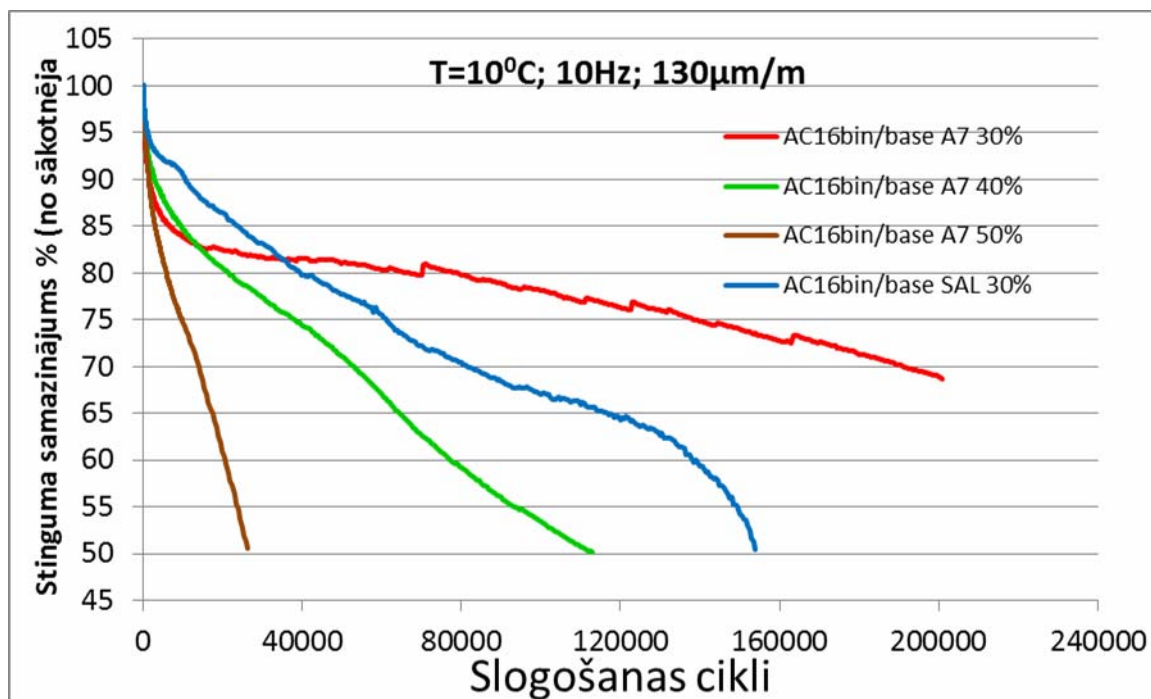
46. att. Četrpunktu lieces tests nogurumizturības un stinguma noteikšanai



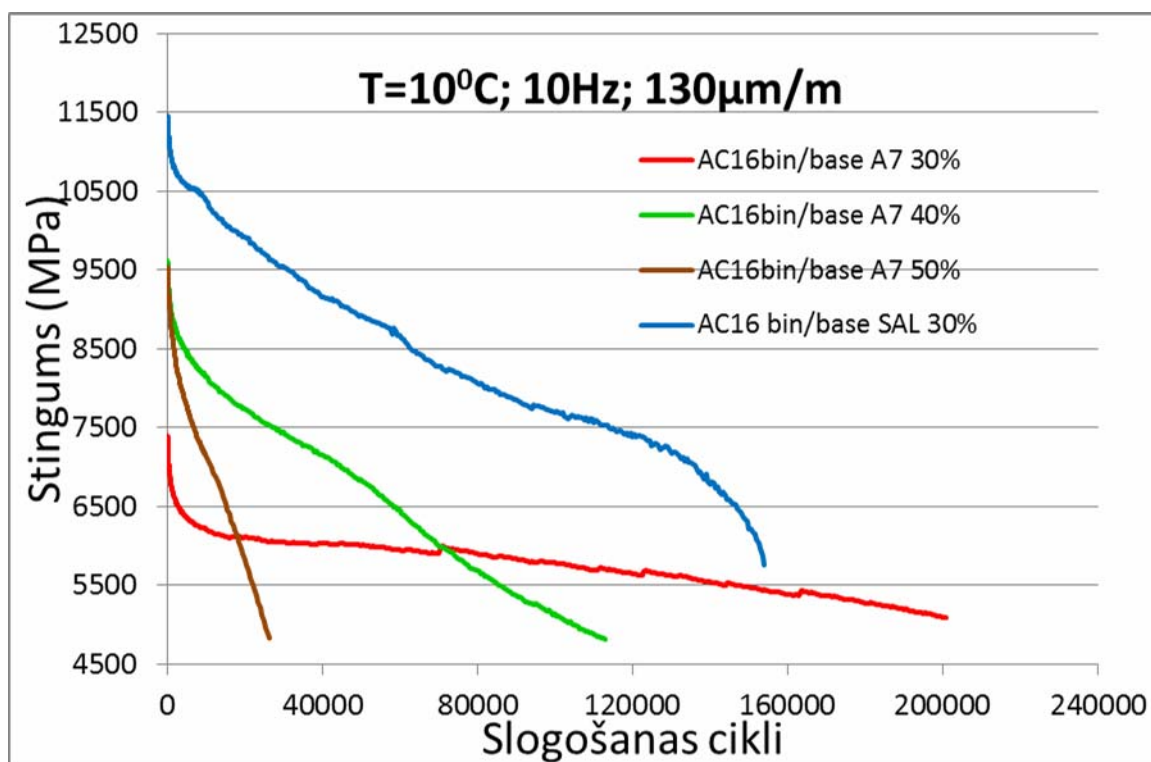
47. att. Stinguma samazinājums procentos (nogurumizturība) asfaltbetona sastāviem AC 16 base/bin ar reciklētā materiāla saturu no 30% līdz 50% pie šijas relatīvās izlieces (*micro strain*) 115µmm/mm.



48. att. Stinguma samazinājums MPa (nogurumizturība) asfaltbetona sastāviem AC 16 base/bin ar reciklētā materiāla saturu no 30% līdz 50% pie šijas relatīvās izlieces (*micro strain*) 115µmm/mm.



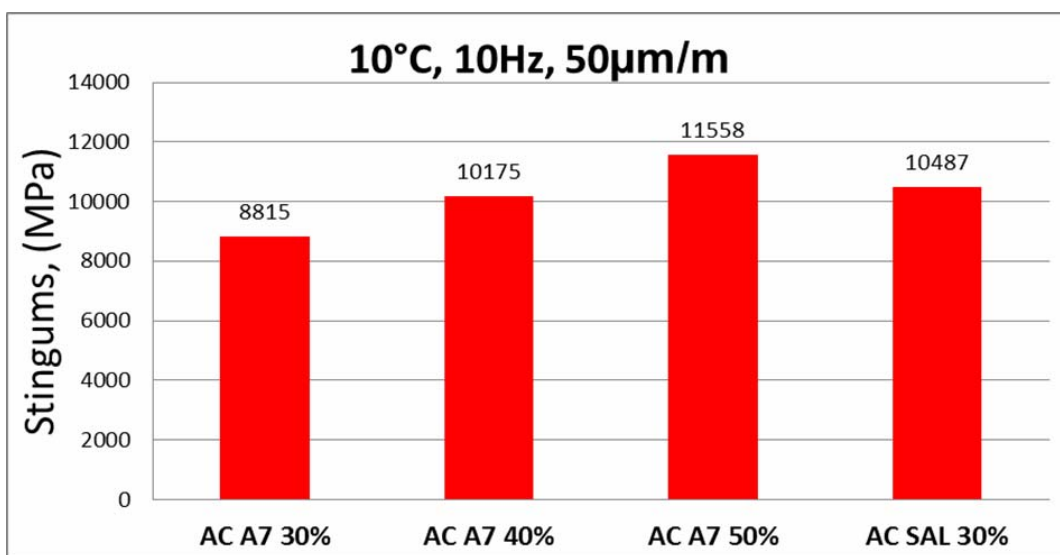
49. att. Stinguma samazinājums procentos (nogurumizturība) asfaltbetona sastāviem AC base/bin ar reciklētā materiāla saturu no 30% līdz 50% pie sijas relatīvās izlieces (*micro strain*) 130µmm/mm.



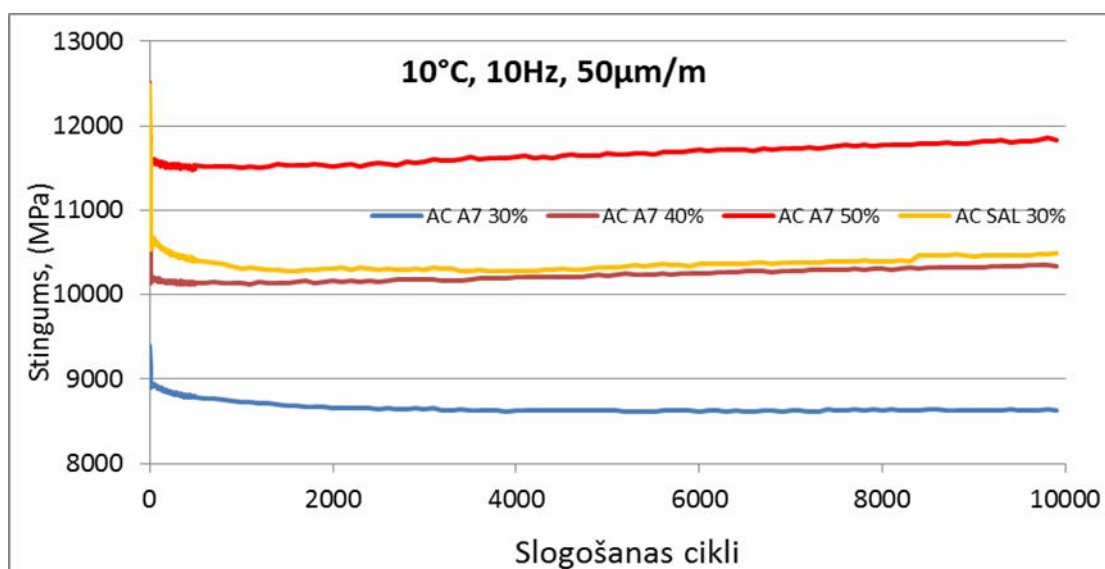
50. att. Stinguma samazinājums MPa (nogurumizturība) asfaltbetona sastāviem AC 16 base/bin ar reciklētā materiāla saturu no 30% līdz 50% pie sijas relatīvās izlieces (*micro strain*) 130µmm/mm.

4.4.3. Stingums

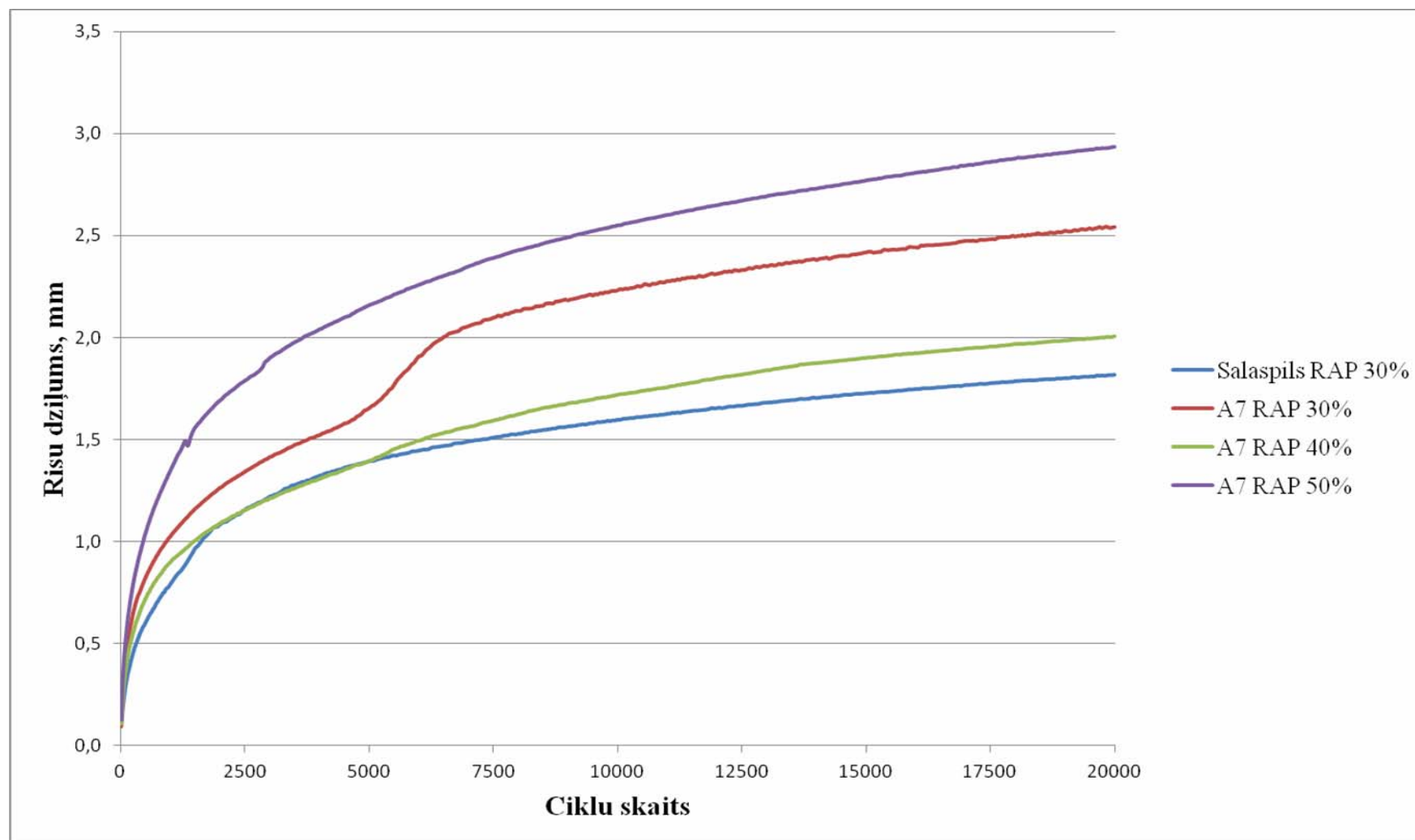
Stinguma pārbaudes veiktas ar četrpunktu lieces testēšanas metodi. Testēšana veikta 10Hz frekvencē, 10°C pie sijas relatīvās izlieces (*micro strain*) 50μmm/mm. 51. – 52. attēlos ir apkopoti stinguma rezultāti. Rezultāti rāda, ka, pieaugot RAP saturam, palielinās stingums. Lielākais stingums ir AC 16 base/bin sastāvam ar 50% RAP saturu no A7 ceļa, bet zemākais stingums ir šim sastāvam ar 30% RAP saturu. Otru augstāku rezultātu uzrāda AC 16 base/bin sastāvam ar 30% RAP saturu no Salaspils



51. att. Stingums asfaltbetona sastāviem AC 16 base/bin ar reciklētā materiāla saturu no 30% līdz 50% pie sijas relatīvās izlieces (*micro strain*) 50μmm/mm.



52. att. Stinguma izmaiņas dinamika testa laikā (10000ciklos) asfaltbetona sastāviem AC 16 bin/base ar reciklētā materiāla saturu no 30% līdz 50% pie sijas relatīvās izlieces (*micro strain*) 50μmm/mm.



53. att. Risu testa rezultāti

5. RAP RAŽOŠANAS UN IEKLĀŠANAS REKOMENDĀCIJAS

5.1. RAP materiāla izmantošana

RAP materiāla izmantošanas daudzumu jaunu HMA maisījumu ražošanā galvenokārt nosaka:

- specifیکāciju prasības (var atšķirties atkarībā no ceļa kategorijas un seguma kārtas);
- RAP materiāla īpašības:
 - ✓ bitumena saistvielas saturs;
 - ✓ bitumena saistvielas īpašības;
 - ✓ minerālmateriālu granulometrija;
 - ✓ minerālmateriālu īpašības.
- RAP materiāla viendabīgums;
- asfaltbetona maisījumu rūpnīcas tips un aprīkojums.

Lai izmantotu HMA maisījumos lielāku procentuālo daudzumu RAP, var būt nepieciešams sadrupināt un fracionēt RAP atsevišķās kaudzēs, lielās un mazās frakcijās. RAP fracionēšana dod lielāku kontroli ražojot HMA maisījumus, apmierinot tilpuma īpašības, kuras nosaka dažādas specifیکācijas.

5.2. Asfaltbetonu maisījumu rūpnīcas

Latvijā ir sastopamas tikai partijas maisījuma rūpnīcas (*Batch plants*). Partijas maisījuma rūpnīcās RAP materiālu galvenokārt:

- uzkaršē periodiski vai nepārtraukti ar karstiem minerālmateriāliem;
- uzkaršē kopā ar minerālmateriāliem;
- uzkaršē atsevišķās iekārtās

RAP materiāla pievienošanas tehnoloģija ietekmē maksimālo RAP materiāla saturu jaunajā HMA maisījumā.

5.2.1 Periodiska RAP materiāla pievienošana (Pagaidām aktuāli Latvijā)

RAP materiāls tiek padots uz mikseri caur aukstās dozācijas bunkuru un minerālmateriālu svēršanas iekārtu vai caur atsevišķu partijas dozatoru. RAP materiāla uzkaršēšana notiek mikserī, kopā ar karstajiem minerālmateriāliem.

HMA maisījuma temperatūras robežvērtības, kas noteiktas specifikācijās, nedrīkst būt zemākas. Rezultātā nepieciešama minerālmateriālu papildus uzkaršēšana, lai uzkaršētu RAP materiālu, tas nozīmē, ka minerālmateriāliem jābūt uzkaršētiem atbilstoši augstākā temperatūrā. Mitrumam ko satur RAP materiāls, jābūt iztvaikojošam. Liels RAP materiāla mitruma saturs var negatīvi ietekmēt HMA maisījuma kvalitāti. Ūdens tvaiki, kas rodas no mitrā RAP materiāla var ietekmēt jauno minerālmateriālu aplipšanu ar bitumena saistvielu.

Šādā veidā parasti pievieno ne vairāk par 30 M.-% RAP materiāla. Šis apjoms ir noteikts no mitruma satura RAP materiālā, kā arī nepieciešamās minerālmateriālu temperatūras, lai nodrošinātu kvalitatīvu HMA maisījumu. Kad karstums tiek nodots no karstajiem minerālmateriāliem uz reciklēto asfaltbetonu, mitrums, ko tas satur iztvaiko. Rezultātā strauji tiek radīti ūdens tvaiki, kurus jānovada ar atsūkšanas ierīcēm. Karstos minerālmateriālus vispirms sajauc ar RAP materiālu, lai izvairītos no jaunās bitumena saistvielas sacietēšanas. Pēc tam, kad karstums no minerālmateriāliem žāvēšanas un uzkaršēšanas laikā ir izkliedēts RAP materiālā, tiek pievienota jaunā bitumena saistviela.

