LATVIJAS
VALSTS CEĻI

Aukstās reciklēšanas metodikas pilnveidošana

Rīga, 2021

LATVIJAS VALSTS CEĻI

Pētījums

Aukstās reciklēšanas metodikas pilnveidošana

Izpildītājs	**SIA "Ceļu eksperts"**
Juridiskā adrese	Aveņu iela 1, Ikšķile, Ikšķiles novads, LV5052
Reģistrācijas numurs	40003876635
Tālrunis	+371 67255696
E-pasts	celueksperts@celueksperts.lv
Darba vadītājs	Aigars Strežs

Pasūtītājs	**VSIA "Latvijas Valsts ceļi"**
Reģistrācijas numurs	40003344207
Juridiskā adrese	Gogoļa iela 3, Rīga, LV-1051
Līguma Nr.	LVC2020/1.8./AC/366
Stadija	Nobeiguma ziņojums

LATVIJAS VALSTS CEĻI

Darba kopsavilkums

Pētniecības projekta nosaukums: **Aukstās reciklēšanas metodikas pilnveidošana**		
Līguma numurs	LVC2020/1.8/AC/366	
Līguma slēgšanas datums	15.07.2020.	
Pētniecības projekta stadija	Nobeiguma ziņojums	
Starpziņojumu kopējais skaits	1	
Ziņojuma nodošanas datums	01.04.2021.	
Pētniecības projekta stadijas izstrādes periods	01.12.2020. – 01.04.2021.	
Lappušu skaits	164	
Pētniecības programma JAUNU TEHNOLOĢIJU IZPĒTES PROGRAMMA 2020. - 2022. GADAM		
Pētniecības projekta izpildītāji	Zinātniskais grāds, vārds, uzvārds	Paraksts
Pētniecības projekta vadītājs	Aigars Strežs	
Pētnieks	Romans Pumpass	
Pētnieks	Atis Zariņš	
Projektu finansē	VAS "Latvijas Valsts ceļi" / Satiksmes ministrija	
Partneri	Rīgas Tehniskā universitāte	
Īss apraksts Izvērtētas Ceļu specifikācijās ar cementu saistītām kārtām šobrīd noteiktās prasības. Analizēta ar cementu saistītu kārtu ietekme uz asfalta seguma iespējamu plaisāšanu. Pilnveidota hidrauliski saistītu maisījumu ar cementu paraugu ņemšanas un paraugu sagatavošanas testēšanas metodika, Precizētas hidrauliski saistītu maisījumu ar cementu spiedes stiprības prasību vērtības un diapazons. Pilnveidotas specifikācijas būvdarbu izpildei, kā arī Rokasgrāmata. Izstrādāta minerālmateriālu maisījumu ar bitumena saistvielām projektēšanas metodika un specifikācijas būvdarbu izpildei		
Pielietojums / pētījuma sfēra	Ar saistvielām saistītas ceļa segas nesošās kārtas	
Papildus izstrādātie materiāli	Labojumi un izmaiņas Ceļu specifikācijās.	

Kopsavilkums

Pētījuma galvenie mērķi – pilnveidot izpratni, un precizēt un noteikt prasības par aukstās pārstrādes maisījumiem:

- ar hidrauliskajām saistvielām saistītām ceļa segas pamatu kārtām;
- ar bitumena saistvielām saistītām ceļa segas pamatu kārtām;
- tai skaitā izvērtējot atgūtā (reciklētā) asfalta pielietošanu.

Apskatot aukstās pārstrādes maisījumu projektēšanas un būvniecības pieredzi Eiropā, tika konstatēts, ka laboratorijas paraugu izgatavošanai pārsvarā tiek izmantotas Maršala vai Proktora, vai tām līdzīgu izmēru veidnes, paraugus attiecīgi sablīvējot ar Maršalu vai Proktoru, arī žiratoru, vibroblieti vai statisku slodzi. Pieejas dažādās valstīs pārsvarā ir līdzīgas, bet prasības un realizējamā testēšana pa valstīm vai valstu grupām ir atšķirīgas. Līdzīgas prasības un testēšanas metodikas ir, piemēram, Anglijā un Īrijā, Spānijā un Portugālē, Vācijā (un Lietuvā).

