



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

TRANSPORTBŪVJU INSTITŪTS

PĒTĪJUMS

**Latvijā pieejamā reciklētā asfalta īpašību analīze un vadlīniju
izstrāde izmantošanai karstajos asfalta maisījumos**

Gala ziņojums

Rīga, 2017. gada 10. maijs

Lapa ar nolūku atstāta tukša.

Apstiprinu,		
(vārds, uzvārds, paraksts)		
Pētniecības projekta nosaukums LATVIJĀ PIEEJAMĀ RECIKLĒTĀ ASFALTA ĪPAŠĪBU ANALĪZE UN VADLĪNIJU IZSTRĀDE IZMANTOŠANAI KARSTAJOS ASFALTA MAISIJUMOS.		
Pētniecības projekta stadija	Gala ziņojums	
Starpziņojumu kopējais skaits	4	
Ziņojuma nodošanas datums	10.05.2017	
Lappušu skaits	159	
Disks vai cits datu nesējs (ir/nav)	ir	
Eksemplāru skaits	1	
Pētniecības programma JAUNU TEHNOLOĢIJU IZPĒTES PROGRAMMA 2014. - 2016. GADAM		
Atbildīgā institūcija/uzņēmums: Rīgas Tehniskā universitāte, Būvniecības fakultāte, Transportbūvju institūts, Ceļu un tiltu katedra, Āzenes iela 16/20, Rīga, Latvija, LV-1048		
Pētniecības projekta izpildītāji	Vārds, Uzvārds	Paraksts
Pētniecības projekta vadītājs	Mārtiņš Zaumanis	
Projektu finansē	VAS "Latvijas Valsts ceļi" / Satiksmes ministrija	
Partneri	nav	
Īss apraksts Frēzētā asfalta pielietošana jaunu asfalta maisījumu ražošanai visā pasaulē pieaug. Tas lielā mērā pamatojams ar potenciālu pazemināt ražošanas izmaksas, kā arī iespēju samazināt nelabvēlīgo ietekmi uz vidi. Arī Latvijā pēdējos gados vērojama pastiprināta interese otrreizēji izmantot frēzēto asfaltu tieši jauna asfalta ražošanā. Vairāki ražotāji uzstādījuši vai plāno uzstādīt aprīkojumu, kas to ļauj darīt. Tomēr pirmā pieredze ne vienmēr bijusi pozitīva. Tas skaidrojams gan ar pieredzes un izpratnes trūkumu par svarīgākajiem uzdevumiem, lai nodrošinātu kvalitāti, gan arī ar nepietiekami precīzi definētām prasībām Ceļu Specifikācijās. Šī pētījuma mērķis ir palielināt izpratni par svarīgākajām darbībām, lai nodrošinātu nepieciešamo asfalta segumu kvalitāti maisījumiem, kuru sastāvā ir reciklētais asfalts, kā arī piedāvāt nepieciešamās izmaiņas Ceļu Specifikācijās, lai uzlabotu maisījumu projektēšanu un kvalitātes kontroles darbības.		
Pielietojums/pētījuma sfēra	Autoceļu būvniecība	
Papildus izstrādātie materiāli	Frēzētā asfalta pārvaldība: vadlīnijas frēzētā asfalta izmantošanai ražošanā	

Lapa ar nolūku atstāta tukša

SATURS

SATURS.....	5
ILUSTRĀCIJU SARAKSTS	9
TABULU SARAKSTS.....	12
VIDEO MATERIĀLU SARAKSTS	14
SAĪSINĀJUMI	15
IEVADS	16
Projekta mērķis un uzdevumi.....	17
Dokumenta organizācija	17
1. LITERATŪRAS APSKATS	19
1.1. Asfalta reciklēšanas metodes izvēle	19
1.2. Frēzētā asfalta izmantošanas statistika	21
1.3. Maisījumu projektēšana	22
1.3.1. Frēzētā asfalta saturs	23
1.3.2. Bitumena īpašības	23
1.3.3. Novecojošā bitumena kompensēšana.....	26
1.3.4. Viendabība	28
1.3.5. Projektēšana, balstoties uz ekspluatācijas īpašībām.....	30
1.3.6. Asfalta maisījuma paraugu novecināšana	33
1.4. Ražošana.....	34
1.4.1. Frēzētā asfalta pārvaldība.....	34
1.4.2. Ražošana rūpnīcā.....	38
1.4.3. Materiālu sajukšanās	42
1.5. Asfalta īpašības	43
1.5.1. Ūdensjutība.....	44
1.5.2. Plaisāšana	44
1.5.3. Plastiskās deformācijas	45

1.5.4. Izsvīdumi.....	45
1.6. Drošība.....	45
2. VĒSTURISKO FRĒZĒTĀ ASFALTA TESTĒŠANAS DATU ANALĪZE	47
2.1. Autoceļš A9 Rīga (Skulte) – Liepāja 9.90-22.90.....	47
2.2. Autoceļš A4 (Baltezers – Saulkalne) 0.700-12.480 km	50
2.3. Autoceļš A8 Rīga – Jelgava Lietuvas robeža (Meitene) posms 31.80 - 43.14km	54
2.4. Autoceļš A9 (Rīga – Liepāja) posms 39-60km	55
2.5. Autoceļš A13 Krievijas robeža (Grebņeva) – Rēzekne –Daugavpils – Lietuvas robeža (Medumi) posma km 144.70 - 156.40	57
3. FRĒZĒTĀ ASFALTA VIENDABĪBAS PĒTĪJUMS	59
3.1. HIPOTĒZE UN MĒRĶIS	59
3.2. IZMANTOTIE MATERIĀLI UN SITUĀCIJAS RAKSTUROJUMS	59
3.2.1. Materiālu testēšana	66
3.3. REZULTĀTI.....	69
4. UZ EKSPLOATĀCIJAS ĪPAŠĪBĀM BALSTĪTAS PROJEKTĒŠANAS METODOLOĢIJAS IZSTRĀDE	79
4.1. Projektēšanas metožu salīdzinājums	80
4.2. Mērķis	83
4.3. Hipotēze	83
4.4. Materiāli un metodes.....	83
4.4.1. Materiāli	83
4.4.2. Eksperimentālais plāns	86
4.4.3. Metodes	88
4.5. Rezultāti.....	93
4.5.1. Bitumena īpašības	93
4.5.2. Rīteņa slīdes testa rezultāti	94
4.5.1. Puscilindra lieces testa rezultāti	96
4.5.2. Vienass stiepes testa rezultāti	98
4.5.3. Bitumena un maisījuma zemas temperatūras datu salīdzinājums	102
4.5.4. TSRST un SCB testu rezultātu salīdzinājums.....	104

4.5.5.	Novecināšanas eksperiments.....	105
4.5.6.	TSRST un Puscilindra lieces testa metožu salīdzinājums.....	108
4.6.	Maisījuma projektēšanas piemērs, balstoties uz ekspluatācijas īpašībām.....	109
4.6.1.	Princips.....	110
4.6.2.	Piemērs	112
5.	MAISĪJUMU AR DAŽĀDU FRĒZĒTĀ ASFALTA SATURU PROJEKTĒŠANA....	115
5.1.	Materiāli un testēšanas metodes.....	115
5.1.1.	Frēzētais asfalts	115
5.1.2.	Atjaunojošā piedeva	115
5.1.3.	References AC11 maisījums	115
5.1.4.	Ķīmiskā analīze	116
5.1.1.	Bitumena saturs un tradicionālās īpašības.....	117
5.1.2.	Bitumena Performance Grade (PG)	119
5.1.3.	Asfalta maisījumu testēšana	121
5.1.4.	Ūdensjutība.....	122
5.2.	Metodoloģija	122
5.3.	Rezultāti.....	123
5.3.1.	Atjaunojošā piedeva	123
5.3.2.	Bitumens.....	125
5.3.3.	Bitumena Performance Grade (PG)	127
5.3.4.	Asfalta maisījumu empīriskās īpašības	130
5.3.1.	Puscilindra lieces tests.....	135
5.3.2.	Netiešās stiepes tests	135
5.3.1.	Riteņa sliedes tests	136
5.3.2.	Ūdensjutība.....	137
5.4.	Rezultātu analīze	138
5.5.	Ekonomiskais novērtējums.....	140
6.	KOPSAVILKUMS.....	142
7.	REKOMENDĀCIJAS	148

PATEICĪBAS	153
IZMANTOTĀ LITERATŪRA.....	154
PIELIKUMI	159
Frēzētā asfalta pārvaldība.....	159

ILUSTRĀCIJU SARAKSTS

Ilustrācija 1. Penetrācija iekšējā un ārējā bitumen plēvītes daļā (vert. ass) attiecībā pret laiku (hor. ass) [10]	25
Ilustrācija 2. Bitumena ķīmiskais sastāvs (svaigs – novecojis – atjaunots ar piedevām) [26].....	28
Ilustrācija 3. Maksimālā frēzētā asfalta satura noteikšanas nomogramma atkarībā no RA viendabības saskaņā ar Vācijas specifikācijām asfalta segumu pamatu kārtām un vienkārtas asfaltam [27]	29
Ilustrācija 4. Maksimālā frēzētā asfalta satura noteikšanas nomogramma atkarībā no RA viendabības saskaņā ar Vācijas specifikācijām asfalta segumu virskārtām un saistes kārtām [27]	30
Ilustrācija 5. Texas Overlay tests un tā darbības princips.....	32
Ilustrācija 6. Puscilindra lieces tests	33
Ilustrācija 7. Metode 1: RA pievienošana karstā elevatora apakšā [3]	39
Ilustrācija 8. Metode 2: Frēzētais asfalts tiek pievienots maisītājā [3]	39
Ilustrācija 9. Metode 3: Atsevišķs RA žāvēšanas cilindrs [3]	40
Ilustrācija 10. 25% frēzētā asfalta sajukšana ar gaišas krāsas minerālmateriāliem, lai noteiktu optimālo maisīšanas ilgumu [38]	43
Ilustrācija 11. Autoceļa A9 penetrācijas rezultātu Gausa līkne	48
Ilustrācija 12. Autoceļa A9 mīkstēšanas temperatūras rezultātu Gausa līkne	48
Ilustrācija 13. Maksimālā frēzētā asfalta satura noteikšana saskaņā ar pieļaujamo RA mainību Vācijas specifikācijās [27]	54
Ilustrācija 14. Eksperimentālā posma fotofiksācija (pētījumā izmantota josla ar lielāko bedrīšu remontu skaitu).	60
Ilustrācija 15. Frēzēšanas un paraugu noņemšanas vietu shēma	61
Ilustrācija 16. Paraugu urbšanas vietas un izurbtais paraugs pirms sazāģēšanas	64
Ilustrācija 17. Asfalta frēzēšana, krautne pirms pārmaisīšanas un maisīšanas operācija (paraugi tika noņemti pēc katras operācijas).....	66
Ilustrācija 18. Bitumena atgūšana ar rotācijas iztvaicētāju	67
Ilustrācija 19. Bitumena penetrācijas noteikšana ar penetrometru	67

Ilustrācija 20. Mīkstēšanas temperatūras noteikšana	68
Ilustrācija 21. Fraasa trausluma temperatūras noteikšana.....	69
Ilustrācija 22. Bitumena satura viendabības rezultāti	73
Ilustrācija 23. Penetrācijas viendabības rezultāti	74
Ilustrācija 24. Mīkstēšanas temperatūras viendabības rezultāti	74
Ilustrācija 25. Fraasa temperatūras viendabības rezultāti	75
Ilustrācija 26. Putekļu satura viendabības rezultāti.....	76
Ilustrācija 27. Viendabības pētījuma variācija dažādiem parametriem	77
Ilustrācija 28. Maksimālā frēzētā asfalta satura noteikšanas nomogramma atkarībā no RA viendabības saskaņā ar Vācijas specifikācijām asfalta segumu pamatu kārtām un vienkārtas asfaltam [27] ar viendabības pētījuma testēšanas rezultātiem	78
Ilustrācija 29. Puscilindra lieces testa paraugu urbšana.....	89
Ilustrācija 30. Puscilindra lieces tests (SCB)	90
Ilustrācija 31. Puscilindra lieces testa rezultāta piemērs.....	91
Ilustrācija 32. TSRST tests	92
Ilustrācija 33. Riteņa sliedes veidošanās tests.....	92
Ilustrācija 34. Riteņa sliedes slīpums (WTS), mm	95
Ilustrācija 35. Riteņa sliedes iegrimē pie 10 000 cikliem, mm.....	96
Ilustrācija 36. Plaisāšanas pretestība puscilindra lieces testā.....	97
Ilustrācija 37. Relatīvā deformācija parauga sabrukšanas brīdī puscilindra lieces testā	98
Ilustrācija 38. TSRST paraugu sabrukšanas līkne	98
Ilustrācija 39. Vienass stiepes testa (TSRST) paraugu sabrukšanas temperatūra.....	100
Ilustrācija 40. Vienass stiepes testa (TSRST) paraugu spriegums pie sabrukšanas temperatūras	101
Ilustrācija 41. TSRST paraugu sabrukšanas līknes.....	101
Ilustrācija 42. Fraasa temperatūra pret TSRST temperatūru	102
Ilustrācija 43. TSRST rezultāti un piedāvātie plaisāšanas kritēriji virskārtai un apakškārtai.....	104
Ilustrācija 44. Testēšanas rezultātu korelācija TSRST un SCB testiem	105
Ilustrācija 45. Novecināšanas eksperimenta rezultāti	106
Ilustrācija 46. Novecināšanas eksperimenta salīdzinājums ar rūpnīcā maisītiem paraugiem	107
Ilustrācija 47. Veismīgs maisījuma projekts (optimāls bitumena saturs 4.7%-5.2%)	111

Ilustrācija 48. Neveiksmīgs maisījuma projekts (nav iespējams optimizēt bitumena saturu)	111
Ilustrācija 49. AC11 surf maisījuma projektēšana ar dažādiem bitumena tipiem	113
Ilustrācija 50. AC11 surf tipa maisījuma projektēšana ar dažādiem bitumena saturiem.....	114
Ilustrācija 51. AC11 surf granulometrija	116
Ilustrācija 52. Atjaunojošās piedevas sadalīšana SARA frakcijās [52]	117
Ilustrācija 53. Bitumena atgūšana ar rotācijas iztvaicētāju	117
Ilustrācija 54. Bitumena penetrācijas noteikšana ar penetrometru	118
Ilustrācija 55. Mīkstēšanas temperatūras noteikšana	118
Ilustrācija 56. Fraasa trausluma temperatūras noteikšana.....	119
Ilustrācija 57. Performance Grade noteikšana (DSR iekārta)	121
Ilustrācija 58. Performance Grade noteikšana (BBR iekārta).....	121
Ilustrācija 59. Testēšanas metodoloģija	123
Ilustrācija 60. Penetrācijas testēšanas rezultāti atgūtā bitumena maisījumiem ar atjaunojošo piedevu.....	127
Ilustrācija 61. PG temperatūras testēšanas rezultāti.....	128
Ilustrācija 62. Masas zudums īslaicīgās novecināšanas testā.....	129
Ilustrācija 63. Frēzētā asfalta granulometrija.....	131
Ilustrācija 64. 40% RA maisījuma granulometrija	132
Ilustrācija 65. 65% RA maisījuma granulometrija	133
Ilustrācija 66. 80% RA maisījuma granulometrija	134
Ilustrācija 67. Plaisāšanas pretestība puscilindra lieces testā.....	135
Ilustrācija 68. Paraugu sabrukšanas temperatūra netiešās stiepes testā	136
Ilustrācija 69. Spriegums pie sabrukšanas netiešās stiepes testā	136
Ilustrācija 70. Slīdes slīpums riteņa slīdes testā	137
Ilustrācija 71. Iegrime pie 10000 cikliem riteņa slīdes testā.....	137
Ilustrācija 72. Netiešās stiepes stiprības attiecība ūdensjutības testā.....	138
Ilustrācija 73. Aptuvenas asfalta ražošanas izmaksas, pievienojot dažādu frēzētā asfalta saturu	141

TABULU SARAKSTS

Tabula 1. Reciklēšanas metodes izvēle [2, 3]	20
Tabula 2. Frēzētā asfalta pielietojums dažādās valstīs [5]	22
Tabula 3. Dažādu RA pārstrādes procesu priekšrocības un trūkumi apkopoti [22]	36
Tabula 4. Nepieciešamā svaigu minerālmateriālu pārkarsēšanas temperatūra* [35]	41
Tabula 5. Kopsavilkums par NCAT frēzētā asfalta ilgtermiņa pielietošanas pētījumu (salīdzināti maisījumi ar 30% frēzētā asfalta saturu un tādi, kuros izmantoti tikai svaigi izejmateriāli) [39]	44
Tabula 6. Autoceļa A9 posma 9-22km bitumena īpašību testēšanas rezultāti.....	49
Tabula 7. Autoceļa A9 posma 9-22km minerālmateriālu granulometrija un bitumena saturs	50
Tabula 8. A4 (Baltezers - Saulkalne) 0.700-12.480 km	51
Tabula 9. Autoceļa A4 rezultātu apkopojums saskaņā ar Vācijas specifikāciju prasībām	53
Tabula 10. Autoceļa A8 testēšanas rezultāti	55
Tabula 11. Autoceļa A9 39-60km testēšanas rezultāti.....	56
Tabula 12. Autoceļa A13 Krievijas robeža (Grebņeva) - Rēzekne - Daugavpils - Lietuvas robeža (Medumi) posma km 144.70 - 156.40 testēšanas rezultāti	58
Tabula 13. Bitumena īpašību viendabības testēšanas rezultāti urbtajiem paraugiem.....	70
Tabula 14. Bitumena īpašību viendabības testēšanas rezultāti paraugiem no kravas kastes	70
Tabula 15. Bitumena īpašību viendabības testēšanas rezultāti samaisītajiem paraugiem	71
Tabula 16. Granulometrijas testēšanas rezultāti nofrēzētajiem paraugiem	71
Tabula 17. Granulometrijas testēšanas rezultāti samaisītajiem paraugiem	72
Tabula 18. Populārāko projektēšanas metožu salīdzinājums ar Latvijā pielietoto	82
Tabula 19. Pārbaudīto asfalta maisījumu tilpuma īpašības.....	84
Tabula 20. AC11 surf 50/70 darba formula	85
Tabula 21. AC22 bin/base darba formula	86
Tabula 22. Paraugu testēšanas matrica	88
Tabula 23. Bitumena Fraasa temperatūras testēšanas rezultāti.....	94
Tabula 24. TSRST un SCB testēšanas metožu salīdzinājums	109
Tabula 25. AC11 surf maisījuma tilpuma īpašības.....	116
Tabula 26. Superpave Performance Grade (PG) prasības saskaņā ar AASHTO M 320	120

Tabula 27. Atjaunojošās piedevas ķīmiskā sastāva testēšanas rezultāti	125
Tabula 28. Bitumena Fraasa temperatūras un penetrācijas testēšanas rezultāti.....	126
Tabula 29. Delta T _{cirt.} Aprēķins	130
Tabula 30. 40% RA maisījuma tilpuma īpašības.....	132
Tabula 31. 65% RA maisījuma tilpuma īpašības.....	133
Tabula 32. 80% RA maisījuma tilpuma īpašības.....	135
Tabula 33. Ražošanas izmaksu aprēķinā izmantotās cenas	140
Tabula 34. Rekomendācijas	148

VIDEO MATERIĀLU SARAKSTS

Video 1. Viendabības pētījuma situācija pirms frēzēšanas un testēšanas gaita	65
--	----

SAĪSINĀJUMI

AC – Asfaltbetons (no angļu val. Asphalt Concrete)

BBR – Bitumena termālās plaisāšanas testēšanas metode (no angļu val. Bending Beam Rheometer)

DSR – Bitumena dinamiskās reoloģijas noteikšanas metode (no angļu val. Dynamic Shear Rheometer)

LVC – A/S „Latvijas Valsts Ceļi”

LVS – Latvijas Valsts Standarts

PAV – Bitumena ilglaicīgās novecināšanas tests (no angļu val. Pressure Aging Vessel)

PG – Bitumena klasificēšanas sistēma ASV (no angļu val. Performance Grade)

RA – Frēzētais asfalts (no angļu val. Reclaimed Asphalt)

RTFO – Bitumena īslaicīgās novecināšanas tests (no angļu val. Rolling Thin Film Oven Test)

SARA – ķīmiskais sastāvs (no angļu val. Saturates, Aromatics, Resins, Asphaltenes)

SCB – Puscilindra lieces tests (no angļu val. Semi Circular Bend)

SMA – Šķembu mastikas asfalts (no angļu val. Stone Mastic Asphalt)

TSR – Netiešās stiepes stiprības attiecība ūdensjutības testam (no angļu val. Tensile Stress Ratio)

TSRST – Vienass stiepes tests (no angļu val. Thermal Stress Restrained Specimen Test)

WTT – Riteņa sliedes tests (no angļu val. Wheel Tracking Test)

IEVADS

Jau vairākus gadus pasaulē arvien vairāk no pieejamā frēzētā asfalta (turpmāk tekstā - RA) tiek izmantots jauna asfalta maisījumu ražošanai. Tas galvenokārt skaidrojams ar ekonomiskajiem ieguvumiem. Frēzētais asfalts aizvieto gan svaigu bitumenu, gan minerālmateriālus, bet papildu izmaksas ražošanas procesā ir salīdzinoši nelielas (nepieciešama papildu testēšana, frēzētā asfalta izmaksas, piedevas, rūpnīcu modificēšana u.c.). Tāpēc, palielinoties bitumena un minerālmateriālu izmaksām, palielinās arī interese ražošanā izmantot frēzēto asfaltu. Šāds process bija vērojams septiņdesmito gadu beigās naftas krīzes laikā un arī šī gadsimta pirmajā desmitgadē. Kā otrs pozitīvs apstāklis frēzētā asfalta izmantošanai jaunu maisījumu ražošanā minams ietekmes uz vidi samazinājums. Samazinās svaigu materiālu patēriņš un bieži arī transportēšanas distance. Tomēr šie ieguvumi realizēsies tikai tādā gadījumā, ja ceļu seguma ilgmūžība būs līdzvērtīga tradicionāliem maisījumiem.

Arī Latvijā pēdējos gados vērojama pastiprināta interese otrreizēji izmantot frēzēto asfaltu tieši jauna asfalta ražošanā. Vairāki ražotāji uzstādījuši aprīkojumu, kas to ļauj darīt. Tomēr pirmā pieredze ne vienmēr bijusi pozitīva. Tas skaidrojams gan ar pieredzes un izpratnes trūkumu par svarīgākajiem uzdevumiem, lai nodrošinātu kvalitāti, gan arī ar nepietiekami precīzi definētām prasībām Ceļu specifikācijās. Šī pētījuma mērķis ir palielināt izpratni par svarīgākajām darbībām, lai nodrošinātu nepieciešamo asfalta segumu kvalitāti maisījumiem, kuru sastāvā ir reciklētais asfalts, kā arī piedāvāt nepieciešamās izmaiņas Ceļu specifikācijās, lai uzlabotu maisījumu projektēšanu un kvalitātes kontroles darbības.

Frēzētā asfalta izmantošana, protams, sarežģī asfalta ražošanas un seguma būvniecības procesu. Viens no galvenajiem iemesliem ir tas, ka frēzētā asfalta sastāvā esošais bitumens ir novecojis. Tas ir kļuvis mazāk elastīgs un viskozāks. Ja tas netiek ņemts vērā jauna maisījuma projektēšanā, segums būs stingāks salīdzinājumā ar tradicionālo un tajā var rasties plaisas (nogurumizturības plaisas, termoplaisas u.c.). Palielinoties frēzētā asfalta saturam, šāds risks pieaug. Tāpat papildu grūtības rada fakts, ka frēzētais asfalts var būt nevienmērīgs, tajā var būt liels daudzums smalkņu, to ir sarežģītāk testēt, nepieciešama papildu vieta dažādas izcelsmes RA krautnēm, vajadzīga arī atbilstoša ražotne, var būt nepieciešams papildu aprīkojums sijāšanai un drupināšanai, jāapgūst

papildu zināšanas maisījumu projektēšanā un ražošanā utt. Tomēr pēdējo 40 gadu laikā ir uzkrāts daudz pieredzes, un pasaules prakse rāda, ka atbilstoši projektēts un ražots asfalta maisījums, kura sastāvā ir RA, kalpos līdzvērtīgi tradicionālajam asfaltam.

PROJEKA MĒRĶIS UN UZDEVUMI

Par projekta mērķi tika izvirzīts izpētīt Latvijā pieejamā frēzētā asfalta īpašības, lai noteiktu potenciālo izmantošanas daudzumu karstā asfalta ražošanā, kā arī izstrādāt priekšlikumus „Ceļu specifikāciju nepieciešamām izmaiņām vai papildināšanai, lai veicinātu frēzētā asfalta pielietošanu ražošanā un nodrošinātu šādu maisījumu kvalitāti.

Darba uzdevumi tika noteikti šādi:

- 1) Pieejamā frēzētā asfalta un ražošanas pieredzes analīze, kas ietvēra ārvalstu pieredzes apkopošanu, vēsturisko frēzētā asfalta testēšanas rezultātu analīzi, kā arī rekomendāciju izstrādi frēzētā asfalta vadības sistēmas izveidošanai un Ceļu specifikāciju papildināšanai balstoties uz iegūtajiem rezultātiem.
- 2) Uz ekspluatācijas īpašībām balstītas projektēšanas metodoloģijas izstrāde, kas ietvēra divu maisījuma plaisāšanas testu (SCB un TSRST) izvērtēšanu un potenciālu kritēriju izvirzīšanu maisījumu apstiprināšanai, kā arī šo testu izvērtēšanu saistībā ar esošajām Specifikāciju prasībām.
- 3) Maisījumu ar augstu reciklētā asfalta saturu projektēšana, izmantojot uz ekspluatācijas īpašībām balstītās metodes kritērijus, kas ietvēra dažāda frēzētā asfalta satura maisījumu izstrādāšanu un ekspluatācijas īpašību testēšanu saskaņā ar iepriekš izvirzītajām metodēm un kritērijiem.

DOKUMENTA ORGANIZĀCIJA

Pētījuma rezultāti apkopoti piecās nodaļās, kurās apskatīta gan esošā pasaules prakse, analizējot literatūru, gan arī veikti vairāki pētījuma etapi, analizējot Latvijā pieejamo frēzēto asfaltu, piedāvājot risinājumus viendabības nodrošināšanai, izstrādājot projektēšanas kritērijus frēzēto asfaltu saturošiem maisījumiem un demonstrējot piemēru ar projektēšanas rezultātiem. Rezultāti apkopoti sestajā nodaļā, bet rekomendācijas „Ceļu Specifikāciju papildināšanai dotas

septītajā nodaļā. Pielikumā pievienotas rekomendācijas frēzētā asfalta pārvaldībai, lai to izmantotu karstā asfalta ražošanā. Šis apkopojums paredzēts galvenokārt asfalta ražotājiem, lai koncentrētā veidā demonstrētu labās prakses piemērus un vērstu uzmanību uz dažādiem jautājumiem, kas saistīti ar kvalitātes nodrošināšanu. Padziļinātai šo jautājumu izpētei iespējams iepazīties ar šo ziņojumu, kā arī ārvalstu literatūru (piemēram to, kas norādīta izmantotās literatūras sarakstā).

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. ASFALTA RECIKLĒŠANAS METODES IZVĒLE

Frēzētā asfalta izmantošana jaunu karstā asfalta maisījumu ražošanai ir tikai viena no iespējām. Frēzēto asfaltu var izmantot arī karstajā vai aukstajā reciklēšana uz vietas būvobjektā. Latvijā šobrīd populārākā ir aukstā reciklēšana ar vai bez papildu materiālu un saistvielas pievienošanas. Konkrētās reciklēšanas metodes piemērotība būs atkarīga gan no seguma stāvokļa, gan plānotā rekonstrukcijas dziļuma, gan, protams, arī no pieejamā aprīkojuma un pieredzes. Nepareizi izvēloties frēzētā asfalta atkārtotas izmantošanas metodi, atsevišķi saguma bojājuma veidi var atkārtoties [1]. Vispārīga matrica veco asfalta segumu atkārtotas izmantošanas veidiem dota Tabulā 1. Ja apstākļi atļauj, tad priekšroka dodama asfalta atkārtotai izmantošanai pēc iespējas augstākas kvalitātes pielietojumā. Vairumā gadījumu tas nozīmēs RA izmantošanu karstā asfalta ražošanā. Piemēram, dilumkārtas asfaltu no augstas intensitātes ceļa nevajadzētu izmantot kā segumu grants ceļam. Kā jau minēts, šāda pieeja nodrošinās gan izmaksu samazināšanos, gan arī nelabvēlīgās ietekmes uz vidi ierobežošanu.

Tabula 1. Reciklēšanas metodes izvēle [2, 3]

Asfalta bojājuma veids	Izlīdzinošā frēzēšana	Karstā reciklēšana rūpnīcā	Karstā reciklēšana uz ceļa (remikss)	Aukstā asfalta kārtas reciklēšana uz ceļa	Pilna biezuma reciklēšana (sajaucot dažādas kārtas)
Virsmas defekti:					
– Izdrupšana	X	X	X		
– Izsvīšana	X	X	X		
– Zema saķere	X	X	X		
Deformācija:					
Horizontāli nelīdzenumi (corrugation)	X	X	X		
– Nelielas rises	X	X	X		
– Dziļas rises		X		X	X
Slodzes izraisīta plaisāšana:					
– Noguruma		X		X	X
– Garenvirziena sliežu vietās		X	X	X	X
– Seguma malās		X		X	X
– Noslīdēšana		X	X		
Vides ietekmes izraisīta plaisāšana:					
– Plaisāšana blokos		X		X	X
– Garenvirziena šuve		X	X		
– Šķērsvirziena (termālā)		X		X	X
– Kopējošās plaisas		X*	(X)	X	X
Bedrīšu remonts		X			X
Nesaistīto kātu bojājumi					X
Braukšanas kvalitātes problēmas:					
– Nelīdzenums	X	X	X		
– Iesēdumi	X	X	X		X
– Termālā izcilāšana	X	X	X		X

*ja frēzēšana tiek veikta kā daļa no reciklēšanas procesa

1.2. FRĒZĒTĀ ASFALTA IZMANTOŠANAS STATISTIKA

Asfalts ir viens no pasaulē visvairāk reciklētajiem materiāliem. ASV, piemēram, aprēķināts, ka 99% no visa pieejamā frēzētā asfalta tiek izmantots atkārtoti [4]. Tabulā 2 redzams kopsavilkums par frēzētā asfalta pielietojumu dažādās pasaules valstīs. Statistika par Latviju nav pieejama.

Redzams, ka visvairāk frēzētais asfalts tiek pielietots jauna karstā vai siltā asfalta ražošanai. Vidēji 76% (vidējais svērtais rādītājs) no visa pieejamā asfalta (valstīs, par kurām pieejami dati) tiek pārstrādāti un atkārtoti izmantoti karstā vai siltā asfalta ražošanā. Turklāt, salīdzinot European Asphalt Pavement Association (EAPA) statistiku par dažādiem gadiem, redzams, ka tendence ir dot priekšroku pielietojumam tieši karstā vai siltā asfalta ražošanā. Piemēram, Dānijā izmantošana karstajā asfalta pieaugusi no 55% 2009. gadā līdz 83% 2013. gadā [5, 6]. Šobrīd vidēji 28% no visiem asfaltam maisījumiem satur frēzēto asfaltu.

Cita veida reciklēšana ir daudz mazāk populāra. Piemēram, Latvijā visvairāk praktizētajā aukstajā reciklēšanā vidēji Eiropā tiek izmantots tikai 10% no visa pieejamā frēzētā asfalta (valstīs, par kurām pieejama statistika).

Par ASV pieejama pilnīgāka statistika. Vidēji 2013. gadā saražots karstais asfalts saturēja 20% frēzētā asfalta [4]. Tas ir būtisks pieaugums no 16.2% 2009. gadā. Kā redzams Tabulā 2, tad 92% no visa frēzētā asfalta tiek izmatots jauna asfalta ražošanā. Tātad šie 20% ir tuvu absolūti iespējamam maksimumam. Pieņemot 5% bitumena saturu frēzētajā asfaltā, var aprēķināt, ka 2013. gadā ir ietaupītas 3.4 miljonu tonnas svaiga bitumena, kas pie bitumena cenas 600 USD par tonnu ir devis ASV transporta departamentiem 2.04 miljonu USD finansiālu ietaupījumu.

Tabula 2. Frēzētā asfalta pielietojums dažādās valstīs [5]

Valsts	Pieejams reciklētais asfalts, tūkstoši tonnu	Izlietots karstā un siltā reciklēšanā, %	Izlietots pus-siltajā reciklēšanā	Izlietots aukstā reciklēšanā, %	Izlietots nesaistītajām kārtām, %	Karstie asfalta maisījumi, kuru sastāvā ir reciklēts asfalts, %
Austrija	750	98		3	2	
Beļģija	1500	61				51
Čehija	1450	18	0	25	20	10
Dānija	790	83			17	58
Somija	860					20
Francija	6900	64				65
Vācija	11500	90			10	
Grieķija						0.03
Lielbritānija	4500			10		
Ungārija	88	80	0		10	20
Islande	15					3
Īrija	150					
Itālija	10000	20				
Luksemburga	300	90	0	10	0	50
Holande	4500	76				70
Norvēģija	868	21	0	5	74	20
Rumānija	22	20	20	20	30	10
Slovākija	26	90	0	5	5	
Slovēnija	26	26	0	20	54	5
Spānija	205	85		7	8	1.3
Zviedrija	900	80	5	5	10	70
Šveice	1370	48	17	15	8	27
Turcija	1200	3		1	96	1
ASV	69000	92				

1.3. MAISĪJUMU PROJEKTĒŠANA

Projektējot asfalta maisījumu, frēzētais asfalts tiek uzskatīts par vēl vienu minerālmateriālu avotu, un kopējā asfalta formulā tiek iekļauta arī frēzētā asfalta sastāvā esošā bitumena proporcija. Tomēr, projektējot maisījumu, jāņem vērā arī dažas īpatnības. Svarīgi apzināties, ka frēzētā asfalta sastāvā esošais bitumens ir novecojies un to var būt nepieciešams kompensēt.

Nepieciešams arī nodrošināt RA vienmērīgu sajaukšanos ar jaunajiem materiāliem. Tāpat jāērķinās, ka RA sastāvā var būt liels saturs smalkņu un tas var būt neviendabīgs. Šie ir galvenie jautājumi, ko nepieciešams ņemt vērā maisījumu projektēšanas laikā. Šajā nodaļā tie izklāstīti sīkāk un aprakstīti iespējamie risinājumi.

1.3.1. Frēzētā asfalta saturs

Projektējot asfalta maisījumu, kura sastāvā ir frēzētais asfalts, viens no pirmajiem uzdevumiem ir noteikt tā optimālo saturu maisījumā. Galvenie parametri, kas jāņem vērā nosakot maksimālo frēzētā asfalta saturu maisījumā:

- Asfalta rūpnīcas parametri, lai nodrošinātu kvalitatīvu pievienošanu, žāvēšanu un materiālu sajaukšanos. Jāņem vērā arī frēzētā asfalta mitruma saturs.
- Bitumena novecošanās pakāpe un pieejamie risinājumi tās kompensēšanai (pieejamās svaiga bitumena klases; pieejamās atjaunojošās piedevas un to nepieciešamā dozācija).
- Prasības maisījuma granulometrijai. Bieži limitējošais faktors būs RA sastāvā esošais augstais smalkņu saturs (tās tiek ģenerētas frēzēšanas un pārstrādes operācijās). To daļēji iespējams kompensēt, pievienojot svaigu minerālmateriālu rupjās frakcijas. Tāpat RA satura palielināšanai iespējams frēzēto asfaltu fracionēt vai mazgāt.
- Frēzētā asfalta viendabība un atbilstība piemērotība maisījuma specifikācijām.

Kā maksimālo frēzētā asfalta vērtību maisījumam jānosaka mazākais no šiem ierobežojošiem faktoriem. Sīkāk šīs tēmas apskatītas šajā un nākamajā nodaļās.

1.3.2. Bitumena īpašības

Frēzētā asfalta sastāvā esošā bitumena īpašības atkarīgas gan no sākotnēji izmantotā bitumena, gan no tā novecošanās pakāpes, tāpēc katrā konkrētā gadījumā nepieciešams izvērtēt labāko stratēģiju maisījumu projektēšanai un bitumena atjaunošanai (ja tāda nepieciešama). Jāērķinās, ka reciklētajam bitumenam jānodrošina nepieciešamās īpašības vēl vienu kalpošanas laiku, tāpēc bitumena atjaunošana ir viens no vissvarīgākajiem jautājumiem, izmantojot frēzēto asfaltu jaunu maisījumu ražošanā.

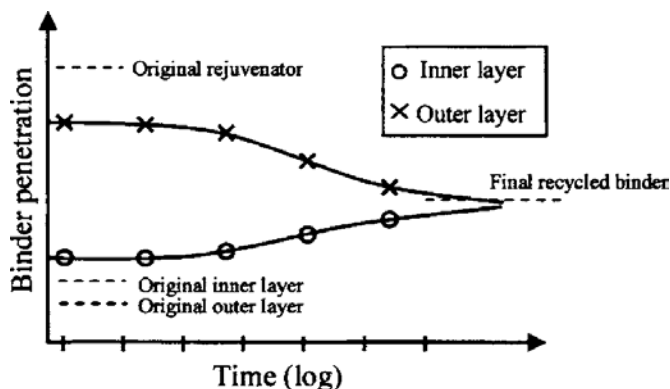
Bitumenam novecojot, samazinās tā elastība un palielinās viskozitāte, kā arī izmainās adhēzija ar minerālmateriāliem. Galvenie procesi, kas noved pie novecošanās ir sekojoši [1, 7, 8]:

- Oksidācija ražošanas laikā, kas paātrināti notiek asfalta ražošanas laikā pie augstas temperatūras (īpaši brīdī, kad bitumens maisītājā tiek izstiepts plānās kārtiņās);
- Vieglo daļiņu iztvaikošana;
- Eļļaino daļiņu absorbcija minerālmateriālos. Tās intensitāte atkarīga no bitumena sastāva un minerālmateriālu porainības.
- Oksidācija ceļa ekspluatācijas laikā, kas intensīvāk novērojama dilumkārtās un porainos asfalta segumos. Arī reciklētā asfalta ilgstoša glabāšana krautnēs paātrinās oksidāciju [9].
- Polimerizācija;
- Foto-oksidācija ultravioletā starojuma ietekmē.

Novecošanās ietekmē mainās arī ķīmiskas saites bitumenā. Veidojas polāras grupas ar stiprākām starpmolekulārajām saitēm, kas paaugstina bitumena viskozitāti.

Ja tuvāk apskata bitumena kārtiņu uz minerālmateriāliem, ir pierādīts, ka bitumens ārējā slānī ir cietāks nekā tuvāk minerālmateriālam [10, 11]. Eksperiments tika veikts, atstājot frēzēto asfaltu šķīdinātājā noteiktu laika intervālu tā, lai atsevišķi atgūtu bitumenu no ārējās un iekšējās kārtiņas. Lai noteiktu difūzijas ātrumu, tika pievienota arī atjaunojošā piedeva (šajā gadījumā mīksts bitumenu). Bitumena īpašību izmaiņas iekšējā un ārējā kārtiņā atjaunojošās piedevas difūzijas rezultātā redzamas Ilustrācijā 1. Var novērot, ka sākotnēji bitumena viskozitāte ārējā slānī ir augstāka, bet pēc difūzijas noslēgšanās tā līdzsvarojas ar iekšējo slāni. Tāpat novērots, ka bitumena viskozitāte uz smalkām un rupjām daļiņām var būtiski atšķirties.

Šos faktoros svarīgi ņemt vērā, veicot maisījumu projektēšanu un plānojot bitumena atjaunošanu. Piemēram, svarīgi nodrošināt, ka difūzijas process ir noslēdzies pirms maisījuma ekspluatācijas īpašību testēšanas. Pretējā gadījumā var iegūt neatbilstošus rezultātus. National Center for Asphalt Technology (NCAT) rekomendē frēzēto žāvēt ne ilgāk par 6h 110°C temperatūrā, lai to papildus nenovecinātu. Savukārt, pirms maisīšanas laboratorijā, lai nodrošinātu vienmērīgu temperatūru un bitumena “aktivizēšanu”, to žāvēt plānotajā maisīšanas temperatūrā 1.5 līdz 3h.



Ilustrācija 1. Penetrācija iekšējā un ārējā bitumen plēvētes daļā (vert. ass) attiecībā pret laiku (hor. ass) [10]

Frēzētā un svaigā bitumena sajaukšanās

Ražošanas laikā svaigie minerālmateriāli tiek sajaukti ar svaigo bitumenu, frēzēto asfaltu un atjaunojošo piedevu (ja tāda tiek lietota). Maisīšanas laikā frēzētā asfalta sastāvā esošajam bitumenam ir jāklūst pietiekami viskozam un jāsaucas ar svaigo bitumenu (un piedevu), lai izveidotos homogēna saistviela ar nepieciešamajām īpašībām, un tai vienmērīgā slānī jāpārklāj gan svaigie minerālmateriāli, gan frēzētā asfalta sastāvā esošie minerālmateriāli. Šis ir ļoti komplikēts process un ļoti iespējams, ka tas ražošanas laikā notiek tikai daļēji. Tā intensitāte atkarīga gan no frēzētā asfalta īpašībām (bitumena saturs, īpašības, minerālmateriālu izmērs), gan ražošanas temperatūras, maisīšanas laika un ražošanas iekārtām. Turklāt difūzijas process turpinās arī transportēšanas un ieklāšanas laikā, kā arī ar daudz mazāku intensitāti arī ekspluatācijas laikā. Šo tehnoloģisko iemeslu dēļ ir ļoti grūti prognozēt un laboratorijā simulēt, cik veiksmīgi materiāli samaisīsies [12, 13].

Nepietiekama materiālu sajaukšanās var radīt problēmas gan maisījumu projektējot, gan ekspluatācijas laikā:

- Ja daļa no bitumena netiek aktivizēta, tomēr projektēšanas laikā tiek pieņemts, ka viss frēzētā asfalta sastāvā esošais bitumens saucas ar svaigo bitumenu, izveidosies maisījums ar nepietiekamu bitumena saturu [14, 15]. Tas var novest pie maisījuma plaisāšanas, nogurumizturības samazināšanās un paaugstinātas ūdensjūtības. Šo situāciju dēvē arī par melno akmeni (black rock [16]), jo bitumens faktiski ir daļa no minerālmateriāla un nedod nekādu efektu maisījuma visko-elastīgajām īpašībām.

- Ja tiek aktivizēts vairāk bitumena, nekā pieņemts projektēšanas laikā, tad bitumena saturs maisījumā būs pārāk augsts un veidosies plastiskās deformācijas [14, 17].
- Ja atjaunojošās piedevas difūzijas process vēl nav noslēdzies pirms ceļa posms tiek atvērts satiksmei, bitumena kārtiņā veidosies vairāki slāņi ar dažādu viskozitāti. Iespējama situācija, kurā ārējais, mīkstākais bitumena slānītis nosaka maisījuma plastiskās īpašības un var veidoties rīses [18].

Kā iepriekš minēts, precīzi aprēķināt sajaukšanās pakāpi ar šī brīža tehnoloģijām nav iespējams, turklāt proporcija maisīsies atkarībā no ražošanas apstākļiem. Tomēr vairāki zinātnieki norādījuši, kā arī vairākas pārvaldības iestādes ASV ir ieviesušas principu, ka ne viss frēzētā asfalta sastāvā esošais bitumens tiek pieņemts par aktīvu. Aprēķinos var lietot, piemēram, 80% no frēzētā asfalta bitumena. Tātad, ja frēzētā asfalta bitumena saturs ir 5%, aprēķinos lieto tikai 4%. Tas nodrošina nelielu rezervi, turklāt nedaudz paaugstināts bitumena saturs pozitīvi atsaucas uz maisījuma īpašībām, kuras negatīvi ietekmē novecojies bitumens: plaisāšana un nogurumizturība. Citā pētījumā norādīts [19], ka optimālo bitumena saturu maisījumos var palielināt par 0.1% uz katriem 10% frēzētā asfalta līdz pat 30% maksimālajam frēzētā asfalta saturam. Pārsniedzot šo robežu, jāpielieto citas metodes (mīkstāks bitumens, atjaunojošā piedeva). Šajos gadījumos, kad tiek paaugstināts bitumena saturs vai lietots mīkstāks bitumens, vai piedevas, īpaši svarīgi pārbaudīt maisījuma riteņa slīdes veidošanos, lai nodrošinātu pretestību plastiskām deformācijām.

1.3.3. Novecojošā bitumena kompensēšana

ASV šobrīd ir viens no pasaules līderiem asfalta reciklēšanā karstajos maisījumos. Federālās Lielceļu Administrācijas (FHWA) izstrādātie nosacījumi frēzētā asfalta pielietošanai ražošanā ir atkarīgi no frēzētā asfalta satura maisījumā [20]:

- Līdz 15% netiek veiktas nekādas izmaiņas maisījuma darba formulā;
- No 15 līdz 25% bitumena klase tiek samazināta par vienu (t.i., tiek lietots par klasi mīkstāks bitumens);
- Virs 25% ir jāatgūst frēzētā asfalta sastāvā esošais bitumens. Tad jāizmanto maisīšanas tabulas, lai noteiktu kāda svaigā bitumena klase jāizmanto pie vēlamā frēzētās asfalta

satura, vai arī jānosaka maksimālais iespējamais frēzētā asfalta saturs, pielietojot pieejamo svaigo bitumenu.

Vairākos pētījumos pierādīts, ka līdz 15% frēzētā asfalta saturam nav nepieciešamas nekādas izmaiņas maisījuma darba formulā [16]. Trīspadsmit ASV štatos šī maksimālā robeža pat pacelta līdz 20% vai vairāk [21]. Tajā pašā laikā pētījumos redzams, ka frēzētā asfalta saturam pieaugot, mīkstāka bitumena izmantošana vairs nedod vēlamo efektu un nepieciešams pielietot atjaunojošās piedevas [22, 23]. To funkcija ir izmainīt bitumena īpašības un ķīmisko sastāvu, lai nodrošinātu nepieciešamās bitumena īpašības vēl vienu kalpošanas laiku. Šim mērķim tiek izmantotas ļoti dažādi materiāli, ieskaitot viskozu bitumenu, bitumena emulsiju, dažādus naftas destilācijas produktus, izlietoto motoreļļu, kā arī dažādas augu eļļas.

Nepieciešams izvērtēt vai konkrētā piedeva spēs nodrošināt ne tikai bitumena viskozitātes samazināšanu, bet arī izmainīs ķīmisko sastāvu, lai nodrošinātu bitumena ilgmūžību [1]. Tāpat dažas eļļas var būt kaitīgas videi un cilvēku veselībai. Piemēram, pētījumos norādīts, ka nepiesātinātās polārās aromātiskās eļļas var izraisīt vēzi [24].

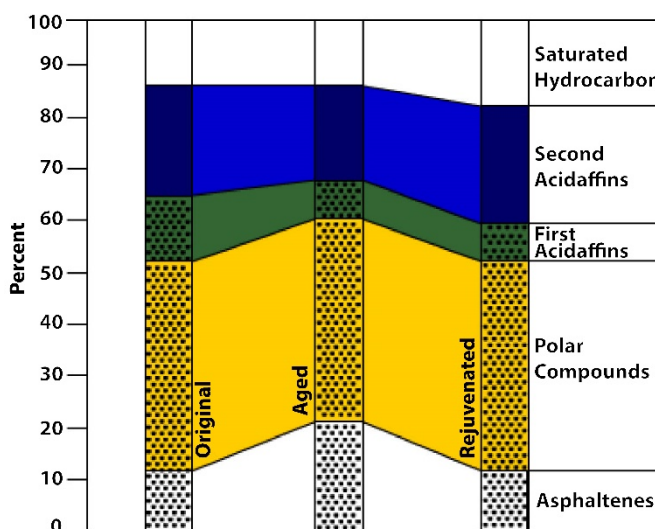
Galvenās prasības atjaunojošām piedevām var izteikt sekojoši:

- Īstermiņā piedevai jānodrošina ātra difūzija bitumenā un, lai nodrošinātu pretestību deformācijām, difūzijai jābūt noslēgtai pirms satiksmes atjaunošanas. Piedevai jāmobilizē bitumens, lai tas sajauktos ar svaigajiem materiāliem. Tai jāsamazina bitumena viskozitāte pietiekami, lai nodrošinātu ražošanas un ieklāšanas procesu. Piedevai jābūt drošai cilvēkiem un apkārtējai videi.
- Ilgtermiņā piedevai jānodrošina bitumena ķīmiskā sastāva atjaunošana un sistēmas stabilitāte. Bitumena reoloģijai jābūt izmainītai tā, lai nodrošinātu pretestību nogurumam un plaisāšanai. Jānodrošina pietiekama kohēzija un adhēzija, lai pretotos mitruma iedarbībai.