5.2.2 RAP materiāla nepārtraukta pievienošana

RAP materiāla uzkaršēšana ar karstajiem minerālmateriāliem, pievienojot RAP:

- izejā no žāvēšanas cilindra vai karsto minerālmateriālu elevatorā;
- pievienošana žāvēšanas cilindrā – caur centrālo pievienošanas sistēmu (middle ring) ;
- pievienošana caur žāvēšanas cilindra priekšējo sienu, degļa pusē.
- gar vibrācijas sietiem „bypass”

Ar žāvēšanas cilindru, kas darbojas saskaņā ar pretplūsmas principu, RAP materiāls var tikt pievienots caur centrālo barošanas sistēmu vai caur žāvēšanas cilindra priekšējo sienu degļa pusē. Šajā gadījumā RAP materiāls ir uzkaršēts kopā ar minerālmateriāliem. Abos procesos var pievienot apmēram līdz 40 M.-% RAP. RAP materiāls tiek pievienots nepārtraukti mazākās partijās, samazinot pēkšņu masveida ūdens tvaiku rašanos. Pievienošanas daudzums RAP materiālam tiek kontrolēts caur lentas dozatoru.

Karstā sijāšana maisījumiem, kas sastāv no minerālmateriāliem un RAP materiāla radītu aizķepēšanu sietiem, kas tādejādi izslēdz pievienošanas daudzumu lielāku par 10 M.-%. Maisījums tādejādi tiek virzīts gar vibrācijas sietiem. Granulometriskais sastāvs rezultējošam minerālmateriālu maisījumam tiek noteikts vienīgi caur minerālmateriāla un RAP materiāla viendabīguma, kā arī nosakot aukstās dozācijas vērtības. Turpmāka korekcija vairs nav iespējama.

5.2.3 RAP materiāla uzkaršana atsevišķās iekārtās (2 žāvēšanas cilindri)

Paralēlie cilindri ir izrādījušies ļoti efektīvi, kur RAP materiāls var tikt uzkaršēts atsevišķi. Šādā gadījumā RAP var pievienot līdz pat 80 M.-%, ražojot asfaltbetona saistes kārtas. Ražojot asfaltbetona apakškārtas maisījumus RAP var saturēt līdz pat 100 M.-%. Šī procesa laikā RAP materiāls tiek uzkaršēts līdz maksimālai temperatūrai 130°C, lai saglabātu bitumena saistvielu un ierobežotu emisiju. Pievienojot lielu apjomu RAP materiālu, palielinās tā ietekme uz jaunā HMA maisījuma sastāvu, tāpēc ir īpaši svarīgi, lai RAP materiāls atbilstu paredzētajiem mērķiem, attiecībā uz HMA maisījumu sastāvu un viendabīgumu.

5.3 RAP materiāls

RAP materiālu vispirms izvērtē pēc tā avota. RAP materiālu raksturo daudz mainīgo, piemēram, asfaltbetona seguma vecums, iegūšanas tehnoloģija, iegūšanas vieta utt. Ir valstis, kurās atbildīgās institūcijas pieprasa, ka RAP, kas izmantots HMA maisījumā, nāk no attiecīgā projekta būvniecības stadijā, tādejādi iespējama atbildīgās institūcijas lielāka kontrole pār saražoto asfaltbetona maisījumu.

Vācijā par vienu no parametriem izmanto viendabīgumu, lai noteiktu RAP maksimālo pievienošanas daudzumu HMA maisījumam. *TL Asphalt-StB 07* nosaka pieļaujamās atkāpes atkarībā no attiecīgā asfaltbetona maisījuma tipa, norāda maksimālo pieļaujamo diapazonu raksturlielumiem. Maksimālo RAP izmantošanas daudzumu var noteikt arī grafiski. Tāpat tiek noteikta iespējamā reciklētā asfaltbetona pievienošana jauna HMA maisījuma ražošanā, atkarībā no reciklētā asfaltbetona maisījuma tipa.

5.4 Galvenie ietekmējošie faktori

- ✓ RAP bitumena saistvielas stingums nosaka jaunās saistvielas klasi, kas vajadzīga, lai saražotu maisījumu ar plānotajām bitumena saistvielas īpašībām. Ja RAP materiāla saturs ir ļoti augsts, tad pārāk mīksta jaunās bitumena saistvielas klase var radīt problēmas ar jauno un veco bitumenu sajaukšanos. Rezultējošā bitumena saistvielas klase, kas rezultātā ir ļoti mīksta var ietekmēt asfaltbetona mehāniskās īpašības, agrīnajā ceļa seguma sniegunā;
- ✓ RAP materiāla granulometrija var saturēt pārāk daudz materiāla, kas iziet caur 0.063 mm sietu. Rezultātā ietekmējot drošo, noteikto procentuālo daudzumu RAP materiālam HMA

maisījumā. Optimālākai RAP materiāla izmantošanai, vairumā gadījumu RAP materiālu nepieciešams fracionēt. To darot, RAP materiālu var pielāgot dažādām asfaltbetona granulometrijas īpašībām.

Protams pastāv arī citi jautājumi, kā, piemēram, RAP materiāla viendabīguma īpašības, HMA maisījumu rūpnīcu ierobežojumi, RAP materiāla mitruma saturs. Visi parametri var ietekmēt kvalitatīvu HMA maisījumu ar RAP, negatīvi pasliktinot maisījuma fizikālās un mehāniskās īpašības.

Sakarā ar asfalta augsto cenu, ir laiks pārskatīt specifikācijas, kuras var nepamatoti ierobežot RAP materiāla izmantošanu. Būvniecības industrijai nepieciešams sadarboties ar dažādām institūcijām, lai nodrošinātu maisījumu kvalitāti, kas ražoti ar RAP un strādāt pie sniegumu testiem, kas ļaus ātri izvērtēt svarīgus snieguma rādītājus, nepaļaujoties tikai uz specifikācijām maisījuma izstrādē un projektēšanā.

HMA maisījuma ražotājiem būtu jānorāda, ka izmantojot RAP materiālu jaunu HMA maisījumu ražošanā, drīkst izmantot tikai Latvijas Valsts autoceļu materiālu. Šādā veidā nodrošinot materiālu vienvērtīgumu saražotajiem HMA maisījumiem. Pagaidām vairumā Latvijas Valsts ceļu stāvoklis nav atbilstošs no kura iegūt un izmantot RAP materiālu. Protams, jau lielai daļai Latvijas Valsts autoceļu ir pienākusi kārta mainīt ceļa dilumkārtu, kas izbūvēta pilnā ceļa rekonstrukcijā pirms 10 – 15 gadiem. No šiem ceļiem iegūtais RAP materiāls nedrīkst tikt nelietderīgi izmantots citu ceļu segas konstrukcijas pastiprināšanā vai citiem mērķiem. Nav pamata uzskatīt, ka atgūtais RAP materiāls no šiem ceļu seguma atjaunošanas projektiem būtu nepiemērots jaunu HMA maisījumu ražošanā. Latvijas Valsts ceļu attīstība notiek ļoti strauji un šādi seguma atjaunošanas projekti būs aizvien vairāk, rezultātā būvniekiem jāsāk praktizēties HMA maisījumu ražošanā ar RAP materiālu.

6. RAP EKONOMISKAIS NOVĒRTĒJUMS

6.1. RAP materiāla vērtība

RAP ir ļoti vērtīgs resurss HMA maisījumu ražošanā. Tas satur gan bitumenu, gan minerālmateriālus. Kad HMA maisījumu ražošanā tiek izmantots RAP materiāls, tas aizstāj abus vērtīgos avotus, ietaupot bitumenu un minerālmateriālus.

Ietaupījumi būs atkarīgi no:

- ✓ Jaunās saistvielas cenas;
- ✓ Projektētā saistvielas daudzuma maisījumā;
- ✓ Minerālmateriālu cenas;
- ✓ RAP materiāla vērtības;
- ✓ Saistvielas satura RAP materiāla;
- ✓ RAP materiāla pievienotā daudzuma maisījumā.

Noteikt izmaksu samazinājumu no RAP izmantošanas ir samērā vienkārši. Vispirms nosaka RAP materiāla vērtību, kā piemērā.

Pieņemu: RAP materiāla bitumena saturs 5%
Jauna bitumena cena €450/ton
Jaunu minerālmateriālu cena €12/ton

RAP materiāla vērtība

Bitumena saistvielas vērtība RAP materiālā = €450 x 0,05 = €22,5/ton

Minerālmateriālu vērtība RAP materiālā = €12 x 0,95 = €11,4/ton

Kopējā RAP materiāla vērtība = €33,9/ton

6.2 Izmaksas

Šeit var būt ļoti daudz izmaksu, kas saistītas ar RAP izmantošanu, atkarībā no izmantotā RAP daudzuma, kas tiek izmantots maisījumā. Tipiskās izmaksas tiek saistītas ar RAP materiāla iegūšanu un pārstrādi. Šeit var būt ļoti daudz citu izmaksu, it īpaši ja nepieciešams pilnveidot asfaltbetona ražotni. Izmaksas, kas tiek saistītas ar RAP materiāla iegūšanu un pārstrādi:

Piemērs:

RAP materiāla vērtība = €33,9/ton

RAP cena (pērkot)	= - €1,5/ton
Papildus iekārtu izmaksas	= - €1,0/ton
Transporta izmaksas	= - €3,0/ton
RAP materiāla apstrādes izmaksas	= - €5,0/ton
Papildus kvalitātes kontroles izmaksas	= - <u>€0,5/ton</u>
Kopējie ietaupījumi	= - €22,9/ton
10 procenti RAP maisījumā ietaupa €2,29 uz katru tonnu	
20 procenti RAP maisījumā ietaupa €4,58 uz katru tonnu	
30 procenti RAP maisījumā ietaupa €6,87 uz katru tonnu	
40 procenti RAP maisījumā ietaupa €9,16 uz katru tonnu	

Ietaupījumi no RAP izmantošanas HMA maisījumu ražošanā var tikt aprēķināti, pieņemot ietaupījumus no samazinātā jaunā bitumena satura un minerālmateriāliem, atņemot izmaksas, kas saistītas ar RAP atgūšanu un pārstrādi, lai to pilnvērtīgi izmantotu. Sekojošā tabula var tikt izmantota, lai noteiktu neto ietaupījumus no RAP izmantošanas HMA maisījumu ražošanā. Šī metode apskata atsevišķi izmaksas smalkajiem un rupjajiem minerālmateriāliem, pieņemot, ka RAP materiāls papildus fracionēts divās kaudzēs, lai varētu izmantot lielāku RAP saturu. Ja tikai viena RAP kaudze tiek izmantota, tad aprēķinā izmanto tikai vienu minerālmateriālu komponenti.

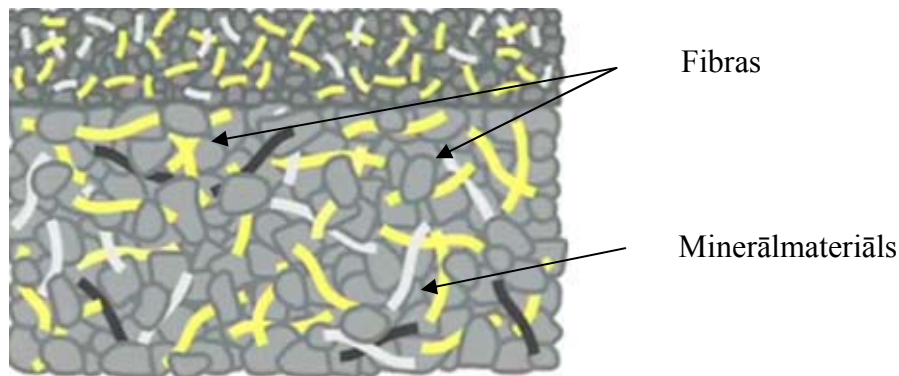
Piemērs: Maisījumā tiek izmantots 25% RAP, kuram ir 5% bitumena saistviela. Mīkstākas klases bitumens ir nepieciešams šim maisījumam. Standarta klases bitumena cena ir €400/ton, klasi mīkstāka bitumena cena ir €450/ton.

6.3 Izmaksas

A	Ietaupījumi no bitumena saistvielas: Jauna bitumena cena €/ton (€400) x AC % saturs RAP (5) x % RAP saturs maisījumā (25)	uz tonnu €5,00
B	Ietaupījumi no smalkā minerālmateriāla: Jauna smalkā minerālmateriāla cena €/ton (€12) x % smalkais minerālmateriāls maisījumā (50) x % RAP saturs maisījumā (0.00)	€ 0,00
C	Ietaupījumi no rupjā minerālmateriāla: Jauna rupjā minerālmateriāla cena €/ton (€15) x % rupjais minerālmateriāls maisījumā (95) x % RAP saturs maisījumā (25)	€ 3,56
D	KOPĒJIE IETAUPIJUMI (A+B+C)	€ 8,56
E	Daudz zemākas RAP iegādes izmaksas (ietver kravas transporta izmaksas): Iegādes izmaksas €/ton (€2,00) x % RAP saturs maisījumā (25)	€ 0,50
F	Daudz zemākas papildus pārstrādes un drupināšanas izmaksas: Pārstrādes un drupināšanas izmaksas €/ton (€3,00) x % RAP saturs maisījumā (25)	€ 0,75
G	Dažādas daudz zemākas papildus izmaksas: Papildus izmaksas €/ton (€0) x % RAP saturs maisījumā ()	€ 0,00
H	Daudz augstākas izmaksas, kas saistītas ar bitumenu klases maiņu, ja RAP saturs maisījumā augsts: [Nomainītā bitumena izmaksas €/ton (€450) - standarta bitumena izmaksas €/ton (€400)] x % jaunā bitumena saistviela maisījumā (3,75)	€ 1,88
I	NETO IETAUPIJUMI UZ KATRU ASFALTBETONA TONNU (D - E, F, G, H)	€ 5,42

7. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA (FIBROASFALTBETONI)

7.1. Fibroasfaltbetoni



54. att. Shematiska fibroasfaltbetonu struktūra

Fibroasfaltbetons ir tāds asfaltbetons, kura sastāvā ir pievienotas cita materiāla, piemēram, stikla šķiedras, polipropilēna, neilona, bazalta, un citu materiālu, un kombināciju, fibras. Fibrai jeb šķiedrai piemīt plāna, diegam līdzīga struktūra, kas veidota no dabīgas vai sintētiskas izcelsmes materiāliem. Fibras plaši tiek pielietotas dažādos betona sastāvos, uzlabojot to īpašības. Meklējot līdzības starp betonu un asfaltbetonu, pasaulē tiek veikti eksperimenti un pētījumi asfaltbetonu sastāvu uzlabošanai.

Asfalta uzlabošana stiegrojot, saņem ievērojamu uzmanību kā dzīvotspējīgs risinājums, lai uzlabotu seguma elastīgo darbību. Šis tehnoloģijas iesākums ceļu būves industrijā galvenokārt tika mudināts nepietiekama tradicionālo ceļu būvmateriālu aizsardzība pret dramatisko pieaugumu un izmaiņu satiksmes struktūrā. Arvien vairāk tiek veidotas dažādas asfalta modifikācijas un viens no tādiem veidiem ir fibru pielietošana. Ideja par fibru lietošanu, lai uzlabotu materiālu īpašības, nav jauna, modernie atklājumi par stiegrošanu ar fibrām tika aizsākti sešdesmito gadu vidū ar pretrunīgu viedokli par fibru lietderīgumu un efektivitāti. Dažāda veida fibras un fibru materiāli tika ieviesti, un to klāsts tikai palielinās ar jauniem materiāliem, piemēram, poliesters, azbests, stikls, polipropilēns, ogleklis, celuloze un citi. Galvenās fibru funkcijas bituminētajos maisījumos ir nodrošināt papildu stiepes stiprību rezultējošajā kompozītmateriālā un palielināt deformācijas enerģijas absorbciju bituminētajā maisījumā, lai kavētu plaisu veidošanos, kas samazina ceļa seguma struktūras vienotību. Fibru pielietošanas ideja tika balstīta uz pieņēmumu, ja asfaltbetons ir izturīgs pret spiedi, bet vājš pret stiepes spriegumiem, tad stiegrojums varētu nodrošināt nepieciešamo izturību [23].

Pēdējos gados pētījumi tiek veltīti, lai modificētu bitumena īpašības un uzlabotu seguma elastīgās īpašības. Dažāda veida fibru pielietošana ir izdevīgs karstā asfaltbetona modifikators. Protams, pielietojot šāda veida modifikatorus, palielinās sākotnējās izmaksas, tāpat tie var palielināt risu noturību, tādā veidā samazinot atjaunošanas un uzturēšanas izmaksas. Asfaltbetons ir nozīmīgs būvmateriāls ceļu būvniecībā jau ilgu laiku, tomēr rūpniecības attīstība un automobiļu industrijas pieaugums palielina pieprasījumu pēc kvalitatīviem ceļiem. Asfaltbetonam ir jāspēj uzņemt prognozēto satiksmes slodzi un to akumulēt visa kalpošanas perioda laikā. Kad apkārtējās vides iedarbība tiek kombinēta ar satiksmes slodzi, rodas bojājumi, piemēram, rises temperatūras ietekmē, noguruma plaisas un citi bojājumi, ir cēlonis straujam asfaltbetona struktūras sabrukumam [24]. Viens no veidiem kā uzlabot asfaltbetona struktūru ir polimērmodificēto bitumenu pielietošana, tomēr šajā darbā apskatu otru asfalta struktūras uzlabošanas veidu, proti, pievienojot sastāvam dažāda veida fibras.

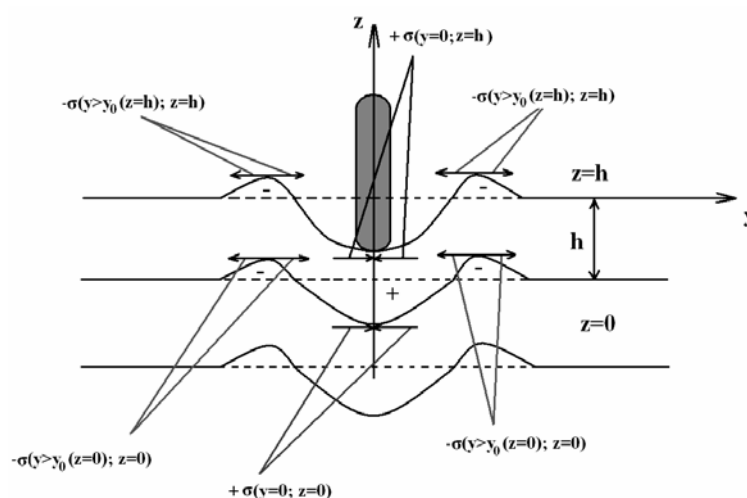
Celulozes šķiedras tiek izmantotas, galvenokārt, šķembu mastikas asfalta (SMA) sastāvā, lai samazinātu bitumena aizplūšanu no maisījuma. Savukārt sintētiskais materiāls tiek izmantots, lai uzlabotu asfaltbetona mehāniskās īpašības.