Tika apsekoti pēdējos gados uzbūvēti objekti ar hidrauliski saistītām ceļa segas pamatu kārtām. Objektos, kuros tika konstatēti asfalta seguma defekti, veikti mērījumi, t.sk. ar krītošā svara deflektometru (FWD), un testēšana (spiedes stiprība, ūdens absorbcija, salizturība u.c.), kā rezultātā identificēti iespējamie defektu cēloņi. Ir konstatēts, ka apsekotajos objektos defektu iemesli visticamāk nav saistāmi ar cementa izmantošanu kā tādu, bet gan ar nepietiekamu atjaunotās ceļa segas un pamata kopējo nestspēju (kas var būt gan kā būvniecības rezultāts, gan kā apkārtējās vides ietekme), vai paaugstinātu mitruma iedarbību zemes klātnes augšējā daļā un citviet, vai citiem apstākļiem vai to kopumu.

Tika veikta vairāku būvobjektu apsekošana būvdarbu izpildes laikā, kur tika būvētas ar cementu saistītas ceļa segas pamatu kārtas. Tika ņemti un testēti paraugi, lai analizētu paraugu ņemšanas un sadalīšanas procedūras, identificētu ar to saistītās nelabvēlīgās ietekmes un faktorus, kā arī salīdzinātu dažādu laboratorijas sablīvējumu (Proktors un modificētais Proktors), un dažāda izmēra veidņu (100 mm un 150 mm) ietekmi uz testēšanas rezultātiem. Konstatēts, ka neatkarīgi no sablīvējuma pakāpes un veidnes izmēra, salizturību raksturojošie rezultāti ir līdzīgi. Bet lielāks sablīvējums vai lielāka izmēra veidnes lietošana, dod augstākas spiedes stiprības vērtības. Savukārt paraugu ņemšanas un sadalīšanas

procedūras, lai varētu izgatavot reprezentatīvus paraugus testēšanai, ir iespējams realizēt drošā veidā, bez kādiem īpašiem pasākumiem, bet ievērojot ne pārāk sarežģītu procedūru, kura attiecīgi tika izstrādāta pētījuma ietvaros.

Lai novērtētu gan dažādu veidņu izmērus, gan dažādas paraugu izgatavošanas metodes, gan dažādus paraugu kondicionēšanas režīmus, t.sk. temperatūras, attiecīgi tika realizēta testēšanas programma laboratorijā. Laboratorijas testiem tika sagatavoti maisījumi gan ar granti, gan dolomītu, gan atgūto (reciklēto) asfaltu. Kā saistvielas tika izmantots cements, kaļķis, putu bitumens un bitumena emulsija. Testētas tika ne tikai šādu aukstās pārstrādes maisījumu tipiskās īpašības, kā spiedes stiprība un netiešā stiepes stiprība, bet arī riteņa sliede, elastības modulis, nogrumizturība un stingums, plaisu veidošanās īpašības.

Tika aprobēti izgatavoto paraugu dažādi kondicionēšanas režīmi, novērtēta to ietekme. Galvenās atziņas:

- ar hidrauliskajām saistvielām saistītu maisījumu laboratorijas paraugus jākondicionē 90-100 % mitrumā, kā tas arī šobrīd ir prasīts un tiek darīts, kas nozīmē, ka uzbūvēta kārta ir jāaizsargā no mitruma zuduma vai regulāri jāmitrina, tas ļaus nodrošināt vislabākos sablīvēta maisījuma cietēšanas apstākļus;
- ar bitumena saistvielām saistītu maisījumu laboratorijas paraugus jākondicionē sausā vidē, kas nozīmē, ka uzbūvētai kārtai ir jāļauj izžūt un lieka mitruma piesaistīšana nebūtu vēlama, kā arī nebūtu pareizi nekavējoši būvēt nosedzošo kārtu;
- salizturības novērtējumam ar bitumena saistvielām saistītiem maisījumiem ir pietiekami paraugus pēc to kondicionēšanas sausā vidē pirms testēšanas iegremdēt (izturēt) ūdenī.

Pakļaujot paraugus rišu veidošanās testēšanai tika konstatēts, ka jebkādi maisījumi, kuru sastāvā ir vismaz 1 % cements, uzrāda ļoti labu pretestību pret rišu veidošanos arī karstā asfalta paraugu pārbaudes režīmā 60 ℃.

Maisījumi ar bitumena saistvielām (+ cements) uzrāda labu pretestību pret plaisu veidošanos.

Pētījuma rezultātā papildinātas specifikācijas hidrauliski saistītu aukstās pārstrādes kārtu būvniecībai, izstrādātas specifikācijas ar bitumena saistvielām (+ cements) saistītu aukstās pārstrādes kārtu būvniecībai, kā arī izstrādāti nepieciešamie papildinājumi un precizējumi rokasgrāmatai "Ceļa segas pamatu pastiprināšana ar hidrauliskajām saistvielām".

Summary

The main objectives of the study are to improve understanding and to clarify and define requirements for cold processed mixtures:

- hydraulic binder bound pavement base layers;
- bituminous binders bound pavement base layers;
- including evaluating the use of recovered (recycled) asphalt.