Bitumena atjaunošanu var saistīt ar ķīmiskā sastāva izmainīšanu kā parādīts Ilustrācijā 2, izmantojot SARA frakcionēšanas metodi¹ [25]. Tipiski, ka novecojot bitumenā asfaltēnu saturs palielinās, bet aromātisko daļiņu saturs samazinās. Atjaunojošām piedevām šis process būtu

¹ Saturates, Aromatics, Resins, Asphaltenes

jāatgriež. Tomēr šī metode ne vienmēr nodrošina nepieciešamo rezultātu. Pirmkārt, SARA frakcionēšanas metode ir darbietilpīga un grūti reproducējama. Otrkārt, tā nenorāda, vai ir izmainījušās ķīmiskās saites bitumena sastāvā un ir izjaukti asfaltēnu klasteri [7]. Visbeidzot, nav zināms kāds ir optimālais bitumena ķīmiskais sastāvs (nav zināms, vai svaiga bitumena ķīmiskais sastāvs konkrētajā gadījumā ir optimāls). Tātad nav atskaites punkta mērķim, kādu vajadzētu sasniegt.



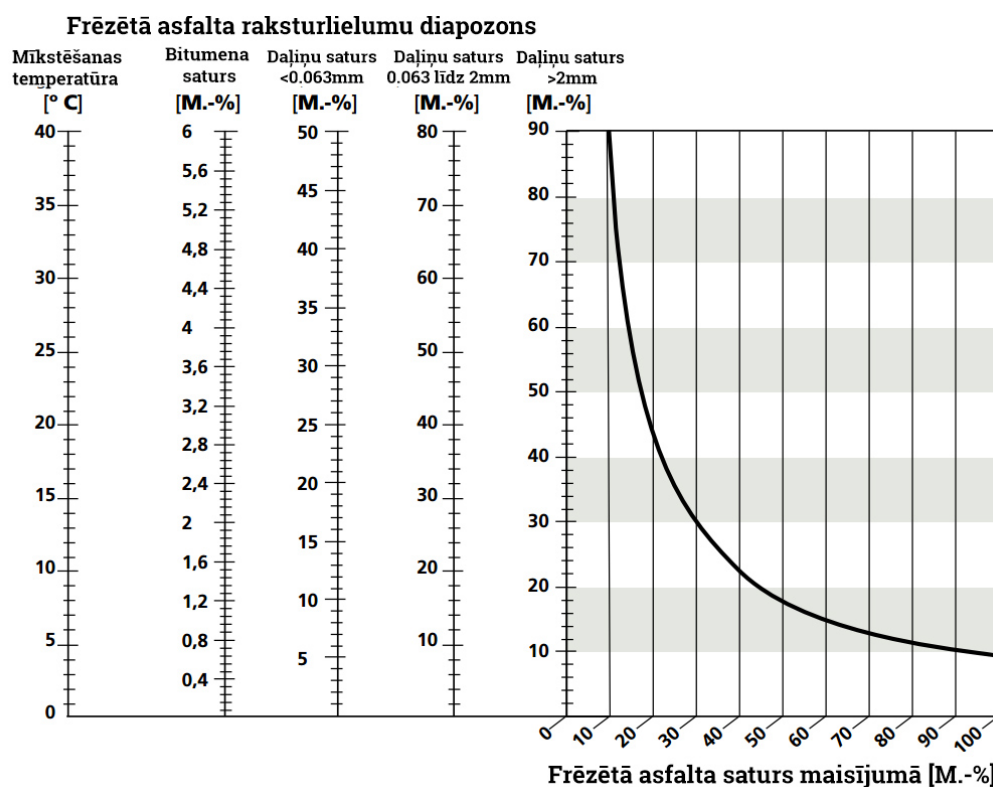
Ilustrācija 2. Bitumena ķīmiskais sastāvs (svaigs – novecojis – atjaunots ar piedevām) [26]

1.3.4. Viendabība

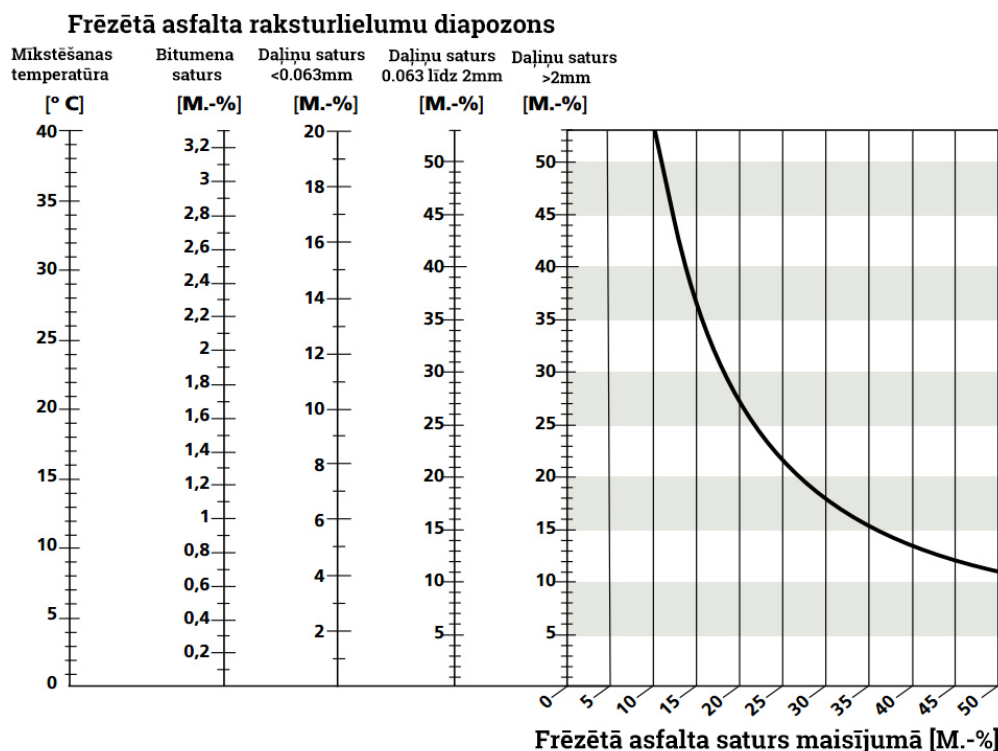
Pirms frēzētā asfalta pielietošanas ražošanā nepieciešams noteikt tā viendabību (to var uzlabot kā aprakstīts nodaļā 1.4.1). To veic no RA krautnes, dažādās vietās ņemot frēzētā asfalta paraugus, identiski kā tas tiek darīts minerālmateriāliem. Tiek rekomendēts ņemt vismaz 5 paraugus viendabības izvērtēšanai, un vidējo no šiem rezultātiem izmantot maisījumu projektēšanai [21]. Ja vienā krautnē izmantots materiāls no vairākiem būvobjektiem, ieteicams testēšanas daudzumu palielināt. Katrai frēzētā asfalta krautnei testēšana jāveic atsevišķi.

Vācijas specifikācijas, piemēram, nosaka maksimāli pieļaujamo frēzētā asfalta saturu maisījumā atkarībā no RA mainības pieciem dažādiem raksturlielumiem. Prasības pamatu kārtām un virskārtām ir atšķirīgas, kā norādīts attiecīgi Ilustrācijā 3 un Ilustrācijā 4. Nomogrammā atzīmē maksimālo katra parametra diapazonu visiem testētajiem paraugiem. Piemēram, ja frēzētā asfalta

bitumena saturs mainās robežās no 4.8 līdz 5.3, tad tabulā atzīmē 0.5. Saskaņā ar šīm nomogrammām maksimālais RA saturs tiek noteikts kā mazākais no šiem pieciem parametriem.



Ilustrācija 3. Maksimālā frēzētā asfalta satura noteikšanas nomogramma atkarībā no RA viendabības saskaņā ar Vācijas specifikācijām asfalta segumu pamatu kārtām un vienkārtas asfaltam [27]



Ilustrācija 4. Maksimālā frēzētā asfalta satura noteikšanas nomogramma atkarībā no RA viendabības saskaņā ar Vācijas specifikācijām asfalta segumu virskārtām un saistes kārtām [27]

1.3.5. Projektēšana, balstoties uz ekspluatācijas īpašībām

Tā kā frēzētā asfalta pielietošana asfalta maisījumos visā pasaulē tiek praktizēta salīdzinoši nesen, tad vēl nav izveidojies pietiekams priekšstats par to, kā nodrošināt maisījumu ilgmūžību un nepieciešamās īpašības, balstoties tikai uz empīriskām metodēm. Tāpēc daudzi pasaules vadošie eksperti rekomendē maisījumu projektēšanai pielietot uz ekspluatācijas īpašībām balstītas metodes. Tas potenciāli dod iespēju paredzēt maisījuma kalpošanas īpašības vēl projektēšanas stadijā. Protams, jāizpildās nosacījumam, ka izvēlētās testēšanas metodes korelē ar ceļa segas deformācijām un kalpošanas apstākļiem. NCAT savā ziņojumā iekļāvis sarakstu ar testēšanas metodēm, kas potenciāli būtu pielietojamas augsta satura RA maisījumu projektēšanā [22]. Dažas no metodēm jau tiek pielietotas specifikācijās, daudzas ir izstrādātas, bet tām vēl nav noteikta korelācija ar praktiskiem datiem, bet citas ir tikai izstrādes stadijā. Tomēr vairākos pētījumos norādīts, ka ekspluatācijas īpašības, īpaši plaisāšana, var ievērojami atšķirties atkarībā no maisījuma sagatavošanas veida (laboratorijā vai rūpnīcā). Tāpēc lai nodrošinātu maksimāli ticamus rezultātus, ieteicams izvēlēties maisījumu no rūpnīcas.

Šeit doti daži piemēri no municipalitātēm, kas savās specifikācijās iekļāvušas ekspluatācijas īpašību testus.

Nūdžersija

Nūdžersijas štatā, pamatojoties uz neapmierinošo asfalta segumu dzīves cikla ilgumu, ieviesta ekspluatācijas īpašību testēšana maisījumu apstiprināšanai [28]. Testi ieviesti tikai atsevišķiem maisījuma tipiem, kas pakļauti lielākajām slodzēm, piemēram, plānkārtas asfaltam, uz tiltiem lietotiem maisījumiem, ar bitumenu pārsātinātām plaisāšanas pretestības uzlabošanas kārtām un augsta satura RA maisījumiem. Nākotnē šādu projektēšanas metodi plānots pielietot visiem maisījumiem. Vispirms ražotājam jāveic projektēšana, balstoties uz tilpuma īpašībām. Pēc tam akreditētā laboratorijā tiek veikta ekspluatācijas īpašību testēšana, kas tiek atkārtota eksperimentāla posma ieklāšanas laikā noņemtiem paraugiem un arī kā kvalitātes kontroles operācija ražošanas laikā. Vienmēr tiek izmantots riteņa sliežu tests un, atkarībā no sagaidāmā bojājuma veida, viens no diviem plaisāšanas testiem:

- Asfalta seguma analizators (APA) riteņa sliedes pretestības noteikšanai;
- Četrpunktu lieces tests nogurumizturības noteikšanai;
- Overlay tests kopējošās plaisāšanas pretestības novērtēšanai betona ceļiem, tiltiem un augsta satura frēzētajam asfaltam.

Augsta satura frēzētā asfalta maisījumiem ir noteikts minimālais RA saturs 20% virskārtās un 30% apakškārtās, bet nav ierobežots maksimālais RA saturs. Ekspluatācijas īpašību prasības gan riteņa sliedes dziļumam, gan arī plaisāšanas pretestībai noteiktas atkarībā no satiksmes intensitātes. Prasības tiek izvirzītas, balstoties uz tradicionālā asfalta testēšanas rezultātiem šādas pat klases ceļiem. Idejiski transporta departaments ir noteicis: ja RA saturošs maisījums spēj izpildīt tās pašas ekspluatācijas īpašību prasības, kas noteiktas tradicionālam asfaltam, to var pielietot tradicionālā asfalta vietā.

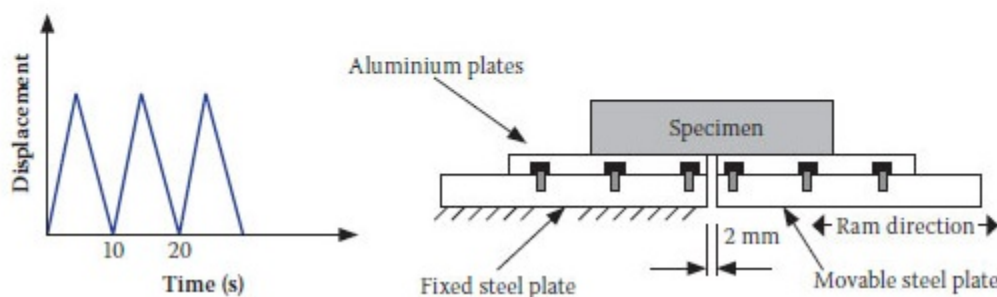
Teksasa

Teksasā ir izstrādāta uz ekspluatācijas īpašības balstīta projektēšanas metode [29]. Tās pamatā ir divi testi: plaisāšana un plastiskās deformācijas. Plaisāšanas novērtēšanai tiek izmantots Texas Overlay tests (Ilustrācija 5), bet pretestība plastiskām deformācijām tiek noteikta ar Hamburgas

riteņa sliežu testu. Katram ir izvirzīts minimāli sasniedzamais kritērijs, bet, ja tas netiek nodrošināts, tiek veikta pārprojektēšana. Tajā pašā laikā novērots, ka plaisāšanas testa rezultāti ne vienmēr sakrīt ar faktiskiem novērojumiem uz autoceļiem [30]. Tas izskaidrojams ar faktoriem, kas nav saistīti ar pašu asfaltu (nesaistīto kārtu īpašības, satiksme, slāņu biezumi utt.). Secināts, ka šie faktori jāņem vērā, izvirzot maisījuma projektēšanas kritērijus, un tāpēc tiek izstrādāta mehāniski-empīriskā ceļa segas projektēšanas metode, kurā tiks ietvertas arī prasības plaisāšanas testam atbilstoši konkrētā būvobjekta parametriem.



Overlay Tester (OT) and Specimen Set-up



Ilustrācija 5. Texas Overlay tests un tā darbības princips

Luiziāna

Līdzīga pieeja izstrādāta arī Luiziānas štatā, ASV. Arī tā balstīta uz diviem ekspluatācijas testiem: riteņa sliežu tests un puscilindra lieces testu (Ilustrācija 6).



Ilustrācija 6. Puscilindra lieces tests

Kalifornija

Kalifornijā izstrādāta un vairākos lielos būvobjektos tikusi piemērota uz ekspluatācijas īpašībām balstīta maisījumu projektēšanas sistēma tandēmā ar mehāniski-empīrisku ceļa segas projektēšanas metodi [31]. Šāda pieeja ļāvusi samazināt konstrukcijas biezumu par 35%. Maisījumu apstiprināšanai tiek izmantoti trīs testi (testēšana tiek veikta tikai rūpnīcā ražotiem maisījumiem):

- Hamburgas riteņa sliežu tests ūdenī, lai novērtētu ūdensjutību un risu veidošanos;
- Atkārtots vienkāršais bīdes tests (Repeated Simple Shear Test), lai novērtētu plastisko deformāciju veidošanos;
- Četrpunktu lieces tests, lai novērtētu nogurumizturību.

1.3.6. Asfalta maisījuma paraugu novecināšana

Novecināšana var būt lietderīga, lai precīzāk simulētu situāciju, kad veidojas konkrētā veida deformācijas. Pētījumos parasti riteņa sliežu testu veic pēc īstermiņa novecināšanas, jo rises veidojas asfalta dzīves cikla sākumā. Savukārt plaisāšanas testus veic pēc ilgtermiņa novecināšanas, jo plaisas veidojas vēlāk asfalta kalpošanas laikā, kad bitumens ir novecojies un kļuvis mazāk elastīgs.

Saskaņā ar EN standartiem Eiropā šāda prasība nepastāv, tāpēc maisījumus testē bez novecināšanas. Arī šajā pētījumā, lai maksimāli piemērotu testus praktiskām vajadzībām, novecināšana netiks veikta. Tomēr, iegūstot vairāk pieredzes ar konkrētajiem ekspluatācijas testiem, var būt nepieciešams novecināšanas procedūru ieviest. Šāda vajadzība var rasties, piemēram, ja faktiskās ekspluatācijas īpašības uz ceļa ievērojami atšķiras no testēšanas rezultātiem.

ASV pirms ekspluatācijas īpašību testēšanas parasti tiek veikt asfalta maisījuma novecināšana. Līdzīgi kā bitumena novecināšanai, ir izstrādātas atsevišķas procedūras īstermiņa un ilgtermiņa novecināšanai:

- Īstermiņa novecināšana: maisījumu nesablīvētā veidā uz pannas ievieto krāsnī 135°C temperatūrā uz 4 stundām. Ik pēc stundas maisījumu apmaisa.
- Ilgtermiņa novecināšana: sablīvētus maisījuma paraugus uz 120h (5 dienas) ievieto krāsnī 85°C temperatūrā.

1.4. RAŽOŠANA

1.4.1. Frēzētā asfalta pārvaldība

Lai nodrošinātu uzticamu maisījuma projektēšanu un nemainīgas asfalta īpašības ražošanas laikā, ir īpaši svarīgi ieviest frēzētā asfalta pārvaldības sistēmu. Pārvaldības darbības jāpiemēro atkarībā no plānotā pielietojuma un nepieciešamajām maisījuma īpašībām, kā arī prasītās viendabības. Atbilstoši izstrādāts pārvaldības plāns ļaus izvairīties no materiālu neviendabības, samazināt putekļu daudzumu, palielināt maksimālo frēzētā asfalta saturu, samazināt mitrumu, variēt bitumena saturu maisījumā utt. Tomēr frēzētā asfalta pārvaldības sistēmas izveidi un metodes ieteicams atstāt ražotāja ziņā, nevis noteikt specifikācijās [21]. Tā vietā ieteicams specifikācijās norādīt RA krautņu kvalitātes kontroles procedūras un pieļaujamos limitus. Šis variants dod lielāku iespēju kontrolēt ražotāju - izvairīties no subjektīvas interpretācijas, kā arī nodrošina ražotājam iespēju inovācijām un izmaksu optimizēšanai.

Frēzēšana un pārstrāde

Frēzēšanas laikā svarīgi nodrošināt minimālu putekļu rašanos. Pārmērīgi augsts putekļu saturs bieži ir galvenais ierobežojums frēzētā asfalta izmantošanai. Putekļu saturs būs atkarīgs gan no frēzes zobu formas un daudzuma, gan no frēzes kustības ātruma un frēzēšanas dziļuma [32]. Tāpat, lai samazinātu RA granulometrijas svārstības, svarīgi nodrošināt nemainīgu frēzes kustības ātrumu.

Nepieciešamība veikt frēzētā asfalta sijāšanu un drupināšanu jāizvērtē katrā konkrētā gadījumā. Tas būs atkarīgs no frēzētā asfalta esošās granulometrijas un viendabības, kā arī no plānotās maisījuma granulometrijas un plānotā frēzētā asfalta satura maisījumā. Vairākos pētījumos ASV norādīts, ka RA viendabība no viena būvobjekta ir laba, bieži pat augstāka nekā svaigiem minerālmateriāliem [33, 34]. Latvijā situācija var būt citāda, īpaši būvobjektos, kur rekonstrukcija nav veikta ilgāku laiku. Ja nepieciešams uzlabot viendabību, var veikt sijāšanu un drupināšanu, bet jāņem vērā, ka tas palielinās nevēlamo smalkņu saturu. Sietu izvēle un frakciju skaits atkarīgs no maisījuma projektēšanas prasībām. Izmantojot smalkus sietus, iespējama to aizdambēšanās. To iespaidos arī mitra materiāla izmantošana. Tipiski mazākais sieta izmērs, kas tiek izmantots ASV, ir 4.75mm, bet ir pieejamas atskaites arī par 2.36mm sietu izmantošanu. RA sadalīšana frakcijās ļaus precīzāk kontrolēt bitumena saturu, jo smalknes satur lielāku bitumena saturu nekā rupjākās frakcijas [35, 36].

Dažādu RA pārstrādes procesu priekšrocības un trūkumi ir apkopoti Tabulā 3.

Tabula 3. Dažādu RA pārstrādes procesu priekšrocības un trūkumi apkopoti [22]

Process	Priekšrocības	Trūkumi
RA pielietošana bez pārstrādes	– Netiek drupinātās RA daļiņas, kas var ļaut augstāka RA satura izmantošanu maisījumā – Samazina izmaksas – RA no lieliem būvobjektiem ir sagaidāms, ka tas jau būs pietiekami viendabīgs	– Nepieciešamas vairākas RA krautnes – Visdrīzāk nepieciešamas jaunas maisījuma darba formulas RA no dažādiem būvobjektiem
RA sijāšana pirms drupināšanas	– Samazina RA daļiņu drupšanu, kas limitē smalkņu veidošanos	– RA drupināšanas un sijāšanas iekārtas parasti nav konfigurētas šādā veidā
Visa RA drupināšana vienā izmērā	– Ļauj RA pievienot dažādu maisījumu ražošanā – Parasti nodrošina viendabību arī materiāliem, kas iegūti no dažādiem būvobjektiem	– Palielina putekļu saturu, kas samazinās maksimālo RA saturu darba formulā
RA sijāšana dažādās frakcijās	– Dod lielākas iespējas variēt ar maisījumu projektiem	– Nepieciešams pietiekami daudz vietas krautņu veidošanai – Lielākās izmaksas (sijāšana un arī vairākas RA aukstās dozācijas tvertnes)

Frēzētā asfalta uzglabāšana

Frēzētā asfalta krautnes vajadzētu apsaimniekot gluži kā jebkuru svaigu minerālmateriālu krautni. Jāizvairās no krautnes piesārņošanas, sajaukšanās ar citiem materiāliem, jānodrošina viendabība. Ražošanas atlikumus nevajadzētu jaukt RA krautnē.

Laika gaitā frēzētā asfalta krautnes veidosies no dažādiem avotiem. Svarīgi definēt apstākļus, pie kādiem materiālus var jaukt kopā un kādos tie jāglabā atsevišķās krautnēs. Tas var būt atkarīgs no frēzētā asfalta sastāvā esošiem minerālmateriāliem, bitumena tipa un satura, RA novecošanās pakāpes un granulometriskā sastāva [21]. Glabājot atsevišķi materiālus no dažādiem būvobjektiem, ir iespējams sasniegt augstāku viendabību un bieži šādu materiālu nebūs nepieciešams atkārtoti sijāt, tādējādi samazinot izmaksas. Tomēr, izvēloties šādu pieeju, būs nepieciešams veidot vairākas krautnes, kas var nebūt praktiski iespējams uzglabāšanas platības ierobežojumu dēļ. Šādos gadījumos iespējams samaisīt un sijāt un/vai drupināt dažādas

izcelsmes frēzēto asfaltu, lai nodrošinātu tā viendabību atbilstoši specifikāciju prasībām. Nevajadzētu jaukt RA, kuros izmantoti dažādas izcelsmes minerālmateriāli.

Atsevišķos gadījumos var būt izdevīgi frēzēt asfaltu kārtās. Bieži seguma virskārtā ir izmantoti augstākas kategorijas materiāli (īpaši tas attiecas uz minerālmateriāliem), tāpēc tos vēlāk iespējams pielietot būvobjektos, kuros izvirzītas augstākas prasības.

Uzglabājot frēzēto asfaltu, īpaši svarīgi ir nodrošināt zemu mitruma saturu. Tas ļauj samazināt kurināmā patēriņu rūpnīcā, kā arī izvairīties no pārmērīgas materiālu pārkarsēšanas, kas paātrināti novecina bitumenu. Pārlietu augsts RA mitruma saturs var arī samazināt ražošanas jaudu. Piemēram, rūpnīcas filtru sistēmai var pietrūkt kapacitātes; var rasties arī termiskā eksplozija, ja frēzētais asfalts tiek pievienots tieši maisītājā. Mitrums var arī izraisīt problēmas nodrošināt kvalitatīvu gala produktu, jo materiāli var netikt pietiekami izžāvēti, vai var netikt nodrošināts pietiekams laiks, lai materiāli sajauktos. Tas var novest pie samazinātas adhēzijas, asfalta izdrupšanas un mitruma radītiem bojājumiem.

Frēzētais asfalts tipiski saturēs nedaudz lielāku mitruma saturu salīdzinājumā ar svaigiem minerālmateriāliem. Lai samazinātu mitruma saturu, iespējamas šādas darbības [37]:

- RA novietošana nojumēs.
- RA glabāšana uz cieta seguma ar pietiekamu slīpumu mitruma novadei prom no krautnes.
- Konisku krautņu veidošana, lai nodrošinātu mitruma noteci.
- Frēzēto asfalta fracionēšana ražošanas dienā. Smalkās frakcijas piesaista lielāku mitruma daudzumu [35].

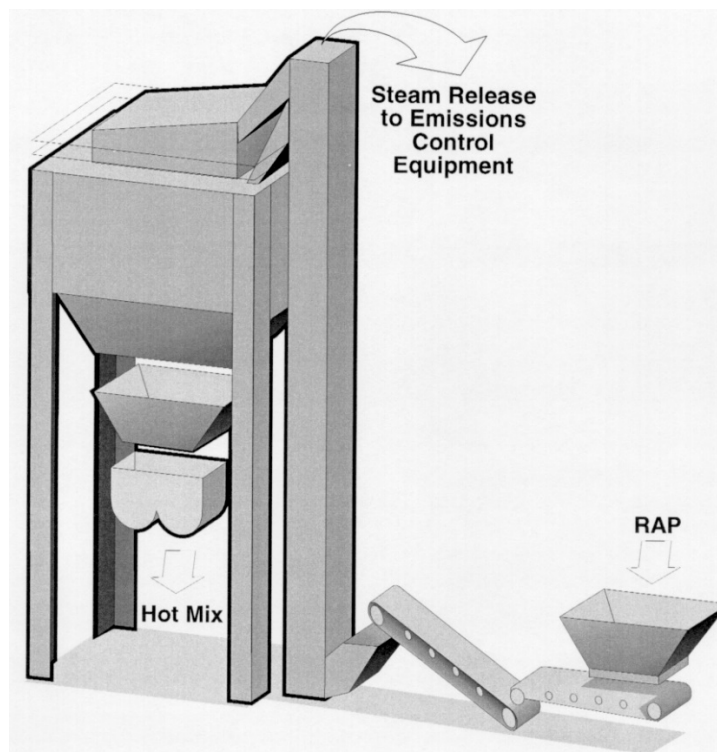
Vajadzētu izvairīties no ilgstošas frēzētā asfalta uzglabāšanas. Kā iepriekš minēts, tas palielinās novecošanos, kā arī krautne var salipt. No salipšanas var izvairīties, frēzēto asfaltu fracionējot neilgi pirms ražošanas vai sajaucot ar smilti nepieciešamajās proporcijās. Arī smagās tehnikas pārvietošanās pa krautni izsauks tās salipšanu. Krautnes virskārta (“garoza”) var salipt, arī ievērojot labus pārvaldības principus, bet to parasti ir viegli izlauzt, izmantojot frontālo iekrāvēju. Frēzētā asfalta iekraušanas dozatoram nepieciešams siets, kas neļauj pārlietu lieliem gabaliem nokļūt žāvētājā. Sietu var uzstādīt arī uz konveijera lentas. Pieejami arī frontālā iekrāvēja kausi, kas frēzēto asfaltu var atkārtoti sadrupināt.

1.4.2. Ražošana rūpnīcā

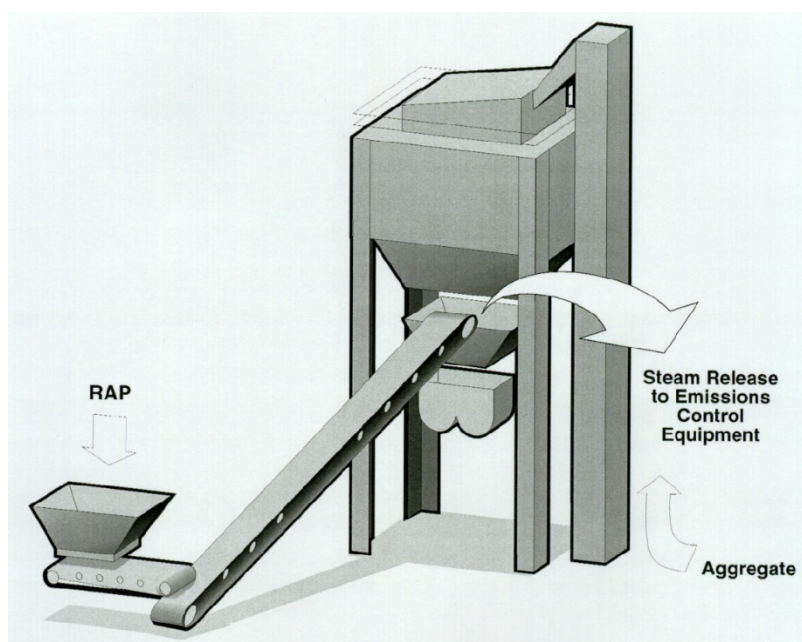
Šeit apskatīti galvenie ražošanas principi, tomēr ražošanas īpatnības ļoti atkarīgas no rūpnīcas tipa un iespējām, tāpēc katrā individuālā gadījumā būs vajadzīga arī padziļināta analīze.

Pārtrauktas darbības rūpnīcās principiāli ražošanu var veikt, izmantojot 3 dažādas metodes [3]:

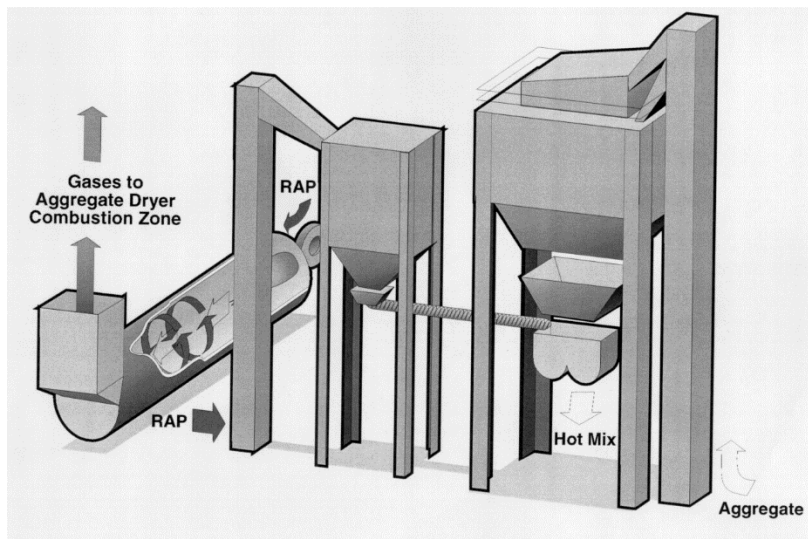
- Metode 1. Frēzētais asfalts tiek pievienots elevatora apakšā (Ilustrācija 7). Iespējams vai nu izmantot sietu sistēmu, vai arī “bypass”, kas ļauj izvairīties no sietu aizķepšanas. Tipiski maksimāli RA saturs: līdz 10%.
- Metode 2. Frēzētais asfalts aukstā veidā tiek pievienots maisītājā (Ilustrācija 8). Nepieciešams uzstādīt papildus transportiera lentu. Pie liela frēzētā asfalta daudzuma sagaidāma tvaika eksplozija RA pievienošanas brīdī. Nepieciešama pietiekama filtru stacijas kapacitāte. Tipiski maksimāli RA saturs: līdz 10-20%.
- Metode 3. Frēzētais asfalts tiek uzkarsēts atsevišķā žāvētājā un uzglabāts atsevišķā (apsildāmā) tvertnē. Iespējamās metodes variācijas ar dažādu žāvētāja atrašanās augstumu. Lai nodrošinātu materiālu pārvietošanas gravitācijas ietekmē, kas samazina mezglu aizdambēšanās risku, žāvētāju bieži novieto virs maisītāja. Šī metode atļauj lielāko frēzētā asfalta saturu, bet arī izmaksas ir vislielākās. Iespējama pat līdz 100% reciklēšana.



Ilustrācija 7. Metode 1: RA pievienošana karstā elevatora apakšā [3]



Ilustrācija 8. Metode 2: Frēzētais asfalts tiek pievienots maisītājā [3]



Ilustrācija 9. Metode 3: Atsevišķs RA žāvēšanas cilindrs [3]

Ražošanas temperatūra

Viena no lielākajām problēmām ražošanā ir nodrošināt nepieciešamo maisījuma temperatūru. Svaigie minerālmateriāli tiek pārkarsēti, lai, saskaroties ar frēzēto asfaltu, novadītu siltuma enerģiju uz RA. Nepieciešamā pārkarsēšanas temperatūra būs atkarīga galvenokārt no frēzētā asfalta satura maisījumā, mitruma satura, un plānotās asfalta gala temperatūras. Tabulā 4 redzama nepieciešamā pārkarsēšanas temperatūra atkarībā no šiem apstākļiem. (Protams, ja frēzētais asfalts tiek karsēts atsevišķā cilindrā, piemērojama cita formula.) Papildus jāņem vērā arī temperatūras zudumi ražošanas laikā, maisīšanas ilgums un apkārtējās vides temperatūra. Bieži, pievienojot augstu frēzētā asfalta saturu, būs nepieciešams samazināt ražošanas jaudu, lai nodrošinātu pietiekamu uzkaršanu un samaisīšanos.

Tabula 4. Nepieciešamā svaigu minerālmateriālu pārkarsēšanas temperatūra* [35]

RA saturs, %	RA mitruma saturs, %	Maisījuma gala temperatūra, °C			
		116	127	138	149
10	0	132	144	156	168
	1	134	147	159	171
	2	137	149	162	174
	3	140	152	164	177
	4	143	155	167	179
	5	146	158	170	182
20	0	144	158	172	186
	1	151	164	178	192
	2	157	171	184	198
	3	163	177	191	204
	4	169	183	197	211
	5	175	189	203	217
30	0	162	178	166	209
	1	173	188	204	219
	2	183	199	214	230
	3	194	209	225	241
	4	204	220	236	251
	5	215	231	246	262
40	0	186	203	221	239
	1	218	219	237	256
	2	234	235	253	272
	3	250	251	269	288
	4	266	267	286	304
	5	282	283	302	320
50	0	216	238	260	282
	1	240	262	284	309
	2	264	287	309	331
	3	289	311	333	356
	4	313	336	358	380
	5	338	360	382	404

*pieņemts 6°C karstuma zudums starp žāvēšanas cilindru un maisītāju

**pieņemta 21°C apkārtējās vides temperatūra

1.4.3. Materiālu sajaukšanās

Kā iepriekš minēts nodaļā 1.3.2., svarīgi nodrošināt svaigo materiālu un frēzētā asfalta vienmērīgu sajaukšanos. Īpaši tas attiecas uz RA sastāvā esošā bitumena sajaukšanos ar svaigo bitumenu un visu minerālmateriālu pārklāšanu ar vienmērīgu bitumena kārtiņu. Lai uzlabotu frēzētā asfalta sastāvā esošā un svaigā bitumena sajaukšanos, iespējams veikt sekojošas darbības:

- samazināt frēzētā asfalta frakcijas izmēru;
- palielināt maisīšanas un uzglabāšanas laiku;
- pielietot siltā asfalta ražošanas piedevu;
- palielināt maisīšanas un ieklāšanas temperatūru.

Salīdzinoši vienkārša metode, lai praktiski pārlicinātos par frēzētā asfalta sastāvā esošā bitumena “aktivizēšanu” un sajaukšanos ar svaigiem minerālmateriāliem, ir ražošanas laikā nepievienot svaigu bitumenu, lai vizuāli novērtētu minerālmateriālu pārklāšanos. Eksperimenta princips ir sekojošs. Svaigie minerālmateriāli tiek uzkarsēti līdz plānotajai temperatūrai, un maisītājā tiem tiek pievienots frēzētais asfalts paredzētajā daudzumā. Nepievienojot svaigu bitumenu, veic maisīšanu paredzētajā ilgumā. Pirmo maisījuma porciju neizmanto eksperimentā, jo tā rūpnīcas mezglos esošais bitumens var ietekmēt rezultātu. Otro porciju ar frontālo iekrāvēju nokrauj un izlīdzina. Procedūru atkārto, izmainot maisīšanas laiku. Apskatot maisījumus vizuāli, būs redzama svaigo minerālmateriālu pārklāšanās pakāpe (labāk izmantot gaišas krāsas minerālmateriālus) un varēs noteikt optimālo maisīšanas laiku. Pievienojot svaigu bitumenu, lielākas siltuma masas, difūzijas un konvekcijas dēļ samaisīšanās visdrīzāk paātrināties.



Ilustrācija 10. 25% frēzētā asfalta sajukšana ar gaišas krāsas minerālmateriāliem, lai noteiktu optimālo maisīšanas ilgumu [38]

1.5. ASFALTA ĪPAŠĪBAS

Maisījumiem, kuru ražošanā izmantots frēzētais asfalts, iespējamās nedaudz citādas ekspluatācijas, īpašības salīdzinājumā ar maisījumiem, kas ražoti tikai no svaigiem materiāliem. Tas gan ļoti atkarīgs no RA satura, jo pie neliela daudzuma (līdz ~15%), pieņemot adekvātu ražošanas un projektēšanas metodi, nekādas izmaiņas visdrīzāk nebūs jūtamas. Arī pie lielāka frēzētā asfalta satura iespējams nodrošināt līdzvērtīgas seguma kalpošanas īpašības, kā tradicionālajiem segumiem. Tas demonstrēts ASV Nacionālā Asfalta Tehnoloģiju Centra (NCAT) pētījumā [39], kur tika salīdzināti ilgtermiņa ekspluatācijas rezultāti maisījumiem ar 30% frēzētā asfalta saturu un segumiem, kuros izmantoti tikai svaigi materiāli. Pētījumā analizēti dati no 18 ceļa posmiem ar kalpošanas laiku no 6 līdz 17 gadiem. Tika secināts, ka caurmērā RA segumi nodrošina līdzvērtīgu sniegumu tradicionāliem maisījumiem. Tomēr jāņem vērā, ka šāds sniegums iespējams, tikai nodrošinot atbilstošu izejmateriālu kvalitāti, projektēšanu un ražošanu.

Tabula 5. Kopsavilkums par NCAT frēzētā asfalta ilgtermiņa pielietojuma pētījumu (salīdzināti maisījumi ar 30% frēzētā asfalta saturu un tādi, kuros izmantoti tikai svaigi izejmateriāli) [39]

Distress Parameter	Virgin Performed Significantly Better than RAP (Percent)	RAP Performed Significantly Better than Virgin (Percent)	Insignificant Difference Between RAP and Virgin (Percent)	RAP Performed Equal or Better than Virgin (Percent)
IRI	42	39	19	58
Rutting	33	29	38	67
Fatigue cracking	29	10	61	71
Longitudinal cracking	15	10	75	85
Transverse cracking	32	15	53	68
Block cracking	3	1	96	97
Raveling	7	15	78	93

1.5.1. Ūdensjutība

Frēzētā asfalta minerālmateriālu daļiņas jau ir ietvertas bitumena kārtiņā, tāpēc ir mazāka iespēja, ka porās nonāk ūdens. Šī iemesla dēļ tipiski ūdensjutība maisījumos ar RA parasti ir ļoti laba [40, 1]. Tomēr ir vairāki apstākļi, kas var palielināt ūdensjutību:

- Ja ūdensjutība bija problēma frēzētā asfalta segumam, ir iespējama problēmas atkārtoties arī jaunajā segumā [41].
- Neadekvāta ražošanas tehnoloģija var pasliktināt ūdensjutību. Piemēram, liels frēzētā asfalta mitrums, nepietiekama uzskarsēšana, vai neapmierinoša RA un svaigo materiālu sajaukšanās ir daži no iemesliem, kas var radīt ūdensjutības problēmas [42].

Pierādīts, ka adhēzijas piedevas nodrošina un uzlabo ūdensjutību arī maisījumiem ar frēzēto asfaltu tā saturā [22].

1.5.2. Plaisāšana

Frēzētā asfalta sastāvā esošais bitumens tipiski palielina asfalta maisījuma stingumu [14] un var izraisīt plaisāšanu (nogurumizturība, termiskā plaisāšana u.c.). Potenciāla seguma plaisāšana ir viens no galvenajiem iemesliem, kāpēc dažādu valstu specifikācijās tiek limitēts maksimālais frēzētā asfalta saturs. Tajā pašā laikā praktiskā pieredze liecina, ka, veicot adekvātus pasākumus stinguma samazināšanai, no pāragras seguma plaisāšanas iespējams izvairīties.

Pie zema RA satura plaisāšana ir maz iespējama, bet jo augstāks RA saturs, jo lielāka iespēja, ka rodas šādas deformācijas [16]. Pētījumos arī norādīts, ka stingums nepieaug lineāri proporcionāli RA saturam. Tāpat plaisāšanas iespējamība ļoti atkarīga no svaigo materiālu un frēzētā asfalta samaisīšanās pakāpes [12].

1.5.3. Plastiskās deformācijas

Tā kā frēzētā asfalta sastāvā esošais bitumens parasti ir cietāks par svaigu bitumenu, tad ir sagaidāms, ka pretestība plastiskām deformācijā būs ļoti laba [1]. Tomēr maisījuma projektēšanas laikā bieži tiek veikti pasākumi, lai samazinātu bitumena stingumu (viskozāks svaigs bitumens, atjaunojošās piedevas, augstāks bitumena saturs u.c.). Šādos gadījumos iespējama maisījuma plasticitātes palielināšanās un neatbilstoši projektētiem maisījumiem iespējama risu veidošanās.

Kā iepriekš minēts, risu veidošanās iespējama arī gadījumā, ja nav notikusi atjaunojošās piedevas vai mīkstā bitumena pilnīga sajaušanās ar RA bitumenu. Šādā gadījumā iespējama risu veidošanās agri seguma ekspluatācijas laikā, kamēr difūzijas process noslēdzas [43, 18].

1.5.4. Izsvīdumi

RA sastāvā esošā bitumena nesaderība ar svaigo bitumenu un/vai atjaunojošo piedevu var izsaukt izsvīdumu rašanos uz asfalta virskārtas. Tas iespējams arī gadījumā, ja tiek lietots neatbilstoši liels daudzums piedevas [3].

1.6. DROŠĪBA

Asfalta ražošanā kā saistvielu visbiežāk izmanto bitumenu, bet atsevišķās valstīs vēsturiski ir tikusi pielietota arī darva. Bitumens ir naftas apstrādes produkts, bet darva tiek iegūta ogļu apstrādes rezultātā. Darvas sastāvā ir augsts policiklisko aromātisko ogļūdeņražu (PAH) saturs, kas ir kaitīgs videi un ir pierādīta vairāku PAH tipu ietekme vēža izraisīšanā [44]. Arī bitumenā var atrasties PAH, tomēr to saturs ir salīdzinoši neliels un nav kaitīgs. PAH izdalīšanās palielinās, paaugstinoties temperatūrai, tāpēc tas ir īpaši bīstams cilvēkiem, kas strādā asfalta rūpnīcā un uz ceļa.

Tā kā ceļu dzīves cikls ir ilgs, tad darva joprojām ir atrodama daļā frēzētā asfalta sastāva, tāpēc ieteicams veikt pārbaudi par Latvijā pielietotā asfalta sastāvā esošo PAH daudzumu. Vairākās valstīs, piemēram, Vācijā, Zviedrijā, Holandē, asfaltu, kura sastāvā ir atrodama darva, utilizē, eksportējot uz citām valstīm. Zināms, ka Latvijā tiek ievests frēzētais asfalts no šīm valstīm, tāpēc ieteicams pārliecināties par tā atbilstību drošības prasībām.

Vācijā saskaņā ar RuVA-StB 01 2005 noteiktas šādas prasības PAH saturam [45]:

- <10 miligrami/kg: materiāls tiek klasificēts kā nekaitīgs;
- 10-25 miligrami/kg: materiālu drīkst izmantot zem ūdensizturīga slāņa;
- 25-1000 miligrami/kg: materiāls tiek klasificēts kā darvu saturošs un tā izmantošanai ir noteiktas striktas prasības;
- >1000 miligrami/kg: materiālu klasificē kā bīstamos atkritumus un to nepieciešams atbilstoši utilizēt.

2. VĒSTURISKO FRĒZĒTĀ ASFALTA TESTĒŠANAS DATU ANALĪZE

Lai gūtu vispārīgu priekšstatu par Latvijā pieejamā frēzētā asfalta īpašībām, šajā nodaļā dots apkopojums par vēsturiskajiem urbto asfalta paraugu testēšanas rezultātiem. Šie testi veikti kā priekšizpēte, lai sagatavotu projektēšanas uzdevumu ceļa rekonstrukcijai vai seguma nomaiņai. Testēšanas rezultāti iegūti no SIA “Ceļu Eksperts” un VAS “Latvijas Valsts ceļi” datu bāzēm.

Analīze dota par pieciem būvobjektiem, katrā no tiem apskatot parametrus, kādi konkrētajā gadījumā tika noteikti. Visos gadījumos tika analizēta granulometrija un bitumena saturs, un vairumā gadījumu pieejami arī bitumena īpašību testēšanas rezultāti. Balstoties uz šo informāciju, sniegti arī piemēri par to, kā šādu materiālu būtu iespējams analizēt praktiskā gadījumā. Šie ieteikumi var noderēt, lai palielinātu frēzētā asfalta izmantošanu jaunu maisījumu ražošanā.

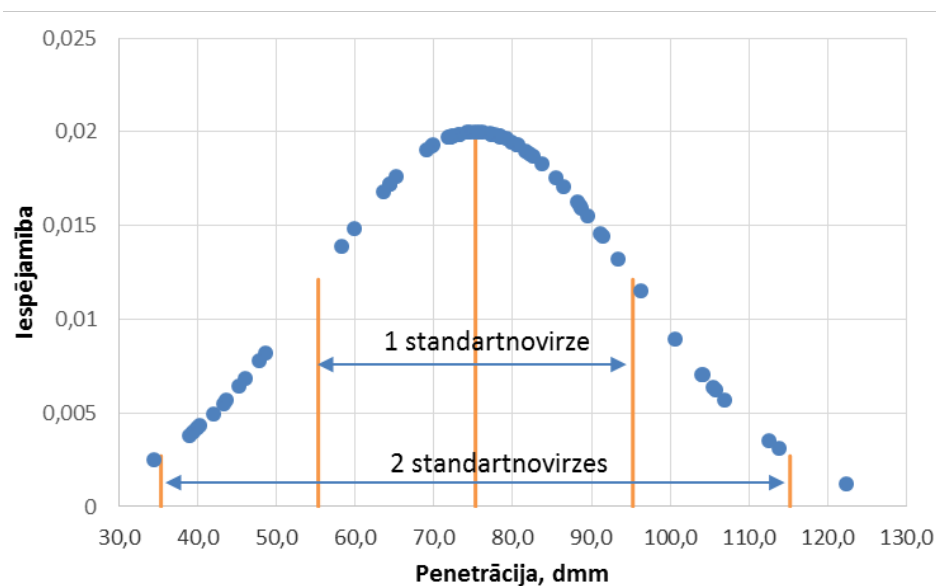
Analizējot datus, jāņem vērā, ka šie ir urbumu rezultāti. Pēc asfalta frēzēšanas paredzamas testēšanas rezultātu izmaiņas. Sagaidāms, ka frēzēšanas operācijas rezultātā pieaugs smalkņu daudzums un uzlabosies viendabība gan bitumena īpašībām, gan arī materiāla granulometrijai un bitumena saturam.

2.1. AUTOCEĻŠ A9 RĪGA (SKULTE) – LIEPĀJA 9.90-22.90

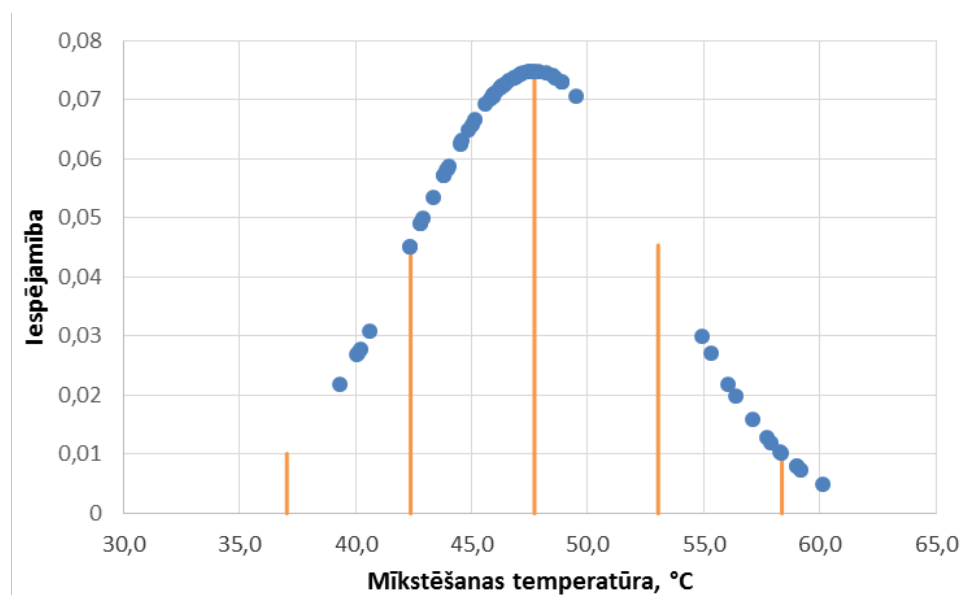
Autoceļa A9 bitumena penetrācijas un mīkstēšanas temperatūras testēšanas rezultāti ir apkopoti Tabulā 6. Rezultātos redzams, ka vidējā penetrācija ir 75dmm; minimālā 35dmm, bet maksimālā 122dmm. Tāpat rezultātu diapazons ir 87dmm. Nav zināms, no kurām asfalta kārtām šie paraugi iegūti. Rezultāti apkopoti, izveidojot Gausa līkni kā redzams Ilustrācijā 11. Tajā norādīti arī apgabali vienai un divām standartnovirzēm. Redzams, ka rezultāti izkārtojas saskaņā ar normālsadalījumu. Pie 68% ticamības (līdzvērtīgi vienai standartnovirzei) penetrācijas rezultāti šajā būvobjektā variē robežās no 35.4dmm līdz 115.2dmm, bet pie 95% ticamības (līdzvērtīgi 2 standartnovirzēm) rezultāti svārstās no 55.3dmm līdz 95.2dmm. (Jāpiebilst, ka, piemēram, ASV 95% ticamība ceļu būvniecībai parasti tiek piemērota tikai augstākās kategorijas

ceļiem, jo parasti tas saistās ar lielām izmaksām. Zemāku kategoriju ceļiem projektēšanā piemēro līdz pat 70% ticamību [46].)