Pasaulē un nu jau arī Latvijā tiek ražoti fibrobetoni, kas uzrāda būtisku īpašību uzlabojumu salīdzinājumā ar parastu betonu. Šķiedras spēj uzņemt stiepes spēku materiāla sēšanās laikā, tās mazina ūdens izdalīšanos un nodrošina hidratācijas kontroli, tādejādi mazinot iekšējās slodzes. Pateicoties tam, samazinās plaisu rašanās iespējās. Fibrobetonam piemīt labāka saķere, augstākas sala izturības īpašības, palielinās triecienizturība, jo materiāls ir plastiskāks, kā arī nodilumizturība var palielināties līdz 30% [25]. Tā kā fibras betonā uzrāda būtiskus materiāla ekspluatācijas īpašību uzlabojumus, līdzīgs efekts tiek gaidīts, pievienojot fibras asfaltbetonam.

Pastāv divi veidi kā pastiprināt asfaltbetonu ar fibru palīdzību. Viena no metodēm ir orientēta pastiprinošo materiālu lietošana - ģeosintētisko materiālu (ģeotekstils, ģeorežģis, u.c.) starpslāņu izveidošana. Otra, mazāk pazīstama metode, ir neorientēta, haotiski iestrādātas dažādu materiālu fibras. Ne tikai fibru īpašības (diametrs, garums un virsmas tekstūra), bet arī iestrādes tehnoloģija ietekmē asfaltbetona īpašības. Protams, ja fibras ir pārāk garas, tas var izraisīt tā saucamo „kamola” problēmu – daļa no fibrām saveļas kopā un fibras netiek pietiekami sajauktas ar asfaltbetonu. Līdzīgā veidā arī pārāk īsas fibras nespēj nodrošināt nepieciešamo efektu, tās asfaltbetona maisījumā kalpo kā dārga piedeva, taču nepilda stiegrojuma funkcijas. Galvenokārt fibras palielina viskoelastību, dinamisko moduli, mitruma uzņēmību, risu noturību un sasalšanas – atkuššanas izturību, kā arī samazina

reflektīvo plaisu veidošanos asfaltbetona segumā. Ir svarīgi pielietot pareizu fibru iestrādes metodi. Izšķir divu veidu fibru iestrādes metodes: mitrais un sausais vietrādes process. Mitrajā procesā fibras tiek iemaisītas asfaltbetonā, iepriekš pievienojot sastāvam bitumena saistvielu. Sausā procesa laikā fibras tiek pievienotas sausai minerālmateriālu masai pirms bitumena saistvielas pievienošanas. Pētījumu rezultātā tika secināts, ka stabilitātes pieaugums ir novērojams abos fibru pievienošanas veidos. Pētījumu rezultātā optimālākais 3mm garu polipropilēna fibru daudzums asfaltbetonā sastāda 3% no kopējās masas. Citu pētījumu rezultātā optimālākais fibru daudzums bijis 5% no kopējās asfaltbetona masas. Kopumā par labāku tiek uzskatīts sausais fibru pievienošanas process. Eksperimentāli sausais process ir vienkāršāks un tiek panākta labāka un vienmērīgāka fibru izkliede minerālajā maisījumā. Fibras asfaltbetonā neizkūst, un tāpēc nav īpašās nepieciešamības vai priekšrocības, lai tiktu lietots mitrais process. Tomēr fibroasfaltbetona ražotāji lielākoties strādā, izmantojot mitro procesu, tādā veidā fibras uzreiz tiek iestrādātas gatavā asfaltbetona maisījumā, turklāt tiek samazināts „kamola” veidošanās efekts [26].

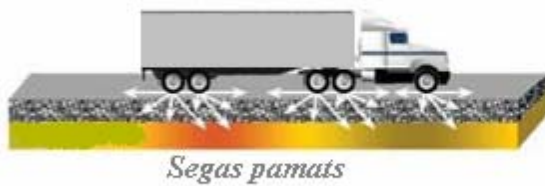
Stiegras asfaltbetona īpašību uzlabošanai un regulēšanai izmanto kopš pagājušā gadsimta sākumā [7]. Sākotnēji stiegras (azbesta) izmantoja bitumena stabilizācijai, nepieļaujot to izplūdi augstā ekspluatācijas temperatūrā, kā arī pildvielu segregācijas minimizēšanai. No 1950. gada stiegras sāka izmantot karstā asfaltbetona seguma (HMA – hot mix asphalt concrete) spiedes un stiepes spriegumu palielināšanai (pārlika stiepe var veicināt strukturālo rišu un noguruma plaisu veidošanos (sk. 55. att.), rezultātā uzlabojot asfaltbetona ekspluatācijas īpašības augstās un zemās temperatūrās pie lielas transporta slodzes. [8].



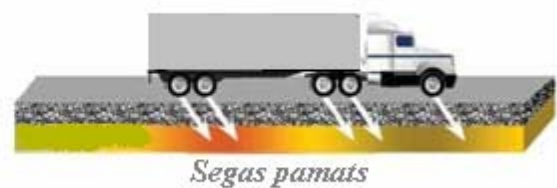
55. att. Spiedes un stiepes spriegumi asfaltbetona slāņos transporta slodzes ietekmē.

Svarīgi atzīmēt, ka stiegrojošās piedevas nodrošina vienmērīgu trīsdimensionālu (3D) slodzes sadalījumu, kas samazina rišu un noguruma plaisu veidošanās riskus (sk. 56. att.).

a)



b)



56. att. Transporta slodzes sadalījums stiegotā segumā (a) un nestiegotā segumā (b)

Asfaltbetona salizturība un novecošanās intensitāte ir atkarīga no bitumena saistvielas satura, jo lielāks bitumena daudzums, jo labākas ekspluatācijas īpašības zemā temperatūrā, tomēr liels bitumena daudzums palielina risu veidošanas risku. Tāpēc stiegras ne tikai uzlabo mehāniskās īpašības, bet, minimizējot bitumena novecošanas intensitāti, uzlabo bitumena ķīmiskās īpašības (oksidācija) [9]. 1970. gada sakarā ar apkārtējās vides un cilvēka veselību saistītām problēmām zinātnieki pievērsa lielu uzmanību citu stiegrojošu piedevu tādu kā tērauda, poliestera, polipropilēna un minerālu izmantošanai asfaltbetona sastāvos [10-12]. Tā kā tērauda stiegras, saskaroties ar ūdeni, sāk korodēt, no 1980. gada līdz mūsdienām pētījumi ir vērši uz sintētisku (poliesters, polipropilēns) un minerālu stiegru izmantošanu asfaltbetona ekspluatācijas īpašību uzlabošanai [12]. Konstatēts, ka poliestera stiegras uzlabo asfaltbetona izturību pret ūdens ietekmi [12]. Stiegru ietekme uz asfaltbetona īpašībām ir atkarīga ne tikai no stiegru izcelsmes un īpašībām, bet arī no izvēlētas asfaltbetona struktūras. Šķembu mastikas asfaltbetona (SMA) struktūrā šķiedras stabilizē lielo bitumena daudzumu, kurš atrodas tukšumos starp rupjām pildvielas daļiņām, tādā veidā uzlabojot gala produkta – fibroasfaltbetona ekspluatācijas īpašības. Savukārt blīvā asfaltbetona (AC) struktūrā stiegras aktīvi piedalās strukturveidošanā, stabilizējot un stiegrojot visu asfaltbetona struktūru [13,14].

7.2. Fibru veidi

Fibras asfaltbetonā tiek pievienotas kā armējoša, atsevišķos gadījumos arī modificējoša piedeva. Pievienojot asfaltbetonam fibras, uzlabojas materiāla noturība, elastība, kā arī risu noturība, salīdzinot ar tāda paša sastāva asfaltbetonu bez fibrām. Asfaltbetona īpašības ir atkarīgas no pievienoto fibru materiāla, fibru ģeometriskajiem izmēriem, kā arī fibru daudzuma maisījumā. Pasaulē tiek veikti ļoti daudz pētījumu, ar domu uzlabot asfaltbetona sastāvu, izmantojot ne visai tradicionālus, bet pieejamus materiālus asfaltbetona ražošanai.

Nolietotas automašīnu riepas, PET pudeles, stikls, dažāda veida dabīgas šķiedras, piemēram, celuloze, kokoss, lins, un citi materiāli, kurus pārstrādājot iespējams uzlabot asfaltbetona īpašības. Izgatavojot piedevas asfaltbetonam no otrreizējiem materiāliem, tiek nedaudz uzlabota atkritumu utilizācijas problēma, kas mūsdienu pasaulē ir ļoti aktuāla.

7.2.1 Azbests



58. att. Azbesta fibras

33. tabula

Azbesta fizikālās īpašības [27]

Īpašība	Mērvienība	
Blīvums	kg/m ³	2 200 – 3 600
Elastības modulis	kN/mm ²	160 - 190
Stiepes stiprība	MPa	140 - 350
Kušanas temperatūra	°C	1 180 – 1 500

20. gadsimtā azbests bija plaši pazīstams kā jumta seguma materiāls, arī azbesta fibras kopā ar bitumenu tika lietotas jumta segumu veidošanai, tika veikti pētījumi un ar laiku azbesta fibras sāka pievienot asfaltbetonam. Iemesls azbesta pievienošanai asfaltbetonam bija papildus stiprības un noturības iegūšana, turklāt asfaltbetons bija kļuvis karstumizturīgāks. Azbests asfaltbetonā lielākoties tika izmantots ziemeļu reģionos, kur par kaisāmo materiālu plaši tika izmatots sāls. Tā kā sāls bojā asfaltēto segumu virsmas, tad azbests tika izmantots kā līdzeklis, lai uzlabotu asfaltbetona stiprību veidojot stiegrotu segumu. [28]. Veicot sagraušanas testu, labākas īpašības uzrāda asfaltbetona maisījums ar fibrām gan pie augstām, gan pie zemām temperatūrām. Turklāt izmantojot azbesta fibras varēja veidot asfaltbetona maisījumus ar palielinātu saistvielas daudzumu maisījumā (līdz 2% vairāk saistvielas nekā

parastā asfaltbetonā) bez būtiskiem asfaltbetona stiprības samazinājumiem. Tika veikti pētījumi uz risu noturību, arī šī īpašība būtiski uzlabojās [29].

Kopš tika atklāta azbesta negatīvā ietekme uz cilvēka veselību, šis materiāls vairs netiek izmantots ne ceļu, ne ēku būvniecībā. Kopumā azbests uzrāda labas īpašības asfaltbetona sastāvā, bet tā kaitīgā ietekme uz cilvēka veselību nepieļauj šāda materiāla izmantošanu, tāpēc nākas meklēt jaunus materiālus un veidus, kā uzlabot asfaltbetona īpašības.

7.2.2 Tērauds



59. att. Tērauda fibras

34. tabula

Tērauda fizikālās īpašības [30]

Īpašība	Mērvienība	
Blīvums	kg/m ³	7 600 – 7 900
Elastības modulis	kN/mm ²	200 000 – 215 000
Stiepes stiprība	MPa	350 – 2 200
Kušanas temperatūra	°C	1 300 – 1 500

1970. gados tika atklāta azbesta negatīvā ietekme uz cilvēku veselību, tad veica mēģinājumus ievietot asfaltbetonā tērauda fibras. Tērauds labi darbojas kā stiegrojošais elements betonā, tāpēc veica mēģinājumus pievienot asfaltbetona sastāvam tērauda fibras. Tās uzrādīja ļoti labu pretestību stiepes spriegumiem, tomēr tērauda korozija, mitruma ietekmē, sagrāva šo efektivitāti. Tāpēc vairāk pievērsās sintētisku un minerālu šķiedru izpētei un iespējamībai pievienot tās asfaltbetonu sastāviem uzlabojot tā īpašības [29].

Betona un asfaltbetona stiegrošanai pārsvarā tiek izmantoti metāla sieti un armatūras. Lai ievietotu konstrukcijā nepieciešamo stiegrojumu, to iepriekš ir jāizveido noteiktā formā un izmēros, lai konstrukcija spētu uzņemt projektētās slodzes. 2013. gadā tika publicēts patents, kura galvenā ideja ir pievienot asfaltbetona, betona vai plastmasas sastāvam smalkas no 0.005 līdz 0.2 mm diametra fibras, kuru garums apmēram 40 mm, panākot, ka kompozītmateriāls ir izturīgs pret stiepes un spiedes spriegumiem, lai nebūtu jālieto tradicionālos stiegrošanas materiālus (armatūras un sietus) [31].

7.2.3 Celuloze



60. att. Celulozes fibras

35. tabula

Celulozes īpašības [32]

Īpašība	Mērvienība	
Blīvums	kg/m ³	1 200 – 1 500
Elastības modulis	kN/mm ²	4 000 – 128 000
Stiepes stiprība	MPa	220 - 1 500
Kušanas temperatūra	°C	

Celulozes fibras jeb šķiedras tiek pievienotas šķembu mastikas asfalta (SMA) sastāvam. Galvenais šīs piedevas uzdevums ir saistīties ar bitumenu un neļaut tam aizplūst prom no maisījuma. Ja SMA asfaltam netiek pievienota celuloze, tas pievienotais bitumens nespēj saistīties ar šķembām, jo sastāvā ir pārāk maz smalko daļiņu, šķembas nav pilnībā klātas ar bitumenu, līdz ar to samazinās asfaltbetona adhēzija. Nesaistījies bitumens aizplūst no asfaltbetona, savukārt atlikušais saistvielas daudzums nespēj saturēt kopā maisījumā esošās šķembas. Pievienojot celulozes šķiedras, tās uzsūc „lieko” bitumenu un izveido vienmērīgāku bitumena kārtu uz minerālmateriāla virsmas. Tiek novērsta bitumena aizplūšana transportēšanas laikā, kā arī iestrādes un brīvēšanas laikā. Tomēr celuloze neuzlabo asfaltbetona maisījuma mehāniskās īpašības. Visu slodzi uzņem minerālais materiāls, celuloze kalpo kā piedeva, lai izveidotu nepieciešamo materiāla struktūru.

7.2.4 Polipropilēna fibras



61. att. Polipropilēna fibras

36. tabula

Polipropilēna fizikālās īpašības [30]

Īpašība	Mērvienība	
Blīvums	kg/m ³	890 - 910
Elastības modulis	kN/mm ²	900 – 1 550
Stiepes stiprība	MPa	27.6 – 41.4
Kušanas temperatūra	°C	-25 - -15

Polipropilēns ir sintētisks materiāls, un kā fibras tiek pievienots betona maisījumos, kas rada trīs dimensionālu stiegrojumu un uzlabo betona ilgmūžību un noturību. Ar laiku to sāk izmantot arī asfaltbetona maisījumos. Polipropilēna fibru izmantošana asfaltbetonā tika standartizēta Ohaio štata transporta departamentā (ODOT) Amerikas Savienotajās Valstīs. Par optimālo polipropilēna daudzumu šajā standartā norāda 2.7kg/t, bet proporcija var tikt palielināta, vai samazināta, lai sasniegtu nepieciešamās maisījuma īpašības [24]. Viena no polipropilēna fibru priekšrocībām ir salīdzinoši zema kušanas temperatūra – 162⁰C, kas ļauj fibrām salipt kopā ar pārējām asfaltbetona sastāvdaļām, veidojot vienotu matricu. [26].

Polipropilēna fibras var tikt pievienotas gan sausajā, gan mitrajā ražošanas procesā. Sausā procesa laikā minerālmateriāls tiek uzsildīts līdz 160-170⁰C, tad tiek pievienots nepieciešamais daudzums polipropilēna fibru. Šim maisījumam pievieno iepriekš uzsildītu bitumenu, un maisa apmēram divas minūtes.

Pētot dažādu polipropilēna procentuālā daudzumu asfaltbetona maisījuma sastāvā, labākas īpašības tiek sasniegtas, pievienojot 1% polipropilēna fibru no asfaltbetona kopējās masas. [24].

7.2.5 Stikla šķiedra



62. att. Stikla šķiedras fibras

37. tabula

Stikla šķiedras īpašības [30]

Īpašība	Mērvienība	
Blīvums	kg/m ³	2 200 – 2 800
Elastības modulis	kN/mm ²	61 000 – 110 000
Stiepes stiprība	MPa	31 - 177
Kušanas temperatūra	°C	450 – 1 600

Stikla šķiedrai piemīt vairākas labas īpašības attiecībā uz asfaltbetonu. Pirmkārt tā nedeg, bet kļūst mīksta pie 815⁰C, un tās stabilitāte samazinās ja temperatūra ir virs 315⁰C. Stikla šķiedra neuzsūc mitrumu, kas padara asfaltbetonu mitrumizturīgu, kas īpaši svarīgi ir asfaltbetona virskārtai, lai pasargātu ceļa segas nesošās kārtas no nelabvēlīgās ūdens iedarbības. Tomēr stikla šķiedra ir trausla un salīdzinoši jūtīga pret virsmas bojājumiem. Viena no ievērojamākajām stikla šķiedras īpašībām ir augsts elastības modulis, kas sasniedz 60014 MPa. Pievienojot asfaltbetona sastāvam stikla šķiedras fibras, tiek palielināta risu noturība augstas temperatūras apstākļos [24].

7.2.6 Bazalta šķiedra



63. att. Bazalta fibras

38. tabula

Bazalta īpašības [33]

Īpašība	Mērvienība	
Blīvums	kg/m ³	2 800 – 2 900
Elastības modulis	kN/mm ²	79 300 – 93 100
Stiepes stiprība	MPa	3 000 – 4 840
Kušanas temperatūra	°C	1 280

Krievijas autoceļiem ar lielāku intensitāti tiek izmantots fibroasfaltbetons, kas armēts ar bazalta šķiedru. 2002. gadā tika izstrādāti metodiskie norādījumi, fibroasfaltbetonu izmantošanai autoceļu remontam un būvniecībai. Kopš asfaltbetona maisījumam tiek pievienota dispersā armatūra jeb fibras, ir uzlabojušās stiprības un deformatīvās asfaltbetona segumu īpašības. Šie asfaltbetona maisījumi tiek mērķtiecīgi izmantoti augstāko kategoriju ceļiem Krievijā, kā arī autoceļos ar paaugstinātu smagā transporta intensitāti. Dispersiarmēto asfaltbetonu maisījumu izejvielām jāatbilst GOST 9128 [34]. Bazalta šķiedrai, kas izmantota asfaltbetona maisījumā jābūt 5-15 mm garai, mitrumā ne vairāk par 1%, kā arī nav pieļaujama salipšana vai kamolu veidošanās asfaltbetona maisījumā [35].