Examining the experience of designing and building cold processing mixtures in Europe, it was found that Marshall or Proctor or similar molds are mostly used for laboratory samples, compacting the samples with Marshall or Proctor, and also with a gyrator, vibratory or static load. Approaches are generally similar in different countries, but the requirements and testing differ from country to country or group of countries. Similar requirements and test methodologies exist in, for example, England and Ireland, Spain and Portugal, Germany (and Lithuania).

Objects built in recent years with hydraulically bound pavement layers were surveyed. At the objects where asphalt pavement defects were detected were performed measurements, incl. with a falling weight deflectometer (FWD), and testing (compressive strength, water absorption, frost resistance, etc.) to identify possible causes of defects. It has been found that the causes of defects in the surveyed objects are not likely to be related to the use of cement as such, but to the insufficient total load-bearing capacity of the restored pavement and foundation (which may be both construction and environmental impact) or increased moisture exposure in the upper part of subgrade, or other circumstances or a combination thereof.

A number of construction sites were inspected during the construction works, where cement bound road pavement base layers were built. Samples were taken and tested to analyze sampling and splitting procedures, to identify associated adverse effects and factors, and to compare the effects of different laboratory compaction (Proctor and modified Proctor) and different sized molds (100 mm and 150 mm) on the test results. It was found that regardless of the degree of compaction and the size of the mold, the frost resistance results are similar. But a higher compaction or the use of a larger size mold gives higher values of

compressive strength. On the other hand, the sampling and splitting procedures in order to be able to produce representative samples for testing can be carried out in a safe way, without any special measures, but following a not too complicated procedures, which was developed in the framework of the study.

In order to evaluate the sizes of different molds, different sample preparation methods, and different sample conditioning methods, incl. temperatures, a laboratory testing program was implemented accordingly. Mixtures with gravel, dolomite and recovered (recycled) asphalt were prepared for laboratory tests. Cement, lime, foamed bitumen and bitumen emulsion were used as binders. Not only the typical properties of cold-processed mixtures such as compressive strength and indirect tensile strength, but also the wheel tracking, modulus of elasticity, shear strength and stiffness, crack formation properties were tested.

Different conditioning modes of the prepared samples were tested, their impact was evaluated. Key findings:

- laboratory samples of hydraulic binder mixtures should be conditioned at 90-100% humidity, as is currently required and done, which means that the constructed layer must be protected from moisture loss or regularly moistened, this will ensure the best curing conditions for the compacted mixture;
- laboratory samples of bituminous binder mixtures should be conditioned in a dry environment, which means that the constructed layer should be allowed to dry and the addition of excess moisture would not be desirable, and it would not be appropriate to build the cover immediately;
- for the assessment of frost resistance, mixtures containing bituminous binders have sufficient samples to be immersed in water after conditioning in a dry environment before testing.

When subjecting the samples to wheel trucking, it was found that any mixtures containing at least 1 % cement show very good resistance to rutting, even in the hot asphalt sample test mode of 60 ℃.

Mixtures with bituminous binders (+ cement) show good resistance to crack formation.

As a result of the research, the specifications for the construction of hydraulically bound cold processing layers have been supplemented, specifications for the construction of bituminous binders (+ cement) bound cold processing layers have been developed, as well as the necessary additions and clarifications to the manual "Reinforcement of road pavement foundations with hydraulic binders" have been done.