Līdzīgi iespējams analizēt arī mīkstēšanas temperatūras datus, kas attēloti Ilustrācijā 12. Mīkstēšanas temperatūras vidējā vērtība ir 48°C, bet rezultāti svārstās robežās no 39 līdz 60°C, jeb 21°C robežās.



Ilustrācija 11. Autoceļa A9 penetrācijas rezultātu Gausa līkne



Ilustrācija 12. Autoceļa A9 mīkstēšanas temperatūras rezultātu Gausa līkne

Tabula 6. Autoceļa A9 posma 9-22km bitumena īpašību testēšanas rezultāti

Paraugs Nr.	Pen., dmm	Mīkst. temp., C
1	96,3	43,3
2	46,1	56,1
3	42,0	58,3
4	79,1	46,3
5	100,6	42,3
6	105,5	42,3
7	86,5	43,8
8	91,4	43,9
9	58,2	47,5
10	65,3	44,0
11	74,2	46,4
12	75,7	46,2
13	106,9	40,6
14	74,5	48,5
15	72,0	45,8
16	76,2	44,9
17	104,1	45,9
18	78,4	45,1
19	79,9	47,7
20	105,8	45,0
21	104,2	40,2
22	91,1	43,8
23	82,6	44,6
24	64,4	47,1
25	113,8	39,3
26	83,7	44,5
27	38,9	58,3
28	43,3	59,2
29	39,5	59,0
30	73,2	45,9
31	72,2	46,3
32	69,7	47,1
33	69,9	48,9
34	112,5	40,1
35	75,2	45,9
36	40,0	59,0
37	88,2	48,6
38	43,7	55,3
39	72,3	46,6
40	81,6	45,9
41	80,5	42,9
42	47,9	57,1
43	77,3	46,8
44	82,2	43,9
45	48,6	54,9
46	73,1	45,9
47	78,5	47,9

Paraugs Nr.	Pen., dmm	Mīkst. temp., C
48	89,5	42,8
49	72,4	47,4
50	71,8	46,0
51	40,3	57,7
52	64,3	46,0
53	34,5	60,1
54	69,1	47,2
55	77,8	46,9
56	78,2	48,9
57	59,9	57,9
58	71,9	49,5
59	77,1	47,6
60	78,2	46,8
61	88,5	45,9
62	80,6	46,3
63	45,2	56,4
64	93,4	45,6
65	122,4	40,1
66	88,7	42,8
67	63,5	48,2
68	85,5	44,5
vidējais	75,3	47,7
1 standartnovirze	20,0	5,3
2 standartnovirzes	39,9	10,7
max	122,4	60,1
min	34,5	39,3
diapazons	87,9	20,8
68% ticamības rezultāts	55,3 - 95,2	42,4 - 53
95% ticamības rezultāts	35,4 - 115,2	37 - 58,4

Minerālmateriālu granulometrijas un bitumena satura testēšanas rezultāti šim pašam posmam redzami Tabulā 7. Redzams, ka pastāv salīdzinoši liels granulometrijas izkliedes diapazons katrā no sietiem. Bet, kā minēts iepriekš, tad granulometrija frēzēšanas laikā noteikti mainīsies un viendabība varētu uzlaboties. Rezultātiem norādīta arī testētā kārta (1 – virskārta un sekojoši kārtas numuri norāda arvien zemākas kārtas). Var novērot, ka virskārtā četriem paraugiem ir ļoti augsts smalkņu saturs, bet diviem zem 8%. Bitumena saturs ievērojami variē dažādos urbumos, par ko liecina gan liels diapazons, gan augsta standartnovirze. Atsevišķos gadījumos bitumena saturs ir ļoti augsts, pat virs 6%. Šie faktori liecina, ka šādu materiālu bez pārstrādes nebūtu ieteicams izmantot asfalta ražošanā.

Tabula 7. Autoceļa A9 posma 9-22km minerālmateriālu granulometrija un bitumena saturs

Nr.	Kārta	Caurbīrušo daļiņu daudzums (masas %)													Bitumens
		0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4	31,5	%
1	1	13,2	15	19	28	40	54	61	66	77	89	100	100	100	4,81
4	1	13,2	16	19	27	39	51	57	59	68	95	100	100	100	4,96
5	2	10,6	15	22	37	51	63	75	81	89	95	100	100	100	6,67
7	1	12,9	15	19	27	40	56	71	78	86	91	100	100	100	5,59
9	1;2;3	10,8	13	17	25	37	50	61	68	77	89	100	100	100	4,62
11	1;2;3	10,3	13	18	28	40	54	64	70	78	89	100	100	100	5,02
12	1;2	8,1	11	16	26	36	46	57	62	71	86	100	100	100	5,13
15	1;2	9,1	12	17	28	40	53	65	71	81	92	99	100	100	5,67
17	1;2	9,8	13	17	26	39	53	64	70	77	90	99	100	100	5,67
19	1;2	10,0	13	17	25	38	52	63	68	75	88	100	100	100	5,9
20	3	14,8	18	23	35	53	71	83	89	93	97	100	100	100	6,52
21	1	7,7	13	30	42	53	65	74	79	85	93	100	100	100	5,43
22	2	10,4	13	20	32	44	58	71	77	86	95	100	100	100	5,52
22	4	9,0	13	20	34	52	69	81	86	91	95	97	98	100	4,03
25	1	6,7	12	28	40	52	66	77	83	90	96	100	100	100	5,49
25	3	9,2	12	18	28	38	50	61	67	75	86	98	100	100	4,88
26	2	9,3	12	18	28	39	50	61	67	74	85	97	100	100	4,88
27	1	14,5	19	25	38	54	71	84	89	93	96	99	100	100	7,04
vidējais		10,5	13,7	20,2	30,8	43,7	57,2	68,2	73,8	81,3	91,5	99,3	99,9	100,0	5,4
standartnovirze		2,2	2,2	4,0	5,4	6,6	7,7	8,7	8,9	7,6	3,8	0,9	0,5	0,0	0,7
max		14,8	18,7	30,3	42,1	54,4	70,9	84,1	88,8	93,2	97,0	100,0	100,0	100,0	7,0
min		6,7	10,6	15,6	25,2	36,0	46,2	56,6	59,1	67,9	85,2	97,3	97,6	100,0	4,0
diapazons		8,1	8,1	14,7	16,9	18,4	24,7	27,5	29,7	25,3	11,8	2,7	2,4	0,0	3,0
68% ticamības rezultāts		8,3 - 12,8	11,5 - 15,8	16,2 - 24,1	25,4 - 36,1	37,1 - 50,3	49,4 - 64,9	59,5 - 76,9	64,9 - 82,7	73,7 - 88,9	87,7 - 95,3	98,4 - 100	99,3 - 100	100 - 100	4,7 - 6,2
95% ticamības rezultāts		6 - 15	9,4 - 18	12,2 - 28,1	20,1 - 41,5	30,5 - 56,9	41,7 - 72,6	50,8 - 85,6	56,1 - 91,5	66,2 - 96,4	83,9 - 99,1	97,6 - 100	98,8 - 100	100 - 100	4 - 6,9

2.2. AUTOCEĻŠ A4 (BALTEZERS – SAULKALNE) 0.700-12.480 KM

Autoceļa A4 testēšanas rezultāti redzami Tabulā 8. Šajā gadījumā testēšana atsevišķi veikta dažādām ceļa seguma kārtām. Bitumena īpašības noteiktas augšējām trim kārtām. Redzams, ka vienā gadījumā bijušas pat deviņas kārtas! Tas visdrīzāk liecina, ka šādā būvobjektā sagaidāma

ļoti liela rezultātu nevienādība, jo kārtas izbūvētas dažādos laikos un līdz ar to visdrīzāk atšķiras materiāli, kādi tajās izmantoti, specifikācijas, kādas tika piemērotas, kā arī bitumens novecojies dažādus laika periodus. Iespējams, ka šādā gadījumā būtu lietderīgi veikt frēzēšanu pa kārtām, lai samazinātu materiālu mainību. Lai izvērtētu šādu gadījumu, tabulā atsevišķi norādīta arī mainība tikai divās virsējās kārtās. Redzams, ka šādā gadījumā ievērojami uzlabojas viendabība, īpaši attiecībā uz bitumena īpašībām. Rezultātu diapazons un standartnovirze samazinājušies vairākas reizes, lai arī vidējā vērtība izmainījies salīdzinoši nedaudz.

Tabula 8. A4 (Baltezers - Saulkalne) 0.700-12.480 km

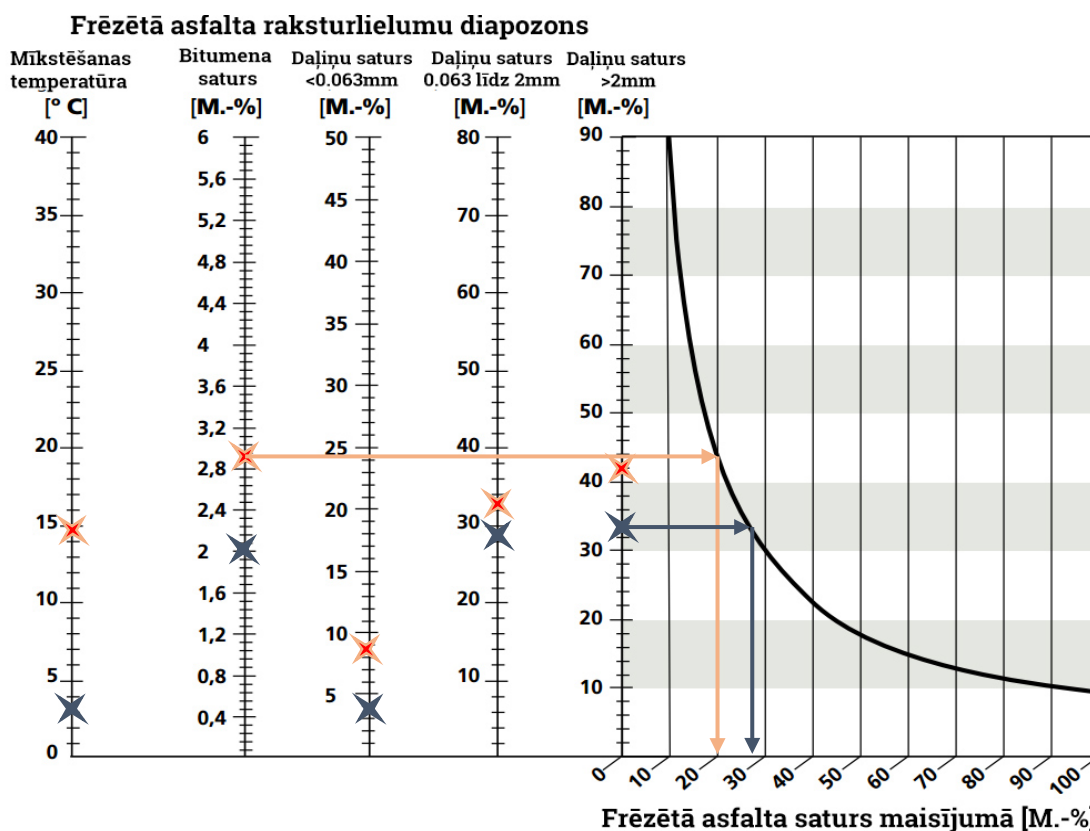
		Caurbirušo daļiņu daudzums (masas %)														Bitumens	Penetrācija	Mikstēšana
Nr.	Kārta	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4	31,5	%	mm x 0.1	C ⁰	
2	4;5	14,6	21	30	42	55	69	83	88	92	96	99	100	100	6,91			
3	1;2;3	12,5	15	21	31	40	50	62	70	80	89	94	99	100	5,01			
4	3	10,4	13	18	29	39	49	59	65	71	78	89	96	100	4,24			
5	4;5;6	13,9	19	27	38	50	62	74	79	84	86	90	94	100	5,75			
7	1	11,1	17	26	40	48	55	64	69	81	94	100	100	100	6,73	73,1	45,9	
8	4;5	7,5	11	17	27	38	48	55	60	66	75	93	100	100	3,87			
9	2	13,4	20	29	43	58	73	85	91	95	98	100	100	100	6,52	67,7	46,0	
11	3	7,6	11	17	25	32	37	43	46	54	64	81	98	100	4,38	48,6	54,9	
12	1	9,5	12	17	25	31	39	57	67	81	98	100	100	100	4,88			
13	4;5;6	9,6	14	20	30	39	46	53	57	61	69	81	93	96	4,53			
16	1	12,2	16	23	34	44	56	73	81	90	97	100	100	100	6,03	71,8	46,0	
16	4;5;6	10,5	15	21	32	42	51	59	64	68	71	76	85	100	4,92			
18	6;7;8;9	10,8	15	22	35	47	58	67	72	78	84	92	94	96	5,11			
18	2	12,2	19	29	43	54	64	74	80	85	89	93	97	100	6,03	89,5	42,8	
20	3	13,1	19	28	41	54	67	81	87	91	96	98	100	100	5,68	40,3	57,7	
21	1	9,9	12	17	25	31	40	59	71	83	95	100	100	100	4,61			
23	3;4	16,3	27	43	60	72	79	85	88	92	97	100	100	100	6,82			
vidējais		11,5	16,2	23,8	35,3	45,6	55,6	66,7	72,6	79,5	86,8	93,3	97,5	99,6	5,4	65,2	48,9	
standartnovirze		2,3	4,1	6,6	8,9	10,7	11,8	12,1	12,1	11,6	11,0	7,5	3,8	1,2	0,9	16,3	5,4	
max		16,3	27,0	42,9	60,4	72,2	79,1	85,2	90,8	95,1	98,4	100,0	100,0	100,0	6,9	89,5	57,7	
min		7,5	10,8	16,5	25,1	31,0	37,1	42,6	46,4	53,5	64,4	76,3	85,4	96,4	3,9	40,3	42,8	
diapazons		8,8	16,2	26,4	35,3	41,2	42,0	42,6	44,4	41,6	34,0	23,7	14,6	3,6	3,0	49,2	14,9	
68% ticamības rezultāts		9,2 - 13,8	12,1 - 20,3	17,2 - 30,5	26,4 - 44,2	34,9 - 56,2	43,7 - 67,4	54,6 - 78,8	60,5 - 84,7	67,9 - 91,1	75,8 - 97,8	85,8 - 100	93,7 - 100	98,4 - 100	4,5 - 6,4	48,8 - 81,5	43,5 - 54,3	
95% ticamības rezultāts		6,9 - 16,1	8 - 24,4	10,6 - 37,1	17,5 - 53	24,2 - 66,9	31,9 - 79,2	42,5 - 90,9	48,3 - 96,8	56,2 - 102,7	64,8 - 108,8	78,2 - 100	89,9 - 100	97,3 - 100	3,5 - 7,3	32,5 - 97,8	38 - 59,7	
REZULTĀTS TIKAI DIVĀM VIRSĒJĀM KĀRTĀM																		
vidējais		11,4	15,9	23,6	35,0	44,6	54,6	68,7	76,5	85,9	95,2	98,8	99,5	100,0	5,8	75,5	45,2	
standartnovirze		1,4	2,9	5,1	7,6	10,5	12,0	9,7	8,3	5,1	3,2	2,8	1,0	0,0	0,8	8,3	1,4	
max		13,4	19,5	29,2	43,2	58,3	72,9	85,2	90,8	95,1	98,4	100,0	100,0	100,0	6,7	89,5	46,0	
min		9,5	12,0	17,0	25,1	31,0	39,2	57,2	66,7	80,9	89,2	92,6	97,2	100,0	4,6	67,7	42,8	
diapazons		3,9	7,5	12,2	18,1	27,3	33,7	28,0	24,1	14,2	9,2	7,4	2,8	0,0	2,1	21,8	3,2	
68% ticamības rezultāts		10 - 12,8	13 - 18,7	18,6 - 28,7	27,4 - 42,7	34,1 - 55	42,6 - 66,6	59 - 78,3	68,2 - 84,8	80,8 - 91	92 - 98,4	96 - 100	98,5 - 100	100 - 100	5 - 6,6	67,2 - 83,8	43,8 - 46,5	
95% ticamības rezultāts		8,6 - 14,1	10,1 - 21,6	13,5 - 33,7	19,7 - 50,3	23,6 - 65,5	30,6 - 78,5	49,3 - 88	59,8 - 93,1	75,7 - 96,1	88,8 - 101,6	93,3 - 100	97,4 - 100	100 - 100	4,2 - 7,4	58,9 - 92,1	42,4 - 47,9	

Lai izanalizētu materiāla piemērotību lietošanai asfalta maisījumā saskaņā ar Vācijas specifikācijām, šie paši rezultāti apkopoti Tabulā 9. Šajā gadījumā veikts pārrēķins daļiņu saturam saskaņā ar Vācijas specifikāciju prasībām. Tabulā uzrādīti divi gadījumi viendabībai. Pirmajā ņemti vērā rezultāti no visām kārtām, bet otrajā tikai divās virsējās kārtās. Vizuālai uzskatei dati apkopoti arī nomogrammās maksimālā RA satura noteikšanai pamatu kārtās saskaņā ar Vācijas normatīvu.

Ilustrācijā 13 sarkanā krāsā redzams rezultāts, ņemot vērā visas kārtas, bet zilā krāsā, analizējot rezultātus, tikai divās virsējās kārtās. Visu kārtu maisījumu būtu iespējams pievienot 20% no kopējās maisījuma masas, un kā ierobežojošais faktors būtu bitumena satura mainība. Izmantojot tikai divas virskārtas, frēzētā asfalta saturu varētu palielināt līdz 28%, un ierobežojošais faktors būtu daļiņu saturs $>2\text{mm}$. Jāņem vērā, ka šis aprēķins ir tikai teorētisks. Faktiski frēzējot asfaltu, tā raksturlielumi izmainīsies (galvenokārt sagaidāma granulometrijas viendabības uzlabošanās un smalkņu satura palielināšanās).

Tabula 9. Autoceļa A4 rezultātu apkopojums saskaņā ar Vācijas specifikāciju prasībām

Nr.	Kārta	Daļiņu saturs <0.063mm, %	Daļiņu saturs 0.063-2mm, %	Daļiņu saturs >2mm, %	Bitumena saturs, %	Penetrācija, mm x 0.1	Mīkstēšanas temperatūra, C°
2	4;5	14,6	54,8	30,6	6,91		
3	1;2;3	12,5	37,6	49,9	5,01		
4	3	10,4	38,5	51,1	4,24		
5	4;5;6	13,9	48,1	38,0	5,75		
7	1	11,1	44,2	44,7	6,73	73,1	45,9
8	4;5	7,5	40,4	52,1	3,87		
9	2	13,4	59,5	27,1	6,52	67,7	46,0
11	3	7,6	29,5	62,9	4,38	48,6	54,9
12	1	9,5	29,7	60,8	4,88		
13	4;5;6	9,6	36,5	53,9	4,53		
16	1	12,2	44,1	43,7	6,03	71,8	46,0
16	4;5;6	10,5	40,6	48,9	4,92		
18	6;7;8;9	10,8	47,1	42,1	5,11		
18	2	12,2	51,3	36,5	6,03	89,5	42,8
20	3	13,1	54,3	32,6	5,68	40,3	57,7
21	1	9,9	30,3	59,8	4,61		
23	3;4	16,3	62,8	20,9	6,82		
vidējais		11,5	44,1	44,4	5,4	65,2	48,9
1 standartnovirze		2,3	9,9	11,8	0,9	16,3	5,4
max		16,3	62,8	62,9	6,9	89,5	57,7
min		7,5	29,5	20,9	3,9	40,3	42,8
diapazons		8,8	33,3	42,0	3,0	49,2	14,9
68% ticamības rezultāts		9,2 - 13,8	34,2 - 53,9	32,6 - 56,3	4,5 - 6,4	48,8 - 81,5	43,5 - 54,3
95% ticamības rezultāts		6,9 - 16,1	24,4 - 63,8	20,8 - 68,1	3,5 - 7,3	32,5 - 97,8	38 - 59,7
REZULTĀTI TIKAI DIVĀM VIRSĒJĀM KĀRTĀM							
vidējais		11,4	43,2	45,4	5,8	75,5	45,2
1 standartnovirze		1,4	10,7	12,0	0,8	8,3	1,4
max		13,4	59,5	60,8	6,7	89,5	46,0
min		9,5	29,7	27,1	4,6	67,7	42,8
diapazons		3,9	29,8	33,7	2,1	21,8	3,2
68% ticamības rezultāts		10 - 12,8	32,5 - 53,8	33,4 - 57,4	5 - 6,6	67,2 - 83,8	43,8 - 46,5
95% ticamības rezultāts		8,6 - 14,1	21,9 - 64,5	21,5 - 69,4	4,2 - 7,4	58,9 - 92,1	42,4 - 47,9



Ilustrācija 13. Maksimālā frēzētā asfalta satura noteikšana saskaņā ar pieļaujamo RA mainību Vācijas specifikācijās [27]

2.3. AUTOCEĻŠ A8 RĪGA – JELGAVA LIETUVAS ROBEŽA (MEITENE) POSMS 31.80 - 43.14KM

Autoceļa A8 testēšanas rezultāti apkopoti Tabulā 10. Redzams, ka bitumena īpašību svārstības ir salīdzinoši nelielas. Penetrācija mainās robežās no 55 līdz 73dmm, bet mīkstēšanas temperatūras diapazons ir tikai 5°C. Saskaņā ar Vācijas normatīviem šāda mainība ļautu šo materiālu pielietot neierobežotā daudzumā. Turklāt redzams, ka bitumena īpašības ir tuvu tam, kādas izmanto ceļu būvniecībā Latvijā. Tātad šajā gadījumā nebūtu nepieciešams pielietot atjaunojošo piedevu neatkarīgi no frēzētā asfalta satura. Tomēr, ja apskata bitumena satura testēšanas rezultātus, redzams, ka tas ir ļoti nevienmabīgs. Rezultāti svārstās robežās no 3.6 līdz 7.4%. Ļoti iespējams, ka fracionējot šo materiālu, uzlabotos tā viendabība. Tas palīdzētu uzlabot arī granulometrijas viendabību.

Tabula 10. Autoceļa A8 testēšanas rezultāti

Kārta	Km	Josla	Caurbirušo daļiņu daudzums (masas %)													Bitumena		
			0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4	31,5	Saturs, %	Pen., dmm	Mīkst. temp., C
1	31,870	K	11,2	16	25	39	50	62	75	81	90	99	100	100	100	7,06		
1	32,550	K	11,7	17	27	40	51	63	76	82	92	100	100	100	100	6,17		
1	32,850	L	11,1	16	26	39	51	64	77	84	91	99	100	100	100	6,3	69	50
1	33,250	L	9,7	14	23	36	47	58	70	75	82	93	100	100	100	7,21		
1	34,500	L	10,6	15	24	36	47	59	72	79	87	99	100	100	100	6,59		
1	35,780	L	10,3	15	23	35	46	58	71	79	89	99	100	100	100	6,62	70	52
1	36,100	K	9,9	14	22	36	48	61	75	81	90	99	100	100	100	6,66		
1	37,490	K	11,8	14	18	24	36	47	55	62	76	97	100	100	100	5,17		
1	38,450	K	12,0	14	18	24	36	48	57	66	80	99	100	100	100	5,10	72	48
1	39,750	K	12,1	15	18	26	38	49	56	64	77	98	100	100	100	5,15		
1	40,750	K	8,6	10	15	24	31	39	51	60	70	80	92	100	100	5,14		
1	41,230	L	7,1	10	14	23	32	42	54	61	73	85	96	100	100	4,19		
1	42,100	K	8,5	10	15	23	30	37	48	59	73	87	98	100	100	4,15	55	53
2	32,150	L	7,3	9	15	26	37	47	57	64	76	93	100	100	100	5,03	71	49
2	33,650	L	8,9	12	17	28	39	49	59	65	75	90	100	100	100	5,27	74	49
2	34,000	K	9,6	12	17	27	36	44	53	59	69	87	99	100	100	4,77		
2	35,100	K	8,3	11	16	27	38	47	56	62	73	91	100	100	100	5,05		
2	36,500	K	10,3	14	22	37	49	59	68	73	78	90	100	100	100	7,39		
2	38,900	L	10,9	15	23	35	46	57	70	75	82	90	99	100	100	5,65		
2	40,250	L	7,4	10	14	21	28	36	44	50	60	71	83	94	100	4,04		
2	41,700	L	4,9	7	11	21	29	37	45	51	64	76	89	100	100	4,21		
2	42,600	L	9,7	13	16	20	24	31	47	60	74	82	91	97	100	3,63		
vidējais			9,6	12,9	19,0	29,4	39,4	49,6	60,7	67,8	78,2	91,1	97,6	99,6	100,0	5,5	68,5	50,1
standartnovirze			1,8	2,6	4,4	6,7	8,3	9,7	10,7	10,0	8,7	8,0	4,5	1,4	0,0	1,1	6,2	1,7
max			12,1	17,0	26,7	40,1	51,3	63,5	77,2	83,5	91,6	99,5	100,0	100,0	100,0	7,4	73,6	52,8
min			4,9	6,8	11,4	19,6	23,8	31,3	44,4	50,0	60,1	71,2	82,9	93,8	100,0	3,6	55,0	47,8
diapazons			7,2	10,2	15,3	20,5	27,5	32,2	32,8	33,5	31,5	28,3	17,1	6,2	0,0	3,8	18,5	5,0
68% ticamības rezultāts			7,8 - 11,4	10,3 - 15,5	14,6 - 23,4	22,7 - 36,2	31,1 - 47,7	39,9 - 59,3	50 - 71,4	57,8 - 77,8	69,5 - 86,9	83,1 - 99,1	93 - 100	98,2 - 100	100 - 100	4,4 - 6,6	62,3 - 74,7	48,4 - 51,8
95% ticamības rezultāts			6 - 13,3	7,7 - 18,1	10,2 - 27,7	16 - 42,9	22,8 - 56	30,2 - 69	39,3 - 82,1	47,8 - 87,8	60,8 - 95,6	75,1 - 107,1	88,5 - 100	96,8 - 100	100 - 100	3,3 - 7,7	56,1 - 80,8	46,7 - 53,5

2.4. AUTOCEĻŠ A9 (RĪGA – LIEPĀJA) POSMS 39-60KM

Autoceļa A9 posma 39-60km testēšanas rezultāti redzami Tabulā 11. Tajā testēšanas rezultāti izdalīti pa kārtām. Redzams, ka kopumā bitumena īpašībām piemīt liela neviendabība. Penetrācija svārstās par 75dmm robežās, bet mīkstēšanas temperatūras atšķirības ir 20°C. Tomēr tas lielā mērā ir virskārtas neviendabības rezultāts. Ļoti iespējams, ka virskārtā ir veikts liels daudzums bedrīšu remontu, izmantojot mīkstāku bitumenu, kas novedis pie tā, ka atsevišķos urbumos bitumens ir ļoti mīksts (penetrācija līdz 114dmm). Apskatot tikai apakšējās kārtas rezultātus, vai visu kārtu maisījumu, redzams, ka diapazons penetrācijai samazinās līdz 49dmm, bet mīkstēšanas temperatūrai līdz 16dmm. Tas joprojām vērtējams kā ļoti neviendabīgs materiāls, bet šajā gadījumā redzams, ka rezultātus ietekmē divi paraugi, kas ievērojami atšķiras

no pārējiem. Ļoti iespējams, ka frēzēšanas, transportēšanas un pārkraušanas darbību rezultātā šāda materiāla viendabību būtu iespējams uzlabot, lai pielietotu asfalta ražošanā.

Tabula 11. Autoceļa A9 39-60km testēšanas rezultāti

Km	Josla	Kārta	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4	31,5	Saturs, %	Pen., dmm	Mikst. temp., C
39,8	K	1	11,7	15	21	33	45	57	69	77	83	89	100	100	100	6,2		
41,8	K	1	11,8	15	23	36	48	60	73	80	87	94	100	100	100	6,31		
42,3	L	1	12,1	15	23	36	49	61	73	81	89	98	100	100	100	6,33	114	39
44,3	L	1	10,3	12	14	29	43	50	59	68	79	88	99	100	100	4,84		
45,8	K	1	9,2	10	12	24	34	40	45	51	62	78	96	100	100	4,23	70	49
47,3	L	1	9,9	11	13	24	35	43	50	56	65	79	97	100	100	4,18	48	57
47,8	K	1	11,9	16	22	31	42	55	77	91	99	100	100	100	100	6,58		
48,3	L	1	9,8	13	18	30	40	51	71	87	98	100	100	100	100	5,77	77	47
49,8	K	1	11,4	15	22	35	48	62	80	89	97	100	100	100	100	6,55		
50,3	L	1	12,2	16	23	35	48	63	82	89	98	100	100	100	100	6,76		
51	K	1	10,4	15	25	34	39	44	51	59	73	86	99	100	100	4,88	70	47
51,3	L	1	12,0	18	30	40	46	51	59	66	78	90	99	100	100	4,8		
53,3	L	1	13,4	17	22	33	42	51	65	75	92	100	100	100	100	4,92		
54,9	K	1	8,7	11	17	29	39	48	58	68	88	99	100	100	100	4,96		
56,8	K	1	9,8	13	19	30	39	48	59	70	87	99	100	100	100	5,4	113	40
57,3	L	1	11,6	15	21	35	46	60	81	88	93	98	100	100	100	6,18	44	55
58,1	L	1	12,4	14	20	32	43	58	83	91	95	100	100	100	100	6,14		
59,1	L	1	9,5	12	18	31	42	56	79	87	92	99	100	100	100	6,65		
60,1	L	1	12,7	16	21	31	40	50	64	74	91	100	100	100	100	5,45		
39,3	L	2	7,3	9	13	22	34	49	62	68	76	91	100	100	100	4,16	81	43
40,3	L	2	7,0	9	14	25	37	50	61	67	74	89	100	100	100	5,09	88	49
41,3	L	2	5,3	7	10	19	31	46	58	63	71	87	100	100	100	4,06		
47,8	K	2	10,0	12	17	26	36	47	56	62	70	89	100	100	100	4,72	43	59
48,8	K	2	13,2	17	21	27	33	42	54	62	76	91	100	100	100	6,5		
51	K	2	10,5	13	18	31	45	59	75	86	97	100	100	100	100	5,7	75	46
51,8	K	2	16,4	21	27	38	50	66	90	99	100	100	100	100	100	5,95		
54,6	L	2	11,7	16	25	37	45	54	65	74	89	99	100	100	100	6,1		
57,7	K	2	11,0	13	19	30	40	52	74	87	95	99	100	100	100	6,31		
58,6	K	2	11,0	15	20	33	46	57	69	77	88	97	100	100	100	7,56		
40,8	K	3	8,1	10	15	29	46	58	71	77	84	90	97	100	100	3,69	39	58
43,3	L	3	5,2	7	10	18	30	46	58	64	72	89	100	100	100	4,58	72	47
44,8	K	3	6,8	8	12	21	34	49	61	66	73	90	100	100	100	4,98	72	46
46,8	K	3	4,9	6	9	15	24	35	44	49	58	85	100	100	100	3,68	73	46
51	K	3	5,9	8	11	26	40	51	62	70	78	83	88	97	100	5,03		
53,9	K	3	10,8	14	19	32	46	59	74	86	98	100	100	100	100	6,25		
50,3	L	4	14,0	12	19	31	43	57	72	81	94	100	100	100	100	10,83		
59,6	K	1;2;3	12,7	17	23	37	50	63	79	87	94	99	99	100	100	6,19		
42,8	K	1;2;3	10,3	12	14	26	39	47	53	59	70	82	97	99	100	4,24	84	45
49,3	L	1;2;3	11,7	15	21	30	40	51	66	75	87	95	100	100	100	5,35		
52,3	L	1;2;3	13,1	16	22	34	46	59	76	86	95	100	100	100	100	5,66		
55,8	K	1;2;3	11,0	14	20	32	43	53	65	72	83	90	93	100	100	5,13	82	44
vidējais			10,5	13,1	18,5	29,9	41,1	52,6	66,3	74,7	84,6	93,7	99,1	99,9	100,0	5,6	73,2	48,0
standartnovirze			2,5	3,2	4,8	5,7	5,8	6,9	10,8	11,9	11,1	6,6	2,2	0,5	0,0	1,2	20,7	5,8
max			16,4	20,6	29,5	40,3	49,9	65,7	90,3	98,7	99,6	100,0	100,0	100,0	100,0	10,8	113,8	59,2
min			4,9	6,2	8,7	14,9	24,1	34,7	43,7	49,2	57,9	77,5	88,3	97,1	100,0	3,7	38,9	39,3
diapazons			11,5	14,4	20,8	25,4	25,8	31,0	46,6	49,5	41,7	22,5	11,7	2,9	0,0	7,2	74,9	19,9
68% ticamības rezultāts			7,9 - 13	9,9 - 16,3	13,7 - 23,4	24,3 - 35,6	35,3 - 46,9	45,7 - 59,4	55,6 - 77,1	62,8 - 86,7	73,5 - 95,7	87,1 - 100	96,9 - 100	99,4 - 100	100 - 100	4,3 - 6,8	52,5 - 93,9	42,2 - 53,9
95% ticamības rezultāts			5,4 - 15,5	6,7 - 19,5	8,8 - 28,2	18,6 - 41,2	29,5 - 52,7	38,9 - 66,3	44,8 - 87,9	50,9 - 98,6	62,3 - 106,9	80,5 - 100	94,7 - 100	99 - 100	100 - 100	3,1 - 8,1	31,8 - 114,6	36,4 - 59,7

REZULTĀTS, NEŅEMOT VĒRĀ VIRSKĀRTU

vidējais	9,9	12,3	17,1	28,1	39,9	52,2	65,6	73,5	82,8	92,8	98,8	99,8	100,0	5,5	71,0	48,2
standartnovirze	3,1	3,7	5,0	6,3	6,6	7,0	10,1	11,5	11,3	6,0	2,8	0,6	0,0	1,5	15,8	5,5
max	16,4	20,6	26,9	37,9	49,9	65,7	90,3	98,7	99,6	100,0	100,0	100,0	100,0	10,8	88,2	59,2
min	4,9	6,2	8,7	14,9	24,1	34,7	43,7	49,2	57,9	81,8	88,3	97,1	100,0	3,7	38,9	42,9
diapazons	11,5	14,4	18,2	23,0	25,8	31,0	46,6	49,5	41,7	18,2	11,7	2,9	0,0	7,2	49,2	16,3
68% ticamības rezultāts	6,8 - 13	8,6 - 16,1	12,1 - 22,1	21,8 - 34,4	33,2 - 46,5	45,2 - 59,2	55,5 - 75,7	62 - 85	71,4 - 94,1	86,9 - 98,8	96 - 100	99,2 - 100	100 - 100	4 - 7	55,2 - 86,8	42,2 - 53,7
95% ticamības rezultāts	3,7 - 16,1	4,8 - 19,8	7,1 - 27,1	15,6 - 40,6	26,6 - 53,1	38,2 - 66,2	45,3 - 85,9	50,4 - 96,6	60,1 - 105,4	80,9 - 104,8	93,2 - 100	98,6 - 100	100 - 100	2,5 - 8,6	39,4 - 102,5	37,3 - 59,2

2.5. AUTOCEĻŠ A13 KRIEVIJAS ROBEŽA (GREBŅEVA) – RĒZEKNE –DAUGAVPILS – LIETUVAS ROBEŽA (MEDUMI) POSMA KM 144.70 - 156.40

Autoceļa A13 testēšanas rezultāti redzami Tabulā 12. Penetrācijas rezultāti svārstās robežās no 16 dmm līdz 76 dmm, bet mīkstēšanas temperatūra no 50.4 līdz 79.1 °C. Arī standartnovirze ir augsta, kas liecina par to, ka rezultātu izkliedi neietekmē kāds izolēts gadījums, bet gan tā ir sistēmiska neviendabība visā būvobjektā. Šī uzskatāma par samērā lielu izkliedi un šādam asfaltam pirms tā pielietošanas ražošanā, visdrīzāk nepieciešama pārstrāde (smaisīšana, frakcionēšana). Granulometriju savukārt var vērtēt kā salīdzinoši viendabīgu, lielākā standartnovirze ir vidējiem sietu izmēriem (2-5.6 mm).

Tabula 12. Autoceļa A13 Krievijas robeža (Grebņeva) - Rēzekne - Daugavpils - Lietuvas robeža (Medumi) posma km 144.70 - 156.40 testēšanas rezultāti

Km	Metri	Josla	Caurbīrušo daļiņu daudzums (masas %)													Bitumens		
			0,06	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4	31,5	Saturs, %	Pen., dmm	Mikst., C
144	870	k	13,4	18,1	23,1	30,4	38,3	50,6	72,4	84,6	93,3	95,5	100,0	100,0	100,0	7,0		
145	125	k	12,4	16,9	24,2	34,2	49,6	67,5	82,4	89,3	95,7	99,1	99,3	100,0	100,0	6,7		
145	0	l	12,1	15,7	22,2	31,4	45,5	61,6	76,3	84,3	91,9	97,6	100,0	100,0	100,0	5,7		
145	500	l	10,2	14,2	21,0	30,0	46,1	64,3	78,5	85,4	92,3	97,4	99,6	100,0	100,0	6,1	49,0	57,1
145	625	k	13,2	18,6	26,3	35,2	49,7	67,0	81,2	88,2	94,1	97,8	98,4	100,0	100,0	5,6		
146	250	l	13,7	18,8	26,5	35,4	49,1	65,4	79,6	86,8	93,5	97,0	99,2	100,0	100,0	6,8		
146	375	k	12,3	17,5	24,9	33,4	50,0	69,1	84,6	91,3	97,0	99,2	100,0	100,0	100,0	5,8		
146	500	l	11,9	16,5	23,5	31,7	46,2	63,7	79,4	87,1	94,3	98,9	100,0	100,0	100,0	6,8	62,0	53,4
146	875	k	13,5	18,3	25,8	34,1	47,4	63,7	78,9	86,4	92,7	95,6	96,9	97,6	100,0	7,0		
147	0	l	13,7	19,4	27,3	35,9	49,0	65,5	81,4	88,9	95,0	99,6	100,0	100,0	100,0	6,5		
147	375	k	12,9	17,8	24,6	32,7	46,3	64,7	80,8	88,2	94,8	97,4	100,0	100,0	100,0	5,8		
147	500	l	12,2	17,3	23,9	31,4	42,9	58,5	74,4	83,0	89,7	93,4	98,8	100,0	100,0	7,3	66,0	52,6
147	875	k	13,7	18,6	23,5	29,2	39,0	57,1	84,9	93,2	97,1	99,2	100,0	100,0	100,0	9,9		
148	0	l	8,4	11,4	16,0	22,2	29,1	37,5	66,0	84,5	91,4	92,5	94,2	96,9	100,0	9,1		
148	375	k	9,9	13,0	18,7	27,4	44,5	62,3	74,8	81,0	87,6	93,9	95,9	96,6	100,0	5,2		
148	500	l	8,7	11,4	16,7	24,9	41,2	58,6	70,0	76,5	83,3	89,4	94,5	97,7	100,0	5,1	16,0	79,1
148	875	k	10,2	14,0	18,7	24,2	32,8	47,1	78,0	91,6	96,0	98,8	99,3	100,0	100,0	8,1		
149	0	l	13,2	16,1	21,1	28,4	43,7	61,9	75,5	82,2	88,8	96,3	100,0	100,0	100,0	5,3		
149	375	k	10,8	13,3	17,1	22,6	34,8	48,7	58,5	64,5	75,1	89,1	98,3	100,0	100,0	4,8		
149	500	l	12,8	15,5	20,2	27,3	41,3	57,4	69,1	75,3	84,4	95,3	100,0	100,0	100,0	5,3	73,0	50,6
149	875	k	12,3	15,7	21,1	28,2	40,6	54,7	66,6	74,4	83,1	93,1	99,4	100,0	100,0	5,2		
150	0	l	9,8	12,6	18,9	28,4	45,4	62,1	73,3	80,1	87,6	94,6	99,2	100,0	100,0	5,3		
150	375	k	10,2	13,2	18,6	26,9	43,6	61,3	72,6	78,0	86,5	94,3	99,1	100,0	100,0	5,3		
150	500	l	11,8	14,7	19,6	26,8	41,2	58,4	71,6	79,0	87,4	95,8	100,0	100,0	100,0	5,2	39,0	60,0
150	875	k	11,8	14,5	18,8	25,0	37,4	51,9	62,8	70,0	81,0	94,0	98,1	98,1	100,0	4,4		
151	0	l	11,6	14,7	20,1	27,2	38,1	50,1	61,0	68,6	80,2	96,7	100,0	100,0	100,0	5,6		
151	375	k	13,2	16,1	20,6	26,9	39,8	55,6	68,4	75,9	86,2	96,0	100,0	100,0	100,0	5,6		
151	500	l	12,9	15,8	20,4	26,7	38,8	53,6	65,8	74,0	82,5	93,3	100,0	100,0	100,0	6,3	52,0	54,8
151	875	k	13,5	16,7	21,8	28,5	41,8	57,8	70,2	77,6	87,0	95,8	100,0	100,0	100,0	6,0		
152	0	l	10,7	13,3	17,7	24,4	37,7	51,0	61,6	68,7	79,1	93,5	99,5	100,0	100,0	5,4		
152	375	k	8,7	11,5	16,1	22,6	35,7	50,0	61,5	68,9	80,4	94,2	100,0	100,0	100,0	5,1		
152	500	l	11,7	14,9	19,9	27,0	41,8	58,9	71,8	78,9	86,5	94,4	100,0	100,0	100,0	5,6	76,0	50,4
152	875	k	12,7	16,2	21,8	29,3	43,4	59,5	72,2	80,7	89,3	95,2	99,0	100,0	100,0	6,1		
153	0	l	11,6	14,6	17,8	23,3	30,7	44,9	57,4	72,6	86,7	95,3	100,0	100,0	100,0	6,1		
153	375	k	12,5	15,7	20,9	28,2	42,5	58,2	70,0	77,0	84,4	93,3	98,7	100,0	100,0	5,5		
153	500	l	11,5	14,3	19,1	25,6	38,6	53,2	65,8	74,4	84,2	95,2	100,0	100,0	100,0	5,5	26,0	70,2
153	875	k	12,4	15,9	21,2	28,3	41,8	56,3	68,9	77,5	87,3	96,2	100,0	100,0	100,0	5,2		
154	0	l	11,9	15,0	20,5	28,5	44,5	61,3	74,3	81,8	89,5	97,5	100,0	100,0	100,0	5,7		
154	125	k	12,1	15,5	21,1	29,3	45,4	62,7	75,8	83,0	91,2	96,6	100,0	100,0	100,0	5,7		
154	375	k	12,6	15,8	21,2	29,0	44,9	62,4	75,2	82,6	90,4	97,5	100,0	100,0	100,0	5,3		
154	500	l	12,1	15,3	20,6	28,3	43,3	59,0	71,2	78,6	87,6	96,1	100,0	100,0	100,0	5,5	27,0	70,0
154	875	k	12,4	15,6	20,7	28,4	44,2	61,9	75,2	82,3	91,0	97,9	100,0	100,0	100,0	5,8		
155	0	l	13,0	16,0	21,0	28,2	42,6	58,7	72,0	80,4	89,9	98,3	100,0	100,0	100,0	5,4		
155	375	k	11,5	14,7	20,0	27,7	43,1	60,2	73,6	81,5	90,3	96,7	100,0	100,0	100,0	5,9		
155	500	l	11,6	14,5	19,6	27,4	43,3	61,1	74,4	81,6	90,2	98,3	100,0	100,0	100,0	5,7	20,0	72,6
155	875	k	12,9	17,7	24,9	32,5	45,6	61,0	72,9	80,5	89,0	96,1	100,0	100,0	100,0	11,5		
156	0	l	9,7	14,0	24,5	39,0	60,7	77,1	88,4	94,2	97,3	98,9	100,0	100,0	100,0	6,1		
156	375	k	12,7	16,5	21,7	28,8	42,7	59,6	73,9	83,0	92,0	98,4	100,0	100,0	100,0	5,9		
vidējais			11,9	15,5	21,2	28,8	42,6	58,6	72,8	80,8	88,9	96,0	99,3	99,7	100,0	6,1	46,0	61,0
standartnovirze			1,4	1,9	2,7	3,6	5,3	6,8	6,9	6,7	5,1	2,4	1,3	0,8	0,0	1,3	20,7	9,7
max			13,7	19,4	27,3	39,0	60,7	77,1	88,4	94,2	97,3	99,6	100,0	100,0	100,0	11,5	76,0	79,1
min			8,4	11,4	16,0	22,2	29,1	37,5	57,4	64,5	75,1	89,1	94,2	96,6	100,0	4,4	16,0	50,4
diapazons			5,3	8,0	11,3	16,8	31,6	39,6	31,0	29,7	22,2	10,5	5,8	3,4	0,0	7,1	60,0	28,7
68% ticamības rezultāts			10,5 - 13,2	13,6 - 17,4	18,4 - 23,9	25,2 - 32,4	37,3 - 47,9	51,9 - 65,4	65,9 - 79,7	74,1 - 87,5	83,8 - 94	93,6 - 98,3	98 - 100	98,9 - 100	100 - 100	4,8 - 7,3	25,3 - 66,7	51,3 - 70,7
95% ticamības rezultāts			9,2 - 14,6	11,6 - 19,3	15,7 - 26,6	21,5 - 36,1	32 - 53,3	45,1 - 72,2	59,1 - 86,5	67,4 - 94,2	78,7 - 99	91,3 - 100,7	96,7 - 100	98,1 - 100	100 - 100	3,5 - 8,6	4,6 - 87,4	41,6 - 80,3

3. FRĒZĒTĀ ASFALTA VIENDABĪBAS PĒTĪJUMS

Frēzētā asfalta nevienlīdzība ir viens no galvenajiem argumentiem par Latvijā pieejamā materiāla nepiemērotību lietošanai asfalta ražošanā. Šajā nodaļā analizēta asfalta raksturlielumu mainība 300 metru garā un vizuāli ļoti nevienlīdzīgā posmā. Pēc frēzēšanas un materiāla pārmaisīšanas veikta atkārtota testēšana, lai noteiktu šo darbību ietekmi uz materiāla viendabību.

3.1. HIPOTĒZE UN MĒRĶIS

Kā pētījuma pamatojums izvirzīta hipotēze, ka frēzēšanas un materiālu pārstrādes laikā uzlabojas frēzētā asfalta viendabība. Pētījuma mērķis ir noteikt frēzētā asfalta viendabības izmaiņas frēzēšanas un pārstrādes laikā.

3.2. IZMANTOTIE MATERIĀLI UN SITUĀCIJAS RAKSTUROJUMS

Pētījuma veikšanai tika izvēlēts 300 metru garš posms (17.050 km līdz 17.350 km) uz autoceļa A2 Rīga – Sigulda. Šī posma kreisās brauktuves labā josla vizuāli tika novērtēta kā ļoti nevienlīdzīga. Tajā veikts liels daudzums bedrīšu remontu, izmantojot dažādus materiālus. Bija paredzams, ka šādā posmā, veicot urbumus, tiks novērota liela nevienlīdzība gan minerālmateriālu granulometrijai, gan bitumena saturam un īpašībām. Tas savukārt dos iespēju analizēt viendabības izmaiņas frēzēšanas un materiālu maisīšanas rezultātā. Posma stāvoklis ir redzams vizuāli Ilustrācijā 14.

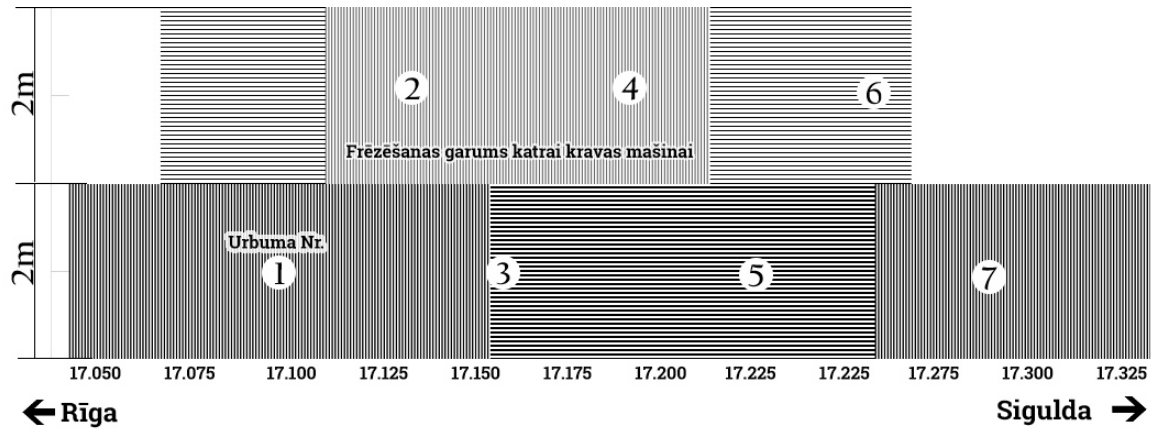


Ilustrācija 14. Eksperimentālā posma fotofiksācija (pētījumā izmantota josla ar lielāko bedrīšu remontu skaitu).