7.2.7 Neilons



64. att. Neilona fibras

39. tabula

Neilona īpašības [30]

Īpašība	Mērvienība	
Blīvums	kg/m ³	1 120 – 1 140
Elastības modulis	kN/mm ²	2 600 – 3 200
Stiepes stiprība	MPa	90 - 165
Kušanas temperatūra	0C	44 - 56

Brazīlijas inženieri 2014. gadā veica pētījumu par neilona, kas ir galvenā automašīnu riepu sastāvdaļa, otrreizēju izmantošanu, šoreiz asfaltbetona sastāvā. No nolietotajām riepām tiek iegūtas neilona fibras, kuras tiek pievienotas asfaltbetona sastāvam. Šajā pētījumā asfaltbetona sastāvam tika pievienots 1% neilona fibru, salīdzinot ar tāda paša sastāva asfaltbetonu bez fibrām, elastības modulis pieaug no 5000 MPa līdz 7908 MPa. Neilona fibras novērš asfaltbetona saistvielas aizplūšanu, kā arī uzlabo maisījuma stingrību. [36]

Neilona fibras tiek iegūtas, pārstrādājot nolietotus paklājus. Amerikā gada laikā tiek saražots 1 miljards kvadrātmetru jauna paklāja. Apmēram 70% tiek saražoti, lai aizvietotu nolietotos paklājus. Tiek meklēti risinājumi, lai atkārtoti izmantotu nolietotos paklājus. Viens no atrastajiem risinājumiem ir pievienot asfaltbetona, kā arī betona sastāviem fibras, kas tiek iegūtas paklāju pārstādes procesā [37]

7.2.8 Hibrīdais stiegrojums

Kiprā tika veikts eksperiments radot hibrīdu asfaltbetona stiegrojumu, pievienojot asfaltbetonam gan stiklašķiedras, gan polipropilēna fibras.

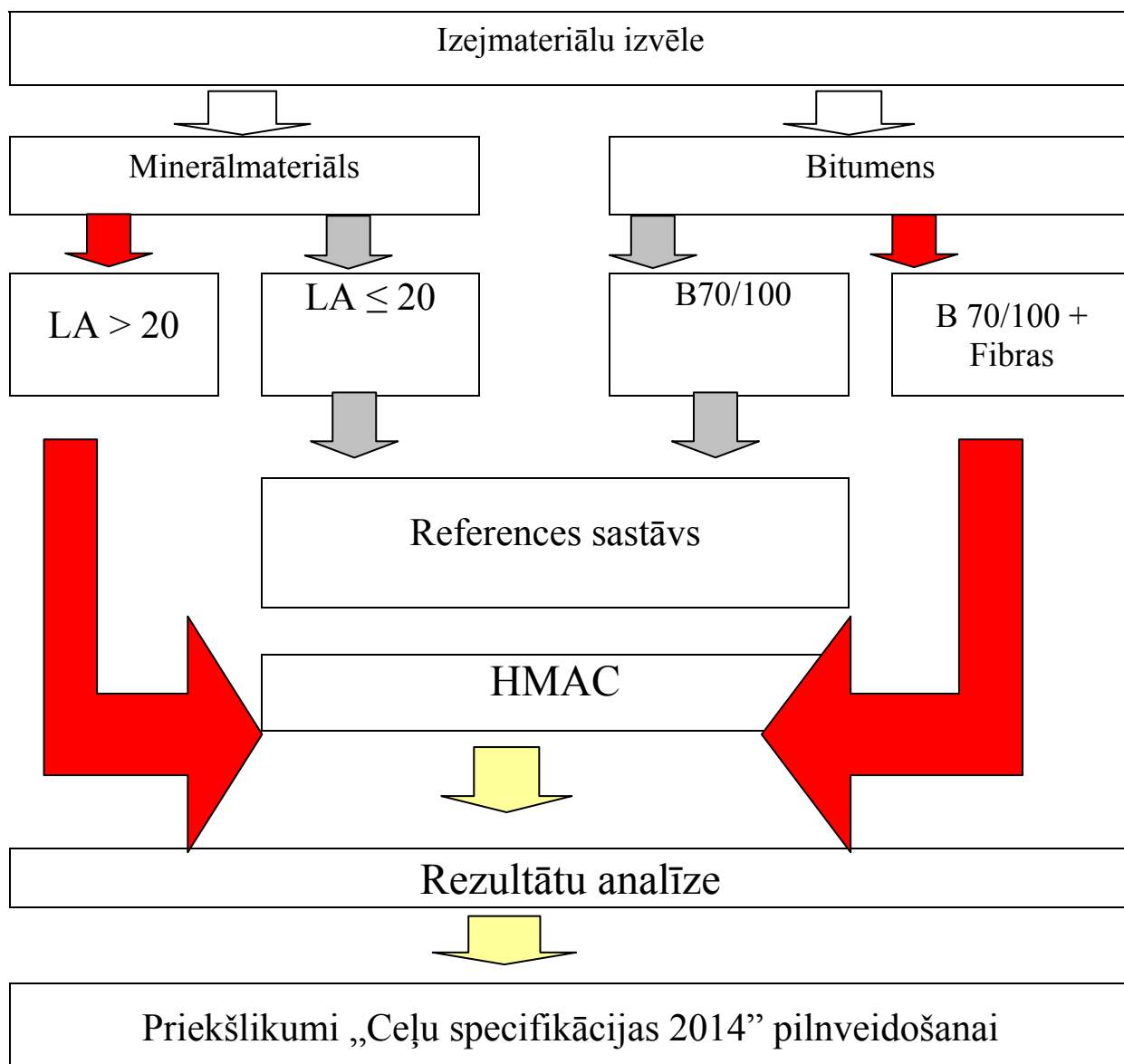
40. tabula

Lietoto fibru galvenās īpašības		
Īpašība	Polipropilēna fibras	Stiklašķiedras fibras
Blīvums, gr/cm ³	0.91	2.59
Stiepes stiprība	52.02	50.98
Pagarinājums, %	118.50	2.88
Elastības modulis, MPa	7.10	21.2

Šajā eksperimentā tika izmantotas polipropilēna un stikla šķiedras fibras ar garumu 12 mm, lai stiegtu asfaltbetona struktūru. Sausā maisīšanas procesa laikā maisījumam pievieno stiklašķiedras fibras, savukārt polipropilēna fibras tiek pievienotas mitrā procesa laikā. Tika izveidoti maisījumi ar dažāda veida polipropilēna un stiklašķiedras fibru sastāvu. Pēc iepriekšējiem pētījumiem tika izvēlēts polipropilēna fibru daudzums – 2%, 4%, 6% no kopējās bitumena masas un stiklašķiedras daudzums 0%, 0.05%, 0.1% un 0.2% no minerālmateriālu masas. Izveidojot visas iespējamās kombinācijas, tika izveidoti 12 maisījumi ar dažādu fibru, bet vienādu minerālmateriālu sastāvu, un salīdzinātas to īpašības. Palielinot polipropilēna fibru daudzumu bitumenā, palielinās stiprība, līdz ar to palielinās arī risu noturība.

Palielinot polipropilēna fibru daudzumu bitumenā, palielinās mīksttapšanas temperatūra, kas nodrošina lielāku izturību augstās temperatūrās, kad parastais bitumens kļuvis mīksts, un nespēj uzņemt satiksmes slodzi. [24]

7.3 Eksperimentālās daļas plāns



65. att. Eksperimentālās daļas plāns pētījuma 3. posmam

7.4 Dolomīta īpašības

7.4.1 Granulometrija

41. tabula

Minerālmateriālu granulometriskais sastāvs

Frakcija, d/D	Caur sietiem izgājušī masas procentuālā daļa												Kategorija LVS EN 13043
	22,4	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	
Dolomīta šķembas 11/16	100,0	97,6	18,2	0,9	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	G _C 90/20
Dolomīta šķembas 8/11	100,0	100,0	89,1	3,4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	G _C 85/15
Dolomīta šķembas 5/8	100,0	100,0	100,0	82,2	19,8	1,7	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	0,9	-
Dolomīta šķembas 2/5	100,0	100,0	100,0	100,0	99,5	70,2	14,2	2,8	1,9	1,8	1,7	1,4	G _C 90/15
Dolomīta atsijas 0/2	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,4	93,3	63,3	44,9	32,6	18,3	3,4	G _F 85

7.4.2 Minerālmateriāla fizikālās un mehāniskās īpašības

42. tabula

SIA „Pļaviņu DM” dolomīta fizikālās un mehāniskās īpašības

Nosākamais parametrs	Standarts	Rezultāts	„Ceļu specifikācijas 2014”		
			Prasība		Atbilstoši
			S-I	S-II	
Los Angeles koeficients (LA), %	LVS EN 1097-2	33	LA ₂₀	LA ₂₅	6.2-7 tabula
Smilts ekvivalents (SE), %	LVS EN 933-8	86	-	-	-
Nodilumizturība (AN), %	LVS EN 1097-9	21	-	-	6.2-7 tabula
Plūšanas koeficients (Ecs), sek	LVS EN 933-6	30,6	≥ 30		6.2-6 tabula
Ūdens absorbcija (WA), %	LVS EN 1097-6	2	≤ 1		6.2-7 tabula
Magnija sulfāta rādītājs (MS), %	LVS EN 1367-2	7	≤18	≤25	6.2-7 tabula
Metilēnzilā vērtība (MB), g/kg	LVS EN 933-9	0,5	≤10		6.2-10 tabula



- atbilst



- neatbilst

43.

tabula

Pildvielas frakciju plākšņainības indekss

Minerālmateriāla izmērs mm	Plākšņainības indekss FI	„Ceļu specifikācijas 2014”		
		Prasība		Atbilstoši
		S-VI; S-III	S-I; S-II	
2/5	12	≤ 30	≤ 20	6.2-7 tabula
8/11	5,7			
11/16	5			
16/20	3			



- atbilst



- neatbilst

7.4.3 Tradicionālo un HMAC asfaltbetona sastāvu minerālmateriālu īpašību salīdzinājums

44. tabula

Tradicionālo un HMAC asfaltbetona sastāvu īpašību salīdzinājums

Nosākamais parametrs	Standarts	Rezultāts				„Ceļu specifikācijas 2014”		Atbilstoši
		HMAC sastāvu		Tradicionālo sastāvu		Prasība		
		Plaviņu dolomīts	Grants	Granīts	Bazalts	S-I	S-II	
Los Angeles koeficients (LA), %	LVS EN 1097-2	33	26	18	18	LA ₂₀	LA ₂₅	6.2-7 tabula
Plākšņainības indekss, masas %	LVS EN 933 - 3	3-6	4	5	6	-	-	-
Nodilumizturība (AN), %	LVS EN 1097-9	21	-	12	10	-	-	6.2-7 tabula
Plūšanas koeficients (Ecs), sek	LVS EN 933-6	30,6	30,9	33	35	≥ 30		6.2-6 tabula
Ūdens absorbcija (WA), %	LVS EN 1097-6	2	1,8	0,9	0,8	≤ 1		6.2-7 tabula
Magnija sulfāta rādītājs (MS), %	LVS EN 1367-2	7	-	6	8	≤18	≤25	6.2-7 tabula
Metilēnzilā vērtība (MB), g/kg	LVS EN 933-9	0,5	0,5	0,6	0,7	≤10		6.2-10 tabula



- atbilst



- neatbilst

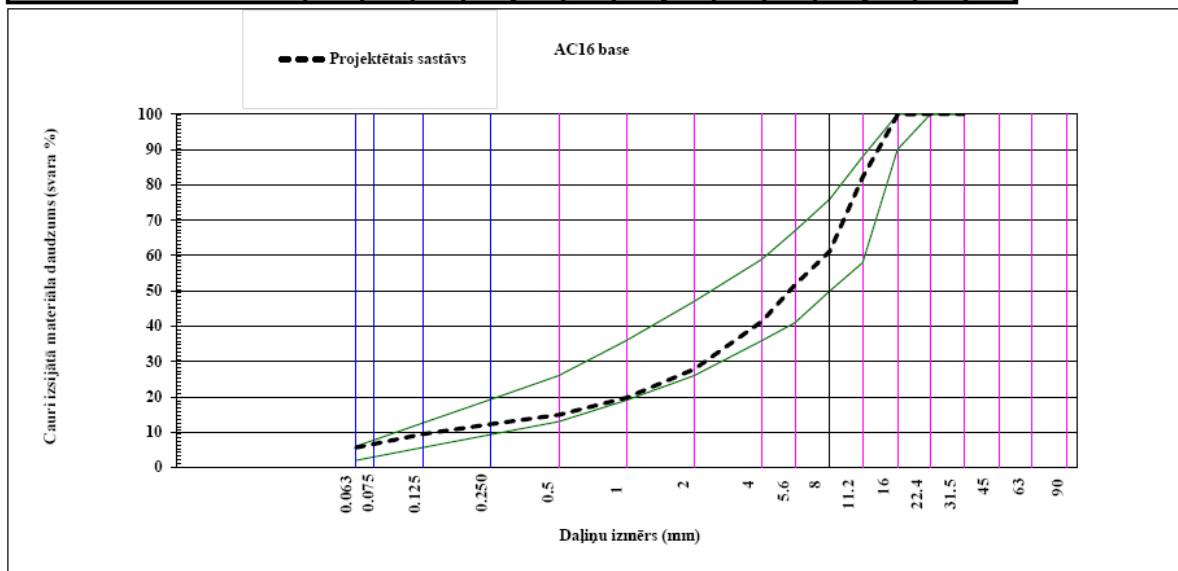
5.4.

7.4.4 Fibroasfaltbetona ar SIA „Pļaviņu dolomīts” šķembām granulometriskais sastāvs

Fibroasfaltbetona granulometriskā sastāva projekts ar SIA „Pļaviņu dolomīts” šķembām ir identisks HMAC – 4 sastāvam (sk. 66. att.)

Asfaltbetona sastāva projekšanas protokols
Asfaltbetona tips AC16 base

Sastāvdaļu materiāli	Saturs %	Atlikumi uz sietiem, %														Primārā dozācija		Protokola Nr.		
		<0.063	0.063	0.125	0.25	0.5	1.0	2.0	4	5.6	8	11.2	16	22.4	31.5	%	kg			
	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0		
11/16 Pļaviņas	100	1.20	0.2	0.1	0	0.1	0.2	0.1	0.2	0.8	38.10	58.4	0.6	0				30.3	300	
8/11 Pļaviņas	100	0.70	0	0	0	0.1	0	0.1	0.1	5.1	93	0.9	0	0				8.6	85	
5/8 Pļaviņas	100	1.00	0.1	0	0	0	0.1	0.3	14.1	69.9	14.5	0	0	0				12.1	120	
2/5 Pļaviņas	100	1.40	0.1	0	0.1	0.3	4.6	51.4	40.4	1.7	0	0	0.0	0.0				21	210	
0/2 Pļaviņas	100	14.5	13	10	9.6	17.3	25.5	9.6	0.5	0	0	0	0	0				28	275	
Minerālais pulveris 'Saulkalne S'	100	84.4	11.4	3.6	0.6	0.0	0.0	0	0	0	0	0	0	0				1.0	10	
KOPĀ	100.0																		990	
Atgūtais minerālmateriāls		(Aprēķināts atgūtais minerālmateriāls 3.2 %)														min mat.	0	0		
Bitumens																	0	0		
Piedeļa (% no bitumena)																				
Dalejie atlikumi		5.67	3.78	2.82	2.67	4.86	8.05	13.51	10.38	9.42	21.08	17.60	0.18	0.0	0.0					
Pilnie atlikumi		100.0	94.3	90.6	87.7	85.1	80.2	72.2	58.7	48.3	38.9	17.8	0.2	0.0	0.0					
		minerālo materiālu saturs, % kas mazāks par izmēriem																		
Projektētais sastāvs		5.67	9.4	12.3	14.9	19.8	27.8	41.3	51.7	61.1	82.2	99.8	100.0	100.0						
Rekomendējamais daudzums	max	6	12.67	19.33	26	36	47	59	67	76	88	100	100	100						
	min	2	5.667	9.333	13	19	26	36	41	50	58	90	100	100						



66.att. Fibroasfaltbetona sastāva ar SIA „Pļaviņu dolomīts” šķembām projekts

45. tabulā ir doti faktiskie fibroasfaltbetona granulometriskā sastāva rezultāti pēc ekstrakcijas

45. tabula

Fibroasfaltbetona granulometriskais sastāvs

Sietu izmērs mm	Maisījuma Nr. (bitumena daudzums, %)				Robežas	
	Ar FIBRĀM			Bez Fibrām		
	1	2	3	4	min	max.
	Causijātie graudi, %					
16		99,2		99,5	90	100
11,2	81,1	79,5	80,7	77,5	58	88
8	67,5	65,2	65,9	65,3	50	76
5,6	58,5	56	57,4	55,6	41	67
4	50,3	48,1	48,8	44,9	36	59
2	34,3	33,3	33,9	32,9	26	47
1	22,7	21,3	23,8	24,5	19	35
0,5	17,6	16,2	18,3	19,2	13	26
0,25	14,5	13,3	14,7	15,3	9,3	19,3
0,125	10,6	9,9	10,5	10,8	5,667	12,7
0,063	5,6	5,7	5,8	5,8	2	6

7.4.5 Bitumena īpašības

Šajā pētījuma etapā references maisījumam izvēlēts tradicionālais nemodificētais bitumens B 70/100, kuram noteiktas galvenās fizikālās, mehāniskās un fizikāli - ķīmiskās īpašības (sk. 46. tab.). Bitumens B 70/100 izvēlēts, jo Latvijā tas ir visplašāk pielietotais asfalta ražošanā.

46. tabula

Bitumena B 70/100 fizikālās, mehāniskās un fizikāli - ķīmiskās īpašības

Rādītājs	Rezultāts	Standarts
Penetrācija pie 25°C, dmm	75.9	LVS EN 1426
Mīkstēšanas temperatūra, °C	46.4	LVS EN 1427
Frasa trausluma temperatūra, °C	-22.0	LVS EN 12593
Kinematiskā viskozitāte pie 135°C, mm ² /s	432	LVS EN 12595
Dinamiskā viskozitāte pie 60°C, Pa·s	156	LVS EN 12596
Novecošanās īpašības ar RTFOT metodi saskaņā ar LVS EN 12607-1		
Masas izmaiņa, %	-0.05	LVS EN 12607-1
Paliekošā penetrācija, %	64.9	LVS EN 1426
Mīkstēšanas temperatūras palielinājums, °C	5.1	LVS EN 1427
Frasa trausluma temperatūra, °C	-20.0	LVS EN 12593

7.4.6 Fibroasfaltbetona sastāvu pamatīpašības

Analizējot fibroasfaltbetona sastāvu sablīvējumus, konstatēts, ka ar saistvielas saturiem 5,68% un 5,82% netika sasniegts tehniskām prasībām atbilstošs sablīvējums. Tomēr, palielinot bitumena daudzumu līdz 6,20%, tika sasniegts atbilstošs sablīvējums (sk. 47. tab.).