Eksperimentālajā posmā tika noņemtas trīs paraugu sērijas:

- Asfalta segā pirms frēzēšanas tika veikti septiņi urbumi;
- No katras kravas automašīnas (kopā sešas) tika noņemts paraugs pēc materiāla izbēršanas, konkrētajai kaudzei paraugu noņemot dažādās vietās.
- Septiņi paraugi noņemti no krautnes pēc tās samaisīšanas.

Urbumi tika veikti ik pēc 33 metriem saskaņā ar shēmu Ilustrācijā 15. Attēlā redzams arī frēzes darba gājiena platums un ar dažādu svītrojumu atzīmēts nofrēzētais posms, kas tika iekrauts katrā no sešām kravas automašīnām. Posmu garumi atšķiras ievērojamu atšķirību frēzēšanas dziļumā dēļ, kas bija nepieciešams saskaņā ar būvprojektu, lai nodrošinātu līdzenumu gan garenvirzienā, gan šķērsvirzienā. Lai nodrošinātu pietiekamu materiāla daudzumu bitumena atgūšanai un minerālmateriālu testēšanai, katrā punktā tika izurbti trīs paraugi. Nepāra numura urbumi veikti aptuveni 1 metru no ceļa malas, bet pāra numuri – aptuveni 3 metri no malas tā, lai frēzēšanas laikā tie būtu frēzes darba gājiena vidū.



Ilustrācija 15. Frēzēšanas un paraugu noņemšanas vietu shēma

Paraugu ņemšanas vietas un izurbtie paraugi redzami Ilustrācijā 16. Frēzēšanas dziļums posmā mainījās robežās starp 5 un 10 cm. Lai pēc iespējas tuvāk simulētu nofrēzētā materiāla sastāvu, urbumi pirms testēšanas tika nozāģēti atbilstoši vidējam frēzēšanas biezumam konkrētā urbuma posmā. Sazāģēto paraugu biezums mainījās no 5.9 līdz 9.3 cm un ilustrācijā ar baltu līniju iezīmēts paraugu nozāģēšanas augstums (tika izmantota augšējā daļa). Redzams, ka nozāģēto paraugu sastāvā bija divas līdz pat četras asfalta kārtas.







Ilustrācija 16. Paraugu urbšanas vietas un izurbtais paraugs pirms sazāģēšanas

Frēzēšanas operācija, RA krautne un maisīšanas operācija redzama Ilustrācijā 17. Var pieņemt, ka katrā no sešām automašīnām tika transportēti ap 22 t materiāla, tātad kopējais materiāla daudzums krautnē bija ap 132 t. Maisīšanas operācija tika veikta ar ekskavatoru, pārvietojot materiālu vienā koniskā kaudzē. Maisīšana ilga aptuveni 13 minūtes. Pēc samaisīšanas krautne atkal tika izklaidēta un nolīdzināta horizontāli, lai noņemtu septiņus paraugus no dažādām vietām un dziļumiem.

Posma stāvoklis fiksēts arī Video 1, kur ilustrēta arī paraugu noņemšanas gaita un materiāla pārmaisīšana.



Video 1. Viendabības pētījuma situācija pirms frēzēšanas un testēšanas gaita (spiest uz play vai iekopēt pārlūkprogrammā šo saiti: <https://youtu.be/KvfCLXcL34s>)



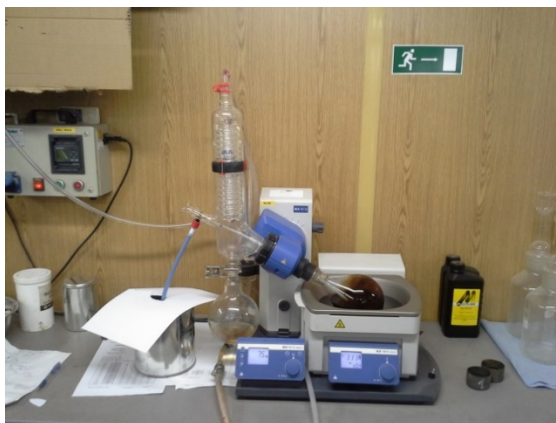
Ilustrācija 17. Asfalta frēzēšana, krautne pirms pārmaisīšanas un maisīšanas operācija (paraugi tika ņemti pēc katras operācijas)

3.2.1. Materiālu testēšana

Bitumena saturs un īpašības

Bitumena saistvielas ekstrakcija veikta pēc LVS EN 12697-1 un atgūšana ar rotācijas iztvaicētāju veikta pēc LVS EN 12697-3. Ievērota īpaša piesardzība, lai nodrošinātu, ka visu paraugu

atgūšanas process pēc iespējas mazāk ietekmē rezultātu svārstības: visu paraugu ekstrakciju veica viens operators pie tā paša rotācijas iztvaicētāja un paraugi tika sadalīti līdzīgos izmēros, lai nodrošinātu, ka karsēšanai un tvaicēšanai patērētais laiks ir līdzīgs.



Ilustrācija 18. Bitumena atgūšana ar rotācijas iztvaicētāju

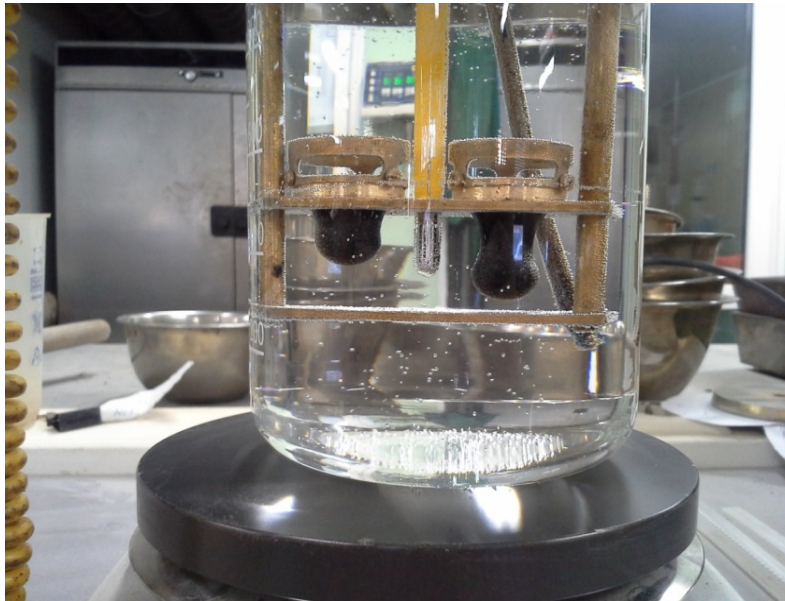
Bitumena penetrāciju nosaka saskaņā ar LVS EN 1426. Mēra standarta adatas iegrimi kondicionētā testēšanas paraugā. 25 °C temperatūrā ar slodzi 100 g un slogošanas ilgumu 5 sekundes.



Ilustrācija 19. Bitumena penetrācijas noteikšana ar penetrometru

Mīkstēšanas temperatūru nosaka saskaņā ar LVS EN 1427. Divi horizontāli bitumena saistvielas diski, kas iekausēti misiņa gredzenos ar apmali un uz kuriem ir novietotas tērauda lodītes, ar

kontrolētu intensitāti tiek sildīti šķidruma 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.



Ilustrācija 20. Mīkstēšanas temperatūras noteikšana

Fraasa trausluma temperatūru nosaka saskaņā ar LVS EN 12593. 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 Fraasa trausluma temperatūra.



Ilustrācija 21. Fraasa trausluma temperatūras noteikšana

Minerālmateriālu granulometriju nosaka saskaņā ar LVS EN 12697-2. Testēšana veikta atgūtajam minerālmateriālam (t.i., bez bitumena tā sastāvā).

3.3. REZULTĀTI

Viendabības pētījuma bitumena testēšanas rezultāti no ceļa urbtajiem paraugiem, no kravas kastes noņemtajiem un pēc pārmaisīšanas noņemtajiem paraugiem apkopoti attiecīgi Tabulā 13, Tabulā 14 un Tabulā 15. Vispirms apskatot Tabulu 13 redzams, ka pētījuma uzdevums nodrošināt lielu nevienadību urbtajiem paraugiem ir sasniegts. Bitumena saturs paraugos mainās robežās no 6% līdz 8.2%, penetrācijas rezultāti mainās robežās no 23 dmm līdz 59 dmm, mīkstēšanas temperatūras atšķirības ir 19.2 °C, bet Fraasa trausluma temperatūra manās no -10 °C līdz pat -25 °C. Šie rezultāti norāda, ka atšķirības starp paraugiem ir ievērojamas, un, analizējot paraugu testēšanas rezultātus pēc frēzēšanas, būs iespējams kvantitatīvi salīdzināt izmaiņas.

Granulometriskā sastāva testēšanas rezultāti paraugiem, kas noņemti no kravas kastes un pēc pārmaisīšanas apkopoti attiecīgi Tabulā 16 un Tabulā 17. Kā iepriekš minēts, no ceļa urbtajiem paraugiem granulometriskais sastāvs netika noteikts.

Padziļināta testēšanas rezultātu analīze veikta zemāk.

Tabula 13. Bitumena īpašību viendabības testēšanas rezultāti URBTAJIEM PARAUGIEM

Parauga Nr.	Bitumena saturs, %	Putekļu saturs, %	Faasa temp., °C	Mīkstēšanas temp., °C	Penetrācija, dmm
1	5.99	12.2	-14	60.8	32
2	6.07	10.6	-10	68.2	23
3	6.14	11.9	-22	63.4	33
4	6.45	12.1	-24	51.2	51
5	6.25	12.6	-17	59.8	32
6	8.24	11.8	-24	49.0	55
7	7.02	14.4	-23	50.0	59
vidēji	7	12	-19	57.5	40.7
max	8.24	14.4	-10	68.2	59
min	5.99	10.6	-24	49	23
delta	2.25	3.8	14	19.2	36
standartnovirze	0.7	1.1	5.1	6.9	12.9

Tabula 14. Bitumena īpašību viendabības testēšanas rezultāti paraugiem NO KRAVAS KASTES

Parauga Nr.	Bitumena saturs, %	Putekļu saturs, %	Faasa trausluma temp., °C	Mīkstēšanas temp., °C	Penetrācija, dmm
1 - 1	6.1	17.0	-16	60	29
1 - 2	6.6	18.0	-20	56	35
1 - 3	7.5	17.4	-20	55	36
2 - 1	6.3	18.1	-14	63.4	25
2 - 2	6.0	16.4	-11	68.2	19
2- 3	6.2	16.0	-12	61.2	25
vidēji	6	17	-16	60.6	28.2
max	7.525	18.1	-11	68.2	36
min	6.005	15.95	-20	55	19
delta	1.52	2.15	9	13.2	17
standartnovirze	0.5	0.8	3.5	4.5	6.0

Tabula 15. Bitumena īpašību viendabības testēšanas rezultāti SAMAIŠĪTAJIEM PARAUGIEM

Parauga Nr.	Bitumena saturs, %	Putekļu saturs, %	Faasa trausluma temp., °C	Mikstēšanas temp., °C	Penetrācija, dmm
1	5.8	16.2	-8	66.5	20
2	-	-	-16	56.3	35
3	5.9	16.1	-11	64.4	26
4	6.3	17.5	-17	61.9	29
5	6.0	16.3	-14	62.9	30
6	6.2	20.4	-20	60.5	34
7	6.0	15.6	-14	62.2	30
vidēji	6	17	-14	62.1	29.1
max	6.255	20.35	-8	66.5	35
min	5.785	15.55	-20	56.3	20
delta	0.47	4.8	12	10.2	15
standartnovirze	0.2	1.6	3.7	3.0	4.7

Tabula 16. Granulometrijas testēšanas rezultāti NOFRĒZĒTAJIEM PARAUGIEM

Parauga Nr.	Sietu izmērs, mm											
	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8	11.2	16	22.4
1 - 1	17.0	21.5	33.3	47.4	60.2	72.0	84.2	90.0	94.3	98.0	100.0	100.0
1 - 2	18.0	22.9	34.2	47.6	60.8	73.5	85.7	91.2	95.7	98.3	100.0	100.0
1 - 3	17.4	22.4	34.0	46.9	59.8	72.8	85.5	91.5	95.9	98.7	100.0	100.0
2 - 1	18.1	22.9	34.1	47.3	60.6	73.6	86.6	93.0	97.2	99.6	100.0	100.0
2 - 2	16.4	19.0	27.3	38.6	55.0	71.6	83.1	89.6	94.4	97.5	99.4	100.0
2 - 3	16.0	20.5	33.0	47.0	59.1	70.5	83.1	90.3	96.0	98.9	100.0	100.0
Vidēji	17.1	21.5	32.6	45.8	59.2	72.3	84.7	90.9	95.6	98.5	99.9	100.0
max	18.1	22.9	34.2	47.6	60.8	73.6	86.6	93.0	97.2	99.6	100.0	100.0
min	16.0	19.0	27.3	38.6	55.0	70.5	83.1	89.6	94.3	97.5	99.4	100.0
delta	2.2	4.0	7.0	9.0	5.8	3.2	3.5	3.4	2.9	2.1	0.6	0.0
standartnovirze	0.8	1.4	2.4	3.2	2.0	1.1	1.3	1.1	1.0	0.7	0.2	0.0

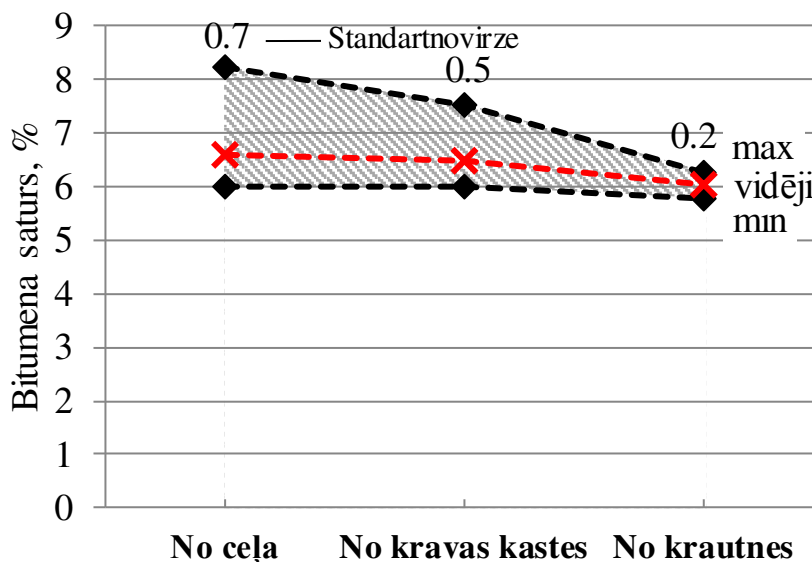
Tabula 17. Granulometrijas testēšanas rezultāti SAMĀSĪTĀJIEM PARAUGIEM

Parauga Nr.	Sietu izmērs, mm											
	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8	11.2	16	22.4
1	16.2	20.6	33.2	47.3	59.0	70.6	83.1	89.6	94.3	97.4	99.0	100.0
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	16.1	21.7	34.3	49.0	61.2	72.6	84.2	89.7	94.8	98.4	100.0	100.0
4	17.5	23.5	35.2	49.5	62.5	75.6	87.9	93.1	96.6	98.5	100.0	100.0
5	16.3	21.9	33.6	47.4	59.7	72.1	84.7	90.5	94.8	98.2	99.1	100.0
6	20.4	24.6	35.0	48.4	62.3	76.8	89.8	94.8	98.3	99.9	100.0	100.0
7	15.6	21.1	32.2	45.2	56.5	68.5	81.7	88.0	93.8	96.9	98.9	100.0
Vidēji	17.0	22.2	33.9	47.8	60.2	72.7	85.2	90.9	95.4	98.2	99.5	100.0
max	20.4	24.6	35.2	49.5	62.5	76.8	89.8	94.8	98.3	99.9	100.0	100.0
min	15.6	20.6	32.2	45.2	56.5	68.5	81.7	88.0	93.8	96.9	98.9	100.0
delta	4.8	4.0	3.0	4.3	6.0	8.3	8.1	6.8	4.5	3.0	1.2	0.0
standartnovirze	1.6	1.4	1.0	1.4	2.1	2.8	2.8	2.3	1.5	0.9	0.5	0.0

Lai uzskatāmāk salīdzinātu testēšanas rezultātus, tie apkopoti Ilustrācijā 22 līdz Ilustrācijā 26. Katrā ilustrācijā norādīta testēšanas rezultātu vidējā, maksimālā un minimālā vērtība katrā no paraugu noņemšanas stadijām: urbūmi, paraugi no kravas kastes un paraugi pēc pārmaisīšanas no krautnes. Ar skaitli katrā stadijā norādīta viena statistiskā standartnovirze no vidējā rezultāta.

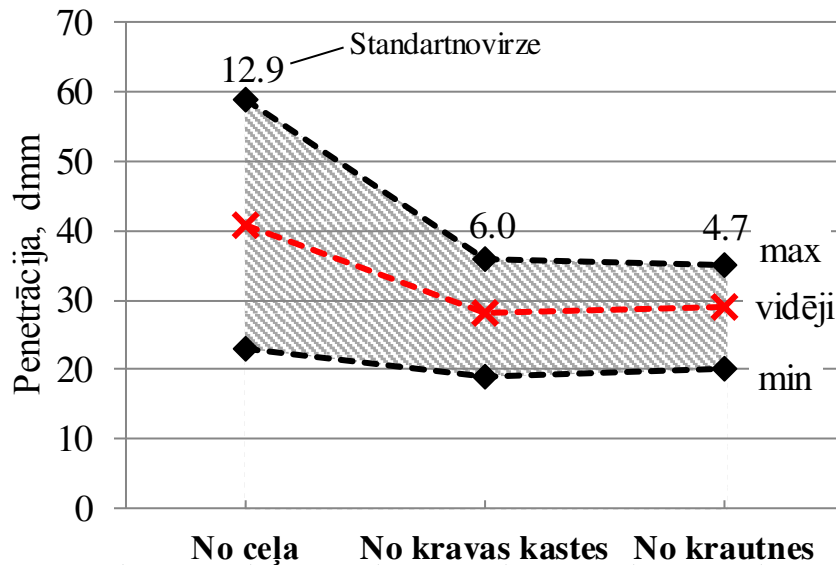
Ilustrācijā 22 doti testēšanas rezultāti bitumena satura viendabībai. Redzams, ka sākotnēji bitumena saturs variējis starp 6.2% un 8.0%, bet katrā no paraugu noņemšanas punktiem tas samazinājies, krautnē sasniedzot izkliedi 0,5% apmērā. Šāda izkliede faktiski ir pieļaujama asfalta maisījumu ražošanā, tāpēc vērtējama kā salīdzinoši neliela. Vidējā vērtība izmainījies salīdzinoši nelieli.

Tomēr galvenais secinājums ir, ka paraugu viendabība salīdzinājumā ar urbto paraugu sēriju ir ievērojami uzlabojusies. Standartnovirze Fraasa temperatūrai samazinājusies no 5.1 uz 3.7 °C, mīkstēšanas temperatūrai – no 6.9 uz 3.0 °C un penetrācijai – no 12.9 uz 4.7 dmm. Tas norāda, ka frēzētā asfalta viendabību ir iespējams būtiski uzlabot, veicot pārmaisīšanu krautnē.

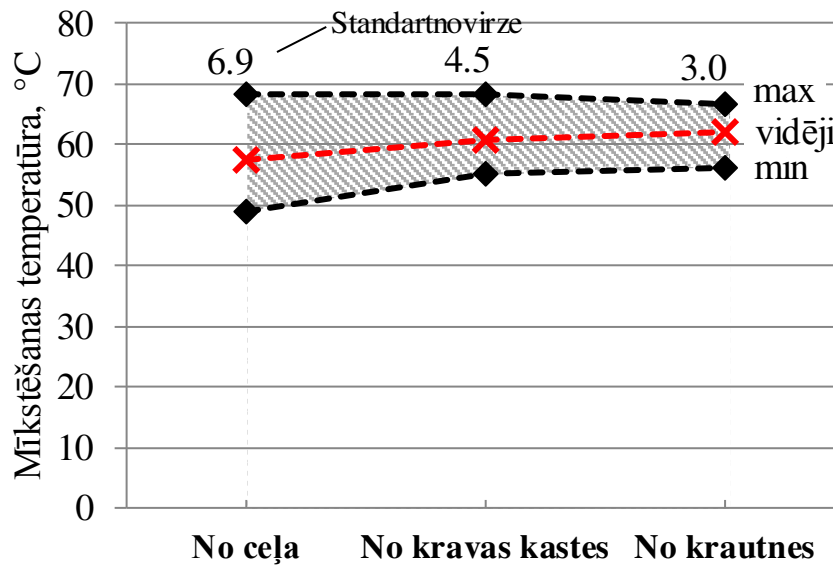


Ilustrācija 22. Bitumena satura viendabības rezultāti

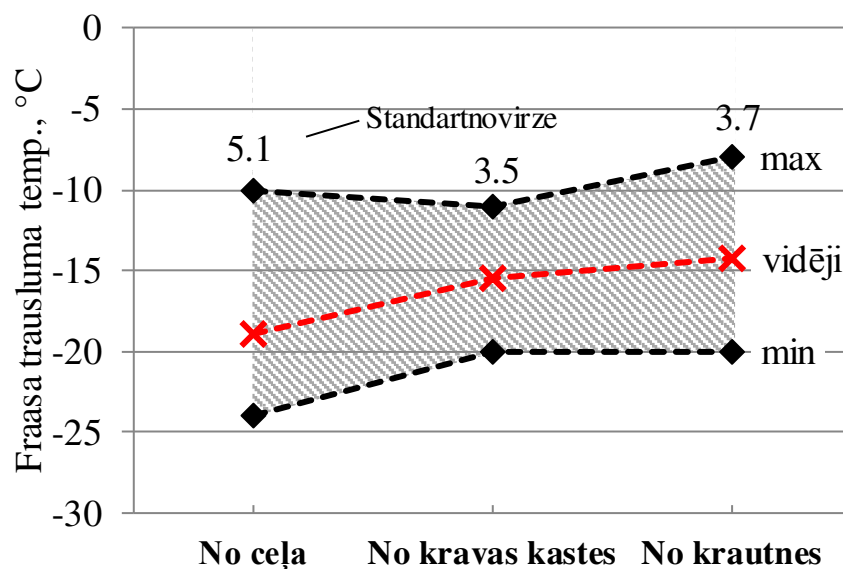
Bitumena īpašību testēšanas rezultāti apkopoti Ilustrācijā 22 līdz Ilustrācijā 25. Redzams, ka paraugu vidējā viskozitāte pēc nofrēzēšanas palielinājusies: penetrācija ir samazinājusies, bet mīkstēšanas temperatūra pieaugusi. Paraugu viskozitāte divās paraugu noņemšanas stadijās pēc nofrēzēšanas nav būtiski izmainījusies. Šīs atšķirības visdrīzāk skaidrojamas ar nejaušību paraugu noņemšanā. Kā redzams no rezultātiem „no ceļa” un „no kravas kastes”, tad rezultātu izkliede visām trim īpašībām frēzēšanas laikā būtiski samazinās. Penetrācijai izkliede samazinājusies no 36 dmm līdz 17 dmm, mīkstēšanas temperatūras izkliede samazinājusies no 19.2 °C līdz 13.2 °C, un Fraasa temperatūras izkliede samazinājusies no 14.0 °C līdz 9.0 °C. Pārmaisīšana savukārt nav devusi tik lielu ieguvumu rezultātu izkļedes samazināšanā, jo penetrācijas un mīkstēšanas temperatūras izkliede samazinājusies tikai nedaudz, bet Fraasa temperatūras izkliede pat nedaudz pieaugusi. Tomēr jāņem vērā arī standartnovirze, kas norādīta katrā ilustrācijā ar skaitli. Atšķirība starp standartnovirzi un rezultātu izkliedi šajā gadījumā var skaidrot šādi: izkliedi var ietekmēt kāda atsevišķa rezultāta „izlekšana” no kopējās tendences, bet standartnovirze raksturo rezultātu izkliedi ap vidējo rezultātu saskaņā ar normālsadalījumu, tādējādi samazinot „izlekušo” rezultātu ietekmi. Redzams, ka standartnovirze penetrācijas un mīkstēšanas rezultātiem samazinājusies arī pēc krautnes pārmaisīšanas, bet Fraasa trausluma temperatūrai tā faktiski palikusi nemainīga.



Ilustrācija 23. Penetrācijas viendabības rezultāti



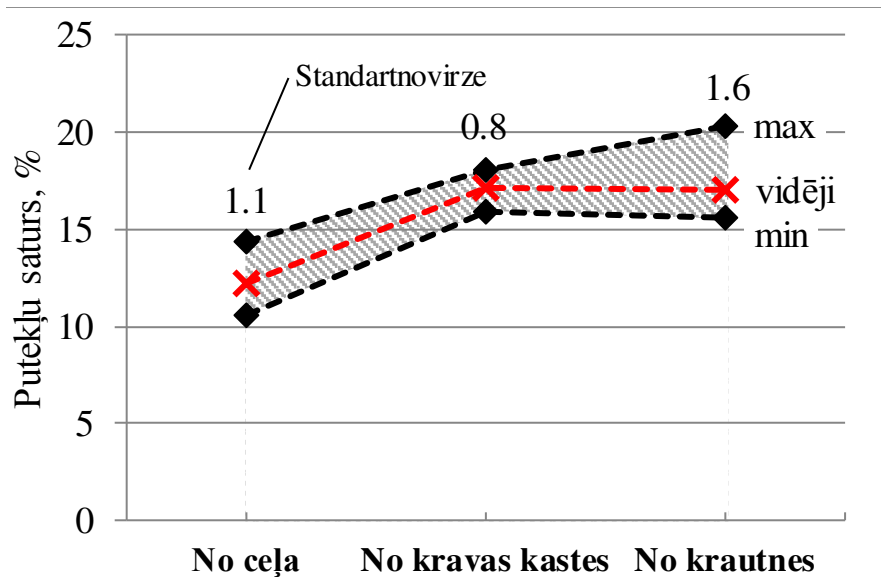
Ilustrācija 24. Mīkstēšanas temperatūras viendabības rezultāti



Ilustrācija 25. Fraasa temperatūras viendabības rezultāti

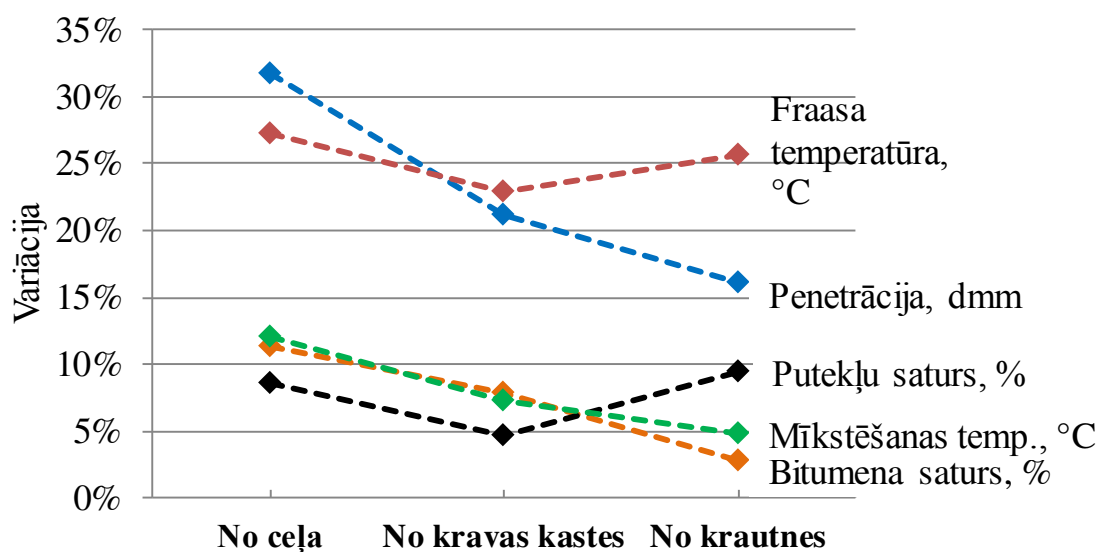
Putekļu satura testēšanas rezultāti apkopoti Ilustrācijā 26. Redzams, ka pēc frēzēšanas par 5% pieaudzis putekļu saturs. Tas skaidrojams ar faktu, ka frēzēšanas laikā daļa no minerālmateriāliem tiek sadrupināti, tādējādi radot vairāk putekļu. Faktiskais pieaugums dažādos būvobjektos var atšķirties, jo tas būs atkarīgs gan no minerālmateriālu cietības, gan no frēzēšanas tehnoloģijas (zobu izvietojums, frēzēšanas dziļums, frēzēšanas ātrums, rotācijas ātrums). Loģiski, ka pārmaisīšanas laikā putekļi vairs klāt nerodas un tāpēc arī nav novērojama atšķirība starp vidējiem rezultātiem, kas iegūti no kravas kastes un no krautnes.

Rezultātu izkliede un arī standartnovirze pēc frēzēšanas nedaudz samazinājusies, bet no krautnes ņemtajos paraugos atkal nedaudz pieaugusi. Šeit gan jāņem vērā, ka putekļu viendabība jau sākotnēji vērtējama kā relatīvi augsta (tā izpilda Ceļu Specifikāciju prasību, kas ir $\pm 3\%$) un tāpēc šīs izmaiņas neierobežo frēzētā asfalta izmantošanu. Šis secinājums tālāk skaidrots pie Ilustrācijā 28.



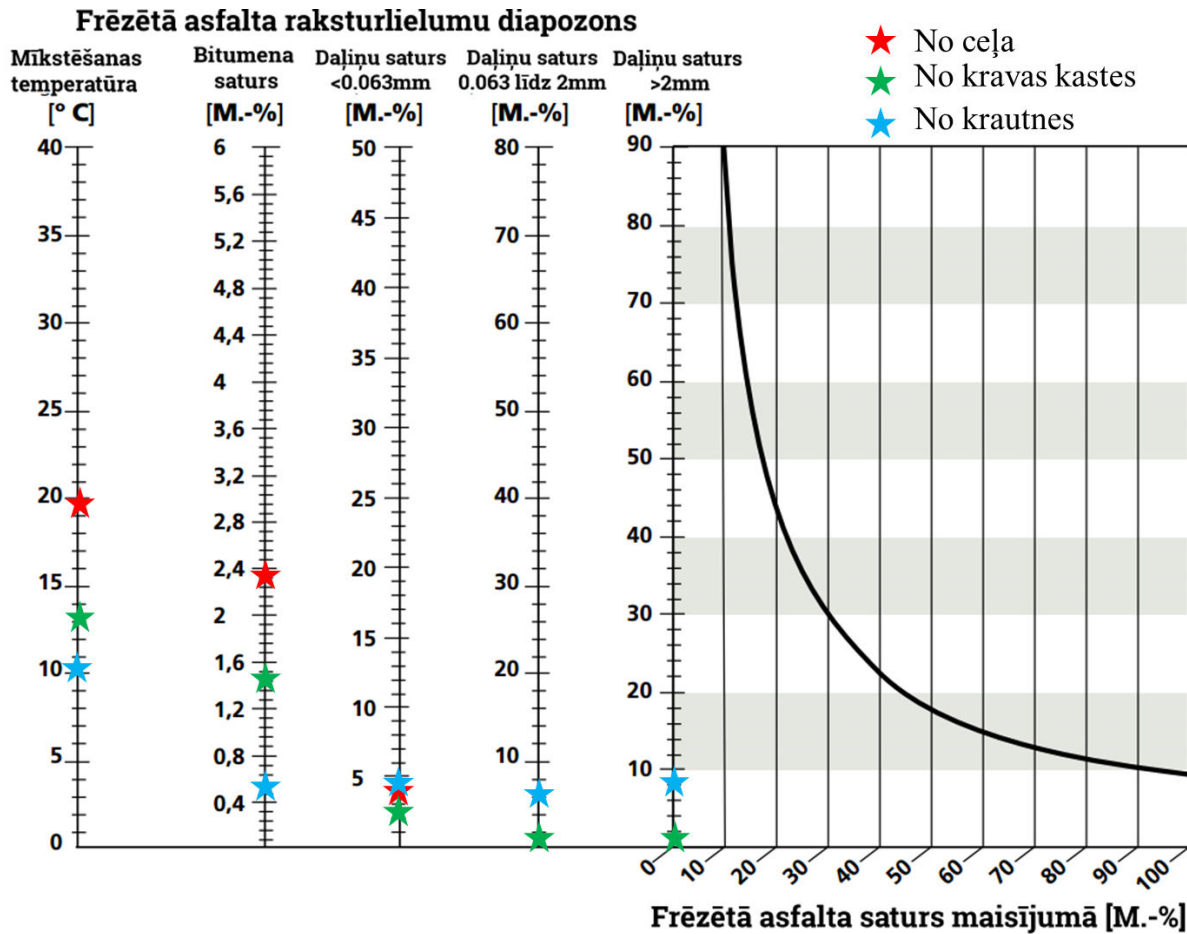
Ilustrācija 26. Putekļu satura viendabības rezultāti

Ilustrācijā 27 attēlota rezultātu variācija (vienas standartnovirzes procentuālā novirze no vidējā rezultāta) paraugiem, kas ņemti no ceļa, no kravas kastes un no krautnes. Redzams, ka penetrācijas, mīkstēšanas temperatūras un bitumena satura variācija samazinājusies katrā no paraugu ņemšanas vietām. Fraasa temperatūra un putekļu saturs kravas kastē bijis viendabīgāks nekā no ceļa izurbtajos paraugos, bet krautni pārmaisot atkal pieaudzis. Jāatzīmē, ka pati Fraasa temperatūras noteikšanas metode ir ar salīdzinoši lielu variāciju. Piemēram, ja no krautnes ņemtajiem paraugiem piemērotu standartā noteikto atkārtotamību (3 °C), tad variācija būtu 11%. Tātad faktiski visos paraugu ņemšanas posmos nevienādības atšķirības aizēno testēšanas metodes nenoteiktība.



Ilustrācija 27. Viendabības pētījuma variācija dažādiem parametriem

Ilustrācijā 28 attēlota Vācijā izmantotā nomogramma maksimālā frēzētā asfalta satura noteikšanai atkarībā no dažādu parametru viendabības. Nomogrammā ar dažādām krāsām nodalītas noteiktās vērtības visos trīs viendabības pētījuma posmos: no ceļa, no kravas kastes un no krautnes pēc pārmaisīšanas. Izmantojot šo nomogrammu, maksimālo frēzētā asfalta saturu nosaka pēc visvairāk ierobežojošā parametra. Redzams, ka visos trīs paraugu ņemšanas gadījumos ierobežojošais parametrs ir mīkstēšanas temperatūra. No ceļa urbtajiem paraugiem maksimālais RA saturs ir ap 20%, no kravas kastes ņemtajiem paraugiem tas ir ap 30%, bet no krautnes ņemtajiem paraugiem tas pieaudzis līdz pat 40%. Ilustrācijā arī redzams, ka maisījuma granulometriskais sastāvs un putekļu satura viendabība faktiski vērtējama kā ļoti laba un frēzētā asfalta saturu neierobežo. Tātad, kā iepriekš minēts, putekļu satura viendabība jau no kravas kastes ņemtajiem paraugiem vērtējama kā apmierinoša un fakts, ka pēc pārmaisīšanas neviendabība nedaudz palielinājusies, faktiski neatstāj nekādu iespaidu uz maisījuma darba formulu. Šos rezultātus var interpretēt arī tā, ka izvēlētajā ceļa posmā granulometrija un putekļu saturs nebija pietiekami neviendabīgi, lai izdarītu būtiskus secinājumus par viendabības izmaiņām.



Ilustrācija 28. Maksimālā frēzētā asfalta satura noteikšanas nomogramma atkarībā no RA viendabības saskaņā ar Vācijas specifikācijām asfalta segumu pamatu kārtām un vienkārtas asfaltam [27] ar viendabības pētījuma testēšanas rezultātiem

4. UZ EKSPLOATĀCIJAS ĪPAŠĪBĀM BALSTĪTAS PROJEKTĒŠANAS METODOLOĢIJAS IZSTRĀDE

Tradicionālajās maisījumu projektēšanas metodēs tiek izmantota ilgākā laika posmā iegūtā pieredze, lai, balstoties uz empīriskiem parametriem (granulometriskais sastāvs, bitumena saturs, porainība utt.), prognozētu maisījuma kalpošanas īpašības. Šāda pieeja vēsturiski ir pietiekami veiksmīgi pielietota un nodrošinājusi nepieciešamo asfalta seguma kvalitāti un ilgmūžību. Tomēr pēdējos gados situācija visā pasaulē pasliktinās, kas lielā mērā saistīts ar pieaugošu transporta slodzi un bitumena kvalitātes samazināšanos. Problēmas rada arī netradicionālu asfalta ražošanas tehnoloģiju ieviešana, piemēram, polimermodificēts bitumens, frēzētā asfalta pielietošana un siltais asfalts. Šādu maisījuma īpašības, izmantojot tradicionālās empīriskās projektēšanas metodes, bieži nav iespējams prognozēt nepietiekamas pieredzes to lietošanā dēļ. Tas norāda uz nepieciešamību papildināt esošās asfalta projektēšanas metodes.

Uz ekspluatācijas īpašībām balstīta projektēšanas metode primāri novērtē maisījuma gala īpašības un tikai sekundāri tiek pielietoti tradicionālie, empīriski kritēriji. Tas ļauj izmantot arī netradicionālus materiālus un tehnoloģijas, kuru ietekmi ar tradicionālo projektēšanas metodi nav iespējams prognozēt. Pieejas princips ir salīdzināt un prognozēt maisījuma īpašības, neņemot vērā to sastāvu vai tehnoloģiskās īpatnības, tāpēc teorētiski iespējams pārbaudīt jebkādu maisījumu. Ekspluatācijas īpašību testēšana un sekojoša seguma dzīves cikla ilguma prognozēšana potenciāli var pat kalpot kā kritērijs būvobjektu izolēs, darbu apmaksai un strīdu risināšanai. Šis gan šobrīd vēl ir diezgan tāls mērķis, un zinātnieki pārsvarā koncentrējas uz testu radīšanu un kritēriju izstrādi, kas ļautu uzlabot, papildināt, vai aizstāt tradicionālās maisījumu projektēšanas metodes.

Lai arī ekspluatācijas īpašību testēšana tiek uzskatīta par asfalta projektēšanas nākotni, šai metodei ir vairāki trūkumi. Pirmkārt, šobrīd liela daļa testu ir tikai izstrādes stadijā. Paliekošo deformāciju (riteņa sliedes tests) jau ir ieviests projektēšanas praksē daudzās vietās pasaulē, bet citi testi vēl nav tik izplatīti. Vēl joprojām tiek meklētas metodes, kas ļauj precīzāk prognozēt maisījuma kalpošanas ilgumu. Otrkārt, projektēšana, veicot ekspluatācijas testus, ir laikietilpīgāka, salīdzinot ar empīrisko metodi. Zinātnieki strādā, lai atrastu vienkāršākus un

ātrākos testu veidus, kas ļautu samazināt testēšanas ilgumu. Tomēr ir maz ticams, ka izdosies izstrādāt vienu testu, kas ļautu pilnībā prognozēt asfalta kalpošanas īpašības. Visdrīzāk arī turpmāk būs nepieciešama vairāku testu kombinācija, lai pārbaudītu galvenos maisījumu deformāciju parametrus (riteņa sliedes veidošanās, nogurumizturība, stiepes stiprība, stingums, ūdensjutība). Treškārt, šāda testēšana ir arī dārgāka. Uzņēmējiem bieži būs nepieciešams iegādāties jaunas iekārtas vai arī veikt testēšanu kā ārpalpojumu. Šos trūkumus nepieciešams ņemt vērā ieviešot uz ekspluatācijas īpašībām balstītu projektēšanas metodi.

4.1. PROJEKTĒŠANAS METOŽU SALĪDZINĀJUMS

Galvenie visplašāk izplatīto asfalta projektēšanas metožu (Māršala, Superpave) principi apkopoti Tabulā 18. Idejiski metodes balstītas uz līdzīgiem principiem:

- Minerālmateriālu izvēle, balstoties uz to granulometriju un kvalitātes prasībām.
- Bitumena tipa un klases izvēle, balstoties uz paredzēto vides iedarbību un satiksmes slodzi.
- Asfalta maisījuma paraugu izgatavošana laboratorijā.
- Tilpuma īpašību izvērtēšana (V, VMA, VFA) pie dažāda bitumena satura. Māršala un Hvēma projektēšanas metodēs tiek lietots arī empīrisks stiprības tests, kas paredzēts kā risu veidošanās indikators.

Latvijā tiek lietota modificēta Māršala projektēšanas metode. Atšķirībā no oriģinālās Māršala metodes netiek piemērotas VMA un VFA prasības, kā arī netiek veikts Māršala tests. Savukārt kā papildinājums ieviests riteņa sliežu tests un ūdensjutības prasības netiešās stiepes testā. Šādu ekspluatācijas īpašību prasību izvirzīšana vērtējama kā ievērojams maisījumu projektēšanas uzlabojums salīdzinājumā ar tradicionālo Māršala projektēšanas metodi.

Tomēr kā trūkums Latvijas projektēšanas sistēmā minams asfalta segas ilgmūžības testa trūkums. Tradicionālajā Māršala sistēmā ilgmūžības nodrošināšanai tiek izmantots empīriski izstrādāts VMA kritērijs (minerālmateriālu poru saturs). Lai nodrošinātu zemas temperatūras plaisāšanas pretestību Latvijā šobrīd ir izvirzīta prasība Fraasa trausluma temperatūrai. Zināmā mērā šāda prasība tandēmā ar maisījuma specifiskajām var uzlabot seguma ilgmūžību. Tomēr Fraasa temperatūras noteikšanai ir samērā daudz tūkumu (atkārtojamība, bitumena atgūšana u.c.) un šis

bitumena tests, protams, neievērtē bitumena saturu maisījumā. Kā redzams arī šī pētījuma rezultātos (nodaļa 4.5.3.) redzams, tad tas var radīt būtiskas atšķirības maisījumu plaisāšanas pretestībā. Tāpēc Fraasa temperatūras noteikšana vērtējama kā pagaidu prasība, ko vēlams aizvietot ar uzticamu asfalta maisījuma testu.

Lai šim mērķim tuvotos pētījuma ietvaros tiks apskatīti un novērtēti divi plaisāšanas testi: Semi Circular Bend (SCB) un Thermal Stress Restrained Specimen Test (TSRST). Testu raksturojums dots nodaļā 4.4.3. Metodes.

Tabula 18. Populārāko projektēšanas metožu salīdzinājums ar Latvijā pielietoto

Projektēšanas metode	Ieviesta	Paraugu sagatavošana	Mehāniskie testi			Interpretācija	Kritēriji	Principi
			Iekārta	Testa temp.	Slogošanas parametri			
Māršala	1940ie	Māršala āmurs	Māršala iekārta	60°C	50mm/min	1) Blīvums – bit.saturs 2) Stabilitāte – bit.saturs 3) Plūstamība – bit.saturs 4) Poras – bit. saturs 5) VMA – bit. saturs 6) VFA – bit. saturs	1) stabilitāte 2) plūstamība 3) gaisa poras 4) VMA 5) VFA	1) stabilitāte kontrolē risu veidošanos 2) VMA kontrolē ilgmūžību
Superpave	1993	Superpave sablīvētājs	nav	nav	nav	1) Poras – bit. saturs 2) VMA – bit. saturs 3) VFA – bit. saturs 4) poras – sākotnējais sablīvējums 5) poras – maksimālais sablīvējums	1) 4% poru saturs 2) VMA 3) VFA	1) VMA kontrolē ilgmūžību 2) nav stiprības testa
Latvijas	2012	Māršala āmurs	Spiedes iekārta	15°C	50mm/min	1) Poras – bit.saturs 2) Sausa – samitrināta stiprība	1) poru saturs 2) ūdensjutība	1) Spiedes stiprības attiecība kontrolē ūdensjutību
		Veltņa blīvētājs	Maza izmēra riteņa sliežu tests	60°C	20000 cikli	3) Riteņa sliedes slīpums – pārbraucienu skaits	3) sliedes slīpums	2) Riteņa sliežu tests kontrolē risu veidošanos 3) nav ilgmūžības kontroles

4.2. MĒRĶIS

Pētījuma mērķis ir izstrādāt uz ekspluatācijas īpašībām balstītus asfalta maisījumu projektēšanas kritērijus.

4.3. HIPOTĒZE

Darbā izvirzīta hipotēze, ka jebkurš frēzēto asfaltu saturošs maisījums, kas var nodrošināt līdzvērtīgas ekspluatācijas īpašības kā tradicionālie Latvijas būvobjektos pielietotie maisījumi, var tikt pielietots būvobjektos Latvijā.

4.4. MATERIĀLI UN METODES

4.4.1. Materiāli

Visu asfalta maisījumu receptes izstrādātas ceļu būvniecības uzņēmumos un atbilst Ceļu specifikāciju 2012. gada prasībām attiecīgajam maisījumam. Visi rūpnīcās izgatavotie maisījumi ir iestrādāti būvobjektos, un to kvalitāte un atbilstība specifikāciju prasībām pārbaudīta saskaņā ar standarta kvalitātes kontroles procedūrām, tāpēc var pieņemt, ka šie ir daži no tipiskiem maisījumiem, kas tiek iestrādāti VAS “Latvijas Valsts ceļu” pārvaldībā esošos būvobjektos. Visi maisījumi, izņemot AC8 surf un AC16 surf, tika iestrādāti vai paredzēti iestrādei A kategorijas autoceļos. AC16surf maisījums paredzēts P kategorijas autoceļam, bet AC8 ir maisījums autoceļiem ar AADT_{pievestā} 501-1500. Maisījumos izmantotais bitumena tips, saturs un tilpuma īpašības ir apkopotas Tabulā 19. Lai izpildītu pētījuma mērķi, nebija būtiski precīzi zināt katrā maisījumā izmantotos materiālus un proporcijas, tāpēc šāda informācija netika apkopota. Darba formulas dotas tikai maisījumiem, kas izgatavoti laboratorijā (Tabula 20 un Tabula 21).

Tabula 19. Pārbaudīto asfalta maisījumu tilpuma īpašības

Marka	Bitumena tips	Bitumena saturs	Maks. blīvums, kg/m³	Va (gaisa poras), %	VMA (min.mat. poras), %	VFB (ar bit. pild. poras), %
AC-8 surf	50/70	5.8%	2731	3.2	16.7	80.8
AC-16 surf	70/100	4.8%	2596	3.6	16.2	77.7
AC-16 surf PMB	45/80-55	5.0%	2536	2.8	15.6	82.1
SMA-11 surf PMB	45/80-55	6.2%	2465	3.3	17.8	81.3
SMA-16 PMB	45/80-55	5.3%	2492	3.4	16.8	79.8
AC-22 bin PMB	45/80-55	3.8%	2570	5.8	16.0	63.7
AC-22 base	70/100	3.8%	2567	5.5	15.6	64.8
AC-11surf	50/70	5.2%	2565	3.6	17.2	79.0
AC-11surf-0.5%	50/70	4.7%	2549	3.1	15.2	79.6
AC-11surf + ciets bit	20/30	5.2%	2514	4.1	15.4	85.1

Tabula 20. AC11 surf 50/70 darba formula
1. Recepte

Izejmateriāla nosaukums, tips, ražotājs vai piegādātājs	Daudzums (masas %)
Granīta šķembas 8-11 (Norstone, Norvēģija)	21.8
Granīta šķembas 5-8 (Norstone, Norvēģija)	14.2
Granīta šķembas 0-5 (Norstone, Norvēģija)	46.5
Drupināta smiltis 0-4 (Garkalnes grants, Latvija)	5.7
Dolomīta pulveris (Saulkalne S, Latvija)	6.6
Bitumens 50/70 (LOTOS, Polija)	5.2
Kopā	100.0
Adhēzijas piedeva AMDOR-10 (% no bitumena satura)	0.3

2. Asfalta maisījums un asfalta īpašības.

Sieti, mm	Caurisijātā materiāla daudzums, masas%	Deklarētā vērtība	Īpašības un parametri	Testēšanas metode	Rezultāts	Deklarētā vērtība
31.5	100		Asfalts:			
22.4	100		Minerālmateriālu daļiņu blīvums, kg/cm ³	LVS EN 1097-7	2 795	
16.0	100	98 - 100	Asfalta tilpuma blīvums, kg/cm ³	LVS EN 12697-6, B piel	2 473	
11.2	96.2	88.2 - 100	Asfalta maksimālais blīvums, kg/cm ³	LVS EN 12697-5, A met	2 565	
8.0	75.6		Poru saturs, %	LVS EN 12697-8	3.6	2.1 - 5.1
5.6	63.2		Ar bitumenu aizpildīto poru daudzums, %	LVS EN 12697-8	78.0	
4.0	53.6	46.7 - 60.7	Saistvielas notece, % <i>tikai SMA un PA</i>	LVS EN 12697-18	-	
2.0	39.6	33.6 - 45.6	Netiešā stiepes stiprība (ūdensjutība), %	LVS EN 12697-12	99	>70
1.0	29.5		Minimālais MPa			
0.5	21.1	17.1 - 25.1	Maksimālais MPa	LVS EN 13108-20, D.8 LVS EN 13108-20, D.8		
0.25	15.5		Nogurumizturība, mikrostain <i>Tikai AC</i>		-	-
0.125	10.4		Izturība pret paliekošajām deformācijām (WTS), <i>tikai AC un SMA</i>	LVS EN 12697-22, pie 60 °C, 10000 cikli	0.07	<0.8
0.063	8.0	6.0 - 10.0	Porasfalta daļiņu zudumi, %, <i>tikai PA</i>	LVS EN 12697-17	-	
Informācija par parauga sablīvēšanu un testēšanu:						
parauga sagatavošana atsaucies blīvumam				LVS EN 12697-30, LVS EN 13108-20 C.1.tabula, C.1.2		
blīvēšanas temperatūra, °C				-	-	135±5
Maršala triecienu skaits				-	-	50x2
Saistvielas atgūšanas nosacījumi				-	-	-
Ražošana						
masījuma sagatavošanas temperatūra				-	-	140-180
Iekļāšana						
minimālais kārtas biezums, mm				-	-	25
maksimālais kārtas biezums, mm				-	-	44

Tabula 21. AC22 bin/base darba formula

1. Recepte

Izejmateriāla nosaukums, tips, ražotājs vai piegādātājs	Daudzums (masas %)	
Reciklētais asfalta 16 RA 0/11 minerālmateriālu daļa (A7, Latvija)	14.2	
Granīta šķembas 16 -22 (Norstone, Norvēģija)	19.2	
Granīta šķembas 11-16 (Norstone, Norvēģija)	19.2	
Granīta šķembas 8-11 (Norstone, Norvēģija)	4.8	
Granīta šķembas 5-8 (Norstone, Norvēģija)	6.7	
Granīta šķembas 0-5 (Norstone, Norvēģija)	23.7	
Drupināta smiltis 0-4 (Garkalnes grants, Latvija)	5.8	
Dolomīta pulveris (Saulkalne S, Latvija)	2.6	
Reciklētais asfalta 16 RA 0/11 bitumena daļa (A7, Latvija)	0.6	3.8
Bitumens 70/100 (Naftan, Baltkrievija)	3.2	
Kopā		100.0
Adhēzijas piedeva AMDOR-10 (% no bitumena satura)	0.3	

2. Asfalta maisījums un asfalta īpašības.

Sieti, mm	Caurisijātā materiāla daudzums, masas%	Deklarētā vērtība	Īpašības un parametri	Testēšanas metode	Rezultāts	Deklarētā vērtība
31.5	100	98 - 100	Asfalts:			
22.4	97.2	88.2 - 100	Minerālmateriālu daļiņu blīvums, kg/cm ³	LVS EN 1097-7	2 751	
16.0	79.3		Asfalta tilpuma blīvums, kg/cm ³	LVS EN 12697-6, B piel	2 427	
11.2	60.6		Asfalta maksimālais blīvums, kg/cm ³	LVS EN 12697-5, A met	2 567	
8.0	49.8		Poru saturs, %	LVS EN 12697-8	5.5	3.5 - 7.5
5.6	41.0		Ar bitumenu aizpildīto poru daudzums, %	LVS EN 12697-8	62.4	
4.0	33.5	24.5 - 42.5	Saistvielas notece, % <i>tikai SMA un PA</i>	LVS EN 12697-18	-	-
2.0	25.1	18.1 - 32.1	Netiešā stiepes stiprība (ūdensjutība), %	LVS EN 12697-12	98	>70
1.0	19.4		Minimālais MPa	LVS EN 13108-20, D.8 LVS EN 13108-20, D.8	-	-
0.5	14.7	9.7 - 19.7	Maksimālais MPa			
0.25	11.3		Nogurumizturība, mikrostain <i>Tikai AC</i>			
0.125	7.6		Izturība pret paliekošajām deformācijām (WTS), <i>tikai AC un SMA</i>	LVS EN 12697-22, pie 60 °C, 10000 cikli	0.11	<0.5
0.063	5.9	2.9 - 8.9	Porasfalta daļiņu zudumi, %, <i>tikai PA</i>	LVS EN 12697-17	-	-
Informācija par parauga sablīvēšanu un testēšanu:						
Parauga sagatavošana atsaucies blīvumam				LVS EN 12697-30, LVS EN 13108-20 C.1.tabula, C.1.2		
Blīvēšanas temperatūra, °C				-	-	135±5
Maršala triecienu skaits				-	-	50x2
Saistvielas atgūšana				LVS EN 12697-3	Trihloretilēns	
Maksimālā blīvuma noteikšana				LVS EN 12697-5 A met.	Destilēts ūdens	
Ražošana						
Masījuma sagatavošanas temperatūra				-	-	140-180
Iekļāšana						
Minimālais kārtas biezums, mm				-	-	50
Maksimālais kārtas biezums, mm				-	-	88

4.4.2. Eksperimentālais plāns

Maisījumu sagatavošana

Maisījumi tika sagatavoti divos dažādos veidos:

- Rūpnīcā samaisīts un laboratorijā sablīvēts paraugs (R-L) pēc maisījuma atkārtotas uzsildīšanas krāsnī.

- Laboratorijā samaisīts un laboratorijā sablīvēts paraugs (L-L), kas izgatavots no rūpnīcā iegūtiem materiāliem un pēc rūpnīcas darba formulas.

Dažādu maisīšanas veidu izmantošana ļauj noteikt izgatavošanas veida ietekmi. Dažādiem testiem ir novērojamas ievērojamas rezultātu atšķirības, galvenokārt atšķirīgas bitumena novecošanās pakāpes dēļ. Šāds salīdzinājums dos iespēju izvērtēt vai vienas un tās pašas prasības var tikt attiecinātas uz atšķirīgi izgatavotiem paraugiem.

Asfalta tipi

Asfalta paraugu testēšanas matrica parādīta Tabulā 22. Dažādo maisījumu maksimālais daļiņu izmērs tika izvēlēts starp 11 un 22 mm, jo šādiem paraugiem TSRST testā saskaņā ar LVS EN 12697-46 ir noteiktas vienādas dimensijas. Asfalta tipi izvēlēti, lai nodrošinātu pēc iespējas dažādāku maisījumu testēšanu:

- Lai noteiktu atšķirības testēšanas rezultātos starp dažādu Latvijā populāru maisījumu tipu, kā arī segas virskārtas un pamatu kārtu maisījumiem, tika testēti gan AC surf, gan AC base/bin, gan SMA tipa maisījumi.
- Testēti divi AC-22 tipa asfaldi, viens no tiem izgatavots un sablīvēts laboratorijā, bet otrs izgatavots rūpnīcā. Tas dod iespēju prognozēt, vai pastāv testēšanas rezultātu atšķirība atkarībā no maisījuma izgatavošanas veida.
- Laboratorijā maisīts AC-11 surf tipa asfalts izmantots, lai noteiktu bitumena satura un markas ietekmi uz ekspluatācijas īpašībām:
 - i. Viens maisījums izgatavots saskaņā ar ražotāja lietoto maisījuma darba formulu.
 - ii. Viens maisījums izgatavots samazinot bitumena saturu par 0.5%.
 - iii. Viens maisījums sagatavots ar oriģinālo bitumena saturu, bet cietāku (20/30 penetrācijas klases) bitumenu.
- Lai salīdzinātu bitumena tipa ietekmi dažādiem maisījumiem izmantots gan polimērmodificēts bitumens, gan nemodificēts bitumens.
- AC8 un SMA11 maisījumiem noteikta tikai Fraasa temperatūra un TSRST temperatūra, lai veidotu lielāku datu bāzi.

Tabula 22. Paraugu testēšanas matrica

Marka	Bitumena tips	Sagatavošanas veids*
AC-8 surf	50/70	R-L
SMA-11 surf PMB	45/80/-55	R-L
AC-16 surf	70/100	R-L
AC-16 surf PMB	45/80-55	R-L
SMA-16 PMB	45/80-55	R-L
AC-22 bin PMB	45/80-55	R-L
AC-22 base	70/100	L-L
AC-11surf	50/70	L-L
AC-11surf-0.5%	50/70	L-L
AC-11surf + ciets bit	20/30	L-L

* R-L: Rūpnīcā ražots – Laboratorijā sablīvēts

L-L: Laboratorijā maisīts – Laboratorijā sablīvēts

4.4.3. Metodes

Bitumena īpašības un maisījuma granulometrija

Bitumena īpašības un maisījumu granulometrija noteikta, kā iepriekš aprakstīts nodaļā 3.2.

Sablīvēšana un paraugu izgatavošana laboratorijā

Laboratorijā sablīvētie paraugi izgatavoti ar veltna blīvētāju saskaņā ar LVS EN 12697-33. Šī metode izvēlēta, jo gan riteņa sliedes testam, gan puscilindra lieces testam, gan arī vienass stiepes testa standartos Māršala sablīvēšanas āmura pielietošana nav pieļaujama. Riteņa sliedes paraugi izgatavoti 23cm garumā, 6cm augstumā un 26cm platumā. Vienass stiepes testa un puscilindra lieces testu paraugi izgatavoti šādu pat dimensiju plātnes. Vienass stiepes testa paraugi nozāģēti 2cm attālumā no plātnes malas, kā noteikts standartā. SCB testa paraugi izurbti no atlikušās plātnes, kā redzams Ilustrācijā 29. Vienass stiepes testa paraugi tika zāģēti un testēti paralēli sablīvēšanas virzienam, bet SCB testa paraugiem tas netika kontrolēts.



Ilustrācija 29. Puscilindra lieces testa paraugu urbšana

Puscilindra lieces tests

Puscilindra lieces tests (Semi-Circular Bending (SCB)) veikts saskaņā ar LVS EN 12697-44. Tests ir iekļauts Eiropas Standartu AC un SMA maisījumu specificēšanas fundamentālo prasību sarakstā (EN 13108-1 un EN 13108-5). Tā priekšrocībā ir faktā, ka tests ir vienkārši un ātri izpildāms, un tā vajadzībām ir iespējams piemērot plaši pieejamo Māršala spiedi. Paraugu izgatavošana iespējama gan no laboratorijā izgatavotiem paraugiem, gan izurbtiem paraugiem. Konkrētajā gadījumā paraugi laboratorijā tika izgatavoti 6cm biezumā, izmantojot veltna blīvētāju. Māršala blīvētāja izmantošana standartā netiek pieļauta. No izgatavotās plātnes tika izurbti 150mm paraugi, kas tika nofrēzēti standartā noteiktajā 5cm biezumā un pārzāģēti uz pusēm, kā arī veikts iezāģis 3.5 ± 1 mm platumā un 10mm dziļumā.

Sagatavotais paraugs tiek kondicionēts nepieciešamajā temperatūrā ne mazāk kā 4 stundas. Konkrētajā gadījumā kondicionēšana tika veikta 0 °C, jo šo temperatūru rekomendē standarts. Paraugs tiek izņemts no kondicionēšanas kameras un ievietots trīspunktu lieces rāmī, kā parādīts Ilustrācijā 30. Ilustrācijā redzama arī paraugu ģeometrija. Testa laikā paraugs tiek slogots ar konstantu 5mm/min lielu ātrumu, lai izsauktu stiepi horizontālajā daļā. Tiek noteikts maksimālais spiedes spēks un pārvietojums, kā redzams Ilustrācijā 31. No šiem rezultātiem saskaņā ar *Vienādojumu 1* tiek noteikta plaisāšanas pretestība K_{Ic} . Augstāka K_{Ic} vērtība liecina par maisījuma spēju pretoties lielākam spriegumam, kas savukārt norāda uz augstāku plaisāšanas pretestību.

Vienādojums 1 (LVS EN 12697-44 (2011))

$$K_{Ic} = \sigma_{max} \cdot f\left(\frac{a}{W}\right)$$

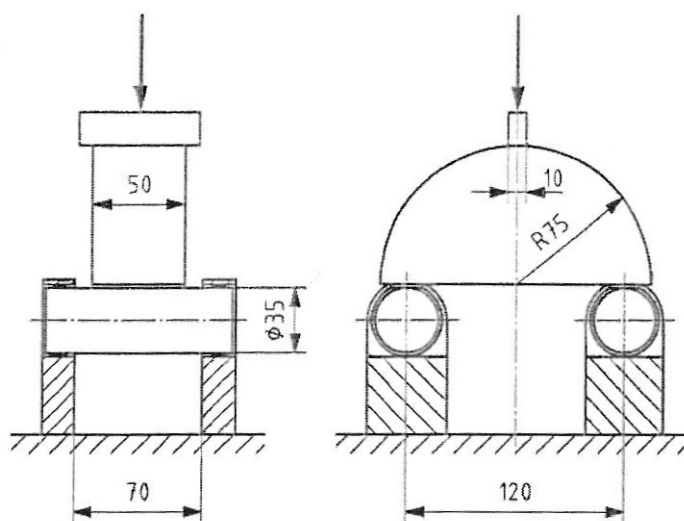
K_{Ic} – plaisāšanas pretestība, $N/mm^{3/2}$

a – iezāģa dziļums, mm

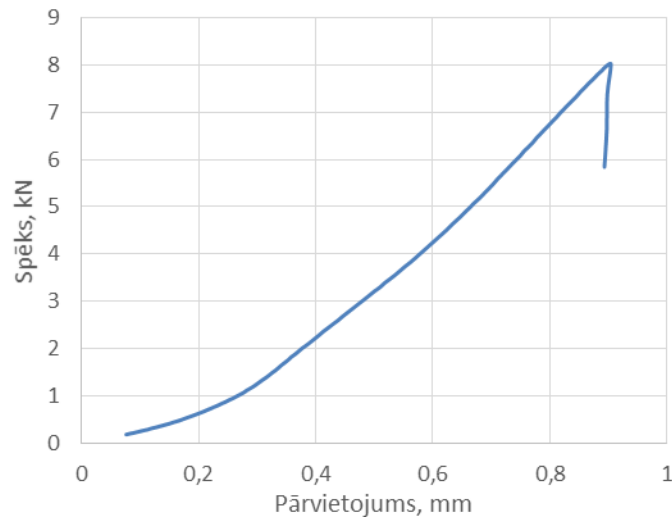
W – parauga augstums, mm

σ_{max} – maksimālais spriegums, N/mm^2

$f(a/W)$ – parauga ģeometriskais faktors. Pēc standarta prasībām izgatavotiem paraugiem 5.956.



Ilustrācija 30. Puscilindra lieces tests (SCB)



Ilustrācija 31. Puscilindra lieces testa rezultāta piemērs

Vienass stiepes tests (TSRST).

Vienass stiepes tests tiek izpildīts saskaņā ar LVS EN 12697-46. TSRST testā prizmeveida paraugs tiek pielīmēts pie divām horizontālām alumīnija plāksnēm tā, lai nodrošinātu tā augstumu nemainīgu. Pakāpeniski ar ātrumu -10 K/h tiek samazināta parauga temperatūra, kas izsauc stiepes spēkus. Tiek noteikta temperatūra, pie kuras paraugs sāk plaisāt.

Paraugi tiek izgatavoti, zāģējot un frēzējot paraugu, kas izgatavots ar veltņa blīvētāju, līdz vajadzīgajām dimensijām. Šajā gadījumā, kad paraugu maksimālais daļiņu izmērs bija no 11 līdz 22 mm, to prasītais izmērs ir 160 mm augstumā un 50 mm platumā. Pretēji standartā noteiktajam, arī AC8 paraugs tika sagatavots šajās pašās dimensijās. Katram materiāla tipam tika izgatavoti un testēti divi paraugi. Ja paraugu rezultāti neiekļāvās standartā pieļautajās robežās, tika izgatavots jauns paraugs un šeit publicētais rezultāts iekļauj tikai paraugus, kuru izkliede bija standartā noteiktajās robežās.



Ilustrācija 32. TSRST tests

Riteņa sliedes tests

Riteņa sliedes veidošanās ātrums tiek noteikts saskaņā ar LVS EN 12697-22. Testēšana tiek veikta 6 cm bieziem prizmveida asfalta paraugiem, kas izgatavoti ar veltņa blīvētāju. Paraugi tiek pakļauti 700 N lielai kustīga riteņa cikliskai slodzei ar ātrumu 26.5 cikli minūtē. Testa ilgums ir 20000 cikli. Testēšana tika veikta 60 °C temperatūrā. Riteņa sliedes dziļumu nosaka, izmantojot pārvietojuma indikatorus.



Ilustrācija 33. Riteņa sliedes veidošanās tests

4.5. REZULTĀTI

4.5.1. Bitumena īpašības

Lai pēc iespējas pilnvērtīgāk izanalizētu maisījuma termālās plaisāšanas pretestību un saistītu to ar bitumena īpašībām, noteikta katra bitumena Fraasa trausluma temperatūra. Rezultāti apkopoti Tabulā 23. Maisījumiem, kas ražoti rūpnīcā, testēts atgūtais bitumens, savukārt laboratorijā maisītajiem asfaldiem testēts svaigs bitumens. Nebūtu lietderīgi veikt šo bitumenu atgūšanu no laboratorijā maisīta asfalta, jo šie maisījumi izgatavoti laboratorijā un netiek pakļauti novecināšanai. Tātad tuvināti var teikt, ka Fraasa temperatūra atbilst maisījumā izmantotā bitumena īpašībām.

Latvijas ceļu specifikācijās noteikta prasība, ka Fraasa temperatūrai atgūtam bitumenam jābūt ne augstākai par $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Šo prasību neizpilda polimērmodificētais bitumens, kas izmantots AC16 surf maisījumā. Šajā maisījumā izmantots tas pats PMB bitumens, kas lietots arī SMA16 maisījuma ražošanā un tie izgatavoti vienā un tanī pašā rūpnīcā, tomēr SMA 16 maisījumā esošais bitumens uzrāda par 4°C zemāku trausluma temperatūru. Tas visdrīzāk saistīts ar bitumena novecošanos, tomēr iespējama arī neprecizitāte mērījumā vai atgūšanā. Arī 50/70 bitumens, kas izmantots AC8 maisījumā un cietais 20/30 bitumens, kas izmatots AC11 surf maisījuma izgatavošanā uzrāda augstāku temperatūru pat pirms novecošanās. Ir ticams, ka pārējie svaigie bitumena paraugi izpildītu specifikāciju prasības arī pēc novecošanās.

Tabula 23. Bitumena Fraasa temperatūras testēšanas rezultāti

Bitumens	Maisījums	Mērījums 1, °C	Mērījums 2, °C	Vidējais, °C
50/70 ^a	AC8 surf	-13	-14	-14.0
PMB 45/80-55 ^a	SMA11 surf+PMB	-20	-20	-20.0
70/100 ^a	AC16 surf	-17	-17	-17.0
PMB 45/80-55 ^a	AC16 surf +PMB	-12	-10	-11.0
PMB 45/80-55 ^a	SMA16 +PMB	-16	-14	-15.0
70/100 ^a	AC22 bin +PMB	-18	-16	-17.0
70/100 ^b	AC22 base	-19	-21	-20.0
50/70 ^b	AC11surf	-24	-26	-25.0
50/70 ^b	AC11surf -0.5% bit.	-24	-26	-25.0
20/30 ^b	AC11surf +ciets bit.	-10	-11	-10.5

^a – testēšana veikta atgūtajam bitumenam rūpnīcā ražotam maisījumam

^b – testēšana veikta svaigam bitumenam, kas paredzēts maisīšanai laboratorijā

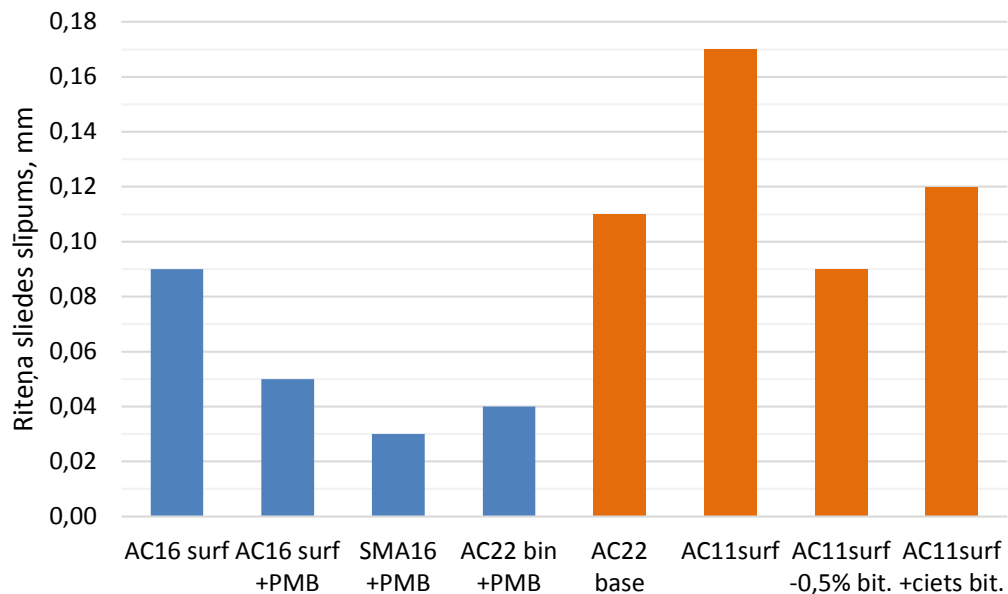
4.5.2. Riteņa slīdes testa rezultāti

Riteņa slīdes veidošanās slīpums un slīdes dziļums pie 10 000 cikliem redzami attiecīgi Ilustrācijā 34 un Ilustrācijā 35. Maksimālais riteņa slīdes slīpums (WTS) šobrīd ir noteikts Latvijas ceļu specifikācijās, un tas mainās atkarībā no transportlīdzekļu intensitātes robežās no 0.1mm pie augstākās intensitātes līdz 1.0 mm pie zemākās intensitātes. Šajā gadījumā redzams, ka visi rūpnīcā izgatavotie maisījumi (zilā krāsā) atbilst augstākajai kategorijai. Vislabākie rezultāti, kā jau bija sagaidāms, novērojami SMA tipa maisījumam, kura sastāvā ir arī polimērmodificēts bitumens.

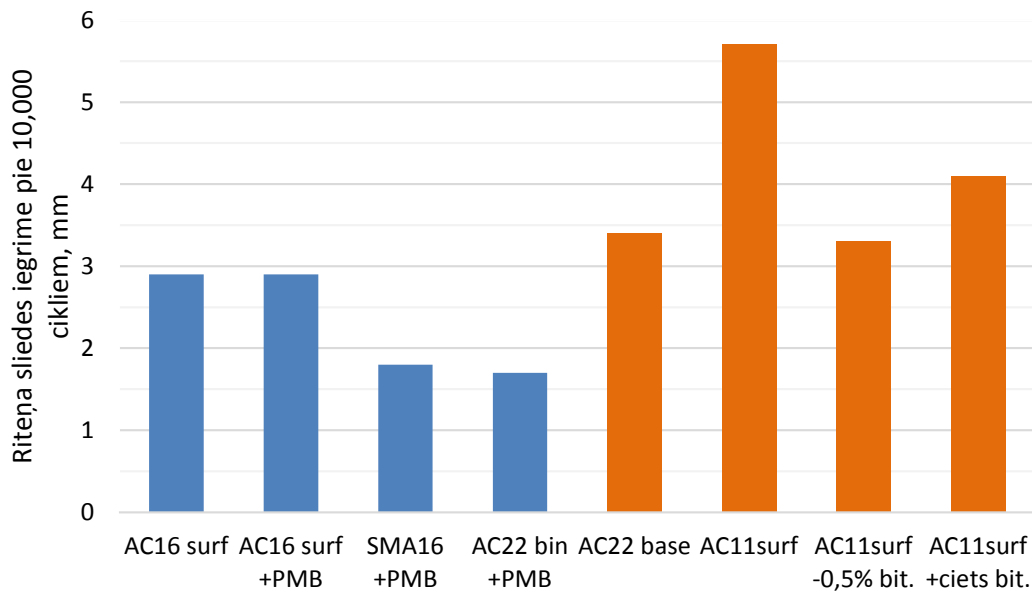
Redzams, ka visiem laboratorijā maisītiem paraugiem ir lielāks riteņa slīdes slīpums un augstāka riteņa slīdes ieegrime salīdzinājumā ar rūpnīcā maisīto asfaltu. Protams, šeit izmantoti dažādi asfalta tipi un materiāli, tomēr ticami, ka viens no šīs tendences iemesliem ir arī bitumena īslaicīgā novecošanās. Rūpnīcā izgatavotais asfalts ticis uzglabāts pie augstas temperatūras, transportēts uz būvobjektu, kur noņemti paraugi, lai pēc tam tos pēc atkārtotas uzsildīšanas izmantotu paraugu izgatavošanai. Savukārt laboratorijā izgatavotie paraugi samaisīti un izgatavoti vienā piegājienā, un tāpēc to novecošanās bijusi ievērojami mazāka. Šāds secinājums var būt svarīgs būvuzņēmējam izvēloties maisījumu sertificēšanas metodi (laboratorijā vai rūpnīcā izgatavoti paraugi). Tāpat iespējams izvērtēt nepieciešamību ieviest maisījumu

novecošanas protokolu, kā tas tiek darīts ASV pirms ekspluatācijas īpašību testēšanas (skatīt nodaļu 1.3.6.).

Interesants ir novērojums par AC11 surf maisījuma riteņa sliedes testa īpašību izmaiņām, izmainot bitumena saturu un tipu. Maisījums, kas izgatavots pēc sākotnējās darba formulas, uzrāda 0.17mm riteņa sliedes iegrimi un 5.7mm maksimālo iegrimi. Samazinot bitumena saturu par 0.5%, šie rādītāji ievērojami samazinājušies un izpilda specifikācijās noteikto kritēriju augstākajai ceļa kategorijai (0.1 mm riteņa sliedes slīpums). Arī cietāka bitumena pielietošana uzlabojusi pretestību plastiskajām deformācijām, tomēr ieguvums ir mazāks salīdzinājumā ar bitumena satura samazināšanu.



Ilustrācija 34. Riteņa sliedes slīpums (WTS), mm



Ilustrācija 35. Riteņa sliedes iegrimē pie 10 000 cikliem, mm

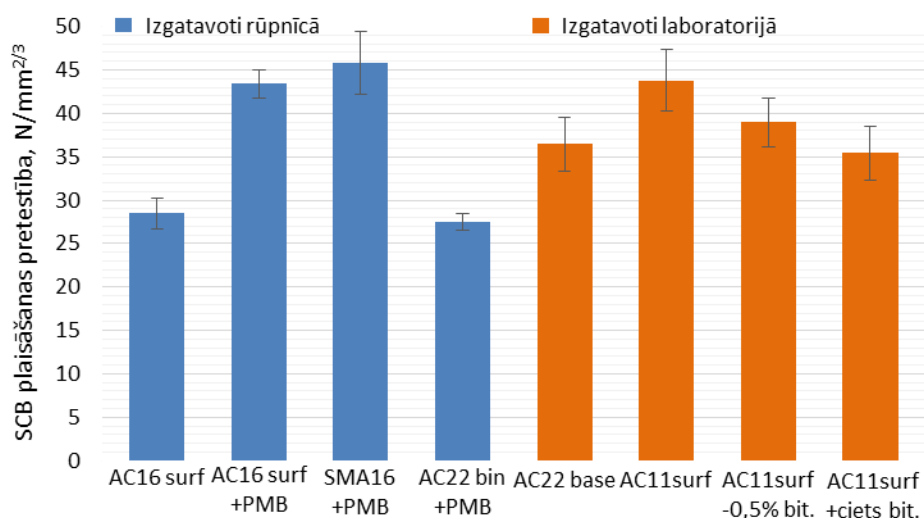
4.5.1. Puscilindra lieces testa rezultāti

Puscilindra lieces tests daudzu pasaulē atzītu zinātnieku vērtējumā tiek atzīts par potenciāli veiksmīgi izmantojamu testu maisījumu raksturošanai praktiskām vajadzībām [47, 48]. Tas pamatojams ar vienkāršo un ātro testa veikšanu, salīdzinoši lētām nepieciešamajām iekārtām, augsto atkārtotamību, kā arī salīdzinoši augsto korelāciju ar faktiskiem plaisāšanas rezultātiem [49].

Plaisāšanas pretestība puscilindra lieces testā redzama Ilustrācijā 36, kur ar melnu stabiņu norādīta viena standartnovirze katram no paraugiem. Attēlā redzams, ka visaugstāko plaisāšanas pretestību uzrāda maisījumi, kuru sastāvā ir polimērmodificēts bitumens un gandrīz tikpat augstu vērtību uzrāda laboratorijā izgatavots AC 11 paraugs. Tomēr jāatceras, ka puse no maisījumiem ir izgatavoti laboratorijā (tie iekrāsoti oranžā krāsā), tāpēc tie ir mazāk novecojušies un līdz ar to tiem sagaidāma augstāka pretestība plaisāšanai.

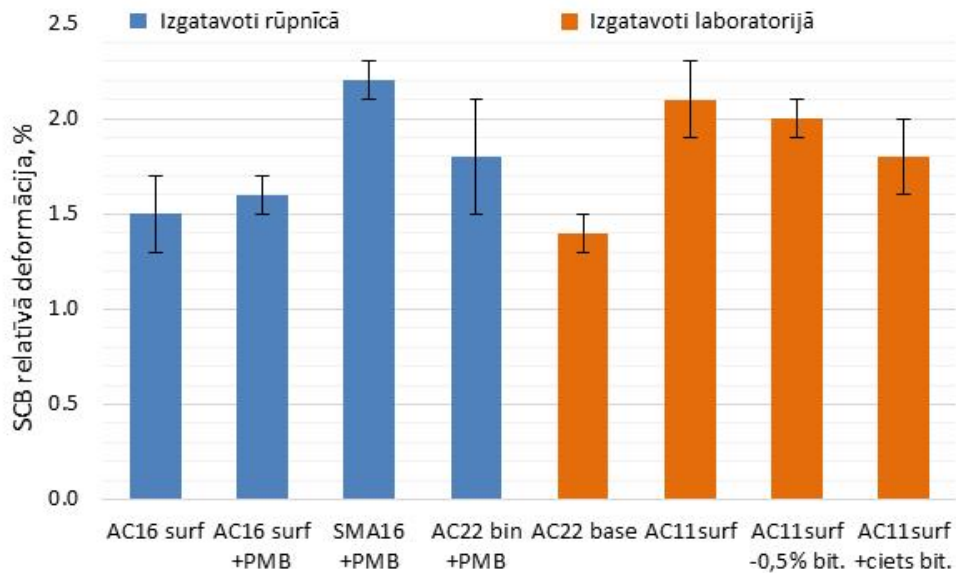
Līdzīgi kā vienass stiepes testam, arī šeit redzams, ka, samazinot bitumena saturu AC11 asfaltam, samazinās arī plaisāšanas pretestība. Tāpat, aizvietojo AC 11 bitumenu ar cietāku, ir redzama plaisāšanas palielināšanās. Tomēr, atšķirībā no TSRST, šajā testā viena standartnovirze proporcionāli ir lielāka, un tāpēc ar SCB testu nodalījums starp paraugiem ir mazāk izteikts,

turklāt 1 standartnovirze dod tikai 68% ticamību. Tas norāda, ka, salīdzinot šo testu rezultātus, faktiski vairāki paraugi vērtējami kā līdzvērtīgi. Piemēram, no prakses zināms, ka izmaiņas bitumena saturā par 0.5% (starp AC11 tipa maisījumiem) ir ievērojamas un var radīt lielas atšķirības asfalta ekspluatācijas laikā, tomēr, ietverot rezultātu atkārtojamību, šajā testā maisījumi klasificējami kā līdzvērtīgi. Jāpiezīmē gan, ka šajā gadījumā paraugi tika izmantoti arī testa metodes aprobācijai, un tāpēc ir sagaidāms, ka, uzlabojot paraugu izgatavošanas un testēšanas procedūru, standartnovirze samazināsies. Testēšanas standartā norādītā atkārtojamība starp testiem dažādās laboratorijās ir $2.44 \text{ N/mm}^{3/2}$.



Ilustrācija 36. Plaisāšanas pretestība puscilindra lieces testā

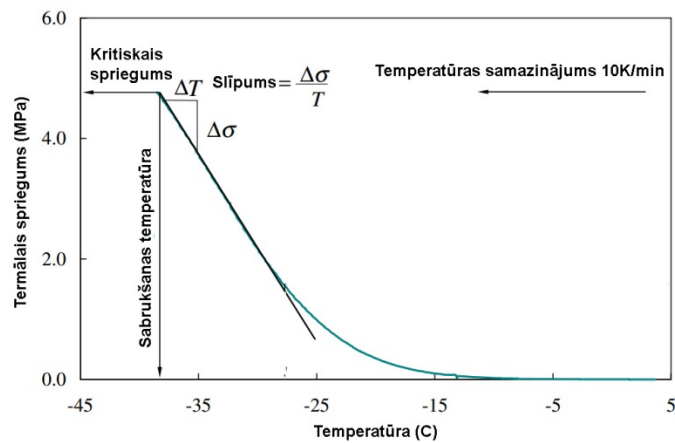
Paraugu relatīvā deformācija sabrukšanas brīdī redzama Ilustrācija 37. Redzams, ka deformācija ir aptuveni proporcionāla plaisāšanas pretestībai un nav novērojamas būtiskas atšķirības atkarībā no bitumena tipa (piemēram, salīdzinot PMB un nemodificētu bitumenu).



Ilustrācija 37. Relatīvā deformācija parauga sabrukšanas brīdī puscilindra lieces testā

4.5.2. Vienass stiepes testa rezultāti

TSRST paraugu tipiska sabrukšanas līkne redzama Ilustrācijā 38. Testa sākumdaļā veidojas relatīvi nelieli spriegumi, savukārt, sasniedzot noteiktu temperatūra, spriegums sāk pieaugt lineāri proporcionāli temperatūras samazinājumam. Spriegumam sasniedzot kritisko punktu, paraugs sabrūk, un tiek noteikta sabrukšanas temperatūra pie temperatūras samazinājuma 10 °C/min. Šie lielumi ir attēloti ilustrācijā.



Ilustrācija 38. TSRST paraugu sabrukšanas līkne

Paraugu testēšanas rezultāti attēloti Ilustrācijā 39. Redzams, ka paraugu sabrukšanas temperatūra atkarīga no asfalta tipa, tajā izmantotajiem materiāliem un to proporcijām. Rezultāti svārstās diapazonā no -19.2 līdz -29.2 °C. Ar melnu līniju katram paraugam atzīmēta viena standartnovirze. Testēšanas standartā metodes atkārtojamība nav dota, bet norādīts, ka, tam pašam operatoram veicot testu, rezultātam nevajadzētu svārstīties vairāk par 2 °C.

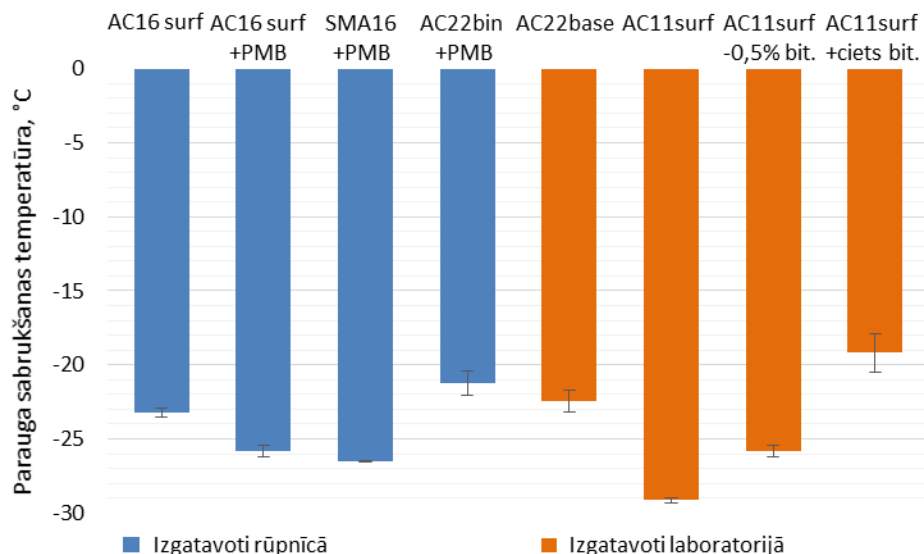
Viszemākā (visvairāk negatīvā) temperatūra un līdz ar to vislabākā pretestība pret termoplaisu veidošanos sagaidāma AC11 surf asfaltam. Jāpiemin, ka šim maisījumam vizuāli bija redzami izsvīdumi, iespējams, konkrētajā gadījumā tā bitumena saturs bija nedaudz par augstu. To apliecina arī šī parauga riteņa sliežu tests, kurā tas uzrādīja viszemāko plastisko deformāciju pretestību no visiem maisījumiem. Lai noteiktu bitumena satura ietekmi, tika izgatavots maisījums saskaņā ar šo pašu darba forumu, bet par 0.5% zemāku bitumena saturu. Kā sagaidāms, šī parauga sabrukšanas temperatūra bija augstāka (-29.2 °C pret -25.8 °C). Tika izgatavots arī AC 11 surf paraugs ar sākotnējo bitumena saturu, bet, izmantojot cietāku bitumenu (20/30 nevis 50/70). Redzams, ka cietāka bitumena izmantošana, salīdzinot ar bitumena satura samazināšanu, šajā gadījumā ir devusi lielākas izmaiņas un parauga kritiskā plaisāšanas temperatūra ir paaugstinājusies līdz -19.2 °C.

Salīdzinot laboratorijā maisītos paraugus (oranžā krāsā) un rūpnīcā maisītos paraugus (zilā krāsā), būtiska atšķirība rezultātos nav novērojama. No tā netieši var secināt, ka tests ir salīdzinoši maz jūtīgs pret paraugu izgatavošanas veidu, un tāpēc tas pats maisījumu projektēšanas kritērijs var tikt pielietots gan rūpnīcā maisītiem paraugiem, gan arī laboratorijā izgatavotiem. Šāds princips arī atbilst maisījumu sertifikācijas sistēmai 2+. Tas dod iespēju piemērot tās pašas prasības, lai ražošanas un/vai ieklāšanas laikā ņemtiem paraugiem veiktu kvalitātes kontroli.

Salīdzinot virskārtas maisījumus ar tādiem, kas paredzēti apakškārtām vai saistes kārtām, redzams, ka virskārtu maisījumi nodrošina augstāku plaisāšanas pretestību. Tas arī bija sagaidāms, jo šajos maisījumos ir augstāks bitumena saturs, kā arī rezultātu mazāk ietekmē minerālmateriālu homogenitāte.

Atšķirība starp SMA un AC tipa asfaltu ir minimāla un var netikt ņemta vērā, izvirzot maisījuma apstiprināšanas kritēriju.

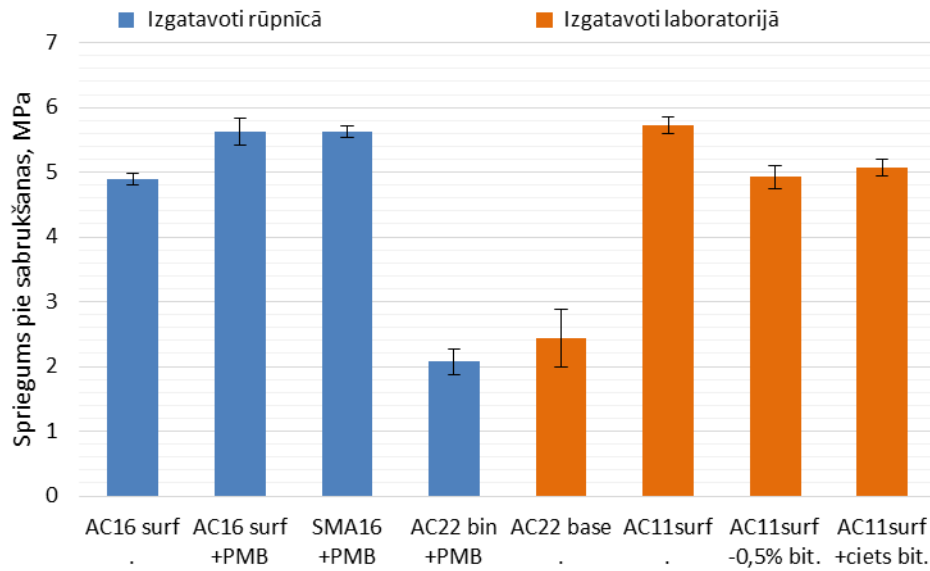
Kā sagaidāms, polimērmodificēta bitumena pielietošana uzlabo maisījumu pretestību plaisāšanai. Šajā gadījumā AC16 tipa asfalta plaisāšanas temperatūra samazinājusies par 2.6 °C.



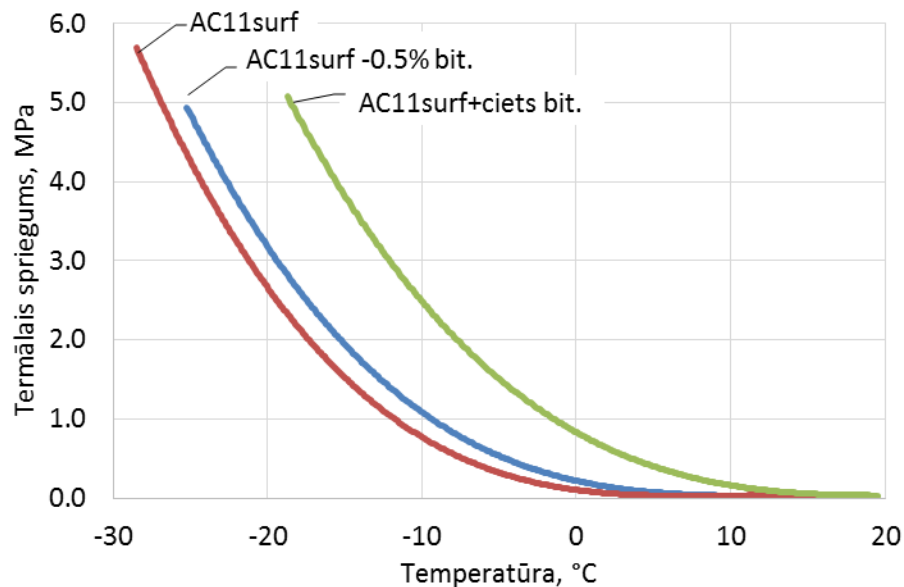
Ilustrācija 39. Vienass stiepes testa (TSRST) paraugu sabrukšanas temperatūra

Ilustrācijā 40 ir redzams kritiskais spriegums, pie kura paraugi sabruka. Šis lielums, protams, nav tieši proporcionāls sabrukšanas temperatūrai. Dažādiem paraugiem ir atšķirīga stiepes stiprība, jo tā atkarīga gan no izmantotajiem materiāliem, gan to proporcijām. Tomēr var novērot vairākas likumsakarības:

- AC11 surf maisījums, kura sastāvā bija cietais 20/30 bitumens, uzrāda salīdzinoši līdzīgu spriegumu salīdzinājumā ar AC11 surf maisījumu, kura sastāvā samazināts bitumena saturs, kā arī ar AC16surf maisījumu. Tomēr Ilustrācijā 39 ir redzams, ka AC11 surf ar cieto bitumenu kritiskā temperatūra, pie kuras šis spriegums tiek sasniegts, ir daudz augstāka nekā abiem pārējiem paraugiem. Salīdzinājumam, Ilustrācijā 41 attēlotas līknes maisījumiem AC11 surf un AC11 surf ar cieto bitumenu. Redzams, ka, izmantojot cietāku bitumenu, spriegums pieaug jau pie daudz augstākas temperatūras.
- AC22 base/bin maisījumu spriegums sabrukšanas brīdī ir daudz zemāks nekā virskārtas tipa asfaltam. Tas visdrīzāk izskaidrojams ar zemāku bitumena saturu maisījumā.



Ilustrācija 40. Vienass stiepes testa (TSRST) paraugu spriegums pie sabrukšanas temperatūras



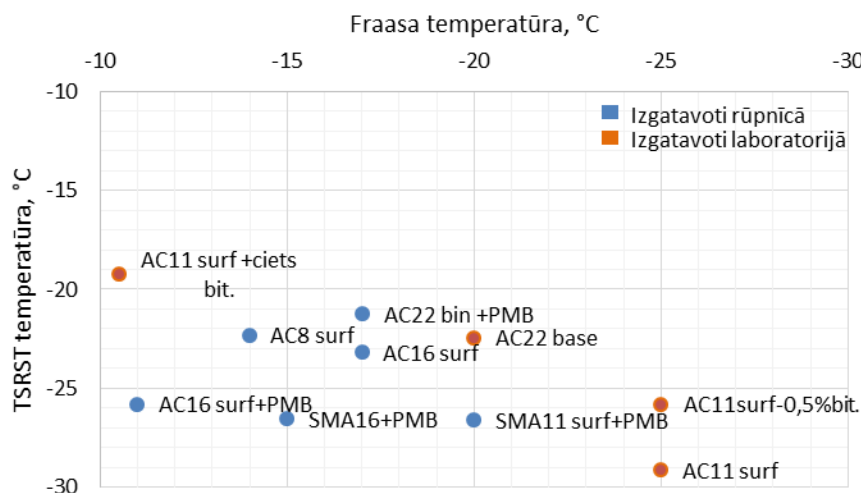
Ilustrācija 41. TSRST paraugu sabrukšanas līknes

Kopumā no rezultātiem var secināt, ka tests ir jutīgs gan pret bitumena tipu, gan tā saturu un testēšanas rezultāti mainās saskaņā ar to, kādas izmaiņas var tikt sagaidītas saskaņā ar maisījuma projektēšanas principiem. Tātad maisījuma projektēšanas gaitā iespējams optimizēt darba formulu tā, lai uzlabotu TSRST testa rezultātu. Balstoties uz šo novērojumu, var secināt, ka šādu

testu būtu iespējams izmantot maisījumu projektēšanā un izvirzīt nepieciešamo kritēriju maisījumu specificēšanai.

4.5.3. Bitumena un maisījuma zemas temperatūras datu salīdzinājums

Korelācija starp asfalta maisījuma un bitumena zemas temperatūras testēšanas rezultātiem redzama Ilustrācijā 42. Zilā krāsā iekrāsoti rūpnīcā izgatavoto maisījumu rezultāti, bet ar oranžu krāsu – laboratorijā. Redzams, ka korelācija ir ļoti zema. Saprota, ka to ietekmē gan bitumena saturs, gan tips, gan maisījuma granulometrija, kā arī bitumena novecošanās pakāpe. Vērtējot pēc 2015. gada ceļu specifikācijām, trīs maisījumu sastāvā esošais bitumens (AC11 surf +ciets bit., AC16surf+PMB un AC8 surf) tiktu atzīts par nepiemērotu (to Fraasa temperatūra ir $<-15^{\circ}\text{C}$). Maisījumu AC11 surf +ciets bit. un AC16surf+PMB Fraasa temperatūra ir gandrīz vienāda, bet attiecīgo maisījumu TSRST plaisāšanas temperatūras atšķirības ir 7°C . Protams, to ietekmē arī fakts, ka viens no bitumeniem ir polimērm modificēts, kā arī atšķirīgās granulometrijas. Turklāt AC16 maisījums izgatavots rūpnīcā, bet AC11 – laboratorijā. Tomēr būtiski, ka pat maisījumus AC16 surf PMB, kura sastāvā ir bitumens ar salīdzinoši augstu Fraasa trausluma temperatūru, spēj nodrošināt plaisāšanas pretestību, kas ir līdzvērtīga vai augstāka nekā maisījumiem, kuri izpilda specifikāciju prasības. Tātad, pieņemot, ka TSRST tests ataino faktisko plaisāšanas pretestību, var secināt, ka Fraasa temperatūras izmantošana Latvijas Ceļu specifikāciju ietvaros nav pietiekams kritērijs, lai pārliecinātos par asfalta segumu zemas temperatūras plaisāšanas pretestību.