Bitumena B 70/100 fizikālās, mehāniskās un fizikāli - ķīmiskās īpašības

	Ar FIBRĀM			bez FIBRĀM
	5,8	6	6,2	6,2
Teorētiskais bit., daudzums	5,8	6	6,2	6,2
Tilpumbūvums, kg/m ³	2377	2385	2401	2422
Maksimālais blīvums, kg/m ³	2550	2547	2519	2527
Porainība V _m , %	6,8	6,4	4,7	4,2
VMA	20,3	20,3	19,7	19,4
VFB	66,5	68,4	76	78,2
Bitumena saturs, %	5,68	5,82	6,24	4,2
Ūdensjūtība, %			89	
Maršala stabilitāte un plūstamība, kN			13,7	



- atbilst



- neatbilst

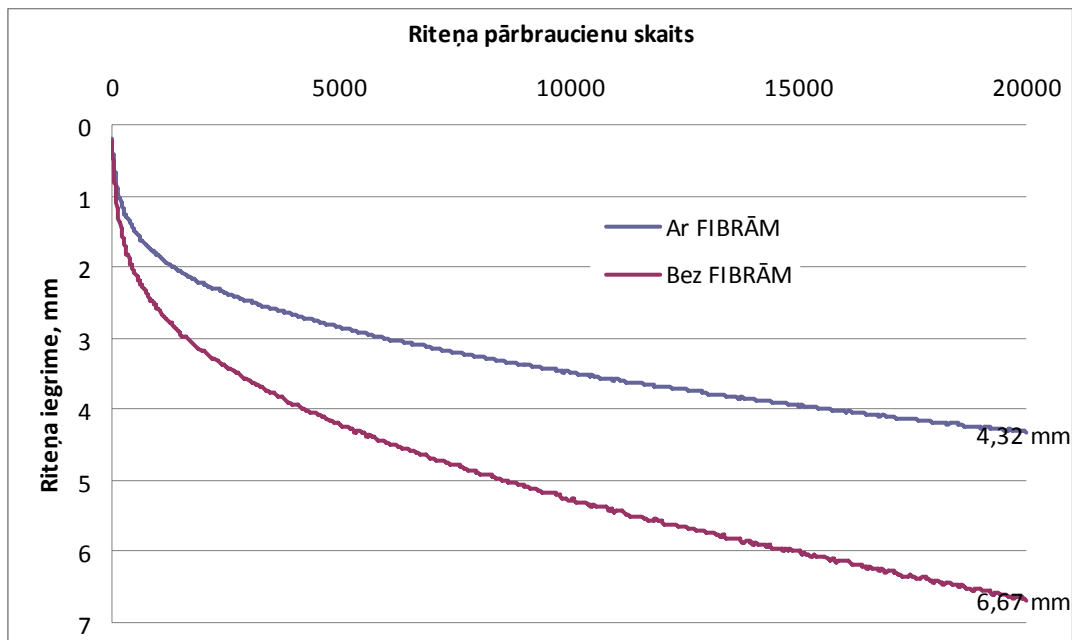
7.4.7 Fibroasfaltbetona sastāvu ar SIA „Pļaviņu dolomīts” šķembām ekspluatācijas īpašības

7.4.7.1 Risu noturība

48. tabula

References sastāva un fibroasfaltbetona risu noturība

	HMAC prasībās [38]	Ar fibrām	Bez fibrām
Bitumens, %	0,03- 0,3	6.20	6.20
WTS, mm/1000ciklos		0,16	0,28
Riteņa iegrime, mm		4,32	6,67



67.att. Fibroasfaltbetona sastāva ar SIA „Pļaviņu dolomītas” šķembām risu noturība

7.4.7.2 Stingums

49. tabula

Fibroasfaltbetona sastāvu ar SIA „Pļaviņu dolomītas” šķembām stingums
10Hz, 10°C, 130 μmm/mm

Paraugs	Bitumena saturs, %	Stingums, MPa	Vid., MPa	HMAC prasībās [38], MPa
1.	4,7	9718	9078	≥ 14000
2.		8472		
3.		8271		
4.		8770		
5.		9630		
6.		8968		
7.		9718		



- atbilst



- neatbilst

50. tabula

Asfaltbetona sastāvu ar SIA „Pļaviņu dolomītas” šķembām bez fibrām (references)
stingums10Hz, 10°C, 130 μmm/mm

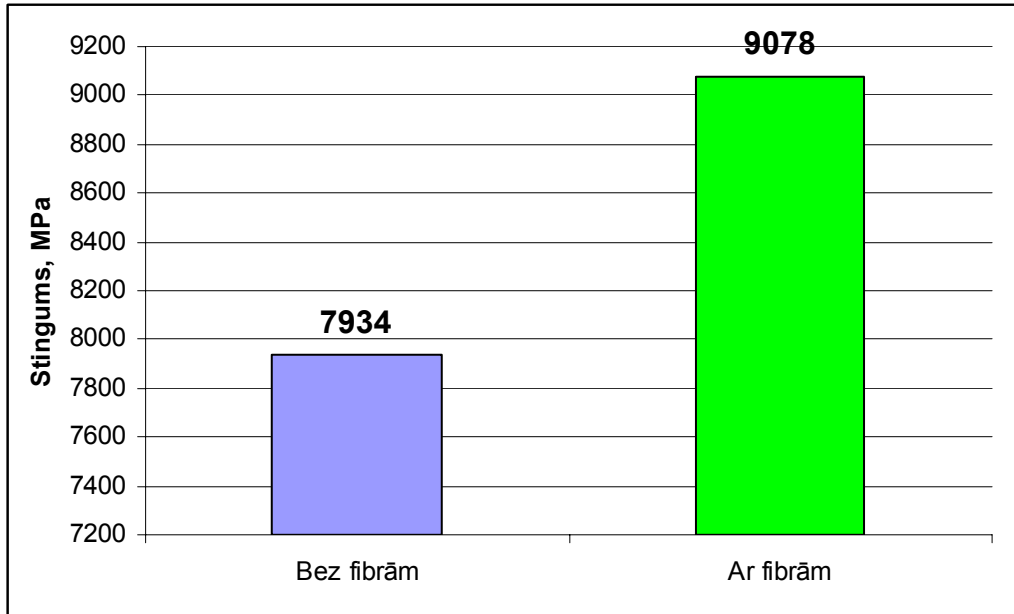
Paraugs	Bitumena saturs, %	Stingums, MPa	Vid., MPa	HMAC prasībās [38], MPa
1.	4,2	7851	7934	≥ 14000
2.		7638		
3.		8338		
4.		8213		
5.		7941		
6.		7522		
7.		8032		



- atbilst

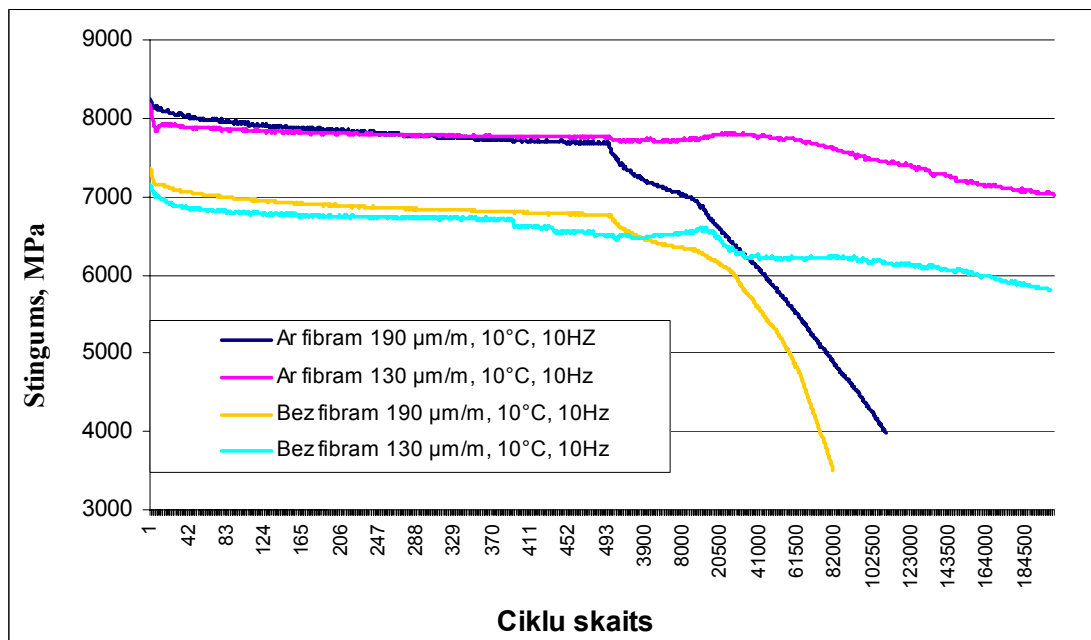


- neatbilst



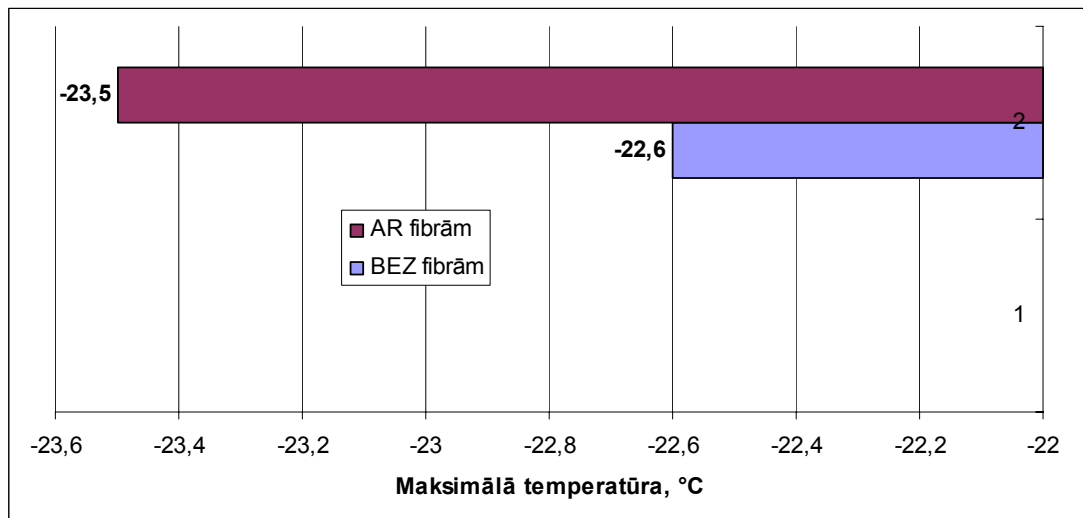
68. att. Stinguma vidējo vērtību salīdzinājums asfaltbetona sastāviem ar SIA „Pļaviņu dolomīts” šķembām ar un bez stiegrošanas.

7.4.7.3 Nogurumizturība



69. att. Nogurumizturība asfaltbetona sastāviem ar SIA „Pļaviņu dolomīts” šķembām ar un bez stiegrošanas

7.4.7.4 Salizturība (noturība pret termoplaisu veidošanos) ar TSRST metodi



70. att. Noturība pret termoplaisu veidošanos asfaltbetona sastāviem ar SIA „Pļaviņu dolomīts” šķembām ar un bez stiegrošanas

8. HMAC SASTĀVI AR GRANTS UN DRUPINĀTU SMILTS

8.1 Granulometrija

Atbilstoši testēšanas standarta LVS EN 933-1 noteikta dažādu grants šķembu frakciju granulometriskais sastāvs. 51. tabulā ir dots rezultātu apkopojums.

51. tabula

Minerālmateriālu granulometriskais sastāvs

Frakcija, d/D	Caur sietiem izgājušī masas procentuālā daļa												Kategorija LVS EN 13043
	22,4	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	
Grants šķembas 8/16	100,0	100,0	57,1	14,0	2,1	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,0	G _C 90/15
Grants šķembas 8/11	100,0	100,0	99,2	29,2	3,5	1,6	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2	1,0	G _C 85/35
Grants šķembas 4/8	100,0	100,0	100,0	98,7	40,5	5,4	1,9	1,6	1,5	1,4	1,4	1,0	G _C 90/10
Atsijātā un mazgāta smiltis 0/4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	91,8	67,9	39,8	20,6	13,3	4,7	1,9	G _A 90
Drupinātas un mazgātas atsijas 0/4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	91,1	62,6	41,2	28,0	19,1	11,6	5,7	G _A 90

52. tabula

Grants šķembu (frakcija 8/16) fizikālās un mehāniskās īpašības

Nosākamais parametrs	Standarts	Rezultāts	„Ceļu specifikācijas 2014”		
			Prasība		Atbilstoši
			S-I	S-II	
Materiāla daļiņu saturs, kas mazāks par 0.063 mm, masas %	LVS EN 933 - 1	0,38	≤ 4		6.2-5 tabula
Plākšņainības indekss, masas %	LVS EN 933 - 3	4,60	≤ 20		6.2-7 tabula
Daļiņu blīvums, Mg/m ³	LVS EN 1097-6 8.p.	2,7433	-	-	-
Ūdens absorbcija, %		1,25	≤ 1		6.2-7 tabula
Pilnīgi drupināto un laužto virsmu % sastāvs/ pilnīgi apaļo virsmu % sastāvs	LVS EN 933-5;	72,92/0,00	50-100/0-10		6.2-7 tabula
Losandželosas koeficients-modificētā fr. 10(11.2)14 mm	LVS EN 1097-2	26,0	LA ₂₀	LA ₂₅	6.2-7 tabula
Irdena bēruma blīvums LVS EN 1097-3	LVS EN 1097-3	1,4191	-		-



- atbilst



- neatbilst

53. tabula

Grants šķembu (frakcija 8/11) fizikālās un mehāniskās īpašības

Nosākamais parametrs	Standarts	Rezultāts	„Ceļu specifikācijas 2014”		
			Prasība		Atbilstoši
			S-I	S-II	
Materiāla daļiņu saturs, kas mazāks par 0.063 mm, masas %	LVS EN 933 - 1	0,34	≤ 4		6.2-5 tabula
Plākšņainības indekss, masas %	LVS EN 933 - 3	4,01	≤ 20		6.2-7 tabula
Losandželosas koeficients - modificētā fr. 8(10)11,2 mm	LVS EN 1097-2 5.p.	26,6	LA ₂₀	LA ₂₅	6.2-7 tabula
Daļiņu blīvums, Mg/m ³	LVS EN 1097-6 8.p.	2,7579	-		-
Ūdens absorbcija, %		1,42	≤ 1		6.2-7 tabula
Pilnīgi drupināto un laužto virsmu % sastāvs/ pilnīgi apaļo virsmu % sastāvs	LVS EN 933-5;	72,7/0,27	50-100/0-10		6.2-7 tabula
Mīnerālmateriālu un bitumena savietojamība	„CS 2014” 9.8. p.	75	-		-



- atbilst



- neatbilst

54.

tabula

Grants šķembu (frakcija 4/8) fizikālās un mehāniskās īpašības

Nosākamais parametrs	Standarts	Rezultāts	„Ceļu specifikācijas 2014”		
			Prasība		Atbilstoši
			S-I	S-II	
Materiāla daļiņu saturs, kas mazāks par 0.063 mm, masas %	LVS EN 933 - 1	0,67	≤ 4		6.2-5 tabula
Plākšņainības indekss, masas %	LVS EN 933 - 3	5,57	≤ 20		6.2-7 tabula
Losandželosas koeficients - modificētā fr. 4 (6,3)8 mm	LVS EN 1097-2 5.p.	29,1	LA ₂₀	LA ₂₅	6.2-7 tabula
Daļiņu blīvums, Mg/m ³	LVS EN 1097-6 8.p.	2,7465	-		-
Ūdens absorbcija, %		1,82	≤ 1		6.2-7 tabula
Pilnīgi drupināto un laužto virsmu % sastāvs/ pilnīgi apaļo virsmu % sastāvs	LVS EN 933-5;	83,10/0,00	50-100/0-10		6.2-7 tabula



- atbilst



- neatbilst

55. tabula

Atsijāto un atmazgāto smilts (frakcija 0/4) fizikālās un mehāniskās īpašības

Nosākamais parametrs	Standarts	Rezultāts	„Ceļu specifikācijas 2014”		
			Prasība		Atbilstoši
			S-I	S-II	
Materiāla daļiņu saturs, kas mazāks par 0.063 mm, masas %	LVS EN 933 - 1	0,75	≤ 10		6.2-5 tabula
Izžāvētu minerālmateriālu daļiņu blīvums, Mg/m ³ (fr. 0,063-2,0mm)	LVS EN 1097-6 8. p.	2,7047	-		-
Daļiņu blīvums, Mg/m ³		2,6943	-		-
Ūdens absorbcija, %		0,34	≤ 1		6.2-7 tabula
Smalko minerālmateriālu (šķautņainība) plūšanas koeficients fr. 0/2 mm	LVS EN 933-6 8.p.	30,9	≥ 30		6.2-6 tabula
Smalkās frakcijas kvalitāte, maksimālo metilēnzilā vērtība (fr. 0-2,0mm)	LVS EN 933-9	0,24	≤ 10		6.2-10 tabula
Irdena bēruma blīvums	LVS EN 1097-3	1,6330	-		-



- atbilst



- neatbilst

Drupināto un mazgāto atsiju (frakcija 0/4) fizikālās un mehāniskās īpašības

Nosākamais parametrs	Standarts	Rezultāts	„Ceļu specifikācijas 2014”		
			Prasība		Atbilstoši
			S-I	S-II	
Materiāla daļiņu saturs, kas mazāks par 0.063 mm, masas %	LVS EN 933 - 1	4,31	≤ 10		6.2-5 tabula
Izžāvētu minerālmateriālu daļiņu blīvums, Mg/m ³ (fr. 0,063-2,0mm)	LVS EN 1097-6 8. p.	2,6769	-		-
Daļiņu blīvums, Mg/m ³		2,754,6	-		-
Ūdens absorbcija, %		0,93	≤ 1		6.2-7 tabula
Smalko minerālmateriālu (šķautņainība) plūšanas koeficients fr. 0/2 mm	LVS EN 933-6 8.p.	34,6	≥ 30		6.2-6 tabula
Smalkās frakcijas kvalitāte, maksimālo metilēnzilā vērtība (fr. 0-2,0mm)	LVS EN 933-9	0,43	≤ 10		6.2-10 tabula



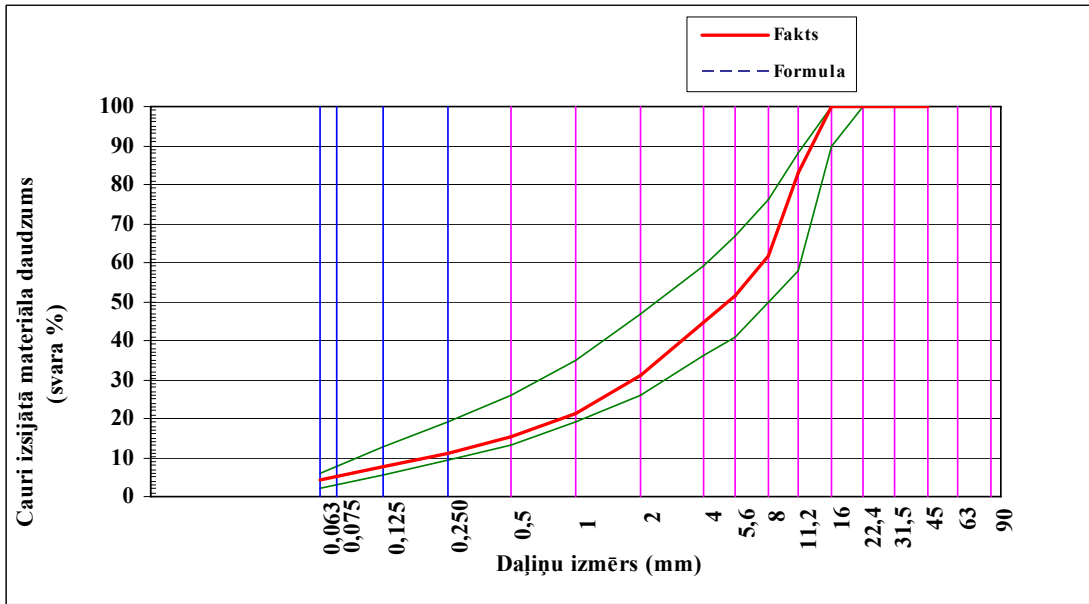
- atbilst



- neatbilst

8.2 HMAC ar grants šķembām granulometriskais sastāvs

71. attēlā ir parādīts asfaltbetona AC 16_{base/bin} granulometriskā sastāva projekts ar grants šķembu frakcijām 8/16, 8/11, 4/8 un drupinātām mazgātām atsijām 0/4.