Ilustrācija 42. Fraasa temperatūra pret TSRST temperatūru

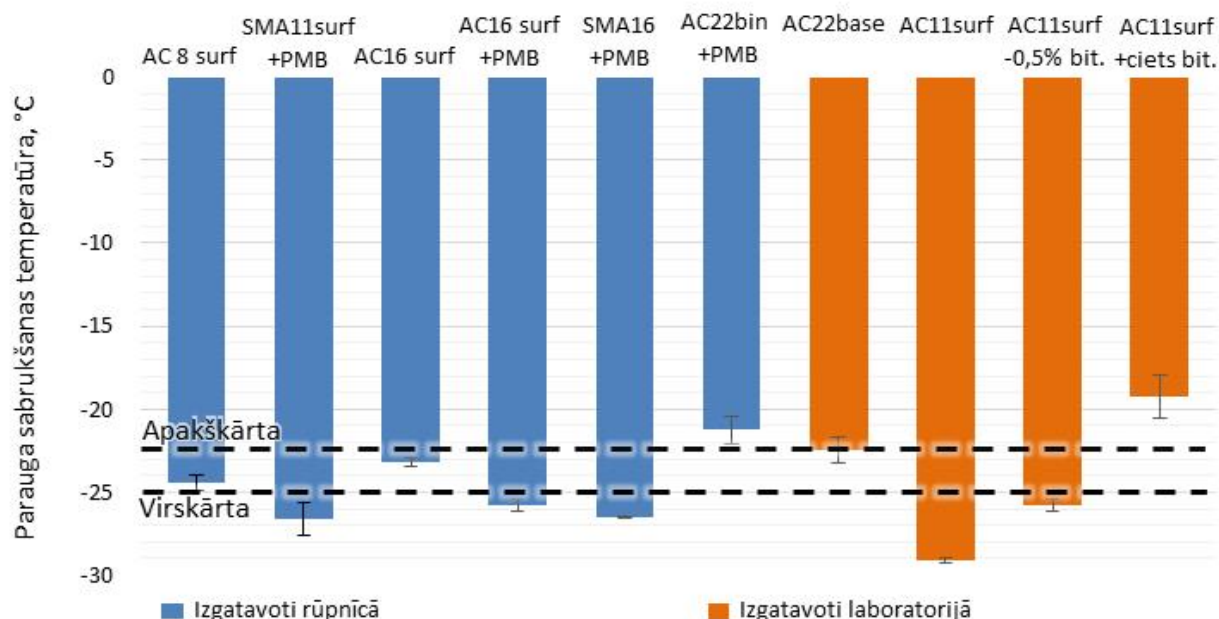
Kritērija izvirzīšana TSRST metodei

Fundamentālās jeb ekspluatācijas īpašību testēšana balstās uz principu, ka maisījuma izgatavošanas tehnoloģija, tips vai izmatotie materiāli nav būtiski. Balstoties uz iegūtajiem testēšanas datiem TSRTS testā, var secināt, ka šis princips izpildās un ir iespējams piemērot vienu kritēriju dažāda tipa asfalta maisījumiem. Turklāt zemas temperatūras plaisāšana nav atkarīga no transporta slodzes, bet gan vides iedarbības. Tātad, pretēji riteņa sliedes veidošanās testam, kura kritērijs atkarīgs no satiksmes intensitātes, TSRST testam visām ceļa kategorijām var noteikt vienotu kritēriju. Tomēr var būt būtiski nodalīt prasības dažādām seguma kārtām, jo starp tām var būt novērojamas temperatūras atšķirības. Zemas temperatūras plaisāšana sākas seguma virskārtā un penetrē uz zemākām kārtām [7]. Tāpēc nepieciešams seguma virskārtā noteikt zemāku plaisāšanas temperatūras prasību, nekā tas ir saistes un apakškārtās.

Minesotas transporta departamenta departaments apkopojis temperatūras atšķirības dažādos dziļumos asfalta segā, kad vidējā diennakts gaisa temperatūra bija $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ [50]. Dati, kas iegūti trīs dažādās vietās un četros dažādos dziļumos (30 mm līdz 278 mm no segas virsmas), demonstrē, ka temperatūras samazinājumus ir no 0.0276 līdz 0.032 $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$. Ja pieņem, ka seguma virskārta vidēji Latvijā ir ap 6 cm, tad saistes un apakškārtai (base/bin) kārtas virspusē pie temperatūras samazinājuma 0.03 $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ temperatūra būtu par 1.8 $^{\circ}\text{C}$ zemāka nekā virskārtai. Kā iepriekš demonstrēts nodaļā 4.5.1., tad TSRST metode šādu atšķirību, ņemot vērā testēšanas atkārtojamību, var uztver.

Testēšanas rezultātos Ilustrācijā 43 redzams, ka lielākā daļa ieklāto virskārtas maisījumu var izpildīt prasību nodrošināt TSRST plaisāšanas temperatūru $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Redzams, ka ņemot vērā arī vienu standartnovirzi, to faktiski nespēj izpildīt tikai AC 16 surf tipa asfalts. Savukārt apakškārtai, piemērojot augstākminēto temperatūras samazinājuma gradientu, būtu jānosaka temperatūra $-23.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, bet, ņemot vērā faktiskos testēšanas rezultātus, ieteicams to pieņemt $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Šīs sākotnējās prasības ieteicams pārskatīt pēc testēšanas metodes aprobācijas perioda, ņemot vērā pasūtītāja novērotos defektus ceļu ekspluatācijā. Ja nepieciešami uzlabojumi attiecībā pret plaisāšanu, iespējams prasīto temperatūru pazemināt, kas tādējādi veicinātu izmaiņas maisījumu receptē.

Kamēr tiek piemērots aprobācijas periods plaisāšanas testam, nav ieteicams atteikties no specifikācijām izmantotajiem materiāliem.



Ilustrācija 43. TSRST rezultāti un piedāvātie plaisāšanas kritēriji virskārtai un apakškārtai

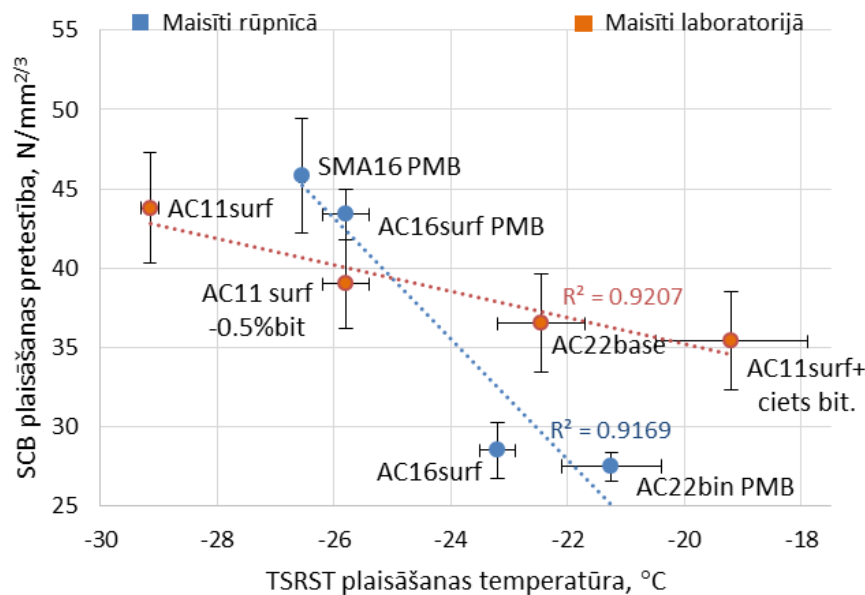
4.5.4. TSRST un SCB testu rezultātu salīdzinājums

TSRST ir termālās plaisāšanas raksturošanas tests, bet SCB literatūrā tiek raksturots kā vispārīgs plaisāšanas pretestības tests, tāpēc to rezultāti drīzāk jāvērtē kā viens otru papildinoši nevis pretstatījumi. Tomēr tā kā šī pētījuma mērķis ir izstrādāt specifiskāciju prasības, kas balstītas uz plaisāšanas pretestības testēšanu, tad ir lietderīgi izanalizēt arī savstarpējo korelāciju starp testēšanas rezultātiem.

Ilustrācijā 44 atainota rezultātu korelācija TSRST un SCB testēšanas rezultātiem. Jāatgādina, ka katra atsevišķā maisījuma paraugi abiem testiem izgatavoti no vienas un tās pašas plātnes. Ar melnu līniju katram testam norādīta viena standartnovirze. Redzams, ka, atsevišķi vērtējot laboratorijā izgatavotos paraugus un rūpnīcā izgatavotos paraugus, rezultāti savā starpā uzrāda augstu korelāciju. Tomēr, ja vērtē visus paraugus kā vienotu kopumu, korelācija ir zema. Kā iespējama iemesls šādai situācijai var būt paraugu izgatavošanas metode, kas vienu no testiem ietekmē vairāk nekā otru. Rūpnīcā izgatavotais paraugs ir novecojies daudz vairāk nekā laboratorijā maisītais asfalts. Tāpēc, ja viens no testiem ir vairāk jutīgs pret bitumena īpašībām nekā otrs, tad ir iespējama situācija, ka parauga novecināšanās rezultātā izmainās attiecība starp rezultātiem. Šo hipotēzi gan nepieciešams pārbaudīt, jo ir iespējami arī citi iemesli (tajā skaitā

nejaušība) paraugu augstajai korelācijai. Šī iemesla dēļ veikts atsevišķs novecināšanas eksperiments un tā rezultāti ziņoti nākamajā nodaļā (4.5.5).

Ja salīdzina paraugus, kas izgatavoti tikai laboratorijā vai tikai rūpnīcā korelācija ir ļoti augsta ($R^2=0.92$ abos gadījumos). Tāpēc, lai arī salīdzinoši zemākas atkārtotamības dēļ SCB testu nav ieteicams izmantot maisījumu apstiprināšanai no pasūtītāja puses, to var izmantot kvalitātes kontroles nolūkos ražotāja rūpnīcā un lai sagatavotu maisījuma recepti testēšanai ar TSRST iekārtu. Piemēram, ražotājs var izveidot lokālu korelāciju starp tā īpašumā esošu SCB testu un ārpakalpojumā veiktu TSRST, lai optimizētu maisījuma sastāvu pirms parauga sūtīšanas TSRST veikšanai. Tāpat SCB tests var noderēt kvalitātes kontroles veikšanai ražošanas laikā, lai salīdzinoši īsā laikā pārbaudītu maisījuma atbilstību sākotnējai receptei.



Ilustrācija 44. Testēšanas rezultātu korelācija TSRST un SCB testiem

4.5.5. Novecināšanas eksperiments

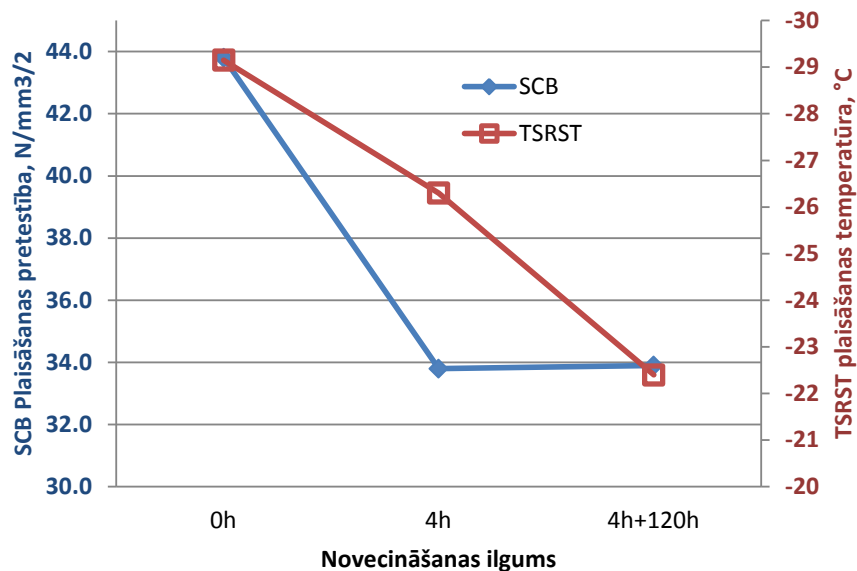
Lai pārbaudītu iepriekšējā nodaļā (4.5.4.) izvirzīto hipotēzi, ka viens no plaisāšanas testiem ir vairāk jutīgs attiecībā pret novecošanos nekā otrs, veikts eksperiments ar maisījumu novecināšanu laboratorijā. Testēšanai izmantots šajā nodaļā jau aprakstītais AC11 surf maisījums. Paraugi testēti trīs novecināšanas stadijās:

- Nenovecināts asfalts.

- Īstermiņā novecināts asfalts: 4 stundas krāsnī noturēts nesablīvēts maisījums 135 °C temperatūrā.
- Ilgermiņā novecināts asfalts: 4 stundas krāsnī noturēts nesablīvēts maisījums 135 °C temperatūrā. Pēc tam izgatavotas plātnes, kuras sablīvētā veidā 120 stundas (5 dienas) noturētas krāsnī 85°C temperatūrā.

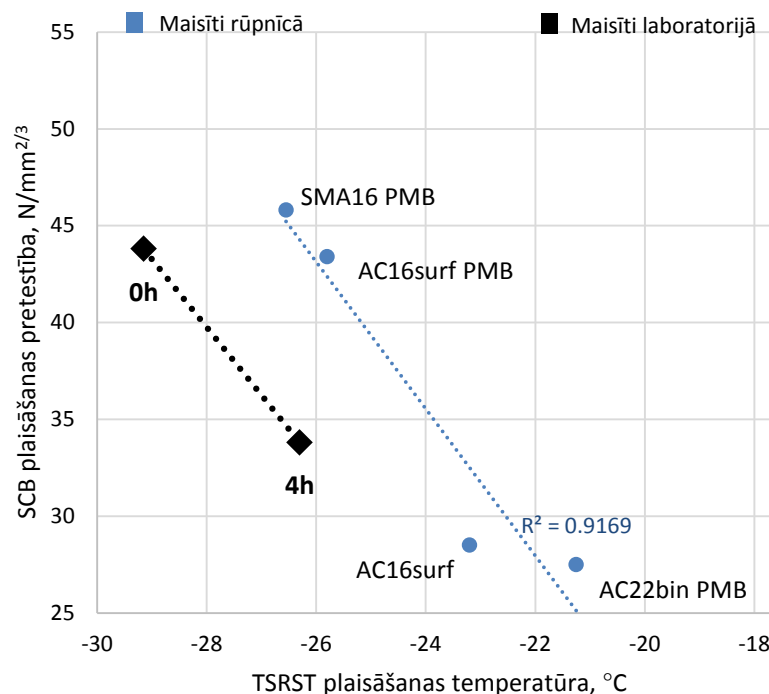
Dažādu novecināšanas stadiju ietekme uz plaisāšanas testu rezultātiem apkopota Ilustrācijā 45. Ilustrācijā SCB testa rezultāti attēloti uz kreisajā pusē novietotās ass, bet TSRST rezultāti – uz labajā pusē novietotās ass. Lai vizuāli ērtāk salīdzināt abus testu rezultātus, TSRST rezultātu ass apvērsta pretējā virzienā. Tādējādi abiem testiem grafikā „labāks” rezultāts ir augšpusē. Asu intervāls salāgots tā, lai abu testu rezultātu maksimālās un minimālās vērtības sakristu.

Ilustrācijā redzams, ka plaisāšanas pretestība SCB testā ievērojami samazinās pēc īslaicīgās novecināšanas (4 h), bet nemainās pēc ilglaicīgās novecināšanas (4 h+120 h). Plaisāšanas temperatūra TSRST savukārt samazinās konstanti abās novecināšanās (līnija grafikā ir gandrīz taisna). Balstoties uz šiem rezultātiem var secināt, ka, lai taupītu testēšanas laiku, nevienam no testiem pirms plaisāšanas testiem nav nepieciešamības veikt ilgtermiņa novecināšanu (4 h+120 h). Ja tiek izmantots TSRST, ilgtermiņa rezultātus var prognozēt veicot lineāru ekstrapolāciju no īstermiņa novecināšanas rezultātiem. Savukārt, ja tiek izmantots SCB tests, ilgtermiņa novecināšana neatstāj efektu.



Ilustrācija 45. Novecināšanas eksperimenta rezultāti

Lai pārbaudītu 4.5.4. nodaļā izvirzīto hipotēzi par novecināšanās efektu laboratorijā maisītiem paraugiem salīdzinājumā ar rūpnīcā maisītiem paraugiem, rezultāti interpretēti Ilustrācijā 46. Šeit rūpnīcā maisīto (tātad īstermiņā novecināto) paraugu rezultāti salīdzināti ar laboratorijā īstermiņā novecinātajiem paraugiem. Redzams, ka tendences taisņu slīpumi sakrīt gandrīz perfekti. Tas norāda, ka nenovecinātiem paraugiem salīdzinājumā ar īstermiņā novecinātiem paraugiem attiecība starp TSRST un SCB testiem ir atšķirīga. Ilustrācija ļauj arī secināt, ka laboratorijas īstermiņa novecināšana pietiekami precīzi atspoguļo novecināšanos asfalta rūpnīcā, tāpēc rekomendējams plaisāšanas testus veikt īstermiņā novecinātiem paraugiem. Tas nodrošinās arī faktiskajiem ceļa seguma kalpošanas apstākļiem tuvinātāku (un nelabvēlīgāku) maisījuma stāvokli testēšanas laikā.



Ilustrācija 46. Novecināšanas eksperimenta salīdzinājums ar rūpnīcā maisītiem paraugiem

Jāpiebilst, ka atkarībā no ieguves vietas, katrs bitumens novecojas citādi, turklāt novecošanas ietekmēs arī bitumena saturs un minerālmateriālu tips. Tāpēc iespējams, ka citiem maisījumiem rezultāti var atšķirties no šeit ziņotajiem.

4.5.6. TSRST un Puscilindra lieces testa metožu salīdzinājums

TSRST un puscilindra lieces (SCB) testēšanas metožu salīdzinājums attēlots Tabulā 24. Abu testu veikšana ir salīdzinoši komplicēta, bet rezultātu apstrāde un interpretēšana ir vienkārša. Abiem testiem ir pieņemti EN standarti un tos ir iespējams piemērot kā tipa testēšanas prasību asfalta maisījumu apstiprināšanai un kvalitātes kontrolei.

Redzams, ka TSRST testa izmaksas ir daudz lielākas nekā SCB testam. Jāpiemin, ka TSRST izmaksās ir ieskaitīta arī termokamera, kas ir jaudīgāka, nekā ir nepieciešams testa veikšanai, tātad izmaksas būtu iespējams nedaudz samazināt. Tomēr, tā kā izmaksas jebkurā gadījumā ir ļoti lielas, tad sagaidāms, ka šādas iekārtas asfalta ražotāji privātai lietošanai neiegādāsies un testēšana būs jāveic ar LVC laboratorijā pieejamo iekārtu. Šeit jāņem vērā, ka testēšanas laiks vienam paraugam ir salīdzinoši liels (6 dienas), līdz ar to, iekļaujot Ceļu Specifikācijās prasību maisījumu tipa testēšanā ietvert šo testu, laboratorijas kapacitāte var būt par mazu. Kā testēšanas metodes priekšrocība minama augsta atkārtojamība.

SCB testa iekārtas izmaksas ir daudz zemākas, un testa veikšanas ilgums ir divas reizes īsāks salīdzinājumā ar TSRST. Testa veikšanai bieži ir iespējams adaptēt jau laboratorijas rīcībā esošu Māršala testēšanas iekārtu, kā arī nepieciešams kondicionēšanas skapis un iespēja prasītajos izmēros izgatavot paraugus. Kā negatīvs aspekts minams salīdzinoši zemākā atkārtojamība, kas pierādījās arī šajā pētījumā. Tomēr, kā augstāk minēts, testu iespējams izmantot, lai ražotāja laboratorijā veiktu projektēšanu un arī kvalitātes kontroli, jo līdzvērtīgā veidā izgatavotiem SCB paraugiem korelācija ar TSRST ir augsta.

Tabula 24. TSRST un SCB testēšanas metožu salīdzinājums

Parametrs	TSRST	SCB
Iekārtas izmaksas	Kondicionēšanas skapis un testēšanas galva kopā 200 000 EUR +zāģis, slīpmašīna +urbis	Māršala testēšanas iekārta +testēšanas galva 1400 EUR + kondicionēšanas skapis +zāģis +urbis
Paraugu izgatavošana	- formēšana: 1 diena - 4 pusēja zāģēšana, slīpēšana: 1 diena - līmēšana: 2 dienas	- formēšana: 1 diena - urbšana, 2 pusēja zāģēšana, slīpēšana, iezāģis: 1 diena.
Testa ilgums, ieskaitot kondicionēšanu (viena paraugu sērija)	1 diena	4 stundas
Kopējais testēšanas ilgums (no paraugu izgatavošanas līdz rezultātam)	6 dienas	3 dienas
EN standartizēts	jā	jā
Testa sarežģītība*	4	3
Rezultātu apstrādes sarežģītība*	1	2
Korelācija ar plaisāšanu uz ceļa	Viduvēja [51] (MnRoads validācija)	Augsta [51] (MnRoads validācija)
Jūtība pret īstermiņa novecošanos*	3	5
Atkārtojamība*	Augsta (variācijas koef. šajā pētījumā 7%; citos pētījumos 10% [51])	Vidēja (variācijas koef. šajā pētījumā 9%; citos pētījumos 20% [51])

*0-zems; 5- augsts

4.6. MAISĪJUMA PROJEKTĒŠANAS PIEMĒRS, BALSTOTIES UZ EKSPLUATĀCIJAS ĪPAŠĪBĀM

Šajā nodaļā dots praktisks piemērs maisījuma projektēšanai, balstoties uz ekspluatācijas īpašībām. Sākumā izskaidrots projektēšanas princips un rezultātu atainošanas metode, bet vēlāk pēc šīs metodes analizēti arī faktiskie testēšanas rezultāti, kas tika apskatīti jau iepriekš. Specifikāciju kritēriji plaisāšanas testiem šobrīd ir patvaļīgi pieņemti, lai demonstrētu projektēšanas principu.

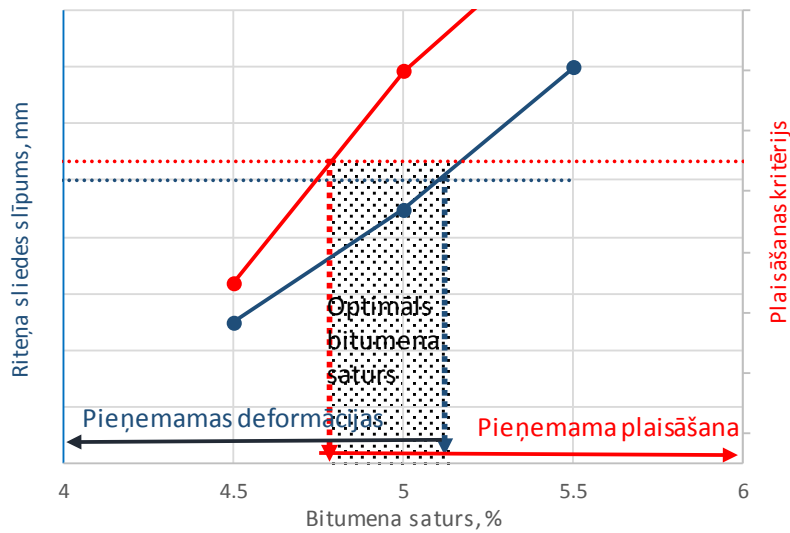
4.6.1. Princips

Latvijas specifikāciju papildināšana ar plaisāšanas testu dotu iespēju optimizēt bitumena saturu un maisījuma granulometriju, balstoties uz ekspluatācijas īpašībām:

- 1) pārlietu liels bitumena saturs vai mīksts bitumens neļaus izpildīt riteņa sliedes veidošanās prasību;
- 2) pārlietu zems bitumena saturs vai ciets bitumens neļaus izpildīt plaisāšanas pretestības prasību.

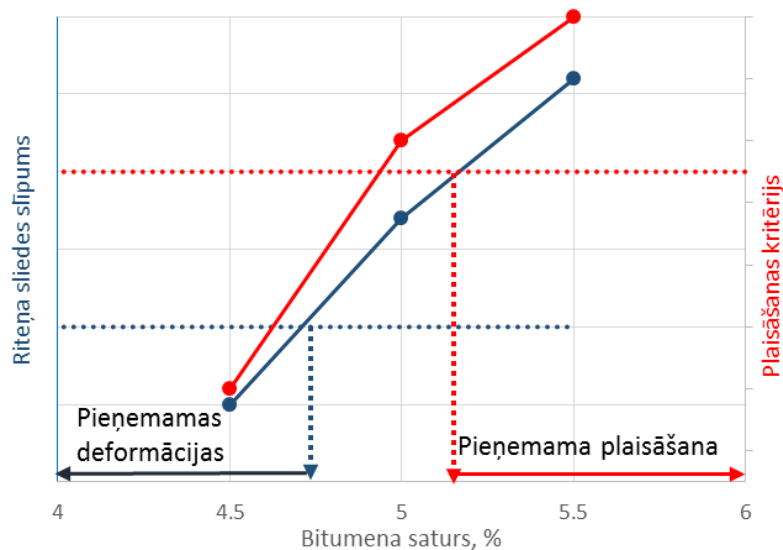
Lai vizuāli demonstrētu dažādus maisījumu projektēšanas gadījumus, šeit ilustrēti vairāki gadījumi, izmantojot pieņemtus rezultātus. Zemāk sekos arī faktiskais projektēšanas piemērs.

Ilustrācijā 47 redzams veiksmīgs maisījuma projektēšanas piemērs. Uz vertikālās ass labajā pusē attēlots maisījuma riteņa sliedes veidošanās ātrums, bet kreisajā pusē plaisāšanas kritērijs (tā varētu būt TSRST kritiskā temperatūra vai SCB plaisāšanas pretestība). Uz horizontālās ass redzams bitumena saturs. Šajā piemērā redzami trīs dažādi bitumena saturi. Ja uz vertikālajām asīm atzīmē potenciālos specifikāciju kritērijus (0,1mm slīpums riteņa sliežu testam un pieņemtais plaisāšanas kritērijs), tad var nolasīt pie kāda bitumena satura šie rezultāti tiks sasniegti. Konkrētajā piemērā optimālais bitumena saturs būtu no 4.9% līdz 5.3%, un uzņēmējs būtu tiesīgs izvēlēties konkrēto bitumena saturu šajā intervālā pēc saviem ieskatiem. Nebūtu ieteicams izvēlēties bitumena saturu, kas ir tuvs kritiskajām robežām, lai izvairītos no ražošanas laikā pieļautām neprecizitātēm.



Ilustrācija 47. Veiksmīgs maisījuma projekts (optimāls bitumena saturs 4.7%-5.2%)

Iespējama arī situācija, kad neviens bitumena saturs nenodrošina prasītos rezultātus vienlaicīgi riteņa slīžu testam un plaisāšanas testam, kā redzams Ilustrācijā 48. Šādā gadījumā maisījumu nepieciešams pārprojektēt, izmainot granulometriju, izmantotos materiālus, pievienojot piedevas vai veicot citas darbības, lai nodrošinātu, ka ar kādu no bitumena saturiem prasības tiks izpildītas.

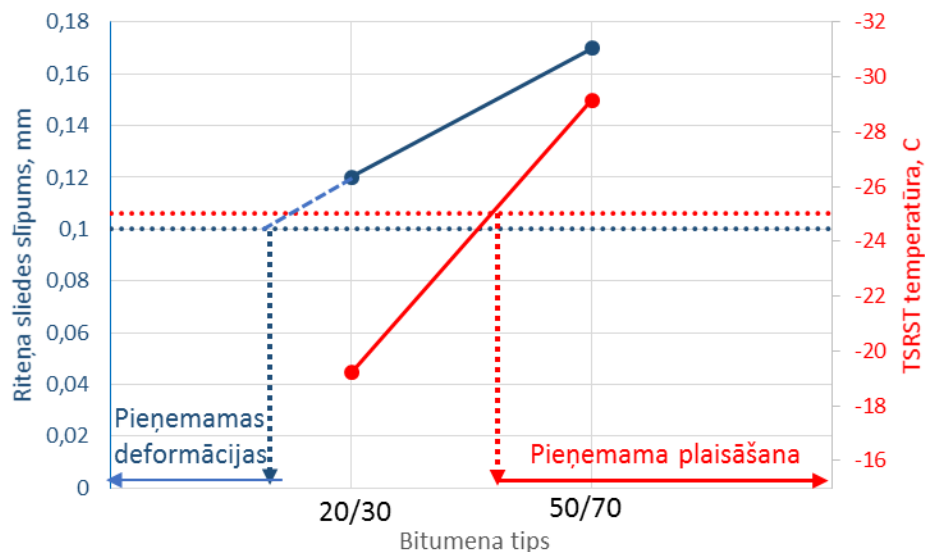


Ilustrācija 48. Neveiksmīgs maisījuma projekts (nav iespējams optimizēt bitumena saturu)

4.6.2. Piemērs

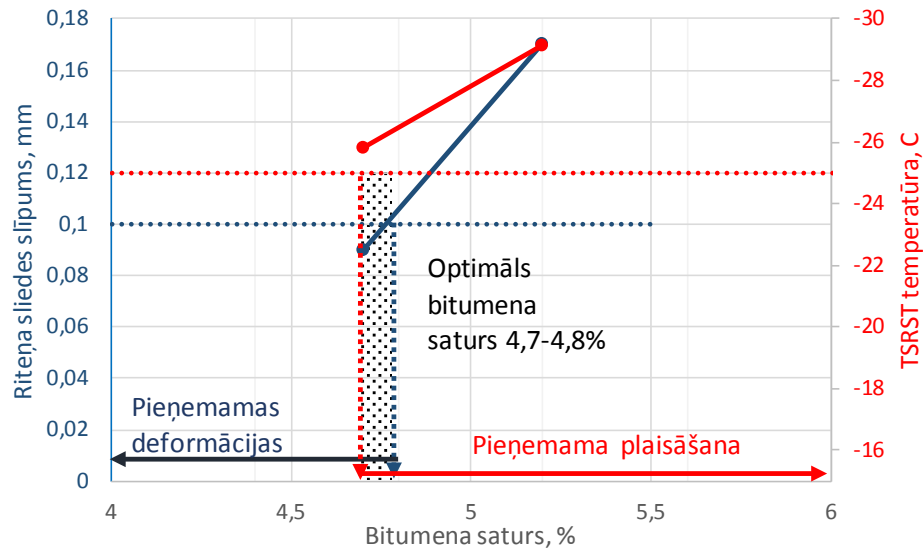
Šajā nodaļā ilustrēts piemērs, kurā analizēti AC 11 surf paraugu faktiskie testēšanas rezultāti un iespējamās darbības no projektētāja viedokļa. Šie testēšanas rezultāti tika atainoti arī iepriekšējās nodaļās.

Pieņemsim scenāriju, ka sākotnēji šis maisījums tika izgatavots, izmantojot 50/70 tipa bitumenu un 5.2% bitumena saturu. Tiek veikta riteņa sliedes un TSRST temperatūras testēšana. Pieņemsim, ka piemērotās prasības 0,1 mm sliedes slīpums riteņa sliedes testam un -25 °C plaisāšanas temperatūra TSRST. Kā redzams grafikā (Ilustrācija 49), tad šāds maisījums sastāvs izpilda zemas temperatūras plaisāšanas prasību (>-25 °C), bet neizpilda riteņa sliedes slīpuma prasību (0.1 mm). Tātad maisījuma projektētājam jāizvēlas darbības, lai nodrošinātu atbilstību šīm prasībām. Iespējami dažādi veidi kā to panākt. Praktiskā situācijā gandrīz vienmēr pirmā darbība būtu bitumena satura izmainīšana. Tomēr šajā gadījumā, lai nodemonstrētu dažādas pieejas, pieņemsim, ka projektētājs sakontēji izvēlas izmēģināt cietāka bitumena (penetrācija 20/30) pielietošanu, neizmainot bitumena saturu. Testēšanas rezultāti attēloti Ilustrācijā 49. Kā jau sagaidāms, samazinājusies gan plaisāšanas pretestība, gan riteņa sliedes slīpums. Tomēr kopīgs apgabals, kurā izpildītos gan plaisāšanas, gan plastisko deformāciju prasības, nav atrasts. Turklāt grafikā redzams, ka, pat pielietojot šādu, cietāku bitumenu, netiek izpildītas riteņa sliedes veidošanās prasības. Tātad nepieciešams samazināt bitumena saturu. Tā kā, izmantojot 20/30 bitumenu, netiek izpildītas arī plaisāšanas pretestības prasības, skaidrs, ka jāatgriežas pie mīkstāka bitumena.



Ilustrācija 49. AC11 surf maisījuma projektēšana ar dažādiem bitumena tiem

Kā nākamais solis tiek izvēlēts samazināt bitumena saturu par 0.5%, izmantojot sākotnējo bitumenu 50/70. Tiek atkārtota ekspluatācijas īpašību testēšana, un redzams, ka pie šādas maisījuma formulas tiek izpildīta gan riteņa sliedes slīpuma prasība, gan arī plaisāšanas temperatūra joprojām ir virs -25 °C. No grafika var nolasīt, ka pieņemams būtu arī rezultāts pie 4.8% bitumena satura. Tātad ir pilnīga pārliecība, ka pie bitumena satura 4.7-4.8% izpildās abi kritēriji. Faktiski grafikā redzams, ka arī pie nedaudz zemāka bitumena satura abas prasības tiktu izpildītas, bet šādā gadījumā būtu jāveic atkārtota testēšana. Lai nodrošinātos pret materiālu neviendabību un ražošanas procesa neprecizitātēm, tiek izvēlēts galīgais bitumena saturs 4.7%.



Ilustrācija 50. AC11 surf tipa maisījuma projektēšana ar dažādiem bitumena saturiem

Šajā piemērā tika atainotas divas darbības, ko būtu iespējams veikt, lai izpildītu ekspluatācijas īpašību prasības. Skaidrs, ka iespējamās arī citas darbības, kā, piemēram, piedevu pievienošana, maisījuma granulometrijas pārprojektēšana, modificēta bitumena izmantošana utt. Tomēr gandrīz vienmēr kā pirmā darbība būtu jāveic bitumena satura optimizēšana. Ieteicamais bitumena satura izmaiņu solis – ne vairāk par 0.5%. Izņēmums ir gadījums, kad pie esošā bitumena satura netiek izpildīta ne riteņa sliekšņa prasība, ne arī plaisāšanas pretestības prasība, kā iepriekš attēlots Ilustrācijā 48.

5. MAISIJUMU AR DAŽĀDU FRĒZĒTĀ ASFALTA SATURU PROJEKTĒŠANA

Nodaļā aprakstītās pētījuma sadaļas mērķis ir demonstrēt augsta satura frēzētā asfalta maisījumu izstrādi, pārbaudīt 4. nodaļā izstrādāto projektēšanas metodiku un noteikt izprojektēto asfalta sastāvu ekspluatācijas īpašības, lai pārbaudītu iespēju un noteiktu prasības šādu maisījumu izmantošanai Latvijā.

5.1. MATERIĀLI UN TESTĒŠANAS METODES

5.1.1. Frēzētais asfalts

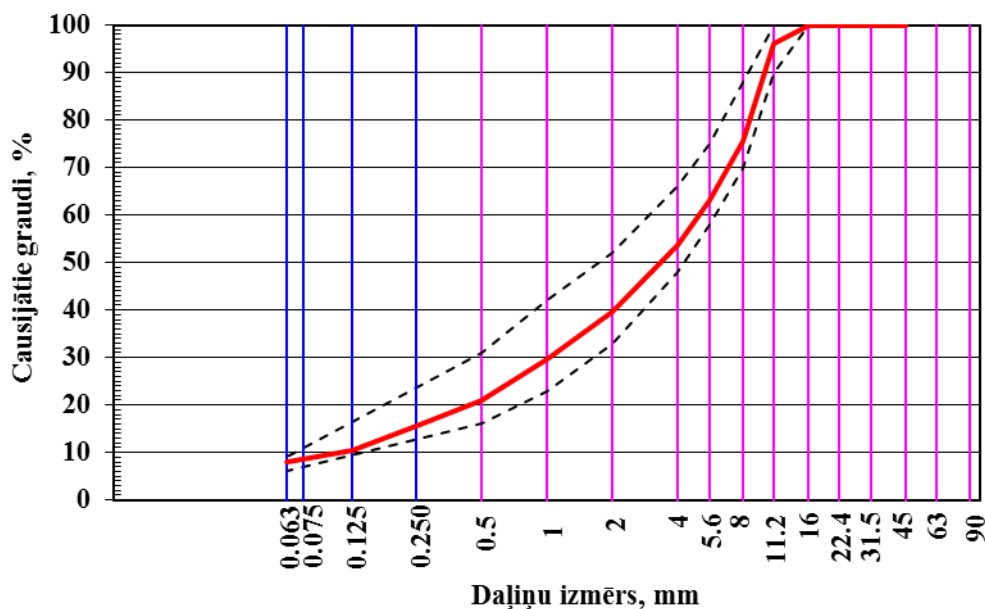
Pētījumā sākotnēji tika izmantots trīs izcelsmju frēzētais asfalts. Materiālu īpašības noteiktas saskaņā ar šajā nodaļā aprakstītajām metodēm un rezultāti aprakstīti 5.3. nodaļā.

5.1.2. Atjaunojošā piedeva

Pētījumā izmantota frēzētā asfalta bitumena atjaunošanas piedeva, kuras sastāvā 95% ir sojas pupiņu eļļa, kā arī citas augu valsts eļļas. Šo iemeslu pēc to var lielā mērā uzskatīt par atjaunojamu izejvielu un līdz ar to videi draudzīgu. Tā kā piedeva izgatavota no augu valsts produktiem, tā nav kaitīga strādniekiem, kas ir ciešā saskarē ar asfalta ražošanu un ieklāšanu.

5.1.3. References AC11 maisījums

Kā references maisījums izmantots tas pats AC11 surf maisījums, kas pielietots 4. nodaļā un kura darba formula apkopota Tabulā 20. Ilustrācijā 51 redzams maisījuma granulometriskais sastāvs. Maisījuma tilpuma īpašības un bitumena saturs apkopoti Tabulā 25.



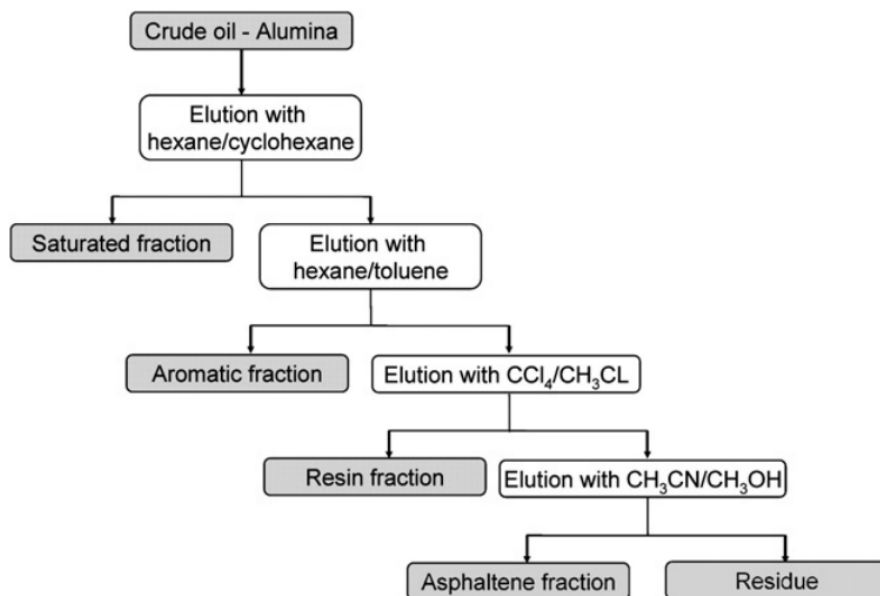
Ilustrācija 51. AC11 surf granulometrija

Tabula 25. AC11 surf maisījuma tilpuma īpašības

Maisījums	Bitumena saturs, %	Gaispildītās poras, %	Minerālmateriāla poras, %	Ar bitumenu piepildītās poras, %
AC11 surf maisījums	5.15	3.5	16.8	78.9

5.1.4. Ķīmiskā analīze

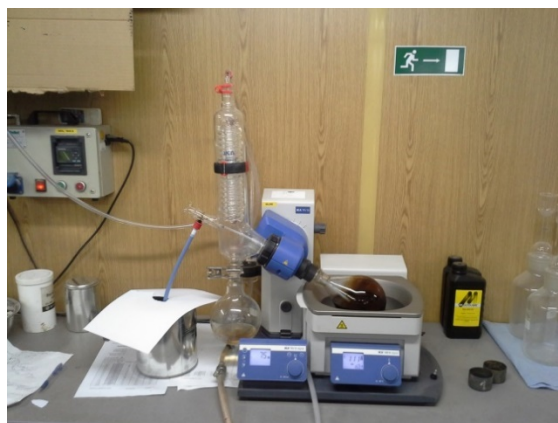
Atjaunojošās piedevas ķīmiskā analīze veikta saskaņā ar ASV izmantoto standartu ASTM D 2007 „Standard Test Method for Characteristics Groups in Rubber Extender and Processing Oils and Other Petroleum-Derived Oils by the Clay-Gel Absorption Chromatographic Method”. Šī metode tiek dēvēta par SARA frakcionāciju, jo rezultātā tiek iegūtas četras frakcijas: Saturates (piesātinātās taukskābes), Asphaltenes (asfaltēni), Resins (sveķi) un Aromatics (aromātiskie ogļūdeņraži). Metodes princips redzams Ilustrācijā 52. Saskaņā ar šo metodi vispirms asfaltēni tiek atdalīti, izmantojot n-heksānu. Pēc tam tiek izmantota hromatogrāfijas metode, lai caur divām kolonnām sadalītu eļļas komponentes – vienā kolonnā mālos tiek absorbēti sveķi, bet otrā, izmantojot silikas gēlu, tiek atdalīti aromātiskie ogļūdeņraži no piesātinātām taukskābēm. Lai atgūtu sveķus no māla, tiek izmantots 1:1 toluīna un acetona maisījums, bet aromātisko ogļūdeņražu atgūšanai tiek izmantots toluīns.



Ilustrācija 52. Atjaunojošās piedevas sadalīšana SARA frakcijās [52]

5.1.1. Bitumena saturs un tradicionālās īpašības

Bitumena saistvielas ekstrakcija veikta pēc LVS EN 12697-1 un atgūšana ar rotācijas iztvaicētāju veikta saskaņā ar LVS EN 12697-3.



Ilustrācija 53. Bitumena atgūšana ar rotācijas iztvaicētāju

Bitumena penetrāciju nosaka saskaņā ar LVS EN 1426. Mēra standarta adatas iegrimi kondicionētā testēšanas paraugā 25 °C temperatūrā ar slodzi 100 g un slogošanas ilgumu 5 sekundes.



Ilustrācija 54. Bitumena penetrācijas noteikšana ar penetrometru

Mīkstēšanas temperatūru nosaka saskaņā ar LVS EN 1427. Divi horizontāli bitumena saistvielas diski, kas iekausēti misiņa gredzenos ar apmali un uz kuriem ir novietotas tērauda lodītes, ar kontrolētu intensitāti tiek sildīti šķidruma 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.



Ilustrācija 55. Mīkstēšanas temperatūras noteikšana

Fraasa trausluma temperatūru nosaka saskaņā ar LVS EN 12593. 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 Fraasa trausluma temperatūra.



Ilustrācija 56. Fraasa trausluma temperatūras noteikšana

5.1.2. Bitumena Performance Grade (PG)

Bitumena Performance Grade (PG) ir ASV izmantotajā Superpave sistēmā lietota bitumena klasificēšanas sistēma un saskaņā ar šo metodi testi veikti arī šajā pētījumā. Prasības bitumenam aprakstītas AASHTO M 320 un to kopsavilkums dots Tabulā 26. Saskaņā ar PG sistēmu tiek noteikta maksimālā un minimālā temperatūra, pie kuras bitumens izpilda noteiktos kritērijus. Šī temperatūra apzīmēta ar PG XX-YY, kur XX norāda maksimālo temperatūru bet -YY norāda minimālo temperatūru. Piemēram, PG70-22 norāda, ka šāds bitumens būtu izmantojams klimatā, kur maksimālā seguma temperatūra ir +70 °C, bet minimālā -22 °C. Balstoties uz šo temperatūru, tiek noteikts apgabals, kurā tiek atļauts šādu bitumenu pielietot. Papildus var tikt pieprasīts maksimālo PG temperatūru palielināt autoceļiem, kur novērojama liela satiksmes intensitāte.

Tabula 26. Superpave Performance Grade (PG) prasības saskaņā ar AASHTO M 320

Testa metode	Temperatūra, °C	Parametrs	Bitumena stāvoklis	Prasība
DSR	Maksimālā PG	$G^*/\sin\sigma$	Nenovecināts RTFO	≥ 1.0 kPa @ 10 rad/s ≥ 2.2 kPa @ 10 rad/s
	Vidējā PG	$G^* \cdot \sin\sigma$	RTFO + PAV	≤ 5000 kPa @ 10 rad/s
BBR	Minimālā PG	Stingums m-vērtība	RTFO + PAV	≤ 300 MPa ≥ 0.3
RTFO	163 °C	Masas zudums	Pirms un pēc RTFO	≤ 1 %

Maksimālo PG temperatūru nosaka pirms un pēc īstermiņa novecināšanas ar RTFO iekārtu. Izmantojot dinamisko bīdes reometru (DSR Ilustrācijā 57) tiek noteikts kompleksais modulis (G^*) un fāzes leņķis (δ). Standartā ir definēta prasība $G^*/\sin\sigma$, kas nodrošina pretestību pret riteņa sliedes veidošanos. Izmantojot DSR tiek pārbaudīta arī nogurumizturība. Lai to nodrošinātu, definēta maksimāli pieļaujamā $G^* \cdot \sin\sigma$ vērtība temperatūrā, ko nosaka balstoties uz PG klasi. Minimālās PG temperatūras noteikšanai izmanto lieces reometru (BBR Ilustrācijā 58), kurā nosaka bitumena stingumu un m-vērtību pie 60 sekundēm. Testēšanai izmanto bitumenu, kas novecināts īslaicīgi (izmantojot RTFO iekārtu) plus ilglaicīgi (izmantojot POV iekārtu). Augstākā temperatūra, pie kuras tiek izpildītas abas prasības, tiek definēta kā minimālā PG temperatūra. PG sistēmā bitumenu klasificē 6 °C inkementos, bet šajā pētījumā tiks norādīta arī patiesā PG temperatūra. Papildus, AASHTO M320 standartā tiek noteikts arī maksimāli pieļaujamais masas zudums pēc īslaicīgās novecināšanas ar RTFO metodi.



Ilustrācija 57. Performance Grade noteikšana (DSR iekārta)



Ilustrācija 58. Performance Grade noteikšana (BBR iekārta)

5.1.3. Asfalta maisījumu testēšana

Asfalta maisījumu testēšanas procedūras puscilindra lieces testam, vienass stiepes testam un riteņa sliedes testam aprakstītas 4.4.3. nodaļā. Testēšana veikta paraugiem pēc maisījuma īslaicīgas novecošanas: 4 stundas 135 °C temperatūrā. Minerālmateriālu granulometrija noteikta saskaņā ar LVS EN 12697-2. Testēšana veikta gan atgūtajiem minerālmateriāliem (tā sauktā baltā granulometrija), gan arī frēzētajam asfaltam tiešā veidā (melnā granulometrija).

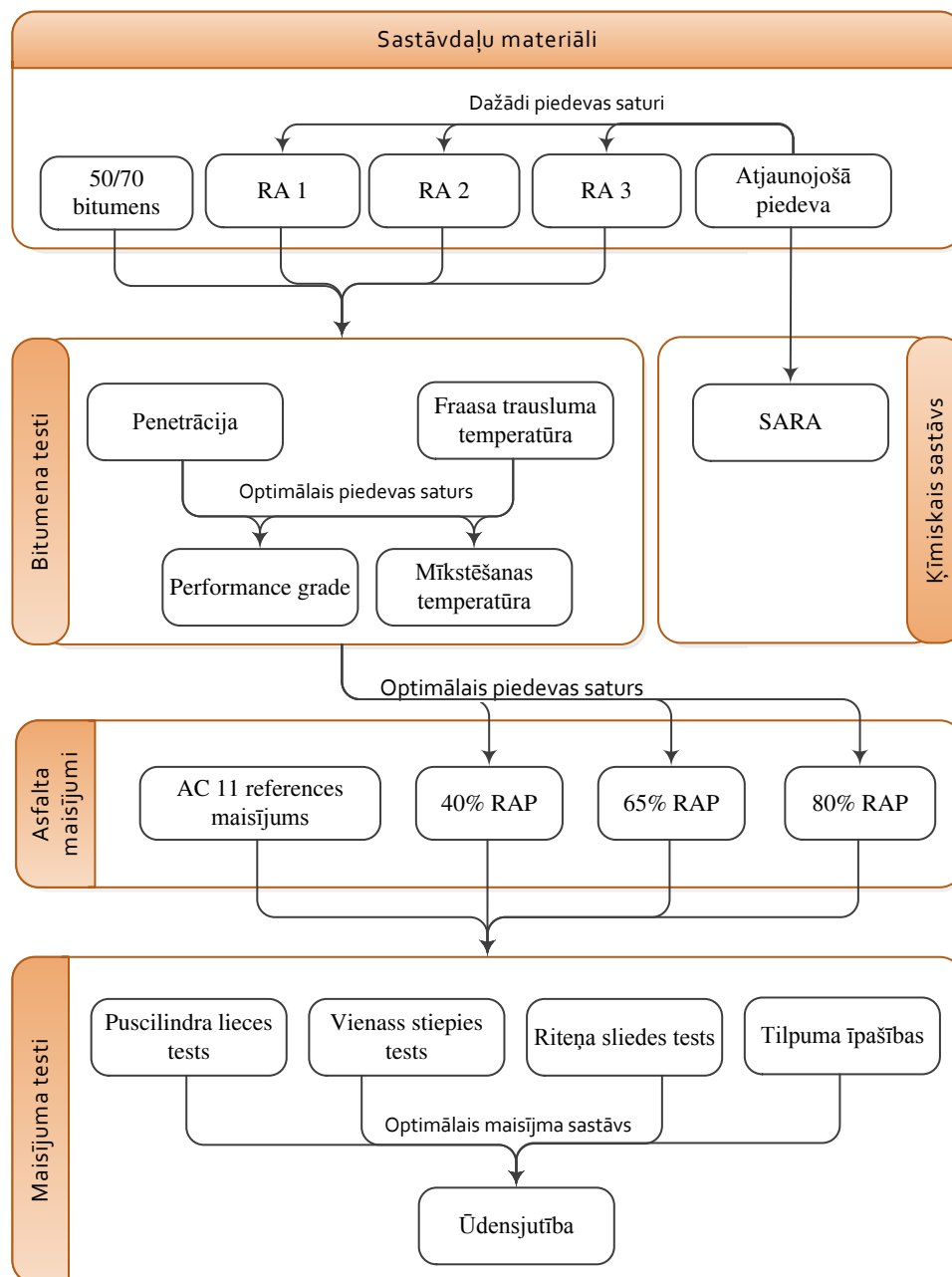
5.1.4. Ūdensjutība

Asfalta maisījumu ūdensjutība noteikta saskaņā ar EN 12697-12. Tiek izgatavoti astoņi cilindriski paraugi 10 cm diametrā. Paraugus sadala divās vienlīdzīgās daļās, no kurām vienu uzglabā sausu istabas temperatūrā, bet otru daļu piesūcina ar ūdeni un 3 dienas uzglabā ūdenī 40 °C temperatūrā. Pēc kondicionēšanas paraugus 2 h iztur testēšanas temperatūrā (15 °C). Slapjos paraugus kondicionē ūdens vannā, bet sausos paraugus gaisa kamerā. Pēc testēšanas temperatūras sasniegšanas veic netiešās stiepes testu saskaņā ar EN 12697-23, pieliekot nemainīgu sloģošanas ātrumu 50 mm/min. Ūdensjutību aprēķina kā netiešās stiepes stiprības attiecību slapjiem pret sausiem paraugiem.