71. att. Fibroasfaltbetona sastāva ar grants šķembām projekts

8.3 HMAC sastāvu ar grants šķembām pamatīpašības

57. tabula

References sastāva AC 16 base/bin ar grants šķembām fizikālās īpašības

Nosākamais parametrs	Rezultāti		
	References B70/100	B20/30	PMB 25/55-60
Tilpumblīvums, kg/m ³	2401	2,367	2,383
Maksimālais blīvums, kg/m ³	2505	2,492	2,509
Porainība V _m , %	4,2	4,9	4,9
VMA	17,2	17,7	17,0
VFB	75,4	71,9	70,8
Fakt. bitumena saturs, %	5,40	5,38	5,05



- atbilst



- neatbilst

57. tabula

References sastāva AC 16 base/bin ar grants šķembām Maršala testa rezultāti

Nosākamais parametrs	Rezultāti		
	References B70/100	B20/30	PMB 25/55-60
Bitumena saturs, %	5,40	5,38	5,05
Paraugu augstums, mm	64,00	63,7	64,0
Maršala stabilitāte, kN	12,11	17,43	14,77
Maršala plūstamība, mm	3,53	4,42	4,03

8.4 HMAC sastāvu ar grants šķembām risu noturība

58. Tabula

References sastāva AC 16 base/bin ar grants šķembām risu noturība

	HMAC prasībās	References	B20/30	PMB 25/55-60
		B70/100		
		5,40	5,38	5,05
WTS, mm/1000ciklos	0,03- 0,3	0,34	0,07	0,09
Riteņa iegrime, mm		3,7	2,7	3,4



- atbilst



- neatbilst

8.5 HMAC sastāvu ar grants šķembām ūdensjutība

60. tabula

References sastāva AC 16 base/bin ar grants šķembām ūdensjutības rezultāti

Sastāvs	Bitumena tips	Bitumena saturs, %	Ūdenjutība, %	HMAC prasības [38], %
References	B70/100	5,40	100	> 80
HMAC	B20/30	5,38	96,8	
	PMB 25/55-60	5,05	86,7	



- atbilst



- neatbilst

8.6 HMAC sastāvu ar grants šķembām stingums

61. tabula

References sastāva AC 16 base/bin ar grants šķembām stinguma rezultāti

Sastāvs	Bitumena tips	Bitumena saturs, %	Stingums, MPa	HMAC prasības [38], MPa
References	B70/100	5,40	10500	> 14000
HMAC	B20/30	5,38	15300	
	PMB 25/55-60	5,05	14900	



- atbilst



- neatbilst

8.7 HMAC sastāvu ar grants šķembām nogurumizturība

62. tabula

References sastāva AC 16 base/bin ar grants šķembām nogurumizturības rezultāti

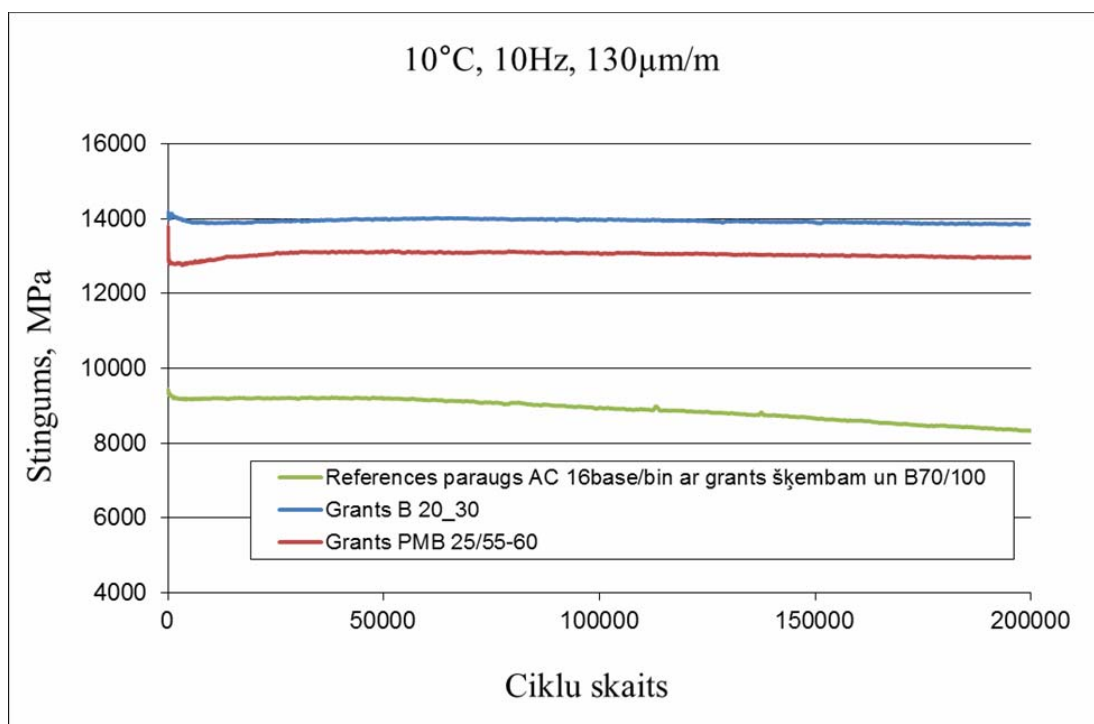
Sastāvs	Bitumena tips	Bitumena saturs, %	Nogurumizturības kategorija	HMAC prasības [38], kat.
References	B70/100	5,40	$\epsilon_6 - 130$	$\epsilon_6 - 130$
HMAC	B20/30	5,38	$\epsilon_6 - 130$	
	PMB 25/55-60	5,05	$\epsilon_6 - 130$	



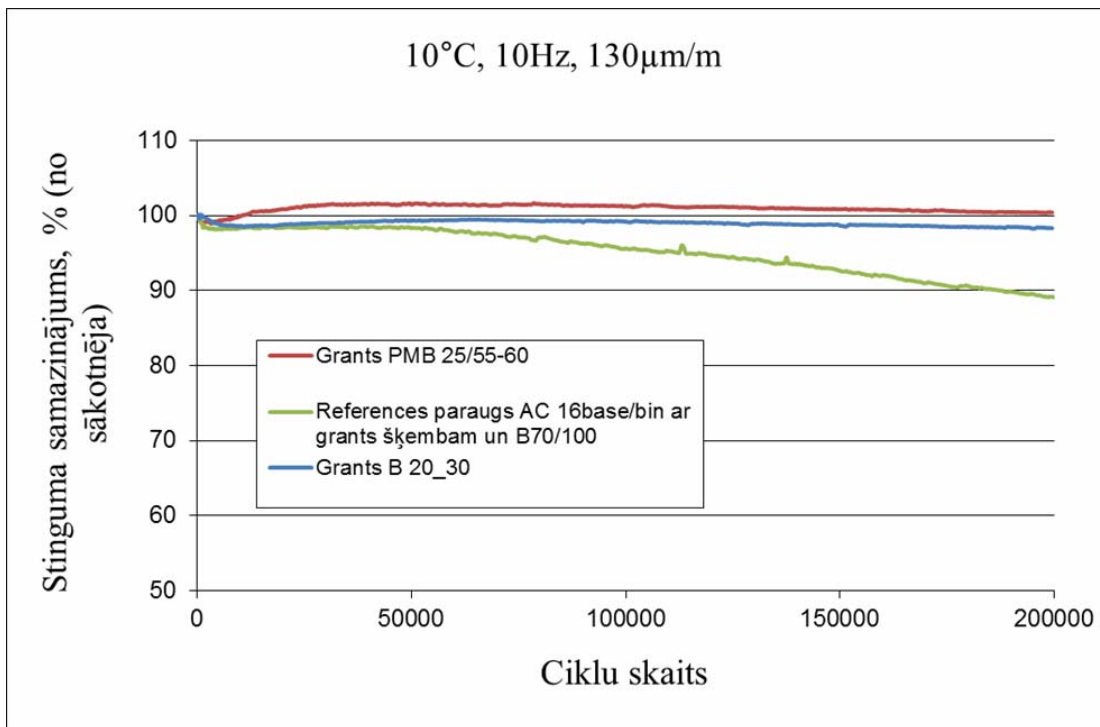
- atbilst



- neatbilst



73. att. References sastāva nogurumizturība – stinguma (MPa) samazinājums cikliskās slodzes iespaidā



74. att. References sastāva nogurumizturība – stinguma (%) samazinājums no sākotnējās vērtības (100%) cikliskās slodzes iespaidā

9. HMAC ASFALTBETONU UN TĀ IZEJMATERIĀLU TEHNISKĀS PRASĪBAS

Balstoties uz SPENS tehnisko prasību analīzi [38], piedāvātas HMAC un to izejmateriālu specifikācijas (sk. 63. – 72. tabulas).

9.1. Bitumens

9.1.1. Bitumena klases

63. tabula

Bitumena klases		
Bitumena klases	Standarts	ADTI _{j, smagie}
20/30,	LVS EN 12591	501-1000 līdz ≥ 2000
PMB 25/55-60	LVS EN 14023	
PMB 10/40-65		

9.1.2. Bitumena īpašības

64. tabula

Polimērmodificētā bitumena īpašības						
LVS EN 14023			Bitumena tips			
Standarta nodaļa	Īpašība, mērvienība	Testēšanas metode	Klase	PMB 10/40-60	Klase	PMB 25/55-65
5.1.2	Penetrācija +25°C, 0,1mm	LVS EN 1426	2	10-40	3	25-55
5.1.3	Mīkstēšanas temperatūra, °C	LVS EN 1427	6	≥ 60	5	≥ 65
Tabula 2	Frasa trausluma temperatūra, °C	LVS EN 12593	5	≤ -10	6	≤ -12
5.1.7	Uzliesmošanas un degšanas temperatūras noteikšana, °C	LVS EN 22592	2	≥ 250	2	≥ 250
Tabula 2	Elastīgā atjaunošanās +25°C, %	LVS EN 13398	5	≥ 50	3	≥ 70
	Uzglabāšanas stabilitāte, ΔLG , °C	LVS EN 13399 un LVS EN 1427	2	≤ 5	2	≤ 5
Cietējumpretestības noteikšana (LVS EN 12607-1 vai LVS EN 12607-3)						
5.1.5	Masas izmaiņas, %(m/m)	LVS EN 12607-1	3	$\leq 0,5$	3	$\leq 0,5$
	Paliekošā penetrācija, %	LVS EN 1426	7	≥ 60	7	≥ 60
Tabula 2	Elastīgā atjaunošanās +25°C, %	LVS EN 13398:2010	4	≥ 50	3	≥ 60

Cietā bitumena īpašības

LVS EN 12591			Bitumena tips	
Standarta nodaļa	Īpašība, mērvienība	Testēšanas metode	Klase	B 20/30
4.1.1.1	Penetrācija +25° C, 0,1mm	LVS EN 1426	1	20-30
4.1.1.1	Mīkstēšanas temperatūra, °C	LVS EN 1427	1	55-60
4.1.1.1	Šķīdība toluolā, % (m/m)	LVS EN 12592	1	≥99,0
4.1.1.3	Uzliesmošanas un degšanas temperatūras noteikšana, °C	LVS EN 22592	1	≥245
Cietējumpretestības noteikšana (LVS EN 12607-1 vai LVS EN 12607-3)				
4.1.2.3	Masas izmaiņas, %(m/m)	LVS EN 12607-1	1	≤0,5
	Paliekošā penetrācija, %	LVS EN 1426	1	≥55
	Mīkstēšanas temperatūra pēc novecošanās, °C	LVS EN 1427	1	≥57
	Mīkstēšanas temperatūras pieaugums, °C	LVS EN 1427	1	≤ 8
4.2.2	Frasa trausluma temperatūra, °C	LVS EN 12593	2	≤ -5
4.5	Blīvums +25° C, Mg/m ³	LVS EN 15326	-	deklarēts

9.2. Granulometriskais sastāvs un bitumena saturs

HMAC asfaltbetona sastāvs granulometriskā sastāvu projektē, balstoties uz LVS EN 13108-1 standarta prasībām. 66. tabulā dotas prasības HMAC sastāva granulometriskām sastāvam un saistvielas saturam.

HMAC sastāva granulometriskais sastāvs un saistvielas saturs.

Siets, mm	HMAC 16	
	Cauri izgājušo daļiņu daudzums, % (m/m)	
	Min.	Maks.
22,4	100	100
16,0	90	100
11,2	58	88
8,0	50	76
5,6	41	67
4,0	36	59
2,0	26	47
1,0	19	36
0,5	13	26
0,063	2	6
Saistvielas saturs	B _{min} 4,8	

9.3. Aizpildītāja īpašības

9.3.1. Aizpildītāja granulometriskais sastāvs

Aizpildītāja granulometriskais sastāvs

Siets, mm	Cauri izgājušo daļiņu daudzums, % (m/m)	
	Atsevišķo rezultātu kopīgais diapazons	Ražotāja maksimālais deklarētais granulometriskā sastāva diapazons ⁽¹⁾
2,00	100	-
0,125	85 - 100	10
0,063	70 - 100	10

PIEZĪME ¹⁾ Deklarētais granulometriskā sastāva diapazons, pamatojoties uz pēdējām 20 vērtībām. 90% no rezultātiem atrodas šajā diapazonā, bet visiem rezultātiem jāatrodas kopīgajā granulometriskā sastāva diapazonā

9.3.2. Aizpildītāja īpašības

68. tabula

Aizpildītāja īpašības

LVS EN 13043			Prasība	Kategorija
Standarta nodaļa	Īpašība, mērvienība	Testēšanas metode		
5.2.1	Granulometriskais sastāvs	LVS EN 933-10	Sk. 67. Tabula (Ceļu specifikācijas 2014, 6.2-9 tab.)	-
5.2.2	Metilēnzilā vērtība, g/kg	LVS EN 933-9	≤ 10	MB _F 10
5.3.1	Ūdenssaturs pēc masas	LVS EN 1097-5	≤ 1	-
5.3.2	Daļiņu blīvums, Mg/m ³	LVS EN 1097-7	Deklarē	-
5.3.3.1	Sausa sablīvēta aizpildītāja poras (pēc Rigdena), tilpuma %	LVS EN 1097-4	28-45	V _{28/38} , V _{38/45}
5.3.3.2	„Delta gredzens un lode”, 0C	LVS EN 13179-1	8-25	$\Delta_{R\&B}8/25$
5.4.1	Šķīdība ūdenī, %	LVS EN 1744-1	$\square 10$	WS ₁₀
5.4.2	Ūdensjutība	LVS EN 1744-4	Deklarē	-
5.4.3	Kalcija karbonāta saturs, procentuālais daudzums pēc masas	LVS EN 196-21	≥ 90	CC ₉₀
5.5.4	Daļiņu blīvums, Mg/m ³	LVS EN 1097-7	Deklarē	-

9.4. Pildvielas īpašības

9.4.1. Smalkās pildvielas īpašības

69. tabula

Smalkās pildvielas īpašības

LVS EN 13043			Kategorija		
Standarta nodaļa	Īpašība, mērvienība	Testēšanas metode	ADTI _j , smagie 501-1000	ADTI _j , smagie 1000 - 2000	ADTI _j , smagie > 2000
			4.1.3	Granulometriskais sastāvs	LVS EN 933-1
4.1.3.2	Pielaižu minerālmateriāla granulometriskajam sastāvam	-	G _{TC} 20		
4.1.4	Smalkā materiālā (□ 0,063mm) saturs	LVS EN 933-1	f ₁₆		
4.1.5	Smalkā minerālmateriāla kvalitāte (Metilēnzilā vērtība)	LVS EN 933-9	MB _F 10		
4.1.8	Daliņu šķautņainība (Plūšanas koeficients)	LVS EN 933-6	E _{CS} 30		
4.2.7.1	Ūdens uzsūcamība, procentuālais daudzums pēc masas, kā pārbaudes tests salūmku sumizturībai	LVS EN 1097-6	Deklarē		
4.2.7.1	Daliņu blīvums, Mg/m ³				
4.3.3	Organisko vielu procentuālais daudzums pēc masas	LVS EN 1744-1 14.2p	m _{LPC} 0,1		

9.4.2. Vidēji rupjas un rupjas pildvielas īpašības

70. tabula

Vidēji rupjas un rupjas pildvielas īpašības

LVS EN 13043			Kategorija		
Standarta nodaļa	Īpašība, mērvienība	Testēšanas metode	ADTI _j , smagie 501-1000	ADTI _j , smagie 1000 - 2000	ADTI _j , smagie > 2000
4.1.3	Granulometriskais sastāvs	LVS EN 933-1	G _C 90/20		
4.1.3.2	Pielaides minerālmateriāla granulometriskajam sastāvam	-	G _{TC} 20/15		
4.1.4	Smalkā materiālā (□ 0,063mm) saturs	LVS EN 933-1	f ₂		
4.1.6	Pildvielas forma	LVS EN 933-3 vai LVS EN 933-4	SI ₄₀ (FI ₄₀)	SI ₃₀ (FI ₃₀)	
4.1.7	Drupinātās vai lauztās un apaļās virsmas	LVS EN 933-5	C _{90/1}		
4.2.2	Drupināšanas izturība (Losandželosas koeficients)	LVS EN 1097-2	LA ₄₀	LA ₃₅	
4.2.7.1	Ūdens uzsūcamība, procentuālais daudzums pēc masas, kā pārbaudes tests salumkusumizturībai	LVS EN 1097-6	W _{cm} 0,5		
4.2.7.1	Daļiņu blīvums, Mg/m ³		Deklarē		
4.2.9.2	Salizturība	LVS EN 1367-1	F ₄		
4.2.12	„Sonnenbrand” bazaltam	LVS EN 1367-3	SB _{LA}		
4.3.3	Organisko vielu procentuālais daudzums pēc masas	LVS EN 1744-1 14.2p	m _{LPC} 0,1		

Tēraudkausēšanas sārņiem kopā ar 70. tabulā norādītajām īpašībām jānosaka 71. tabulā norādītas īpašības.

71. tabula

Vidēji rupjas un rupjas pildvielas īpašības lietojot tēraudkausēšanas sārņus

LVS EN 13043			Kategorija		
Standarta nodaļa	Īpašība, mērvienība	Testēšanas metode	ADT _{Ij} , smagie 501-1000	ADT _{Ij} , smagie 1000 - 2000	ADT _{Ij} , smagie > 2000
4.3.4.1	Dikalcija silikāta sadalīšanās	LVS EN 1744-1 19.1p	Deklarē		
4.3.4.1	Dzelzs sadalīšanās	LVS EN 1744-1 19.2p			
4.3.4.3	Tilpuma stabilitāte, tilpuma	LVS EN 1744-1 19.3p	V _{6,5}		

9.5. HMAC asfaltbetona sastāva īpašības

72. tabula

Prasības HMAC sastāvu īpašībām

Īpašība, mērvienība	Paraugu sablīvēšana atbilstoši LVS EN 13108-20	Testēšanas metode	Prasība
Poru saturs, %	C 1.3 triecienu skaits 2x50	LVS EN 12697-8 4p	V _{min} 2 V _{max} 5
Ūdensjūtība		LVS 12697-12	ITSR ₈₀
Noturība pret plastiskām deformācijām (risu noturība)	C 1.20 Veltņa blīvētājs, P ₉₈ – P ₁₀₀	LVS 12697-22 metode B gaisā, LVS EN 13108-20, D. 1.6, 60°C, 10000 cikli	WTS _{air 0,15}
Stingums		LVS 12697-26, četru punktu lieces tests, 10Hz, 10°C	S _{min} 14000
Nogurumizturība		LVS 12697-24, četru punktu lieces tests, 10Hz, 10°C	☐ ₆₋₁₃₀

10. EKONOMISKAIS NOVĒRTĒJUMS

10.1. Izejmateriālu cena

10.1.1. Menerālmateriāls

Minerālmateriālu cenu salīdzinājumam izvēlēts Latvijā iegūstamas dolomīta un grants šķembas, kā arī dots to salīdzinājums ar importētām šķembām. Rupjās un vidēji rupjas vietējas dolomīta pildvielas cena ir robežās no 7,1EUR/t līdz 12,8 EUR/t, bet drupinātās grants šķembu cena ir 8,54EUR/t. Lietuvas dolomīta šķembu cena ir no 9,75 EUR/t līdz 11,08 EUR/t. Vietējas smalkā dolomīta pildvielas (frakcija 0/5 un 2/5) cena ir no 6,65 EUR/t līdz 8,15 EUR/t, bet grants šķembas ir no 8,54EUR/t līdz 9,25 EUR/t. Lietuvas smalkās dolomīta pildvielas cena ir no 6,02 EUR/t līdz 7,90 EUR/t. Aizpildītāja dolomīta miltu no Saulkalnes cena ir 28,00 EUR/t. Svarīgi atzīmēt, ka šķembu cenu ietekme dažādi faktori, kā piemēram, to daudzums un sezona. Minerālmateriālu cenas apkopotas 73. tabulā.

73. tabula

Minerālmateriālu cenas par tonnu

Frakcija	Dolomīts				Lietuva	Grants	Granīts	Saulkalne
	Pļaviņas	Aiguta	SB	ACB		Igate	X	
Aizpildītājs								28
0/4 AMS*						8,54		
0/4 DMA**						9,25		
0/2 atsijas	1,5	-						
2/5	8,15	-		7,1	7,9			
0/5	-	7,8	6,65		6,02		13,4	
4/8						8,54		
5/8	7,85	12,8	9	7,1	11,08	8,54	19,15	
8/11	7,85	10,7	9	7,1	11,08	8,54	19,15	
11/16	7,85	10,7	8,6	7,1	9,75	8,54	19	

10.1.2. Bitumens

Bitumenu cenu salīdzinājumam izvēlēti laboratoriskā pētījumā izmantoti Polijā uzņēmumā *SIA LOTOS Asfalt Co* ražotie bitumeni B20/30, B70/100, PMB 25/55-60 un PMB 10/40-65. Bitumenu cenas apkopotas 74. tabulā. Šajās cenas iekļauti izdevumi par piegādi, kuri sastāda 75 EUR/t. Svarīgi atzīmēt, ka bitumenu cenu, līdzīgi kā šķembu cenu, ietekme tādi faktori kā bitumena daudzums un sezona.

74. tabula

Bitumenu cenas EUR par tonnu

Bitumena klase	EUR/t
	Ražotājs - LOTOS
20/30	345
50/70	345
70/100	355
PMB 25/55-60	455
PMB 10/40-65	460

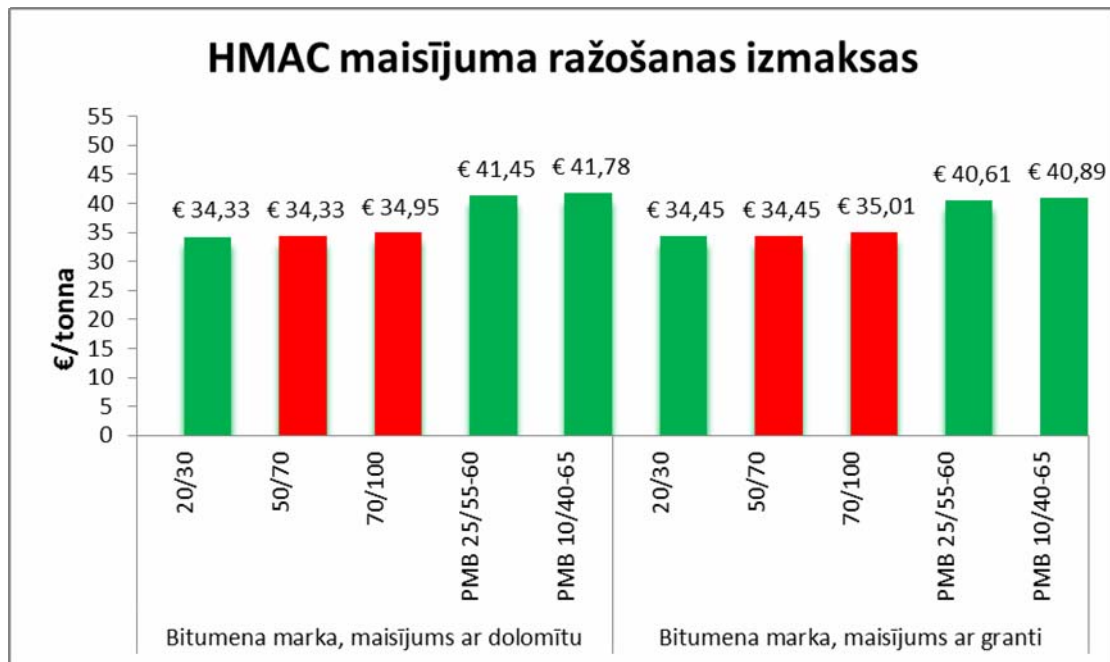
10.2. Ražošanas izmaksas

HMAC tipa asfaltbetona ražošanas izmaksu aprēķins tika veikts, balstoties uz izejmateriālu, piedevas, rūpnīcas enerģijas patēriņa un rūpnīcas amortizācijas cenām. Tā kā asfaltbetona tips ir projektēts, balstoties uz LVS EN 13108-1 standarta un *Ceļu specifikācijas 2014* prasībām, attiecībā uz AC 16 base/bin sastāvu, nav jāveic nekādas ražošanas procesa izmaiņas. Asfaltbetona ražošanas izmaksas ir atkarīgas no ražošanas apjoma (pasūtījuma daudzuma) un svārstās no 3,50 EUR/t līdz 10,00 EUR/t. Asfaltbetona ražošanas izmaksas apkopotas 75. tabulā un 75. attēlā. Aprēķinā pieņemts, ka rūpnīcas amortizācijas un enerģijas patēriņa cena ir 6,00EUR/t, bet adhēzijas piedevas cena ir 2600EUR/t (grants šķembām pievienoti 0,5% no bitumena masas). Cenas ir pieņemtas, apkopojot ražotāju datus un to vidējās izmaksas.

75. tabula

Ražošanas izmaksas

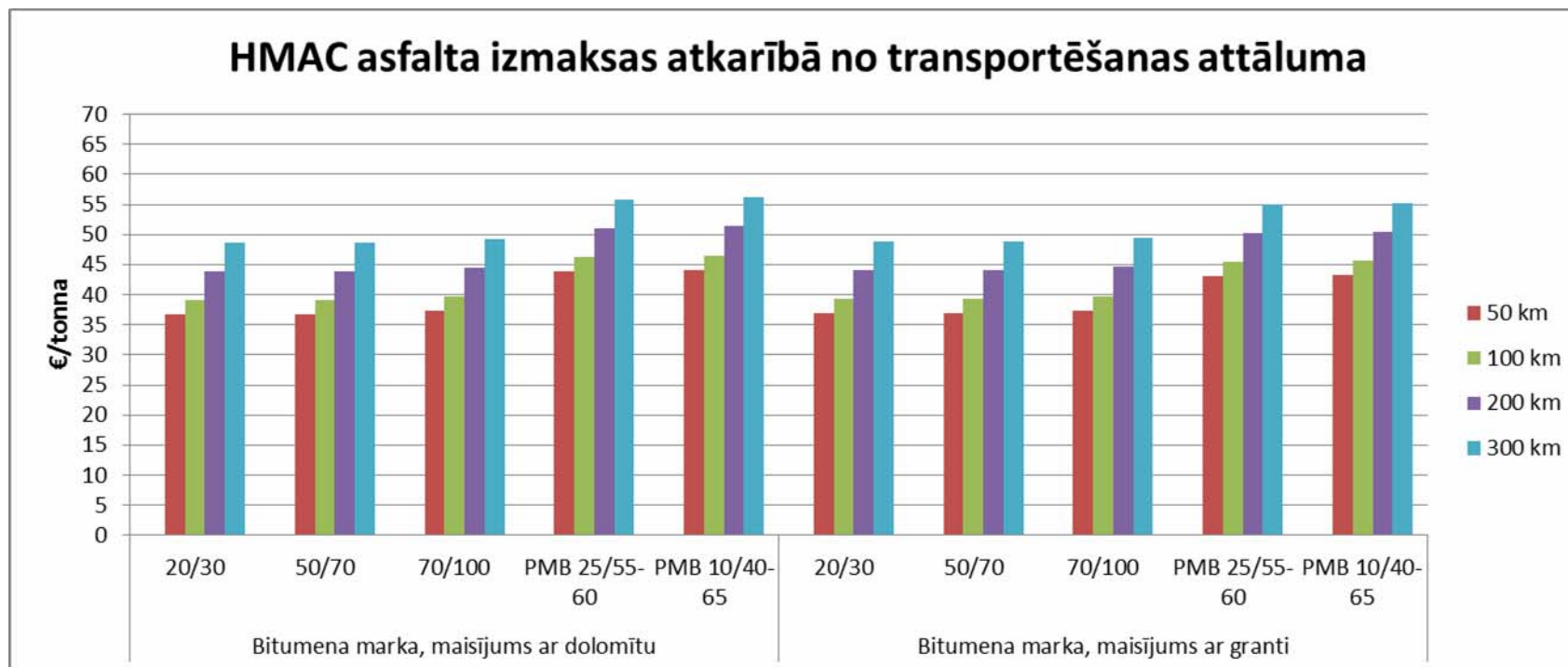
Frakcija	Cena EUR/t									
	Bitumena marka, maisījums ar dolomītu					Bitumena marka, maisījums ar granti				
	20/30	50/70	70/100	PMB 25/55-60	PMB 10/40-65	20/30	50/70	70/100	PMB 25/55-60	PMB 10/40-65
Aizpildītājs	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5					
0/4 AMS										
0/4 DMA						4,255	4,255	4,255	4,255	4,255
0/2	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52					
0/5										
2/5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5					
4/8						0,3416	0,3416	0,3416	0,3416	0,3416
5/8	0,785	0,785	0,785	0,785	0,785					
8/11	0,785	0,785	0,785	0,785	0,785	0,4697	0,4697	0,4697	0,4697	0,4697
11/16	0,785	0,785	0,785	0,785	0,785	3,416	3,416	3,416	3,416	3,416
Bitumens	22,45	22,45	23,075	29,57	29,9	19,32	19,32	19,88	25,48	25,76
Adh. Piedeva						0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Rūpnīcas izmaksas	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Kopā	€ 34,33	€ 34,33	€ 34,95	€ 41,45	€ 41,78	€ 34,45	€ 34,45	€ 35,01	€ 40,61	€ 40,89



75. att. Ražošanas izmaksu salīdzinājums

10.3. Transportēšanas izmaksas

Aprēķinā pieņemts, ka transportēšanas cena ir 0,65EUR/km. Tā kā būvobjekts var atrasties dažādos attālumos no dolomīta vai grants ieguves vietas un asfaltbetona rūpnīcas, aprēķins tika veikts četriem transportēšanas attālumiem 50km, 100km, 200km un 300km. Tabulās uzskatāmi redzams, ka palielinoties transportēšanas attālumam palielinās arī izmaksas. Izmaksas pieņemtas, apkopojot ražotāju datus un to vidējās izmaksas.



76. att. Ražošanas un transportēšanas izmaksu salīdzinājums

Ražošanas izmaksas

Transportēšanas attālums, km	Bitumena marka, maisījums ar dolomītu					Bitumena marka, maisījums ar granti				
	20/30	50/70	70/100	PMB 25/55-60	PMB 10/40-65	20/30	50/70	70/100	PMB 25/55-60	PMB 10/40-65
50	€ 36,73	€ 36,73	€ 37,35	€ 43,85	€ 44,18	€ 36,85	€ 36,85	€ 37,41	€ 43,01	€ 43,29
100	€ 39,13	€ 39,13	€ 39,75	€ 46,25	€ 46,58	€ 39,25	€ 39,25	€ 39,81	€ 45,41	€ 45,69
200	€ 43,93	€ 43,93	€ 44,55	€ 51,05	€ 51,38	€ 44,05	€ 44,05	€ 44,61	€ 50,21	€ 50,49
300	€ 48,73	€ 48,73	€ 49,35	€ 55,85	€ 56,18	€ 48,85	€ 48,85	€ 49,41	€ 55,01	€ 55,29

11. CEĻA SEGAS RISINĀJUMI AR HMAC KONSTRUKTĪVO SLĀNI

11.1. Starpslāņu saķere

HMAC tipa asfaltbetonu projektē izmantošanai vidējas un augstas noslodzes ceļiem, lidlaukiem, krustojumos un pieturvietās, kur, salīdzinājumā ar tradicionāliem risinājumiem (AC16_{base/bin} vai AC 22_{base/bin}), ir nepieciešams nodrošināt augstu risu un noguruma plaisu noturību. Šo seguma tipu izmanto bituminētā segumā saistes kārtā vai apakškārtā. SPENS projekts virs HMAC tipa asfaltbetona rekomendē izmantot SMA (saskaņā ar LVS EN 13108-5) vai ļoti plānas kārtas asfaltbetona (saskaņā ar LVS EN 13108-2) dilumkārtas.

Konstruktīvo ceļa segas slāņu saķere ir svarīgs faktors, kurš lielā mērā ietekmē nogurumizturību. Starpslāņu saķeri jānosaka saskaņā ar Leutner paralēlo slāņu tiešo bīdes testēšanas metodi. Bīdes stiprībai jābūt ne mazāk par 1,3MPa. 77. tabulā parāda rekomendējamas saistvielas daudzums starpslāņu adhēzijas saites nodrošināšanai.

77. tabula

Saistvielas daudzums

Bituminētā maisījuma slānis	Bituminētā maisījuma kārtā	Saistvielas daudzums, kg/m ²
Asfalta seguma apakškārta (HMAC vai AC)	Šķembu nesošā kārtā	0,7 – 1,0
	Stabilizētā grunts	0,5 – 0,7
	Asfaltbetona slānis ar raupjo virsmu	0,2 – 0,5
Asfalta saistes kārtā (HMAC vai AC)	Asfaltbetona apakškārta	0,3 – 0,5
Asfalta dilumkārtā (SMA)	Asfaltbetona saistes kārtā (HMAC)	0,1 – 0,3 ¹⁾
Ļoti plānas kārtas asfalts		0,4 – 0,8

¹⁾Polimērmodificētā emulsija

Virš HMAC tipa asfaltbetona **nerekomendē** uzklāt tradicionālo AC asfaltbetonu, jo pastāv risks, ka ūdens iekļūs starp AC dilumkārtas un ūdens necaurļaidīgu HMAC tipa asfaltbetona slāni. Ūdenim iztvaikojoties, var izveidoties nevēlamie starpslāņu dobumi (poras).

11.2. Tipveida konstruktīvie risinājumi

Balstoties uz SPENS rekomendācijām [38], piedāvāti segas konstrukciju risinājumi (projekti) ar HMAC tipa asfaltbetonu (seguma saistes kārtai un apakškārtai) (sk. 78. – 81. tabulas).