5.2. METODOLOĢIJA

Pētījuma metodoloģija apkopota Ilustrācijā 59. Vispirms tika noteikts atjaunojošās piedevas ķīmiskais sastāvs, kā arī RA sastāvā esošā bitumena īpašības. Tad tika testēta bitumena penetrācija un Fraasa trausluma temperatūra ar dažādu atjaunojošās piedevas saturu, lai noteiktu optimālo, kas nodrošinātu RA bitumena atbilstību penetrācijas klasei 50/70. Bitumenam, kas modificēts ar optimālo piedevas saturu noteikta Performance Grade (PG) temperatūra un mīkstēšanas temperatūra. Šīs pašas īpašības noteiktas arī references 50/70 bitumenam.

Pētījuma mērķis bija noteikt maksimālo iespējamo frēzētā asfalta saturu, projektējot maisījumu ar ekspluatācijas īpašību metodi kā aprakstīts iepriekšējās nodaļās. Tika izstrādāti un testēti trīs augsta satura RA maisījumi: 40% RA, 65% RA un 80% RA. Maisījumiem tika izprojektēta granulometrija, noteiktas tilpuma īpašības, kā arī veikti ekspluatācijas īpašību testi: puscilindra lieces tests, vienass stiepes tests un riteņa sliedes tests. Maisījumiem, kuru sastāvs tika uzskatīts par optimālu, tika noteikta arī ūdensjutība. Maisījumu īpašības salīdzinātas ar references asfaltu AC 11.



Ilustrācija 59. Testēšanas metodoloģija

5.3. REZULTĀTI

5.3.1. Atjaunojošā piedeva

Lai pārbaudītos par piedevas sastāvu, tai veikta ķīmiskā analīze saskaņā ar ASV izmantoto SARA testēšanas standartu ASTM D 2007 „Standard Test Method for Characteristics Groups in

Rubber Extender and Processing Oils and Other Petroleum-Derived Oils by the Clay-Gel Absorption Chromatographic Method”. Testēšana veikta “PRI Asphalt Technologies” laboratorijā ASV. Testēšanas rezultāti ir redzami Tabulā 27. Tabulā uzskatāmības pēc demonstrēti arī vairāk nekā 40 gadus veiksmīgi lietotas piedevas “Reclamite” ķīmiskā sastāva testēšanas rezultāti no ražotāja tehniskās specifikācijas.

Atjaunojošām piedevām galvenokārt ir jāsastāv no maltēnu daļiņām, jo tās spēj atjaunināt bitumena ķīmisko sastāvu, jo tas ir izmainījies asfalta ražošanas un ceļa ekspluatācijas rezultātā izraisītās novecošanās dēļ. Ideālā gadījumā atjaunojošai piedevai nebūtu jāsaturs asfaltēni un jābūt zemam piesātināto taukskābju saturam. Piesātinātās taukskābes ir nesaderīgas ar asfaltēniem, tāpēc var izraisīt bitumena nestabilitāti (noslāņošanos, fāžu sadalīšanos) [40]. Piedevai jābūt augstam sveķu saturam un augstam aromātisko ogļūdeņražu saturam, jo tie spēj disperģēt asfaltēnus. Tomēr precīzu optimālo piedevas ķīmisko sastāvu nav iespējams definēt, jo tas būs atkarīgs no atjaunināmā bitumena ķīmiskā sastāva. Ideālā gadījumā piedevai jāspēj arī sadalīt (izšķīdināt) asfaltēnu konglomerātus, tomēr to nav iespējams novērtēt, izmantojot šo ķīmiskās sadalīšanas testēšanas metodi.

Tabulā 27 redzams, ka sojas piedevas sastāvā nav asfaltēnu, bet ir liels daudzums aromātisko ogļūdeņražu un sveķu. Piesātināto taukskābju saturs ir salīdzinoši zemāks nekā Reclamite piedevai, tomēr, kā aprakstīts iepriekš, tas parasti norāda uz augstāku rezultējošā bitumena stabilitāti. Tabulā redzamas arī divas kalkulācijas. Maltēnu sadalījuma attiecība ir vispārīgs atjaunojošo piedevu raksturlielums, kurā novērtēta sveķu attiecība pret piesātināto taukskābju un aromātisko ogļūdeņražu summu. Šī maltēnu sadalījuma attiecība norāda uz novecošanos pretestību, un saskaņā ar atsevišķiem avotiem, tai optimāli jābūt robežās no 0.2 līdz 1.2. Reclamite piedevas rezultāts ir šajā robežā, bet kā redzams, sojas piedevas rezultāts ir 2.09. Tas norāda, ka piedeva var būt pakļauta pārmērīgai novecošanai. Šeit gan jānorāda, ka šāda rezultātu interpretācijas metode nav standartizēta un mūsdienās ir reti pielietota.

Koloidālās nestabilitātes indeksu bitumena stabilitātes novērtēšanai lieto, lai nodrošinātu, ka asfaltēni ir labi disperģēti maltēnu sistēmā. Zemāks rezultāts norāda uz labāk sabalansētu sistēmu, un tipiski bitumena rezultāti ir robežās no 0.3 līdz 3.0. Redzams, ka sojas piedevas koloidālās nestabilitātes indekss ir zems (0.03), kas tālād nodrošinātu novecojušā bitumena stabilitātes uzlabošanu.

Tabula 27. Atjaunojošās piedevas ķīmiskā sastāva testēšanas rezultāti

Parametrs	Sojas piedeva	Reclamite
Asfaltēni (Asphaltenes), %	0	<0.75
Piesātinātās taukskābes (Saturates), %	3.0	21-28
Sveķi (Resins), %	67.6	Nav pieejams
Aromātiskie ogļūdeņraži (Aromatics), %	29.4	Nav pieejams
Maltēnu sadalījuma attiecība	2.09	0.3-0.6
$\frac{PC + A_1}{S + A_2}$		
Koloidālās nestabilitātes indekss (CII)	0.03	Nav pieejams
$\frac{\text{Saturates} + \text{Asphaltenes}}{\text{Aromatics} + \text{Resins}}$		

PC – Polārie savienojumi

A₁ – Aromātiskie ogļūdeņraži

A₂ – Nepiesātinātie ogļūdeņraži

S – Piesātinātie ogļūdeņraži

5.3.2. Bitumens

No frēzētā asfalta atgūtā bitumena testēšanas rezultāti ir apkopoti Tabulā 28. Par mērķa bitumenu izraudzīts 50/70 penetrācijas klases bitumens, kas tiek izmantots arī references asfalta maisījumā. Tāpat tabulā redzami testēšanas rezultāti frēzētajam asfaltam no trim avotiem: RA 1, RA 2 un RA 3. Redzams, ka RA 1 un RA 2 Fraasa temperatūra ir tikai nedaudz augstāka (mazāk negatīva) nekā svaigam bitumenam. Turpretim penetrācija abiem frēzētā asfalta tiem ir ievērojami zemāka. RA 3 ir daudz cietāks un tā Fraasa temperatūra ir -5 °C, bet penetrācija tikai 2 dmm. Lai nodrošinātu atjaunotā asfalta atbilstību 50/70 klasei un lai atvieglotu turpmāko maisījuma testēšanas rezultātu analizēšanu, kā mērķis tika noteikta penetrācija 60 dmm, kas ir līdzīga svaigā asfalta penetrācijai. Vispirms tika izgatavots RA 1 maisījums ar 6% atjaunojošo piedevu, kā rezultātā penetrācijas vērtība palielinājās līdz 128 dmm, kas ir ievērojami vairāk, nekā nepieciešams, līdz ar to Fraasa temperatūra netika noteikta. Tika izgatavots vēl viens paraugs, kurā jaunā piedevas dozācija (2.7%) aprēķināta saskaņā ar eksponenciālu pieaugumu, kā norādīt Vienādojumā 2 [53]. Penetrācijas rezultāti frēzētajam asfaltam un abām dozācijām attēloti Ilustrācijā 60, kur redzams, ka gandrīz precīzi sasniegta vēlamā penetrācija. Izmantojot B konstantes vērtību, tika aprēķināta nepieciešamā dozācija (2.5%) arī RA 2 frēzētā asfalta avotam. Tabulā redzams, ka atkal gandrīz precīzi tika sasniegta nepieciešamā vērtība. Šeit gan jānorāda,

ka, izmainoties bitumena avotam (cits frēzētais asfalts), ļoti iespējams, ka arī konstantes B (un protams arī A) vērtības mainīsies, tāpēc tās nepieciešams noteikt konkrētajam bitumenam, turklāt vēlams veikt kontrolmērījumu pēc iespējas tuvāk mērķa penetrācijai. Tas apstiprinājās RA 3 avota testēšanā. RA 3 bitumens ir ļoti novecojies, un tā penetrācija ir 2 dmm, bet Fraasa trausluma temperatūra -5°C . Izmantojot konstantes $A=2$ (iegūta no RA 3 penetrācijas) un $B=0.236$ (iegūta no RA 1 līknes), var aprēķināt, ka optimālā piedevas dozācija būtu 15%. Tika pieņemts, ka šāds piedevas daudzums ir par augstu un tā vietā izvēlēta 12% dozācija, ar ko arī samaisīts atgūtais bitumens. Rezultātos redzams, ka šī dozācija joprojām ir par augstu, jo penetrācija ir 128 dmm. Kā var redzēt Ilustrācijā 60, tad optimālā penetrācija būtu ap 10%. RA 3 bitumenam ar 12% piedevu noteikta arī Fraasa trausluma temperatūra, kas ir -13°C . Samazinot piedevas daudzumu, kā būtu nepieciešams, lai nodrošinātu penetrācijas atbilstību 50/70 klasei, Fraasa temperatūra būtu vēl zemāka, tāpēc nolemts tālāk šo RA avotu neizmantot.

Tā kā RA 1 un RA 2 bitumena testēšanas rezultāti un arī atjaunojošās piedevas ietekme uz rezultātiem ir ļoti līdzīgi, nolemts turpināt pētījumu, tikai analizējot RA 1 maisījumu (turpmāk saukts RA).

Tabula 28. Bitumena Fraasa temperatūras un penetrācijas testēšanas rezultāti

Bitumens	Fraasa trausluma temperatūra $^{\circ}\text{C}$	Penetrācija, dmm
50/70	-15	56
RA 1	-13	31
RA 1+6% atj. piedeva	–	128
RA 1+2.7% atj. piedeva	-17	59
RA 2	-15	33
RA 2+2.5% atj. piedeva	-15	62
RA 3	-5	2
RA 3+12% atj. piedeva	-13	128

Vienādojums 2

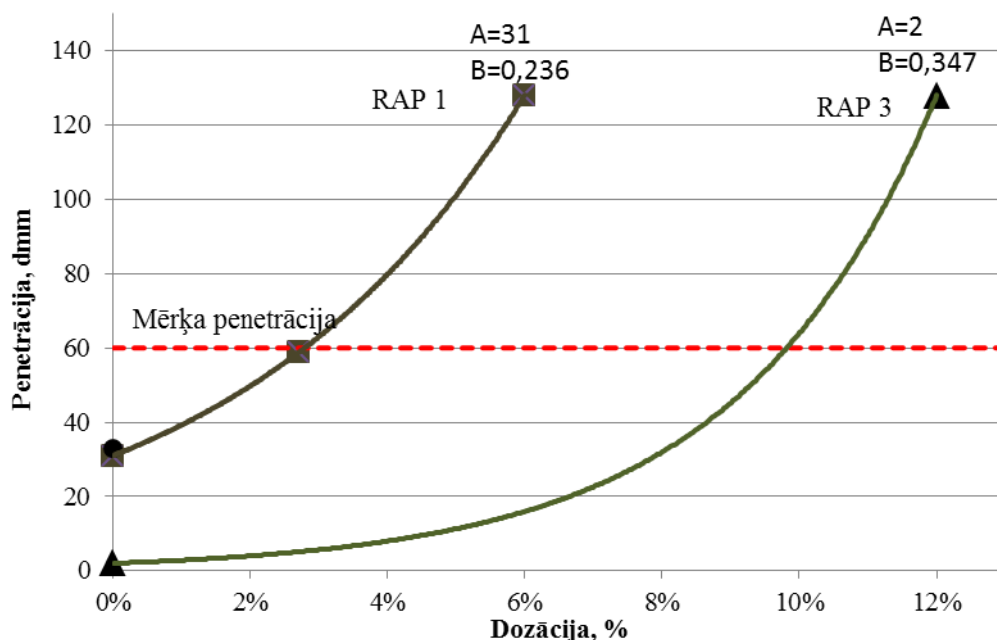
$$\text{Dozācija} = \frac{\log_e \frac{PEN}{A}}{B}, \text{ kur}$$

Dozācija – atjaunojošās piedevas dozācija, %

PEN – penetrācija, $\times 0.1$ mm

A – penetrācija pie 0 % dozācijas (krustošanās punkts ar y asi), $\times 0.1$ mm

B – konstante, kas aprēķināta, izmantojot mazākās kļūdas metodi rezultātu savienošanai ar eksponenciālu līkni (iespējams aprēķināt, izmantojot MS Excel)



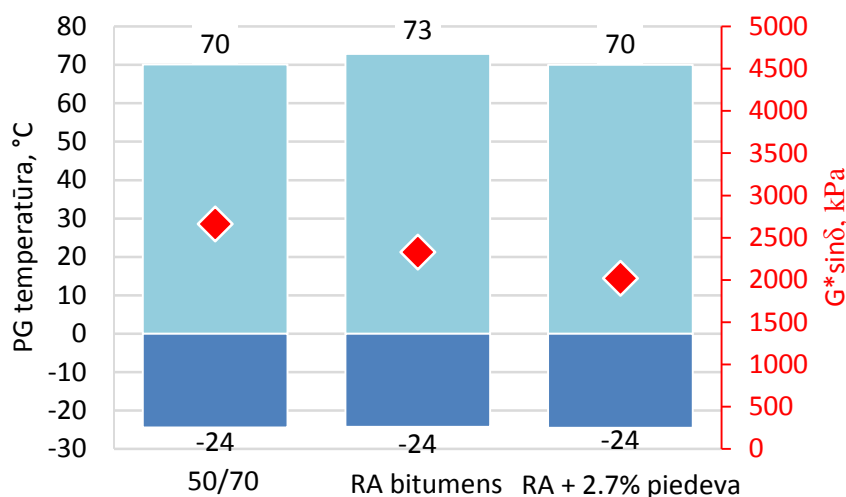
Ilustrācija 60. Penetrācijas testēšanas rezultāti atgūtā bitumena maisījumiem ar atjaunojošo piedevu

5.3.3. Bitumena Performance Grade (PG)

Bitumena PG temperatūras testēšana veikta “Dongree Laboratory Services” laboratorijā ASV. Testēšanas rezultāti ir apkopoti Ilustrācijā 61. Ar gaišāku krāsu iekrāsota augšējā PG temperatūra, bet ar tumšāku krāsu – apakšējā PG temperatūra. Nogurumizturības parametrs G^* sinδ iezīmēts ar rombu un rezultāts redzams uz sekundārās ass. Testēšanas rezultāti demonstrē, ka visus bitumenus var klasificēt kā PG 70-22 (PG klases tiek noteiktas 6 °C inkrementos). Pārsteidzoši, ka šai klasei atbilst pat RA bitumens. Tas visdrīzāk skaidrojams ar

faktu, ka šis bitumens sākotnēji bija polimērmodificēts. Redzams, ka piedevas pievienošana nav samazinājusi bitumena klasi. Turklāt novērojams pat negatīvs efekts: piedeva samazinājusi PG augšējo temperatūru, bet apakšējo temperatūra nav izmainījusies, tātad samazināta arī PG summa. Tas norāda, ka bitumenam nav uzlabojusies zemas temperatūras plaisāšanas pretestība, bet ir nedaudz samazinājusies pretestība pret paliekošajām deformācijām. Skaidrojums šādām izmaiņām dots zemāk.

Nogurumizturības parametrs ($G^*\sin\delta$) tika noteikts 28 °C, kā to nosaka AASHTO M 320 PG 70-22 klases bitumenam. Redzams, ka visi bitumeni iekļaujas AASHTO M 320 standartā noteiktajā limitā ($\leq 5000\text{kPa}$), tātad bitumens vērtējams kā nogurumizturīgs.



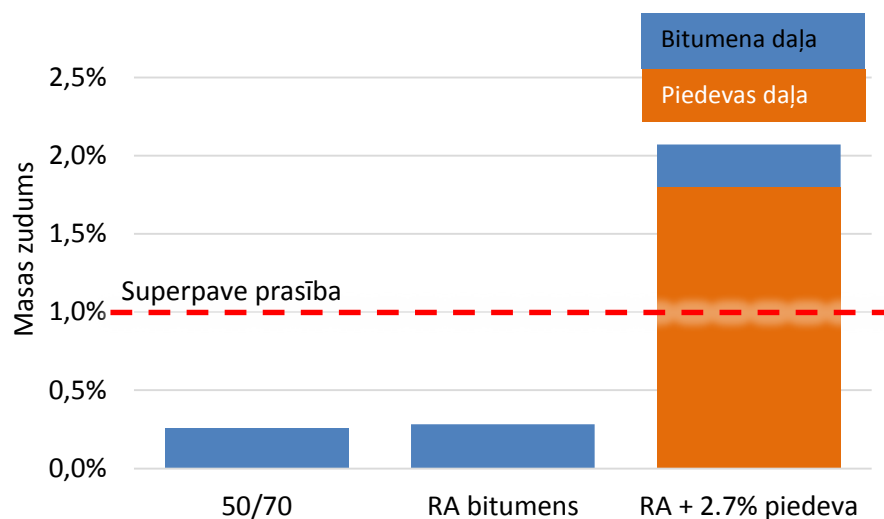
Ilustrācija 61. PG temperatūras testēšanas rezultāti

Superpave specififikācijas nosaka maksimāli pieļaujamo masas zudumu pēc bitumena īslaicīgās novecināšanas (RTFO) 1% apmērā. Testa rezultāti apkopoti Ilustrācijā 62. Redzams, ka 50/70 bitumens un RA bitumens izpilda prasību, bet atjaunotais bitumens to neizpilda. Var pieņemt, ka daļa no atjaunotā bitumena masas zuduma radusies RA bitumena novecošanās rezultātā un šī daļa tātad nav attiecināma uz piedevas radīto masas zudumu. Ilustrācijā šīs daļas iezīmētas ar dažādām krāsām. Redzams, ka pat atņemot RA bitumena radīto masas zudumu, piedevas radītais masas zudums ir 1.8%. Ņemot vērā, ka piedeva tika pievienota 2.7% apmērā, tad var aprēķināt, ka 67% no piedevas tiek zaudēta novecošanās rezultātā. Šis rezultāts arī izskaidro, kāpēc bitumena PG temperatūra faktiski netika izmainīta (tā tiek noteikta pēc bitumena novecināšanas).

Augsts masas zudums RTFO testā norāda arī uz potenciālu bitumena paātrinātu novecošanos un stinguma pieaugumu, kas var novest pie asfalta seguma plaisāšanas.

Masas zudums izskaidro arī atšķirības starp PG un tradicionālo bitumena testēšanas metožu rezultātiem. Tradicionālajos testos piedevas pievienošana ievērojami samazināja viskozitāti bet uz PG temperatūru tā faktiski neatstāja nekādu ietekmi. PG temperatūra tiek noteikta novecinātiem paraugiem, bet tradicionālie testi (penetrācija, mīkstēšanas temperatūra un Fraasa temperatūra) tiek noteikti nenovecinātiem paraugiem, kas arī izskaidro kāpēc tos neietekmēja piedevas masas zudums.

Balstoties uz iepriekš apspriestajiem rezultātiem var secināt ka šāda piedeva tiktu apstiprināta saskaņā ar Latvijas Ceļu Specifikācijām, lai gan realitātē, jau pēc novecošanās ražošanas procesā (šo procesu simulē RTFO novecināšana), tā būtu iztvaikojusi un nedotu nekādu efektu bitumena atjaunošanai. Balstoties uz šo novērojumu, papildus esošajām prasībām ieteicams iekļaut Ceļu Specifikācijās prasību nodrošināt masas zudumu RTFO testā ne vairāk par 1%. Tas vismaz daļēji ļautu pārliecināties par piedevas novecošanās īpašībām. Lai neradītu nepieciešamību atgūt lielu daudzumu RA bitumena, šādu testu iespējams veikt, samaisot atjaunojošo piedevu ar svaigu bitumenu, kam zināms masas zudums RTFO novecošanās rezultātā. Tad šo bitumena daļu atņemt no kopējā masas zuduma, lai iegūtu piedevas izraisītu masas zudumu un tādējādi ļautu spriest par piedevas novecošanās īpašībām. Piedevas dozācijai jābūt tādai, kā plānots izmantot maisījuma darba formulā.



Ilustrācija 62. Masas zudums īslaicīgās novecināšanas testā

Vēl viens parametrs, ko iespējams izmantot bitumena ilgizturības novērtēšanai ir Anderson et al. [54] izstrādātais Delta $T_{crit.}$ ($T_{crit.S}-T_{crit.m}$). To aprēķina no Superpave BBR testā noteiktā stinguma atņemot BBR testā noteikto m-vērtību. Autori, analizējot lielu datu bāzi ar testēšanas rezultātiem, noteica, ka ja Delta $T_{crit.}$ ir lielāks par -5°C , tad bitumena elastība būs samazinājusies līdz līmenim, kad ir iespējama asfalta maisījuma plaisāšana. Tabulā 29 redzams bitumena stingums un m-vērtība katrā temperatūrā. Balstoties uz šiem datiem tika veikta interpolācija vai ekstrapolācija, lai noteiktu kritisko PG temperatūru katram no parametriem. (Jāpiezīmē, ka BBR tiek noteikts, no faktiskā testēšanas rezultāta atņemot 10°C .) Tad aprēķināts Delta $T_{crit.}$.

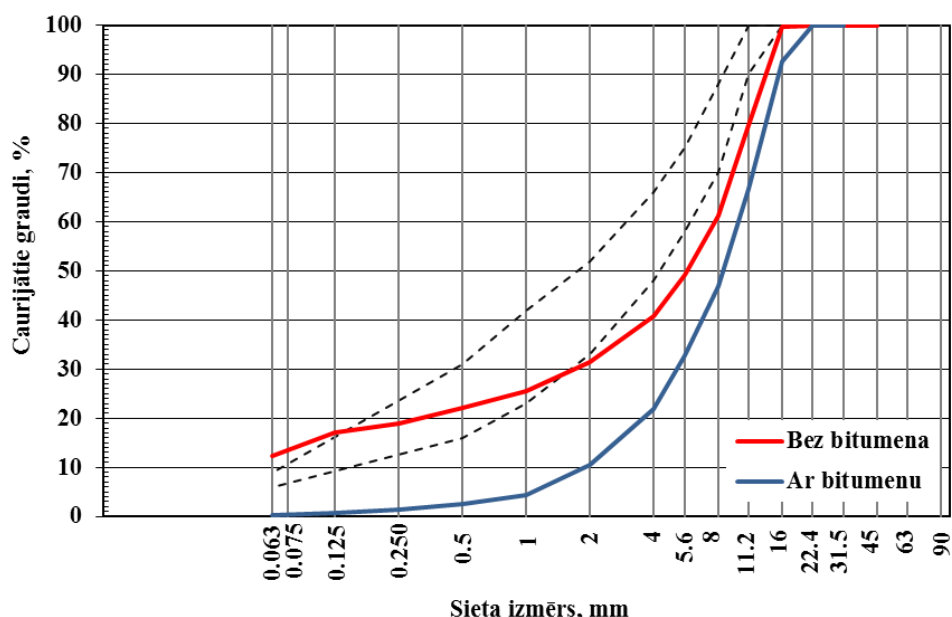
Tabulā 29 redzams, ka atjaunotais bitumens ir vienīgais, kas pārsniedz -5°C robežu un tātad tam ir palielināts plaisāšanas risks.

Tabula 29. Delta $T_{crit.}$ Aprēķins

Parametrs	Temperatūra, $^{\circ}\text{C}$	50/70	RA bitumens	RA+2.7% piedeva
S(60), MPa	-12	163	147	147
	-18	302	277	258
$T_{crit., S}$		-27.9	-29.1	-30.3
m(60)	-12	0.315	0.314	0.315
	-18	0.277	0.276	0.278
$T_{crit., m}$		-24.37	-24.21	-24.43
$T_{crit.S}-T_{crit.m}$		-3.5	-4.9	-5.8

5.3.4. Asfalta maisījumu empīriskās īpašības

Ilustrācijā 63 redzama frēzētā asfalta granulometrija un arī granulometrijas prasības AC 11 tipa asfaltam. Attēlota gan melnā līkne (frēzētais asfalts ar bitumenu), gan baltā līkne (tikai minerālmateriāli pēc bitumena atgūšanas). Redzams, ka frēzētā asfalta minerālmateriālu sastāvā ir liels daudzums smalkņu, kas visdrīzāk radušās frēzēšanas rezultātā. Līkne neiekļaujas AC 11 robežās galvenokārt tāpēc, ka frēzētais materiāls ir SMA 11 tipa asfalts. Frēzētā asfalta sastāvā bitumena saturs ir 5%.

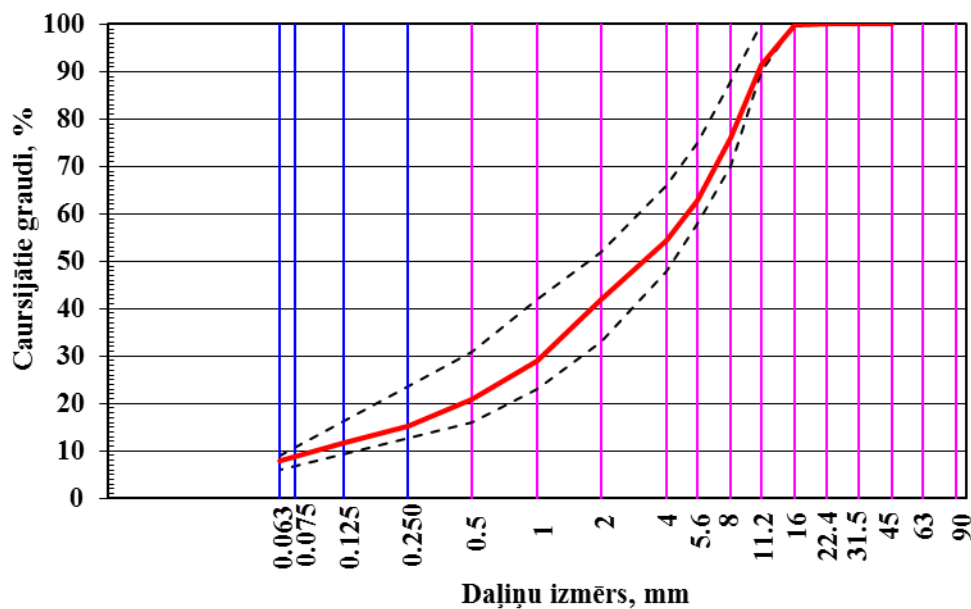


Ilustrācija 63. Frēzētā asfalta granulometrija

Kā iepriekš aprakstīts nodaļā 5.2., tika izstrādāti 3 dažādu RA saturu maisījumi: 40% RA, 65% RA un 80% RA. Katram no šiem maisījumiem izstrādes gaita bija atšķirīga.

40% RA maisījums

40% RA maisījuma granulometriskā līkne attēlota Ilustrācijā 64. Kā redzams, tā iekļaujas prasībās, kas noteiktas AC-11 granulometrijai. Maisījuma tilpuma īpašības un noteiktais bitumena saturs apkopoti Tabulā 30. Redzams, ka maisījuma gaispildīto poru saturs ir nedaudz zem Ceļu Specifikācijās noteiktās prasības (1.5%). Šāda problēma bieži novērojama maisījumiem ar augstu frēzētā asfalta saturu, tāpēc vispārīgā gadījumā augsta RA satura maisījumiem granulometriju ieteicams projektēt pievienojot relatīvi vairāk rupjo daļiņu. Šajā gadījumā, izmantojot esošo RA granulometriju, rupjāku sastāvu nebija iespējams iegūt. Maisījumam ir salīdzinoši zems minerālmateriāla poru saturs. Faktiski šī empīriskā prasība nodrošina asfalta pretestību dažāda veida plaisāšanai. Šajā pētījumā plaisāšanas pretestība tiek mērīta tiešā veidā, izmantojot TSRST un SCB testus.



Ilustrācija 64. 40% RA maisījuma granulometrija

Tabula 30. 40% RA maisījuma tilpuma īpašības

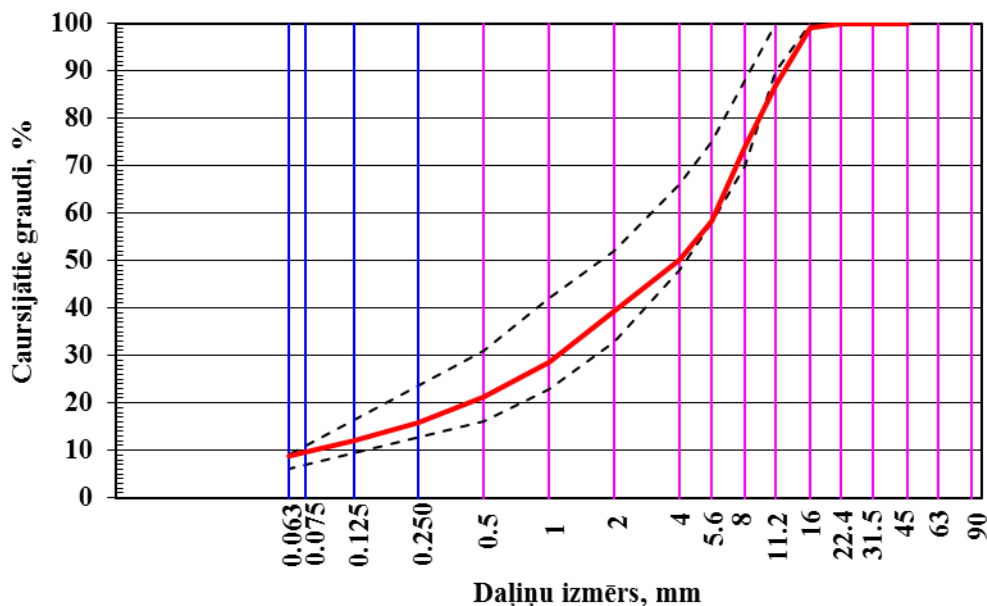
Maisījums	Bitumena saturs, %	Gaispildītās poras, %	Minerālmateriāla poras, %	Ar bitumenu piepildītās poras, %
40% RA maisījums	5.26	1.2	14.3	91.7

65% RA maisījums

65% RA maisījuma granulometriskā līkne redzama Ilustrācijā 65. Šādu frēzētā asfalta proporciju vairs nebija iespējams panākt, izmantojot esošo RA granulometriju. Lai izgatavotu maisījumu, RA bija nepieciešams sadalīt frakcijās. Lai samazinātu smalkņu saturu maisījumā, materiālu ieteicams sijāt uz smalkākā sieta, uz kura tas tehnoloģiski iespējams (iemesli sīkāk aprakstīti nodaļā 1.4.1.). Šajā gadījumā frēzētais asfalts sijājot laboratorijā tika sadalīts divās frakcijās: zem 5.6 mm un virs 5.6 mm. Šis sieta izmērs izvēlēts praktisku iemeslu dēļ: paredzams, ka Latvijas klimatiskajos apstākļos sijāšana uz smalkāka sieta būtu sarežģīta, jo mitrais asfalts aizdambē sieta atvērumus. Redzams, ka arī šāda sadalīšana neļāva pilnībā izpildīt granulometriskā sastāva prasības, tomēr atkāpes ir salīdzinoši nelielas un šis maisījums tālāk izmantots ekspluatācijas īpašību testēšanai.

Maisījuma tilpuma īpašības un noteiktais bitumena saturs apkopoti Tabulā 31. Redzams, ka arī šim sastāvam ir zems gaispildīto poru saturs un tas visdrīzāk saistīts ar augsto smalkņu saturu.

Plānotais bitumena saturs, līdzīgi kā iepriekšējam sastāvam bija 5.2%, bet kā redzams tabulā, faktiskais bitumena saturs ir nedaudz zemāks nekā 40% RA maisījumam.



Ilustrācija 65. 65% RA maisījuma granulometrija

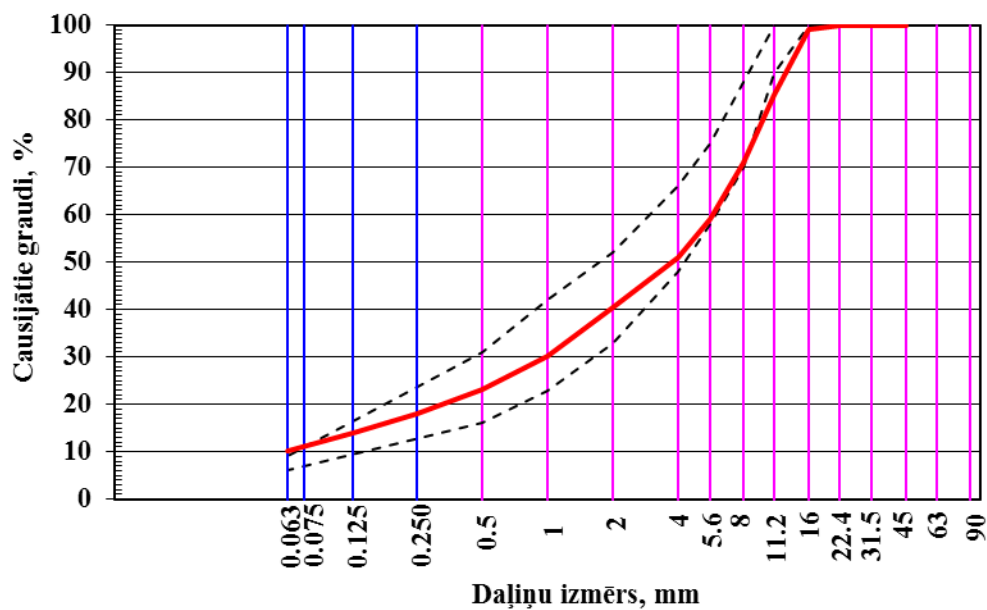
Tabula 31. 65% RA maisījuma tilpuma īpašības

Maisījums	Bitumena saturs, %	Gaispildītās poras, %	Minerālmateriāla poras, %	Ar bitumenu piepildītās poras, %
65% RA maisījums	5.11	1.0	13.9	92.9

80% RA maisījums

80% RA maisījuma granulometriskā līkne redzama Ilustrācijā 66. Tāpat kā 65% RA maisījumam, tika izmantotas divas RA frakcijas (>5.6 mm un <5.6 mm). Tomēr kā redzams ilustrācijā, ar šādām frakcijām nebija iespējams nodrošināt atbilstību AC 11 tipa asfalta granulometrijas prasībām. Putekļu saturs šim maisījumam ir 10.2%, lai gan AC 11 maisījumam maksimāli pieļaujamais ir 9%. Līkne neiekļaujas prasībās arī rupjajā galā. Faktiski šie rezultāti demonstrē, ka šādu maisījumu nav iespējams sagatavot. Būtu nepieciešams izvēlēties citu frēzētā asfalta avotu vai šo materiālu tālāk sadalīt šaurākās frakcijās. Tomēr, lai pārbaudītu testēšanas metodoloģijas spēju atšķirt šādus, neatbilstošus maisījumus no atbilstošiem, nolemts turpināt 80% RA maisījuma ekspluatācijas īpašību testēšanu.

Izstrādāti maisījumi ar trim dažādiem bitumena saturiem, kas tika panākts, variējot ar pievienotā svaigā bitumena daudzumu. Piedevas proporcija pret RA bitumena saturu nemainījās. Maisījumu tilpuma īpašības un noteiktais bitumena saturs apkopoti Tabulā 34. Redzams, ka pirmajiem diviem sastāviem gaispildīto poru saturs ir ļoti zems, kas saistīts ar augsto putekļu saturu. Trešajam maisījumam gaispildīto poru saturs ir adekvāts, tomēr tas panākts ievērojami samazinot bitumena saturu (līdz 4.35%). Tika uzskatīts, ka šāds bitumena saturs ir pārāk zems, lai izpildītu plaisāšanas prasības un tāpēc tā ekspluatācijas īpašības netika noteiktas. Turpmākie testi veikti ar 80% RA -1 maisījumu.



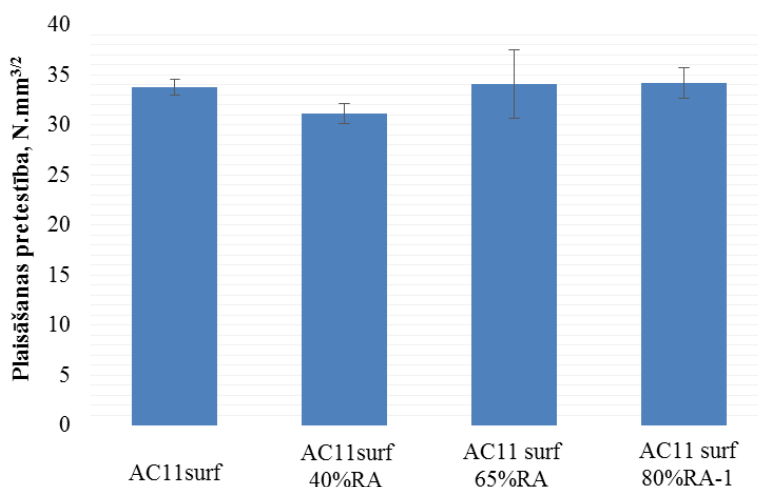
Ilustrācija 66. 80% RA maisījuma granulometrija

Tabula 32. 80% RA maisījuma tilpuma īpašības

Maisījums	Bitumena saturs, %	Gaispildītās poras, %	Minerālmateriāla poras, %	Ar bitumenu piepildītās poras, %
80% RA-1 maisījums	5.63	0.4	14.7	97.1
80% RA-2 maisījums	5.12	0.4	13.4	97.3
80% RA-3 maisījums	4.35	2.2	13.2	83.6

5.3.1. Puscilindra lieces tests

Puscilindra lieces testa rezultāti apkopoti Ilustrācijā 67. Redzams, ka 65% RA un 80% RA maisījumu rezultāti ir līdzīgi references AC11 surf maisījuma plaisāšanas pretestībai. 40% RA maisījumam ir nedaudz zemāks rezultāts.

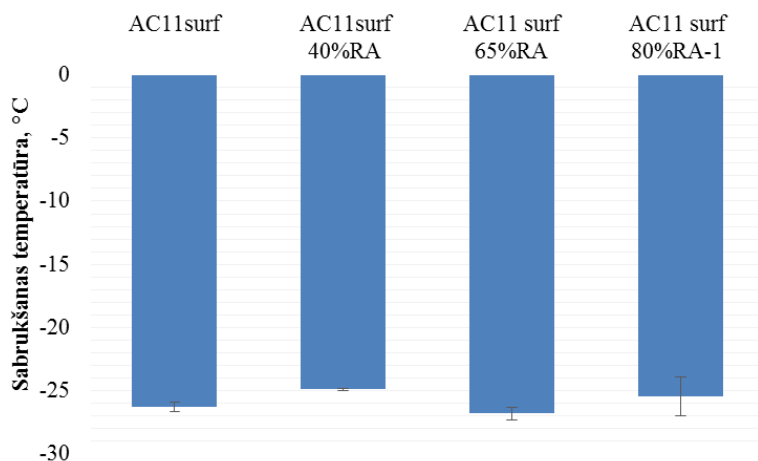


Ilustrācija 67. Plaisāšanas pretestība puscilindra lieces testā

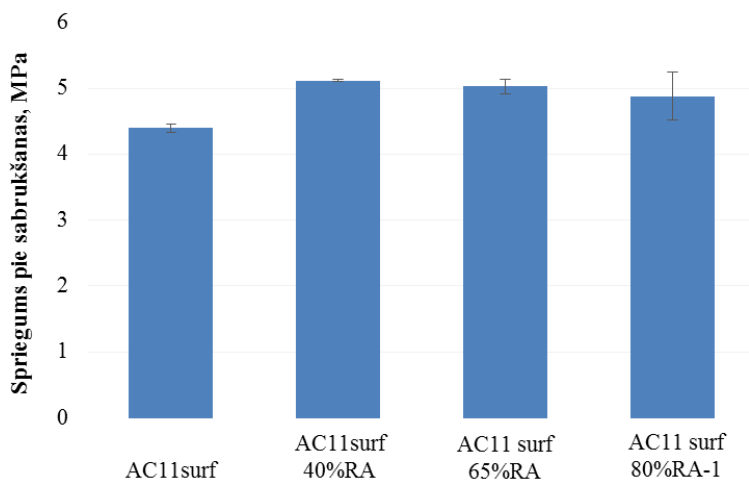
5.3.2. Netiešās stiepes tests

Netiešās stiepes testā noteiktā paraugu sabrukšanas temperatūra apkopota Ilustrācijā 69. Redzams, ka līdzīgi kā puscilindra lieces testā, 40% maisījuma rezultāts ir nedaudz vājāks nekā 65% un 80% RA-1 maisījumu rezultāts. Šo divu maisījumu kritiskā temperatūra ir līdzīga AC11 sabrukšanas temperatūrai. Visu maisījumu rezultāti tomēr izpilda iepriekšējā nodaļā noteikto prasību minimālajai sabrukšanas temperatūrai -25 °C.

Ilustrācijā 69 redzams visu paraugu spriegums pie sabrukšanas. Novērojams, ka visu RA maisījumu maksimālais spriegums ir augstāks nekā AC11 surf references paraugam un 40% RA maisījums iztur visaugstāko spriegumu no visiem paraugiem.



Ilustrācija 68. Paraugu sabrukšanas temperatūra netiešās stiepes testā

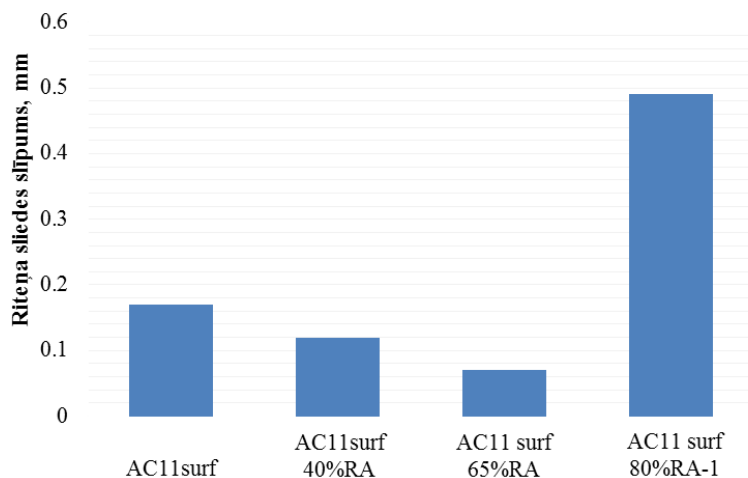


Ilustrācija 69. Spriegums pie sabrukšanas netiešās stiepes testā

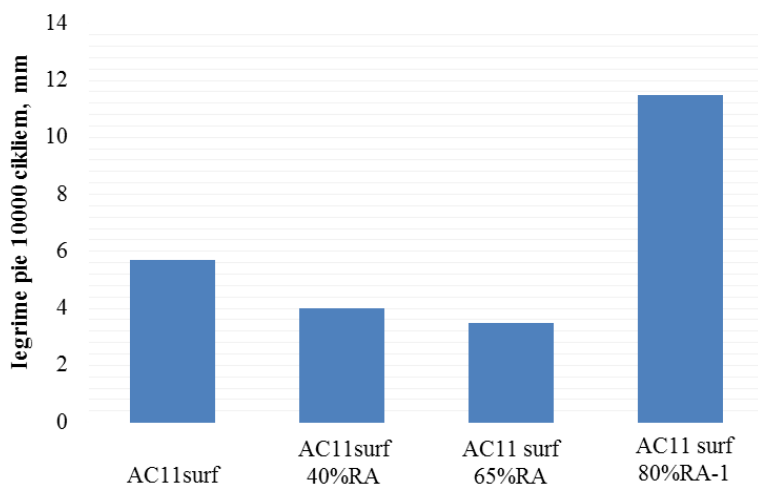
5.3.1. Riteņa sliedes tests

Riteņa sliedes testu rezultāti redzami Ilustrācijā 70 un Ilustrācijā 71. Redzams, ka 80% RA maisījumam ir sliktākais rezultāts gan sliedes slīpumā, gan iegrīmē pie 10 000 cikliem. Tas visdrīzāk saistīts ar šī maisījuma augsto bitumena saturu. Tomēr, kā bija redzamas plaisāšanas testos, tad bitumena saturu samazināt nav iespējams, jo arī ar šādu bitumena saturu maisījums bija tuvu robežai, lai neizpildītu noteiktās TSRST prasības.

40% RA un 65% RA maisījumi uzrāda riteņa sliedes slīpuma rezultātus, kas pārspēj AC11 surf maisījuma rezultātu. Tas visdrīzāk skaidrojams ar zemāku bitumena saturu, salīdzinājumā ar 80% RA maisījumu.



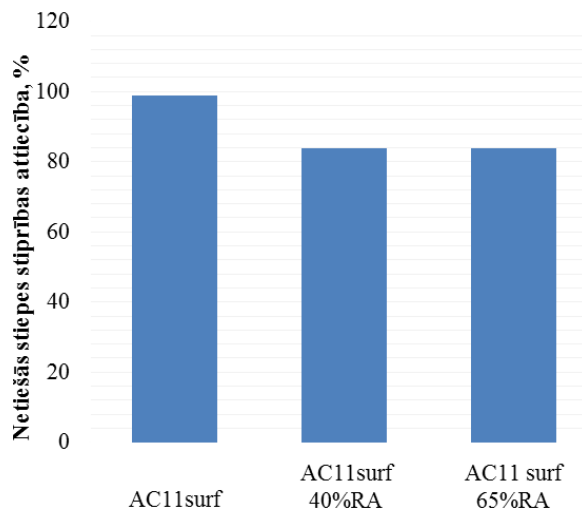
Ilustrācija 70. Slīdes slīpums riteņa slīdes testā



Ilustrācija 71. Iegrime pie 10000 cikliem riteņa slīdes testā

5.3.2. Ūdensjutība

Ūdensjutības testu rezultāti apkopoti Ilustrācijā 72. Redzams, ka visi maisījumi izpilda prasību 80% netiešās stiepes attiecībai. AC-11 references parauga rezultāts ir tuvu 100%, bet abu frēzētā asfalta maisījumu – ap 84%. RA-1 maisījumam ūdensjutība netika noteikta, jo balstoties uz ekspluatācijas testu testēšanas rezultātiem, tas tika uzskatīts par neatbilstošu maisījumu.



Ilustrācija 72. Netiešās stiepes stiprības attiecība ūdensjutības testā

5.4. REZULTĀTU ANALĪZE

Šajā nodaļā tika izstrādāti un testēti dažādi augsta satura RA maisījumi, kā arī noteiktas to sastāvdaļu materiālu īpašības. Lai demonstrētu nepieciešamību veikt izmaiņas Ceļu Specifikācijās, izskatīsim divus gadījumus:

- 1) Vispirms pieņemsim, ka maisījumu novērtēšana veikta, balstoties uz esošajām Ceļu Specifikāciju prasībām un potenciāli ieviešamo plaisāšanas prasību -25 °C TSRST testā. Bitumena testēšanas rezultāti norāda, ka ir iespējams nodrošināt bitumena penetrācijas klasi un Fraasa trausluma temperatūru atbilstoši prasībām. Maisījuma ekspluatācijas īpašību testi norāda, ka ir iespējams izprojektēt augsta satura RA maisījumus, kas izpilda uzstādītos zemas temperatūras plaisāšanas un riteņa sliedes testa kritērijus. Augsta frēzētā asfalta satura maisījumiem sarežģītāk ir nodrošināt Ceļu Specifikācijām atbilstošu porainību, bet to būtu iespējams risināt samazinot putekļu saturu un padarot granulometriju rupjāku.
- 2) Apskatot Performance Grade (PG) un atjaunojošās piedevas ķīmiskā sastāva testus situācija ir vērtējama pretēji. PG testa rezultāti norāda, ka 67% no pievienotās piedevas ir izgarojusi īslaicīgās novecināšanas rezultātā, tāpēc tā nav izmainījusi PG klasi. Faktiski tā ir izraisījusi pretēju efektu – temperatūras intervāls, pie kāda šo piedevu drīkst izmantot, ir pat nedaudz samazinājies. Ķīmiskā sastāva testēšanas rezultāti norāda uz piedevas sastāvu, kas principiāli atbilst tam, ko sagaida no atjaunojošās piedevas: tā sastāv no

maltēniem un tajā ir zems piesātināto taukskābju līmenis, līdz ar to arī koloidālās stabilitātes indekss ir zems. Maltēnu sadalījuma attiecība, savukārt, ir ārpus robežām, kas dažos avotos atzītas par pieņemamām, un tas, līdzīgi kā PG testa rezultāti, norāda uz iespējamu paātrinātu novecošanos.

Zinot PG testēšanas rezultātus faktiski iespējams secināt, ka maisījuma testēšanas rezultāti mazāk saistāmi ar atjaunojošās piedevas darbību, bet vairāk ar faktu, ka frēzētais asfalts bija polimērm modificēts un tāpēc tā plaisāšanas un deformāciju īpašības jau pirms piedevas pievienošanas ir līdzvērtīgas references AC11 maisījumam. Tā kā asfalta maisījumi tika novecināti, tad visdrīzāk, līdzīgi kā bitumena novecošanās rezultātā, daļa piedevas izgaroja un nedeveva efektu maisījuma īpašību izmainīšanā.

Balstoties uz tradicionālajām prasībām piedevas pielietošana tiktu apstiprināta. Problēma ar paātrinātu novecošanos, iespējams, tiktu konstatēta pēc rūpnīcā sagatavotā maisījuma testēšanas TSRST testā vai atgūtā bitumena testēšanas. Tomēr šajā brīdī jau būtu ieguldīti lieli resursi un maisījums, iespējams, jau būtu ieklāts. Lai izvairītos no šādām situācijām, nepieciešams ieviest pastiprinātu atjaunojošo piedevu kontroli, lai izvērtētu novecošanās efektus. Šajā pētījumā noteikts, ka to būtu iespējams veikt gan ar ķīmiskās testēšanas metodi (SARA), gan ar dažādām metodēm testējot bitumenu. Šīs iespējas vērtējamas šādi:

- SARA testa veikšana ir salīdzinoši laikietilpīga, tai ir augsta nenoteiktība un Latvijā nav prakses vai atbilstošu iekārtu šādu testu veikšanai. Rezultātu interpretācijas metode nav standartizēta.
- PG testēšanas metode Latvijā nav pieejama un Eiropas Standarti šobrīd neatbalsta šādu bitumena klasificēšanas sistēmu.
- LVC Autoceļu Kompetences centra rīcībā ir RTFO iekārta, tāpēc būtu iespējams veikt bitumena masas zuduma testu un testēt novecinātos paraugus, lai izvērtētu piedevas pretestību novecošanai.

Balstoties uz šo izvērtējamu, ieteicams ieviest prasību piedevas izraisītam masas zudumam, ne lielākam par 1%. Penetrācijas un Fraasa testēšanu veikt novecinātajam bitumenam, nosakot prasības līdzvērtīgas tām, kādas ir noteiktas no asfalta maisījuma atgūtajam bitumenam.

5.5. EKONOMISKAIS NOVĒRTĒJUMS

Viens no galvenajiem argumentiem frēzētā asfalta pielietošanai ražošanā ir ražošanas izmaksu un līdz ar to arī asfalta cenas samazināšana. Šajā nodaļā dots aptuvenš vienkāršots aprēķins ražošanas izmaksu salīdzināšanai, pievienojot dažādu frēzētā asfalta saturu. Faktiskās izmaksas, protams, būs atkarīgas no dažādiem apstākļiem, ieskaitot prasības sastāvdaļu materiāliem, transportēšanas distances, pieejamo aprīkojumu, tehnoloģiju, utt. Tabulā 33 apkopotas aprēķinā izmantotās izmaksas. Testēšanas izmaksās iekļautas arī papildus izdevumi, kas rodas frēzētā asfalta viendabības kontrolei un ekspluatācijas īpašību noteikšanai.

Tabula 33. Ražošanas izmaksu aprēķinā izmantotās cenas

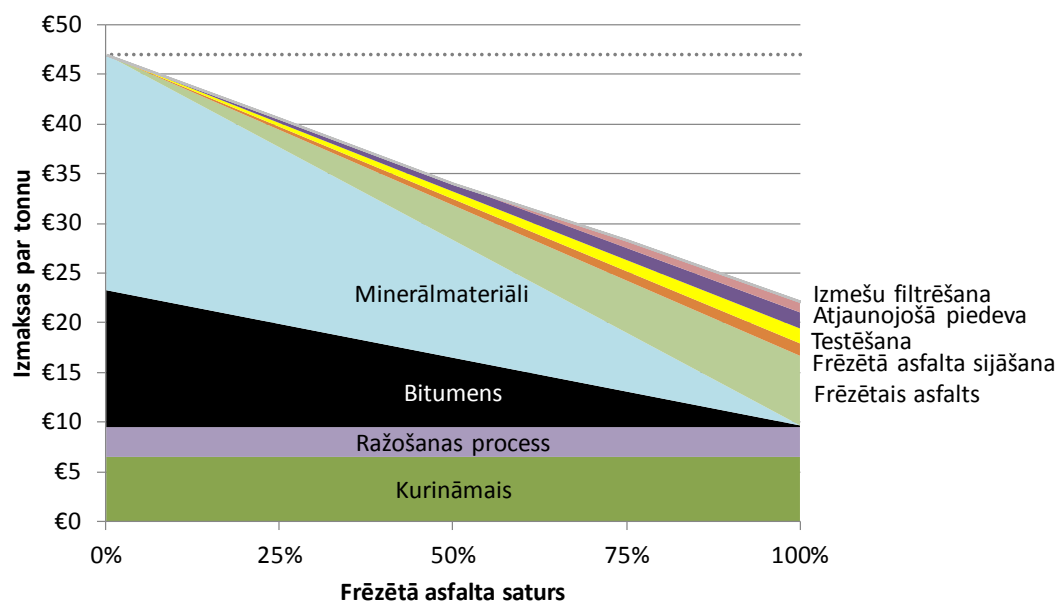
Izmaksu pozīcija	Izmaksas, EUR
Mīnerālmateriāli	25.00/t
Bitumens	265.00/t
Atjaunojošā piedeva	1200.00/t
RA sijāšana	1.25/t
Frēzētais asfalts	7.00/t
Kurināmais	6.50 par t produkcijas
Izmešu filtrēšana	1.00 par t produkcijas virs 50% RA
Ražošanas process	3.00 par t produkcijas
Testēšana	1.50 par t izmantota RA

Aprēķina veikšanai pieņemta maisījuma proporcijas un materiālu klases, kādas izmatotas šajā nodaļā pielietotajam AC11 tipa asfaltam: 5,2% maisījuma kopējais bitumena saturs, 94,8% granīta mīnerālmateriālu saturs, 5% RA bitumena saturs un 2,7% atjaunojošās piedevas dozācija no RA bitumena satura. Parametri ir mainīgi atkarībā no RA satura.

Aprēķina rezultāts redzams Ilustrācijā 73. Attēlā redzams, ka asfalta ražošanas izmaksas samazinās, pieaugot frēzētā asfalta saturam. Piemēram, pie šajā nodaļā izmatotā frēzētā asfalta satura 40%, ražošanas izmaksas būtu iespējams samazināt par aptuveni 10EUR/t jeb aptuveni 20%.

Protams, jāņem vērā, ka ražotājam būtu jāiegulda līdzekļi ražošanas procesa modifikācijā, lai šādu frēzētā asfalta saturu varētu tehnoloģiski pievienot. Šos līdzekļus būs nepieciešams atgūt,

palielinot peļņu salīdzinājumā ar ražošanas procesu, kurā RA netiek izmantots. Šī iemesla dēļ, faktiskais asfalta cenas samazinājums būs mazāks, nekā ražošanas izmaksu samazinājums.



Ilustrācija 73. Aptuvenas asfalta ražošanas izmaksas, pievienojot dažādu frēzētā asfalta saturu

6. KOPSAVILKUMS

Asfalta reciklēšana karstajos asfalta maisījumos dod iespēju samazināt ražošanas izmaksas un saudzēt apkārtējo vidi, tomēr tas iespējams tikai, ja maisījums, kura sastāvā ir frēzētais asfalts, spēj nodrošināt nepieciešamās seguma kalpošanas ilgumu un īpašības. Šī iemesla dēļ ne visu frēzēto asfaltu vajadzētu pielietot jaunu maisījumu ražošanā. Vispirms jāizvērtē materiāla īpašības un pielietošanas drošība attiecībā pret cilvēku veselību un vides aizsardzību. Pēc izvērtēšanas priekšroka dodama pielietojumam ar vislielāko pievienoto vērtību. Kā norāda attīstīto valstu prakse, vairumā gadījumu tas nozīmē atkārtotu izmantošanu asfalta ražošanā. Gan ASV, gan Eiropā frēzētā asfalta patēriņš jaunu maisījumu ražošanā pēdējos gados ievērojami pieaudzis.

Lai izanalizētu pasaules praksi un nepieciešamās darbības kvalitātes nodrošināšanai, **pirmajā nodaļā** veikts literatūras apskats. Tajā galvenais uzsvars likts uz sagaidāmajām maisījuma īpašībām, dotas rekomendācijas frēzētā asfalta vadībai un apskatīta augsta RA satura maisījumu projektēšana. Tikai sekojot labākajai praksei visos trīs galvenajos virzienos, būs iespējams nodrošināt nemainīgu nepieciešamās kvalitātes asfalta ražošanu:

- **Materiāli.** Jānodrošina nepieciešamās īpašības, granulometrija un viendabība frēzētajam asfaltam. Jāsamazina mitruma saturs, kā arī jāizvairās no neplānotas materiālu sajaukšanās. Jācenšas samazināt smalkņu daudzums.
- **Projektēšana.** Jānodrošina maisījuma projektēšana atbilstoši frēzētā asfalta saturam. Pie vidēja un augsta RA satura nepieciešams izvēlēties atbilstošāko metodi (vai to kopumu) novecojušā bitumena atjaunošanai. Ieteicams veikt ekspluatācijas īpašību testēšanu, lai pārliecinātos par maisījuma īpašībām un materiālu sajaukšanos.
- **Ražošana.** Jānodrošina ražošanas tehnoloģija un temperatūra atbilstoši plānotajam frēzētā asfalta daudzumam.

Īpaši svarīgi ražošanas laikā ir nodrošināt visu materiālu sajaukšanos. Atjaunojošās piedevas un/vai svaigā bitumena difūzijai RA bitumenā nepieciešams laiks un atbilstoša temperatūra. Nepietiekama sajaukšanās var novest slāņaina sistēmas izveidošanās, kur mīkstāka bitumena kārtiņa klāj cietāka bitumena kārtiņu. Tas var novest pie plastiskām deformācijām. Tāpat

iespējama arī plaisāšana, jo cietais bitumens faktiski netiek iesaistīts asfalta seguma visko-elastīgo īpašību nodrošināšanā un var tikt uzskatīts par daļu no minerālmateriāla (tādā veidā samazinot efektīvā bitumena saturu maisījumā). Par veiksmīgu bitumena sajaukšanos un arī citu ekspluatācijas īpašību nodrošināšanu iespējams pārliecināties, veicot projektēšanu ar uz ekspluatācijas īpašībām balstītu metodi.

Otrajā nodaļā analizēti frēzētā asfalta vēsturiskie urbumu testēšanas rezultāti. Apskatīti pieci būvobjekti, kuros analizēta gan maisījumu granulometrija, gan bitumena saturs un īpašības. No rezultātiem var secināt, ka frēzētajā asfaltā atrodamā bitumena īpašības ir salīdzinoši tuvas šobrīd specifikācijās prasītajām. Tam par iemeslu var būt gan fakts, ka Latvijas klimatiskajos apstākļos bitumena novecošanās ir salīdzinoši lēna, gan tas, ka agrāk ceļu būvniecībā izmantoja bitumenu ar zemāku viskozitāti, gan arī tas, ka uz ceļiem veikts liels daudzums bedrīšu remontu, kur tiek pielietots viskozāks bitumens. Piemēram, penetrācija katrā no būvobjektiem izurbtajiem paraugiem ir sekojoša:

- A9 posma 9.90-22.90 km vidējā penetrācija ir 75 dmm (68% ticamības rezultāts 55-95);
- A4 posma 0.70-12.48 km vidējā penetrācija ir 65 dmm (68% ticamības rezultāts 49-81);
- A8 posma 31.80-43.14 km vidējā penetrācija ir 69 dmm (68% ticamības rezultāts 62-75);
- A9 posma 39.00-60.00 km vidējā penetrācija ir 73 dmm (68% ticamības rezultāts 53-94);
- A13 posma 144.70-156.40 km vidējā penetrācija ir 46 dmm (68% ticamības rezultāts 25-67).

Šie rezultāti norāda, ka bitumena īpašības, kādas bieži atrodamas būvobjektos Latvijā, nav šķērslis frēzētā asfalta pielietošanai jauna asfalta ražošanā. Salīdzinoši daudz lielāka problēma par bitumena īpašībām ir frēzētā asfalta nevienmērība. Tā ir lielā mērā atkarīga no konkrētā būvobjekta un no būvniecības laikā izmantotajām specifikācijām, seguma uzturēšanas darbiem, novecošanās utt. Nodaļā dots piemērs, kā noteikt maksimālo frēzētā asfalta saturu maisījumā saskaņā ar Vācijas praksi. Redzams, ka, frēzējot asfaltu kārtās, iespējams palielināt maksimāli pieļaujamo frēzētā asfalta daudzumu no 20% līdz 28%, turklāt ļoti iespējams, ka asfalta frēzēšanas rezultātā šī materiāla viendabība uzlabotos un būtu iespējams pievienot pat vēl augstāku frēzētā asfalta saturu. Šis piemērs norāda, ka var būt lietderīgi analizēt urbumu testēšanas rezultātus vēl pirms asfalta frēzēšanas, lai izvēlētos atbilstošāko frēzētā asfalta

pārvaldības stratēģiju un tāpēc ieteicams uzņēmējus nodrošināt ar frēzējamā seguma testēšanas rezultātiem.

Tā kā RA nevienādība ir faktors, kas visvairāk ierobežo tā izmantošanu Latvijā, tad **trešajā nodaļā** aprakstīts pētījums par frēzētā asfalta viendabības izmaiņām frēzēšanas un apstrādes laikā 300 metru garā ceļa posmā, kurā novērojama augsta nevienādība. Šajā posmā asfalta raksturlielumi analizēti urbtajiem paraugiem, paraugiem, kas noņemti no kravas kastes un paraugiem no krautnes, kurā veikta pārmaisīšana ar ekskavatoru. Šādā veidā analizējot materiāla mainību trīs stadijās (uz ceļa, pēc frēzēšanas, pēc pārmaisīšanas), secināts, ka ir iespējams būtiski uzlabot frēzētā asfalta viendabību. Frēzēšana samazina bitumena īpašību un satura variāciju salīdzinājumā ar urbtajiem paraugiem par 30-40%, bet samaisīšana uzlabo bitumena satura un īpašību viendabību salīdzinājumā ar frēzēto asfaltu par 25-65%. Izņēmumi bija Fraasa temperatūra un putekļu saturs, jo šīm īpašībām pārmaisīšana krautnē nedevis gaidīto uzlabojumu. Tomēr jāatzīmē, ka pašas Fraasa temperatūras testēšanas metodes nenoteiktība neļauj statistiski nodalīt nevienādības atšķirības dažādās parauga noņemšanas stadijās. Savukārt putekļu satura nevienādība jau sākotnēji bija salīdzinoši neliela un neietekmēja maisījuma projektēšanas gaitu.

Ceturtajā nodaļā izstrādāta uz ekspluatācijas īpašībām balstīta projektēšanas metode. Darbam izvirzīta hipotēze, ka jebkurš frēzēto asfaltu saturošs maisījums, kas var nodrošināt līdzvērtīgas ekspluatācijas īpašības kā tradicionālie Latvijas būvobjektos pielietotie maisījumi, var tikt pielietots būvobjektos Latvijā. No tā izriet, ka nepieciešamas uzticamas testēšanas metodes, lai pārbaudītu šo maisījumu ekspluatācijas īpašības un nepieciešams noteikt šo īpašību kritērijus projektēšanai. Lai šos uzdevumus izpildītu, apskatītas divas plaisāšanas testēšanas metodes, puscilindra lieces tests (SCB) un vienass stiepes tests (TSRST). Šie testi, kombinācijā ar jau pielietoto riteņa sliedes testu, potenciāli var kalpot kā pamats uz ekspluatācijas īpašībām balstītai maisījumu projektēšanai. Slogošanas princips šiem diviem plaisāšanas testiem ir atšķirīgs: SCB testā tiek izmantota monotona spiede trīs punktu lieces iekārtā 0 °C, bet TSRST tiek noteikta temperatūra, pie kuras termālais spriegums pārsniedz materiāla stiepes pretestību. Analizējot testēšanas rezultātus, var secināt, ka TSRST testa priekšrocība ir augsta atkārtotamība un testa rezultātos labi redzamas atšķirības starp dažādiem maisījumiem un izmaiņām maisījuma receptē. SCB tests arī uztver plaisāšanas pretestības atšķirības starp dažādiem asfalta tiptiem un izmaiņām receptē, tomēr testa rezultātu atkārtotamība nav pietiekama, lai statistiski nozīmīgi un pamatoti

nodalītu izmaiņas, kas tiek izdarītas maisījuma receptē. Šī iemesla dēļ to nav ieteicams lietot maisījumu projektēšanas prasībām. Korelācija starp TSRST un SCB testa rezultātiem ir augsta, tāpēc, ņemot vērā, ka SCB testa veikšanas izmaksas un patērētais laiks ir ievērojami mazāks, šo metodi iespējams izmantot, lai atlasītu paraugus, kuru testēšanai tālāk izmatot daudz laikietilpīgāko un dārgāko TSRST testēšanas metodi. Šāda pieeja var būt noderīga gan maisījumu projektēšanai, gan kvalitātes kontroles priekšatlasei. Noteikts, ka maisījumu novecināšana atstāj citādu ietekmi uz katru no testa metodēm, tāpēc salīdzināšanai iespējams izmantot tikai vienādi sagatavotus paraugus. Lai rezultātu korelācija ar rūpnīcā maisītiem paraugiem būtu pēc iespējas augstāka, laboratorijā izgatavotiem paraugiem ieteicams veikt īstermiņa novecināšanu (4 h 135 °C).

Testēšana ar abiem testiem veikta desmit dažādiem maisījumiem, tajā skaitā sešiem, kas izgatavoti rūpnīcā, un četriem, kas samaisīti laboratorijā. Paraugu receptes un materiāli iegūti no dažādiem ražotājiem. Lai aptvertu pēc iespējas plašu maisījumu loku, testēšanā izmantoti seši AC tipa virskārtas maisījumi, divi AC tipa saites un apakškārtas maisījumi un divi SMA tipa maisījumi. Šo paraugu izgatavošanā izmantots gan polimērmodificēts bitumens, gan 50/70 un 70/100 nemodificēts bitumens. Visi paraugi izgatavoti laboratorijā, izmantojot veltna blīvēšanas iekārtu, un pēc tam izzāģēti nepieciešamajos izmēros. Visiem paraugiem papildus noteikta arī Fraasa trausluma temperatūra. Testēšanas rezultāti norāda, ka visi rūpnīcā izgatavotie maisījumi izpilda riteņa sliedes testa prasības augstākajai intensitātei, savukārt laboratorijā maisītais AC11 surf tipa asfalts to neizpilda. Optimizējot šī maisījuma bitumena saturu, panākta arī tā atbilstība augstākajai specifikāciju prasībai riteņa sliežu testam. Nodaļā dots piemērs projektēšanas veikšanai un maisījuma sastāva optimizēšanai ar dažādu bitumena saturu un penetrācijas klasi, lai sasniegtu vēlamo rezultātu ekspluatācijas īpašību testos.

Analizējot testēšanas rezultātus, redzams, ka Fraasa tests nespēj pilnībā apliecināt asfalta maisījumu pretestību plaisāšanai, jo tas neņem vērā bitumena saturu maisījumā, rezultātus var ietekmēt bitumena atgūšana un arī paša testa nenoteiktība. Šo iemeslu dēļ ieteicams testu aizvietot ar maisījuma plaisāšanas testu. Kā iepriekš minēts, samērā augstās rezultātu nenoteiktības dēļ SCB testu nav ieteicams piemērot maisījumu apstiprināšanai, tāpēc tālāk šim mērķim analizēti tikai TSRST rezultāti.

Zemas temperatūras plaisāšana ir galvenokārt atkarīga no vides ietekmes, tāpēc visiem maisījumiem iespējams izvirzīt līdzvērtīgu kritēriju, neatkarīgi no transporta intensitātes, izmantotā bitumena vai asfalta tipa. Asfalta segā ir novērojams temperatūras pieaugums virzienā no augšējām kārtām uz zemākajām, tāpēc var noteikt atšķirīgu prasību virskārtām (surf) un saistes/apakškārtām (base/bin). Pētījuma laikā pārbaudīti 10 maisījumi, un visi virskārtu materiāli, izņemot vienu, sasniedza vismaz $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ pirms saplaisāšanas. Šī temperatūra tad izvirzīta kā maisījumu apstiprināšanas kritērijs asfalta virskārtām. Savukārt apakškārtām kā kritērijs izvirzīta $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūra. Ieteicams īstenot pārejas posmu, kura laikā veikt ieklāto maisījumu testēšanu kvalitātes kontroles ietvaros, bet nepiemērojot sankcijas par prasību neizpildīšanu. Pārejas posms dos iespēju pasūtītājam izvērtēt kritērija pamatotību, savukārt ražotājiem dos iespēju optimizēt maisījumu sastāvus. Pēc TSRST ieviešanas ieteicams atteikties no Fraasa temperatūras pārbaudes prasības Ceļu Specifikācijās.

Lai pārbaudītu piedāvāto projektēšanas metodiku un noteiktu augsta satura RA maisījumu ekspluatācijas īpašības, **piektajā nodaļā** tika izstrādāti asfalta maisījumi ar 40%, 65% un 80% frēzētā asfalta saturu. No trīs dažādu izcelsmju frēzētā asfalta atgūts bitumens un testētas tā īpašības, samaisot ar dažādiem atjaunojošās piedevas saturiem. Noteikts, ka diviem no frēzētā asfalta avotiem piedevas satura optimizēšana var nodrošināt atbilstību penetrācijas un Fraasa temperatūras prasībām. Bitumenam ar optimālo piedevas saturu no viena frēzētā asfalta avota noteikta arī Performance Grade (PG) saskaņā ar ASV izmantoto Superpave bitumena klasificēšanas sistēmu. Testu rezultāti norādīja, ka PG klase visiem paraugiem, tajā skaitā arī neatjaunotajam RA bitumenam un references svaigajam bitumenam, bija vienāda. Tas visdrīzāk saistīts ar faktu, ka RA sākotnēji bija polimērmodificēts, bet references bitumens nē. Testu rezultātos atklājās, ka atjaunojošā piedeva izgaro laboratorijas novecošanas laikā, un tāpēc atjaunotais bitumens var būt pakļauts paātrinātai novecošanai. Jutību pret paātrinātu novecošanos apstiprināja arī atjaunojošās piedevas ķīmiskā sastāva testēšanas rezultāti SARA testā. Šeit redzams, ka maltēnu sadalījuma attiecība ir ārpus robežām, kādas tiek uzskatītas par pieņemamām.

Augsta RA satura maisījuma testēšanas veikta pēc īslaicīgas novecināšanas. Rezultāti norādīja, ka ir iespējams izstrādāt 40% un 65% RA satura maisījumus, kas izpilda kritēriju zemas temperatūras plaisāšanas testā un arī riteņa sliedes pretestības prasību. Balstoties uz bitumena PG

testēšanas rezultātiem, faktiski var secināt, ka šie apmierinošie maisījumu testēšanas rezultāti ir mazāk saistāmi ar atjaunojošās piedevas darbību, bet vairāk saistāmi ar faktu, ka frēzētais asfalts bija polimērmodificēts. Tātad ļoti iespējams, ka arī bez piedevas šo maisījumu īpašības būtu bijušas pietiekami labas, lai izpildītu testu prasības.

Balstoties uz šīs nodaļas secinājumiem, piedevas apstiprināšanai ieteicams veikt RTFO novecināšanu, kurā nosaka masas zudumu un iegūto bitumenu lieto, lai pārbaudītu penetrāciju un Fraasa temperatūru. Lai izvērtētu plaisāšanas pretestību nelabvēlīgākajā situācijā, arī maisījumu plaisāšanas testus ieteicams veikt pēc īstermiņa novecināšanas.

Nodaļā veiktais ekonomiskais aprēķins demonstrē, ka frēzētā asfalta pielietošana var ievērojami samazināt ražošanas izmaksas. Piemēram, 40% frēzētā asfalta pielietošana nodrošinātu par 20% zemākas ražošanas izmaksas salīdzinājumā ar maisījumu, kura sastāvā nav frēzētā asfalta. Šeit gan jāņem vērā, ka faktiskais asfalta cenas samazinājums būtu zemāks, jo ražotājam būtu nepieciešams atgūt ieguldītos līdzekļus šādu maisījumu ražošanas procesa nodrošināšanā.

7. REKOMENDĀCIJAS

Tabula 34. Rekomendācijas

Nr.	Rekomendācija	Pamatojums
1.	Noteikt frēzētā asfalta maksimālo procentuālo daļu maisījumā kā maksimālo bitumena masas aizvietošanas daļu (nevis maisījuma masas daļu). To aprēķina sekojoši: $\text{Bitumena aizvietošana, \%} = \frac{(A \times B)}{C} \times 100\%$ kur: A – RA bitumena saturs; B – RA saturs maisījumā; C – kopīgais bitumena saturs maisījumā.	Tas ļauj izvairīties no situācijas, ka pievienojot salīdzinoši nelielā daudzumā frēzēto asfaltu ar augstu bitumena saturu (piemēram, smalku frakciju), tā sastāvā esošais bitumens aizvieto procentuāli daudz lielāku daļu no kopējā bitumena satura.
2.	Rekomendējams veikt pētījumu par saistvielas satura palielināšanas ietekmi uz maisījuma plaisāšanas pretestības uzlabošanu. Ja tiek iegūti vēlamie rezultāti, iekļaut šādu prasību maisījumu projektēšanas specifikācijās maisījumiem ar augstu frēzētā asfalta saturu.	Ne viss frēzētā asfalta sastāvā esošais bitumens piedalās maisījuma visko-elastīgo īpašību nodrošināšanā. Daļa no tā, neatkarīgi no izmantotās metodes cietā bitumena kompensēšanai, paliek neatjaunota un faktiski var tikt uzskatīta par daļu no minerālmateriāla. Tāpēc faktiskais bitumena saturs maisījumiem ar augstu frēzētā asfalta proporciju ir zemāks, nekā tiek noteikts, testējot bitumena saturu. Tāpēc bieži augsta satura RA maisījumiem tiek ieviesta prasība projektējot palielināt bitumena saturu, balstoties uz noteiktiem kritērijiem.
3.	100% no RA daļiņām jābūt mazākām par 22 mm (vai citam izmēram).	Tas nodrošina, ka ražošanā netiek pielietoti lieli frēzētā asfalta gabali (piemēram, no lauza asfalta vai salīpuši gabali), kas ražošanas procesā nepietiekami samaisīsies ar svaigiem materiāliem.

Nr. Rekomendācija	Pamatojums
4. Papildināt ceļu specifikācijas ar prasību: frēzētā asfalta sastāvā nedrīkst būt piesārņojums (tajā skaitā ražošanas atlikumi), šķīdinātāji vai citas vielas.	Piemaisījumi nelabvēlīgi ietekmē maisījuma īpašības. Tie var rasties krautnē vai frēzēšanas laikā.
5. Papildināt ceļu specifikācijas ar prasību iesniegt frēzētā asfalta krautnes testēšanas rezultātus pasūtītājam kopā ar asfalta darba formulu.	Jānodrošina nepieciešamās frēzētā asfalta īpašības un viendabība atbilstoši prasībām.
6. Pasūtītāja pārstāvim jādod tiesības ņemt paraugu RA krautnē, un tā prasītajām īpašībām ir jāiekļaujas noteiktajās maksimālajās robežās salīdzinājumā ar ražotāja deklarēto vērtību.	Pasūtītājam jābūt iespējai pārbaudīt frēzētā asfalta viendabību un atbilstību darba formulai.
7. Papildināt ceļu specifikācijas ar prasību: ja ražošanā tiek pielietots frēzētais asfalts, vismaz reizi dienā jānosaka mitruma saturs saražotajā asfaltā, kas nedrīkst būt augstāks par 0.5%.	Latvijas klimatā iespējams augsts RA mitruma saturs, kas, ja netiek izžāvēts ražošanas laikā, var negatīvi ietekmēt asfalta maisījuma adhēziju un izsaukt mitruma izraisītus segas bojājumus.
8. Ieteicams izmainīt Ceļu Specifikāciju 2015. gada 6.2.4.8.2. punktu, svītrojot prasību par piemērotas bitumena atjaunojošās piedevas lietošanu jau maisījumam no 10% RA satura.	Pētījumā redzams, ka bitumena īpašības bieži jau izpilda specifikāciju prasības un piedevu pievienošana šādā gadījumā var izraisīt risu veidošanos. Ja bitumens tomēr ir novecojis, nepieciešamo efektu (mērķa penetrācijas atbilstību) pie salīdzinoši neliela RA satura, iespējams panākt arī pievienojot mīkstāku bitumenu. Šādu prasību lietderīgi ieviest maisījumiem ar >25% frēzētā asfalta saturu.

Nr. Rekomendācija	Pamatojums
9. No Ceļu Specifikācijām 2015 svītrot 6.2-13 tabulas prasību deklarēt nogurumizturību, kā arī minimālo un maksimālo stingumu maisījumiem, ko paredzēts ieklāt uz ceļiem ar intensitāti virs 2000 AADTj smagie un virs 5000 AADTj pievestā.	Šādu prasību izvirzīšana nedod praktisku labumu un palielina ražotāju izmaksas. Turklāt šīs prasības plānots saskaņā ar šī pētījuma rezultātiem aizstāt ar cietiem ekspluatācijas īpašību testiem.
10. Veikt atsevišķu pētījumu, lai noteiktu, vai Latvijā sastopamajā asfaltā ir policikliskie aromātiskie ogļūdeņraži (PAH). Ja tādi atrodami, specifikācijās ietvert prasību būvniekam nodrošināt frēzētā asfalta PAH testēšanu noteiktā intervālā un atbilstošu frēzētā asfalta realizāciju. Kā prasības iespējams pārņemt Vācijas praksi.	Liela daļa no Latvijā iegūtā frēzētā asfalta ir ieklāts laikā, kad kā saistviela varētu būt tikusi izmantota darva, kas ir kaitīga cilvēku veselībai un apkārtnējam videi. Turklāt Latvijā tiek ieviests frēzētais asfalts no valstīm, kurās zināms par darvas pielietošanu ceļu būvniecībā.
11. Pirms katra būvobjekta izsoles nodrošināt asfalta paraugu urbšanu un testēšanas rezultātus vismaz asfalta granulometriskajam sastāvam, bitumena saturam un penetrācijai.	Šie dati būvniekiem dod iespēju izanalizēt pieejamā frēzētā asfalta īpašības un plānot rekonstrukcijas gaitu, tajā ietverot arī frēzētā asfalta izmantošanu pēc iespējas augstākas vērtības pielietojumā. Tas savukārt var pazemināt rekonstrukcijas darbu izmaksas.
12. TSRST testam noteikt minimāli pieļaujamo plaisāšanas temperatūru -25 °C virskārtām un -22 °C apakškārtām. Laboratorijā izgatavotiem paraugiem testēšanu veikt īstermiņā novacinātiem paraugiem (4 h 135 °C)	Šobrīd izmantoto maisījumu testēšanas rezultāti norāda, ka izvirzītās prasības būtu iespējams sasniegt ar jau esošajiem maisījumiem vai tos nedaudz optimizējot. Ieteicams testu prasības izvērtēt pēc aprobācijas perioda un vairāk testēšanas rezultātu apkopošanas, īpaši virskārtu maisījumiem bez PMB un saistes/apakškārtu maisījumiem, kā arī maisījumiem, kas izmantojami zemākas intensitātes autoceļos. Tāpat ieteicams šīs prasības izvērtēt, balstoties uz LVC pieredzi par galvenajiem asfalta segumu deformācijas veidiem.

Nr. Rekomendācija	Pamatojums
13. SCB testu 0 °C šobrīd nav ieteicams izmantot maisījumu apstiprināšanai vai tipa testēšanai, bet to var izmantot maisījumu priekšatlasei pirms nodot testēšanai ar TSRST metodi. Lai nodrošinātu ticamu korelāciju, laboratorijā izgatavotos paraugus pirms testēšanas nepieciešams novēcināt.	SCB tests neļauj pietiekami diferencēt starp dažādiem maisījumiem un izmaiņām darba formulā samērā augstās testēšanas nenoteiktības dēļ, tomēr tas ir vienkāršāk izpildāms nekā TSRST un lētāks. Līdzvērtīgos apstākļos izgatavotiem paraugiem ir augsta korelācija starp TSRST un SCB rezultātiem, tāpēc tos var izveidot lokālu korelāciju un to izmantot kā indikatoru, lai izvēlētos paraugus testēšanai ar TSRST. Tas var būt noderīgi gan maisījumu projektēšanā, gan kvalitātes kontrolē.
14. Atteikties no prasības Fraasa temperatūras noteikšanai, tiklīdz ir beidzies aprobācijas periods TSRST metodei.	Fraasa tests tiks aizvietots ar maisījuma testēšanas metodi.
15. Kad iegūta atbilstoša pieredze un pārliecība par saražotā asfalta kvalitāti, ieteicams palielināt maksimālo frēzētā asfalta saturu maisījumā gan virskārtās, gan apakškārtās.	Pasaules pieredze rāda, ka iespējams ražot asfaltu ar ļoti augstu frēzētā asfalta proporciju, nepazeminot asfalta seguma kalpošanas parametrus. Tam nepieciešama kompleksa pieeja, nodrošinot gan materiālu atbilstību un viendabību, gan projektēšanu ar ekspluatācijas īpašību testēšanas metodēm, gan pieredze un atbilstošas tehnoloģijas ražošanā.
16. Atjaunojošās piedevas apstiprināšanai darba formulā noteikt prasību nodrošināt bitumena masas zudumu RTFO testā ne vairāk par 1%.	Ir svarīgi gūt pārliecību, ka piedevas efekts uz bitumena viskozitāti nav tikai īslaicīgs un nepazudīs novecošanās rezultātā. Zems masas zudums RTFO testā daļēji ļauj gūt šādu pārliecību.
17. Atjaunojošās piedevas apstiprināšanai noteikt prasību nodrošināt penetrāciju un Fraasa trausluma temperatūras prasības pēc RTFO novecināšanas līdzvērtīgu tām, kādas noteiktas no asfalta atgūtajam bitumenam.	Penetrācijas un Fraasa testēšanas rezultāti tradicionāli tiek veikti nenovecinātiem paraugiem, bet faktiski maisījums novecojas ražošanas un iestrādes laikā. Testēšana pēc bitumena īslaicīgās novecināšanas ļautu gūt pārliecību, ka piedevas efekts nav īslaicīgs. Tā kā bitumens pēc RTFO ir novecojies, uz tā jāattiecinā prasības, kādas tiek izvirzītas no maisījuma atgūtam bitumenam, nevis tādas, kā tiek izvirzītas svaigam bitumenam.

Nr.	Rekomendācija	Pamatojums
18.	Plaisāšanas ekspluatācijas īpašību testēšanu laboratorijā maisītiem paraugiem veikt pēc maisījumu īslaicīgās novecināšanas 4 h 135 °C temperatūrā.	Asfalta maisījumi būtiski novecojas jau ražošanas un ieklāšanas laikā. Tas notiek, jo bitumens ir pakļauts paaugstinātai temperatūrai. Kā novērots 5. nodaļā, RA bitumenu atjaunojošā piedeva var būtiski izmainīt īpašības īslaicīgās novecošanās rezultātā. Tātad ir svarīgi novērtēt asfalta maisījumu tādā novecošanās stāvoklī, kādam tas būs pakļauts ekspluatācijas laikā. Novecināšana nodrošina arī salīdzinoši nelabvēlīgākus un reālistiskākus apstākļus plaisāšanas testiem, jo tās rezultātā zūd bitumena elastība.

PATEICĪBAS

Izsaku pateicību AS „Latvijas Valsts Ceļi” Autoceļu Kompetences Centram, SIA „Lemminkainen Latvija” un SIA „Ceļu Eksperts” par konsultācijām, nepieciešamo datu nodrošināšanu, sadarbību maisījumu projektēšanā, testēšanā un materiālu nodrošināšanā.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- [1] R. Karlsson un U. Isacsson, «Material-Related Aspects of Asphalt Recycling-State-of-the-Art,» *Journal of Materials in Civil Engineering*, sēj. 18, nr. 1, pp. 81-92, 2006.
- [2] Asphalt Recycling and Reclaiming Association (ARRA), «Basic asphalt recycling manual,» *Asphalt Recycling and Reclaiming Association*, Annapolis, MD, USA, 1992.
- [3] P. M. Kandhal un R. B. Mallick, «Pavement recycling Guidelines for State and Local Governments - Participant's Reference Book,» *Federal Highway Administration*, Washington, DC, 1997.
- [4] K. R. Hansen un A. Copeland, «Annual Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm Mix Asphalt,» *National Asphalt Pavement Association*, Lanham, MD, USA, 2014.
- [5] EAPA, «Asphalt in Figures 2013,» *European Asphalt Pavement Association*, Brussels, Belgium, 2014.
- [6] EAPA, «Asphalt in Figures 2009,» *EAPA*, Brussels, Belgium, 2010.
- [7] J. Read un D. Whiteoak, *The Shell Bitumen Handbook, Fifth Edition red.*, London: Thomas Telford Publishing, 2003.
- [8] F. Roberts, P. Kandhal, E. R. Brown, D. Y. Lee un T. Kennedy, *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, Third Edition red.*, Lanham, MD: National Asphalt Pavement Association Research and Education Foundation, 2009.
- [9] C. McMillan un D. Palsat, «Alberta's experience in asphalt recycling,» %1 Canadian Technical Asphalt Association, 1986.
- [10] S. Carpenter un J. Wolosick, «Modifier Influence in the Characterization of Hot-Mix Recycled Material,» *Transportation Research Record*, pp. 15-22, 1980.
- [11] A. S. Noureldin un L. E. Wood, «Rejuvenator Diffusion in Binder Film for Hot-Mix Recycled Asphalt Pavement,» *Transportation Research Record*, nr. 1115, pp. 61-61, 1987.
- [12] T. Bennert un R. Dongre, «Backcalculation Method to Determine Effective Asphalt Binder Properties of Recycled Asphalt Pavement Mixtures,» *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, sēj. 2179, pp. 75-84, 2010.
- [13] W. Mogawer, A. Austerman un M. Roussel, «Performance characteristics of asphalt rubber mixtures containing RAP and warm mix asphalt technology,» %1 2nd international conference on warm-mix asphalt, St.Louis, 2011.
- [14] I. L. Al-Qadi, M. A. Elseifi un S. H. Carpenter, «Reclaimed Asphalt Pavement - A Literature Review,» *Illinois*

Center of Transportation, Springfield, IL, Mar 2007.

- [15] P. Shirodkar, Y. A. Mehta, N. Aaron, K. Sonpal, A. Norton, C. Tomlinson, E. Dubois, P. Sullivan un R. Sauber, «A Study to Determine the Degree of Partial Blending of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Binder for High RAP Hot Mix Asphalt,» *Construction and Building Materials*, sēj. 25, nr. 1, pp. 150-155, 2011 Jan.
- [16] R. S. McDaniel, H. Soleymani, M. R. Anderson, P. Turer un R. Peterson, «Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method,» *National Cooperative Highway Research Program*, 2000.
- [17] I. L. Howard, A. L. J. Cooley un J. D. Doyle, «Laboratory Testing and Economic Analysis of High RAP Warm Mixed Asphalt,» *Mississippi Department of Transportation, Jackson, MS*, 2009.
- [18] J. Potter un J. Mercer, «Full-Scale Performance Trials and Accelerated Testing of Hot-Mix Recycling in the UK,» %1 Eighth International Conference on Asphalt Pavements, *Seattle, WA*, 1997 Aug 10-14.
- [19] J. R. Willis, P. Turner, G. Julian, A. J. Taylor un F. d. G. Padula, «Effects of Changing Virgin Binder Grade and Content on RAP Mixture Properties,» *National Center for Asphalt Technology, Auburn, AL*, 2012 May.
- [20] R. S. McDaniel, H. Soleymani, R. M. Anderson, P. Turner un R. Peterson, «Use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Under Superpave Specification: A Regional Pooled Fund Study,» *Joint Transportation Research Program*, 2002.
- [21] A. Copeland, «Reclaimed asphalt pavement in asphalt mixtures: state of the practise,» *Federal Highway Administration, Washington, DC*, 2011.
- [22] R. West, J. R. Willis un M. Marasteanu, «Improved Mix Design, Evaluation, and Materials Management Practices for Hot Mix Asphalt with High Reclaimed Asphalt Pavement Content,» *NCHRP Report*, 2013 Jan.
- [23] I. L. Al-Qadi, Q. Aurangzeb, S. H. Carpenter, W. J. Pine un J. Trepaner, «Impact of High RAP Contents on Structural and Performance Properties of Asphalt Mixtures,» *Illinois Center for Transportation, Springfield, IL*, June 2012.
- [24] U.S. Environmental Protection Agency, «Screening-Level Hazard Characterization of High Production volume Chemicals (Aromatic Extracts),» *U.S. EPA*, 2012.
- [25] L. Corbett, «Composition of Asphalt Based on Generic Fractionation Using Solvent Deasphalteneing Elution-Adsorption Chromatography and Densiometric Characterization,» *Analytical Chemistry*, nr. 41, pp. 576-579, 1969.
- [26] J. Brownridge, «The Role of an Asphalt Rejuvenator in Pavement Preservation: Use and Need for Asphalt Rejuvenation,» %1 Compendium of Papers from the First International Conference on Pavement Preservation, *Newport Beach, CA*, 2010, 13-15 April.
- [27] German Asphalt Pavement Association, «Recycling of Asphalt,» *German Asphalt Pavement Association*,

Bonna, 2011.

- [28] T. Bennert, E. Sheehy, R. Blight un S. Gresavage, «Implementation of Performance-Based Specifications for Asphalt Mix Design and Production Quality Control for New Jersey,» %1 TRB Circular E-C189: Application of Asphalt Mix Performance-Based Specifications, Washington, D.C., USA, 2014.
- [29] F. Zhou, S. Hu, G. Das un T. Scullion, «High RAP mixes design methodology with balanced performance,» Texas DOT, Austin, Tx, USA, 2011.
- [30] F. Zhou, T. Scullion, L. Walubita un B. Wilson, «Implementation of a Performance-Based Mix Design System in Texas,» %1 TRB Circular E-C189: Application of Asphalt Mix Performance-Based Specification, Washington, D.C., USA, 2014.
- [31] J. Harvery, W. Rongzong, J. Signore, I. Basheer, S. Holikatti, P. Vacura un T. J. Holland, «Performance-Based Specifications. California Experience to Date,» %1 Transportation Research Board Circular E-C 189, Washington, D.C., USA, 2014.
- [32] E. V. d. Kerkhof, «Warm Waste Asphalt Recycling in Belgium - 30 Years of Experience and Full Confidence in the Future,» %1 5th Euroasphalt & Eurobitume Congress, Istambul, Turkey, 13-15th June, 2012.
- [33] C. Estakhri, C. Spiegelman, B. Gajewski, G. Yang un D. Little, «Recycled Hot-Mix Asphalt Concrete in Florida: A Variability Study,» Untenational Center for Aggregates Research, Austin, TX, 1999.
- [34] R. C. West, «Summary of NCAT Survey of RAP Management Prctices and RAP Variability,» National Center of Asphalt Technology, Auburn, AL, 2008 Jul.
- [35] J. Brock un J. Richmond, «Milling and Recycling,» ASTEC, Inc., Chattanooga, TN, 2007.
- [36] K. Hansen un D. Newcomb, «Asphalt pavement mix production surver on reclaimed asphalt pavement, reclaimed asphalt shingles, and warm-mix asphalt usage,» National Asphalt Pavement Association, Lunham, MD, USA, 2011.
- [37] F. Zhou, G. Das, T. Scullion un S. Hu, «RAP stockpile Management and Proccession in Texas: State of the Practice and Proposed Guidelines,» Texas Department of Transportation, Austin, TX, 2010 Feb.
- [38] C. J. Arnold, M. Nolting, G. Riebensehl un C. Denck, «Unlocking the Full Potential of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) - High Quality Asphalt Courses Incorporating More Then 90% RAP: a Case Study,» %1 5th Euroasphalt & Eurobitume Congress, Istanbul, Turkey, 13-15th June 2012.
- [39] NCAT, «LTPP Data SHows RAP Mixes Perform as Well as Virgin Mixes,» National Center for Asphalt Technology, Auburn, AL, 2009.
- [40] N. H. Tran, A. Taylor un R. Willis, «Effect of Rejuvenator on Performance Properties of HMA Mixtures with High RAP and RAS Contents,» National Center for Asphalt Technology, Auburn, AL, 2012.

- [41] S. P. DeKold un S. N. Amirkhanian, «Reuse of Moisture-damaged Asphaltic Concrete Pavements,» Transportation Research Record, nr. 1337, pp. 79-88, 1992.
- [42] W. S. Mogawer, T. Bennert, J. S. Daniel, R. Bonaquist, A. Austerman un A. Booshehrian, Performance Characteristics of Plant Produced High RAP Mixtures, sēj. 13 (1), Transportation Pooled Fund Program, 2012, pp. 183-208.
- [43] A. Shah, R. S. McDaniel, G. A. Huber un V. L. Gallivan, «Investigation of Properties of Plant-Produced RAP Mixtures,» Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, nr. 1998, pp. 103-111, 2007.
- [44] European Chemicals Agency, «Support document for identification of Coal Tar Pitch, High Temperature as a SVHC because of its PBT and CMR properties.,» European Environment Agency, 2009.
- [45] Garman Environmental Agency, «Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Harmful to the Environment! Toxic! Inevitable?,» Garman Environmental Agency, Dessau-Roßlau, 2016.
- [46] AASHTO, «Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice,» American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 2008.
- [47] B. Huang, X. Shu un Y. Tang, «Comparison of semi-circular bending and indirect tensile tests for HMA mixtures,» %1 Advances in Pavement Engineering, Austin, TX, US, 2005.
- [48] L. Mohammad, «Fatigue Growth Analysis of Hot-Mix Asphalt Employing Semicircular Notched Bend Specimen,» %1 Transportation Research Board 85th Annual Meeting, Washington, DC, 2006.
- [49] M. Kim, L. N. Mohammad, H. Challa un M. A. Elseifi, «A simplified performance-based specification for asphalt pavements,» Road Materials and Pavement Design, p. DOI: 10.1080/14680629.2015.1077005, 2015.
- [50] M. O. Marasteanu, X. Li, T. R. Clyne, V. R. Voller, D. H. Timm un D. E. Newcomb, «Low Temperature Cracking of Asphalt Concrete Pavements,» Minnesota Department of Transportation, St. Paul, MN, USA, 2004.
- [51] NCHRP and Texas A&M Transportation institute, «Cracking tests workshop,» 11-12 February 2015. [Tiešsaiste]. Available: http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP09-57_TestBooklet.pdf. [Piekļūts 04 04 2016].
- [52] G. Caumette, C.-P. Lienemann, I. Merdrignac, B. Bouyssiere un R. Lobinski, «Element speciation analysis of petroleum and related materials,» Journal of Analytical Atomic Spectrometry, sēj. 24, pp. 263-276, 2009.
- [53] M. Zaumanis, R. Mallick un R. Frank, «Determining Optimum Rejuvenator Dose for Asphalt Recycling Based on Superpave Performance Grade Specifications,» Construction and Building Materials, sēj. 69, nr. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.07.035, pp. 159-166, 2014.
- [54] R. Anderson, G. N. King, D. I. Hanson un P. B. Blaneship, «Evaluation of the relationship between asphalt

binder properties and non-load related cracking,» Asphalt Paveing Technology, sēj. 60, pp. 615-664, 2011.

[55] *R. E. Brown, P. S. Khandal, F. L. Roberts, D.-Y. Lee un T. W. Kennedy, Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction, Lunham, MD: NAPA Research and Education Foundation, 2009.*

PIELIKUMI

FRĒZĒTĀ ASFALTA PĀRVALDĪBA