11.2.1. HMAC tipa asfaltbetons ar SMA tipa asfalta dilumkārtu

78. tabula

Konstruktīvais risinājums ja ADTIj, smagie 501-1000

ADTIj, smagie 501-1000		ADTIj, smagie 501-1000	
Ar HMAC		Ar Tradicionālo AC	
SMA 11 surf	4 cm	SMA 11 surf	4 cm
HMAC 16 base/bin	8 cm	AC 16 base/bin	6 cm
Šķembu pamata nesošā kārtā	40 cm	AC 22 base/bin	8 cm
Salizturīgā kārtā	50 cm	Šķembu pamata nesošā kārtā	40 cm
Grunts kārtā CBR \geq 40 %		Salizturīgā kārtā	50 cm
		Grunts kārtā CBR \geq 40 %	

79. tabula

Konstruktīvais risinājums ja ADTIj, smagie 1000 - 2000

ADTIj, smagie 1000 - 2000			
Ar HMAC		Ar Tradicionālo AC	
SMA 11 surf	4 cm	SMA 11 surf	4 cm
HMAC 16 base/bin	9 cm	AC 16 base/bin	6 cm
Šķembu pamata nesošā kārtā	40 cm	AC 16 base/bin (AC 32 base/bin)	8 cm
Salizturīgā kārtā	50 cm	Šķembu pamata nesošā kārtā	40 cm
Grunts kārtā CBR \geq 40 %		Salizturīgā kārtā	50 cm
		Grunts kārtā CBR \geq 40 %	

80. tabula

Konstruktīvais risinājums ja ADTIj, smagie > 2000

ADTIj, smagie > 2000			
Ar HMAC		Ar Tradicionālo AC	
SMA 11 surf	4 cm	SMA 11 surf	4 cm
HMAC 16	8 cm	AC 16 base/bin	6 cm
Šķembu pamata nesošā kārtā	40 cm	AC 22 base/bin	8 cm
Salizturīgā kārtā	50 cm	Šķembu pamata nesošā kārtā	40 cm
Grunts kārtā CBR \geq 40 %		Salizturīgā kārtā	50 cm
		Grunts kārtā CBR \geq 40 %	

11.2.2. HMAC tipa asfaltbetons ar ļoti plānas kārtas asfalta dilumkārtu

81. tabula

Konstruktīvais risinājums ar ļoti plānas kārtas asfalta dilumkārtu

ADTIj, smagie 501-1000		ADTIj, smagie 1000 - 2000		ADTIj, smagie > 2000	
Ļoti plāna asfalta dilumkārtā	2 cm	Ļoti plāna asfalta dilumkārtā	2 cm	Ļoti plāna asfalta dilumkārtā	2 cm
HMAC 16 base/bin	8 cm	HMAC 16 base/bin	8 cm	HMAC 16 base/bin	8 cm
HMAC 16 base/bin (HMAC 22 base/bin)	11 cm	HMAC 16 base/bin (HMAC 22 base/bin)	13 cm	HMAC 16 base/bin (HMAC 22 base/bin)	15 cm
Šķembu pamata nesošā kārtā	40 cm	Šķembu pamata nesošā kārtā	20 cm	Šķembu pamata nesošā kārtā	20 cm
Salizturīgā kārtā	50 cm	Salizturīgā kārtā	50 cm	Salizturīgā kārtā	50 cm
Grunts kārtā CBR \geq 40 %		Grunts kārtā CBR \geq 40 %		Grunts kārtā CBR \geq 40 %	

11.2.3. Segas nestspējas aprēķins pēc LVS metodikas (elastīgās ielieces)

Veicot nestspējas aprēķinu, secināts, ka segas nestspējas aprēķins pēc LVS metodikas nav piemērots segas konstrukcijām ar HMAC tipa asfaltbetonu. Elastības moduļi apkopoti 82. -84. tabulās.

Tradicionālo asfalta segumu moduļi

Visos gadījumos:

Nestspēja uz pamatnes grunts - 45 MPa

Nestspēja uz drupināta minerālmateriāla pamata - 126 MPa

Dilumkārtā SMA 16 PMB – 4cm

82. tabula

Tradicionālo segumu moduļi

Saistes kārtā + pamata virskārtā	Eekv
AC 32 70/100 - 6cm	179
AC 32 70/100 - 9cm	218
AC 22 70/100 – 7cm + AC 32 70/100 - 7cm	249
AC 22 70/100 – 7cm + AC 32 70/100 - 8cm	265
AC 22 70/100 – 8cm + AC 32 70/100 - 9cm	296

HMAC tipa asfaltbetona segumu moduļi

Visos gadījumos:

Nestspēja uz pamatnes grunts - 45 MPa

Nestspēja uz drupināta minerālmateriāla pamata - 126 MPa

Dilumkārtā SMA 16 PMB 70/100 – 4cm

83. tabula
 HMAC segumu moduļi pie E=9000MPa (četrpunktu lieces tests)

HMAC E=9000	E_{ekv}
HMAC - 6cm	184
HMAC - 8cm	212
HMAC - 9cm	227
HMAC - 10cm	245

84. tabula
 HMAC segumu moduļi pie E=14500 - 17000 (četrpunktu lieces tests)

HMAC E=14500	E_{ekv}
HMAC - 6cm	190
HMAC - 8cm	212
HMAC - 9cm	228
HMAC - 10cm	245
HMAC E=15000	E_{ekv}
HMAC - 6cm	190
HMAC - 8cm	213
HMAC - 9cm	228
HMAC - 10cm	245
HMAC E=17000	E_{ekv}
HMAC - 6cm	191
HMAC - 8cm	213
HMAC - 9cm	230
HMAC - 10cm	246

SECINĀJUMI

1. Izstrādātajiem asfaltbetona maisījumiem ar augstu RAP saturu pamatīpašību un ekspluatācijas īpašību rezultāti ir vienādi vai labāki, salīdzinot ar tradicionāliem HMA maisījumiem, kur uzmantoti tikai jauni materiāli.

➤ Pieaugot RAP saturam maisījumā, samazinājās poru saturs sablīvētā asfaltbetona maisījumā. Iemesls poru satura lineāram samazinājumam varētu būt materiāla pieaugums, kas iziet caur 0.063 mm sietu.

➤ Visiem HMA maisījumiem ir ļoti augsti risu noturības rezultāti. Vislabākais rezultāts bija maisījumam ar Salaspils RAP saturu 30 M.-%, par iemeslu tam varētu būt RAP saistvielas vecums, kas rezultātā maisījumu padara stingu, uzlabojot rišu veidošanās pretestību.

2. Asfaltbetona sastāvi AC 16 base/bin ar 30% RAP no A7 un Salaspils iztur nogurumizturības testus 10°C, 10Hz un 115µmm/mm. Tomēr, palielinot relatīvo izlieci līdz 130µmm/mm, noguruma testu iztur tikai asfaltbetona sastāvi AC 16 base/bin ar 30% RAP no A7 ceļa. Šis rezultāts apstiprina RAP īpašību (kvalitātes) ietekmi uz asfaltbetona ekspluatācijas īpašībām.

3. Analizējot stinguma rezultātus konstatēts, ka, pieaugot RAP saturam, palielinās stingums. Lielākais stingums ir AC 16 base/bin sastāvam ar 50% RAP saturu no A7 ceļa, bet zemākais stingums ir šim sastāvam ar 30% RAP saturu. Otru augstāku rezultātu uzrāda AC 16 base/bin sastāvam ar 30% RAP saturu no Salaspils.

4. Rezultāti norāda, ka nav pamata ierobežot kvalitatīva RAP izmantošanu jaunu HMA maisījumu ražošanā.

5. Laboratorijas apstākļos kā saistvielu pielietojot bitumenu B70/100 radīti uz AC 16 base/bin bāzes **fibroasfaltbetona** sastāvi ar aramīda stiegrām, kas **uzrāda augstāku termoplaisu noturību salīdzinājumā ar references sastāvu**. Testa veikšanai tika aprobēta TSRST metodi atbilstoši LVS EN 12697-46 standarta prasībām. Testēšanas rezultāti pret paliekošām deformācijām uzrāda augstāku rezultātu maisījumam ar pievienotām mikrostiegrām (fibrām) – WTS_{air} 0,16 mm/1000 cikliem, un references sastāvam šī vērtība ir WTS_{air} 0,28 mm/1000 cikliem. Tomēr rezultāti uzrāda, ka, pievienojot mikrostiegras (fibras), asfaltbetona sastāvu stinguma palielinājums, salīdzinājuma ar references sastāvu, nav nozīmīgs. Līdz ar to,

izmantojot tradicionālo bitumenu B70/100 un mikrościegras, nevar sasniegt SPENS rekomendāciju prasības HMAC asfaltbetona sastāviem.

6. Laboratorijas apstākļos kā saistvielu pielietojot bitumenu B70/100, B20/30 un polimērmodificēto bitumenu PMB25/55-60, kā pildvielu pielietojot grants šķembas un drupināto un mazgāto smilti uz AC 16 base/bin bāzes, ir radīti HMAC sastāvi. Grants pildvielas mehāniskās īpašības salīdzinātas ar Latvijas apstākļiem tradicionālo pildvielu īpašībām.

7. HMAC sastāviem ar PMB 25/55-60 un B20/30 noteiktas pamatīpašības un ekspluatācijas īpašības, kas atbilst HMAC specifikācijām un veikts salīdzinājums ar bitumenu B70/100 references sastāva īpašībām. HMAC sastāvu testēšanas rezultāti izturībai pret paliekošām deformācijām uzrāda augstākus rezultātu maisījumiem ar bitumeniem B20/30 – WTS_{air} (*riteņu sliedes veidošanās ātrums*) 0,07 (mm/1000 cikliem) un PMB 25/55-60- WTS_{air} 0,09 (mm/1000 cikliem), savukārt references sastāvam ar bitumenu B70/100- WTS_{air} 0,34 (mm/1000 cikliem). Prasība HMAC sastāviem izturībai pret paliekošām deformācijām ir WTS_{air} 0,03-0,3 (mm/1000 cikliem). HMAC sastāvu testēšanas rezultāti pret stingumu uzrāda augstākus rezultātu maisījumiem ar bitumeniem B20/30 – 15300 (MPa) un PMB 25/55-60- 14900 (MPa), savukārt references sastāvam ar bitumenu B70/100- 10500 (MPa). Prasība HMAC sastāviem stingumam ir >14000 (MPa). Konstatēts, ka ekspluatācijas īpašības HMAC tipa asfaltbetoniem ar grants šķembām ir ievērojami augstākas nekā tradicionālā (references sastāvs ar bitumenu B70/100) sastāva īpašības.

8. Analizējot testēšanas rezultātus redzams, ka HMAC sastāvu ar grants šķembām **īpašības atbilst High Modulus Asphalt Concrete (HMAC) specifikāciju prasībām** [38].

9. Izstrādātas tehniskas specifikācijas HMAC tipa asfaltbetonam un to izejmateriāliem.

10. Ņemot vērā izejmateriālu cenas, ražošanas izmaksas un transportēšanas izdevumus tika veikts HMAC tipa asfaltbetona ekonomiskais novērtējums. Analizējot rezultātus, secināts, ka HMAC tipa asfaltbetona sastāvu ar cieto bitumenu B20/30 izmaksas ir līdzīgas tradicionālo asfaltbetona (AC) seguma saistes un apakškārtas izmaksām. Savukārt HMAC tipa asfaltbetona sastāvu ar polimērmodificēto bitumenu PMB 25/55-60 un PMB 10/40-65 izmaksas ir par 10 – 20% augstākas nekā tradicionālā asfaltbetona (AC) saistes un apakškārtas izmaksas. Tomēr svarīgi atzīmēt, ka HMAC tipa asfaltbetona slāņa biezums ir par 10 – 30% plānāks nekā

tradicionālajiem asfaltbetona sastāviem. Tabulā Nr. 76 ir attēlots cenu aprēķins, kur var redzēt, ka asfaltbetons ar bitumeniem 20/30, 50/70, 70/100 tonnas cenas ir līdzīgas, tas nozīmē, ja kārtā plānāka- nepieciešams mazāk asfaltbetona patēriņš, tātad kopējā seguma izmaksas būs zemākās.

11. Veikts segas nestspējas aprēķins. Secināts, ka segas nestspējas aprēķins pēc LVS metodikas nav piemērots segas konstrukcijām ar HMAC tipa asfaltbetonu. Balstoties uz SPENS rekomendācijām, piedāvāti segas konstrukciju risinājumi (projekti) ar HMAC tipa asfaltbetonu (seguma saistes kārtai un apakškārtai) un SMA un ļoti plānās kārtas tipa asfaltiem (dīlumkārtai).

12. Sagatavota publikācija "Performance evaluation of HMAC asphalt concrete mixes" publicēšanai starptautiski atzītos izdevumos un ziņošanai 6th International Conference 'Bituminous Mixtures & Pavements' konferencē (Saloniki, Grieķija).

LITERATŪRA

- 1) Peter E. Sebaaly, Ph.D., P.E. RAP in HMA Pavements. Nevada T2 Center. University of Nevada. April, 2009.
- 2) Haifang Wen, PhD, PE. Use of High Percentage RAP in HMA. Washington State University.
- 3) Randy C. West. Reclaimed Asphalt Pavement Management: Best Practices. National Center for Asphalt Technology, Auburn University.
- 4) David E. Newcomb, E. Ray Brown, Jon A. Epps. Designing HMA Mixtures with High RAP Content. A Practical Guide. Quality Improvement Series 124. National Asphalt Pavement Association, Lanham, MD, 2007.
- 5) McDaniel, R. and Anderson R.M. 2001. Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method: Technicians Manual. NCHRP Report 452. Transportation Research Board. Washington, DC.
- 6) Asphalt Concrete Mix Design and Construction [tiešsaiste]. [skatīts 2014g. 16. februārī].Pieejams: <http://www.fhwa.dot.gov/asphtech/05jb3lect1hist.ppt>
- 7) Recycling Hot-Mix Asphalt Pavements. Information Series 123, National Asphalt Pavement Association, Lanham, MD, 2007.
- 8) Recycling of Asphalt. German Asphalt Pavement Association. English translation August, 2011.
- 9) Recycling Hot-Mix Asphalt Pavements. Information Series 123, National Asphalt Pavement Association, Lanham, MD, 2007
- 10) Wirtgen Cold Milling Manual. Technology and Application. 2013
- 11) McDaniel, R. and Anderson R.M. 2001. Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method: Technicians Manual. NCHRP Report 452. Transportation Research Board. Washington, DC.
- 12) Brown, D. September 2000. RAP Turns in Good Performances. Recycling Practices for HMA. Special Report No. 187. National Asphalt Pavement Association. Lanham, MD.
- 13) Recycling of Asphalt. German Asphalt Pavement Association. English translation August, 2011.
- 14) Aravind Krishna Swamy, Luke F. Mitchell, Steven J. Hall, and Jo Sias Daniel, M.ASCE4. Impact of RAP on the Volumetric, Stiffness, Strength, and Low-

Temperature Properties of HMA. Journal of Materials in Civil Engineering. November, 2011.

- 15) J. H. Kietzman, Effect of Short Asbestos Fibers on Basic Physical Properties of Asphalt Pavement Mixes, Highway Research Board Bulletin, no. 270, National Research Council, Washington, DC, USA, 1960.
- 16) Bradley J. Putman. Effects of Fiber Finish on the Performance of Asphalt Binders and Mastics. Advances in Civil Engineering. Volume 2011, Article ID 172634, 11 pages, 2011.
- 17) Anil Srivastava and Ronald van Rooijen. Bitumen performance in hot and arid climates. Pavement Seminar for the Middle East and North Africa Region. Innovative Road Rehabilitation and Recycling Technologies. 24-26 October, Amman, Jordan (2000).
- 18) H. W. Busching and J. D. Antrim, "Fiber reinforcement of bituminous mixtures," in Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, vol. 37, pp. 629–659, 1968.
- 19) B. P. Martinez and J. E. Wilson, "Polyester fibers replace asbestos in bridge deck membranes," Public Works, vol. 110, no. 6, 1979.
- 20) R. B. Freeman, J. L. Burati, S. N. Amirkhanian, and W. C. Bridges, "Polyester fibers in asphalt paving mixtures," Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, vol. 58, pp. 387–409, 1989
- 21) Y. Decoene, Contribution of Cellulose Fibers to the Performance of Porous Asphalts, Transportation Research Record, no. 1265, National Research Council, Washington, DC, USA, 1990.
- 22) P. V. Peltonen, "Characterization and testing of fibre-modified bitumen composites," Journal of Materials Science, vol. 26, no. 20, pp. 5618–5622, 1991
- 23) Mahrez A., Karim M.R. Fatigue characteristics of stone mastic asphalt mix reinforced with fiber glass. 12, 2010. gada, International Journal of the Physical Sciences, Sēj. 5, lpp. 1840-1847. Available from: doi: <http://www.academicjournals.org/IJPS. ISSN 1992-1950 @2010>.
- 24) Esfandiarpour, Saman. Hybrid Reinforcement of Asphalt - Concrete Mixtures Using Glass and Polypropylene Fibers. Gazimağusa, North Cyprus : Eastern Mediterranean University, 2010. lpp. 110.
- 25) Valainis, Valdis. Šķiedru pielietojums betonā. www.multiprese.lv : Mana Māja, Sēj. 181.
- 26) S.N.Abtahi, M.G.Ebrahimi, M.M.Kunt, S.M.Hejazi, S.Esfandiarpour. Production of Polypropylene-reinforced Asphalt Concrete Mixtures Based on Dry Procedure

and Superpave Gyratory Compactor. 10, bez viet. : Iranian Polymer Journal, 2011. gada, Sēj. 20. Available from:doi:<http://journal.ippi.ac.ir>.

- 27) Humanity Development Library 2.0. [Tiešsaiste] <http://www.nzdl.org/gsdImod?e=d-00000-00---off-0hdl--00-0----0-10-0---0---0direct-10---4-----0-0l--11-en-50---20-help---00-0-1-00-0-0-11-1-0utfZz-8-00-0-0-11-10-0utfZz-8-00&a=d&c=hdl&cl=CL1.1&d=HASH011321ce4efc2579cf71e500.4.1.3>.
- 28) Mesothelioma Cancer Alliance at Mesothelioma. <http://www.mesothelioma.com/asbestos-exposure/products/asphalt/>. [Tiešsaiste] [Citēts: 2014. gada 15. 12.]
- 29) Putman, Bradley J. *Effect of Fiber Finish on the Performance of Asphalt Binders and Mastics*. Clemson, USA : Glenn Department of Civil Engineering, Clemson University, 2011.
- 30) Department, Cambridge University Engineering. *Material Data Book*. 2003.
- 31) Bracegirdle, Paul E. Nano-steel reinforcing fibers in concrete, asphalt and plastic compositions and the associated method of fabrication. WO 2013003549 A1 2013. gada 28. 1.
- 32) Wikipedia. [Tiešsaiste] 2014. gada 8. decembris. http://en.wikipedia.org/wiki/Cellulose_fiber.
- 33) Singha, Kunal. *A Short Review on Basalt Fiber*. online at <http://journal.sapub.org/> : International Journal of Textile Science, Scientific & Academic Publishing, 2012. gada. Sēj. 1.
- 34) Etkfaza. Дисперсно-армированный асфальтобетон. [Tiešsaiste] [Citēts: 2014. gada 3. Novembris.] <http://etkfaza.ru/proektirovanie-dorog/dispersno-armirovannyj-asfaltobeton-page-1.html>.
- 35) Федерации, Министерство Транспорта Российской. Методические рекомендации по технологии армирования асфальтобетонных покрытий добавками базальтовых волокон (фиброй) при строительстве и ремонте автомобильных дорог. [Tiešsaiste] 2002. gada. [Citēts: 2014. gada 5. novembris.] www.ohranatruda.ru.
- 36) Kissyla Avila Costa, Antonio Carlos Rodrigues Guimaraes. Study of the influence on addition of nylon fibers on the mechanical behavior of HMA. Paris : Transport Research Arena , 2014.
- 37) The Use of Recycled Materials in Highway Construction. L.Schroeder, Robin. 2, bez viet. : Federal Highway Administration, 1994. gada, Sēj. 58.

38) Sustainable Pavements for European New Member States (SPENS) Document
No. D8. <http://www.spens.fehrl.org>