Satura rādītājs

Attēlu saraksts 12
Tabulu saraksts 15
Ievads 16
1 Ārvalstu pieredze 19
1.1 Lietotās aukstās reciklēšanas tehnoloģijas 19
1.2 Aukstās reciklēšanas maisījumi 21
1.3 Saistvielas 22
1.4 Prasības reciklēto maisījumu projektēšanai 23
2 Realizētais testēšanas un mērījumu plāns 28
2.1 Testēšana iepriekšējos gados uzbūvētos objektos 28
2.2 Testēšana hidrauliski saistītu kārtu ar cementu būvniecības laikā 29
2.3 Reciklētu maisījumu projektēšana laboratorijā 30
2.3.1 Izejmateriālu testēšana 30
2.3.2 Ar cementu saistītu reciklētu maisījumu sastādīšana un testēšana 31
2.3.3 Ar bitumena saistvielām saistītu reciklētu maisījumu sastādīšana un testēšana 32
3 Iepriekšējos gados uzbūvētu objektu apsekošanas un testēšanas rezultāti 35
3.1 A/c A2 Rīga – Sigulda – Igaunijas robeža (Veclaicene) 21,80-23,90 km, kreisā brauktuve 37
3.1.1 A/c A2 posma apsekošana un paraugu ņemšana 37
3.1.2 A/c A2 mērījumu un paraugu testēšanas rezultāti 39
3.1.3 A/c A2 posma būvobjekta dokumentācija 40
3.1.4 A/c A2 FWD mērījumu rezultāti 40
3.1.5 A/c A2 21,90-23,90 km, kreisā brauktuve, atzinums par segas konstrukciju 44
3.2 A/c A3 Inčukalns – Valmiera – Igaunijas robeža (Valka) 53,0-55,0 km 44
3.2.1 A/c A3 posma apsekošana un paraugu ņemšana 44
3.2.2 A/c A3 mērījumu un paraugu testēšanas rezultāti 45
3.2.3 A/c A3 posma būvobjekta dokumentācija 46
3.2.4 A/c A3 FWD mērījumu rezultāti 46
3.2.5 A/c A3 53,0-55,0 km atzinums par segas konstrukciju 46
3.3 A/c A5 Rīgas apvedceļš (Salaspils – Babīte) 33,78-35,0 km 46
3.3.1 A/c A5 posma apsekošana un paraugu ņemšana 46
3.3.2 A/c A5 mērījumu un paraugu testēšanas rezultāti 48
3.3.3 A/c A5 posma būvobjekta dokumentācija 48
3.3.4 A/c A5 FWD mērījumu rezultāti 49
3.3.5 A/c A5 33,78-35,0 km atzinums par segas konstrukciju 53
3.4 A/c A9 Rīga (Skulte) – Liepāja 9,9-22,9 km 53
3.4.1 Apsekošana 53
3.5 A/c A9 Rīga (Skulte) – Liepāja 79,3-97,58 km 53
3.5.1 Apsekošana 53
3.6 A/c A9 Rīga (Skulte) – Liepāja 148,59-163,28 km 54
3.6.1 Apsekošana 54
3.7 A/c A11 Liepāja – Lietuvas robeža (Rucava) 21,85-45,02 km 54
3.7.1 A/c A11 posma apsekošana un paraugu ņemšana 54
3.7.2 A/c A11 mērījumu un paraugu testēšanas rezultāti 56
3.7.3 A/c A11 posma būvobjekta dokumentācija 56
3.7.4 A/c A11 FWD mērījumu rezultāti 56
3.7.5 A/c A11 21,85-45,02 km atzinums par segas konstrukciju 60
3.8 A/c P30 Cēsis – Vecpiebalga – Madona 24,5-38,0 km 60
3.8.1 Apsekošana 60
3.9 A/c P39 Alūksne – Ape 20,0-22,2 km 61
3.9.1 A/c P39 posma apsekošana un paraugu ņemšana 61
3.9.2 A/c P39 mērījumu un paraugu testēšanas rezultāti 62
3.9.3 A/c P39 posma būvobjekta dokumentācija 63
3.9.4 A/c P39 FWD mērījumu rezultāti 63
3.9.5 A/c P39 20,0-22,2 km atzinums par segas konstrukciju 64
4 Ar cementu saistītu kārtu apsekošana un testēšana būvdarbu izpildes laikā 65
4.1 Objekts A 65
4.1.1 Objektā A paredzētais un faktiski realizētais reciklēšanas risinājums 65
4.1.2 Reciklētā maisījuma paraugu ņemšana 65
4.1.3 Testēšanas rezultāti 66

4.2 Objekts B ... 71
4.2.1 Objektā B paredzētais un faktiski realizētais reciklēšanas risinājums ... 71
4.2.2 Reciklētā maisījuma paraugu ņemšana ... 71
4.2.3 Testēšanas rezultāti ... 72
4.3 Objekts C ... 76
4.3.1 Objektā C paredzētais un faktiski realizētais reciklēšanas risinājums ... 76
4.4 Reciklētā maisījuma paraugu ņemšana ... 77
4.4.1 Testēšanas rezultāti ... 78
4.5 Objektu datu apkopojums ... 82
5 Ar saistvielām saistītu reciklētu maisījumu projektēšana ... 85
5.1 Izejmateriālu atlase un testēšana ... 85
5.2 Reciklētu maisījumu sausais tilpuma blīvums, optimālais mitrums un TNI ... 89
5.3 Reciklētu maisījumu ar cementu sastādīšana un testēšana ... 91
5.3.1 Sastādītu maisījumu spiedes stiprības un ITS testēšana ... 91
5.3.2 Izejmateriālu ar cementu spiedes stiprības un ITS testēšana ... 94
5.3.3 Ūdens absorbcijas testēšana ... 94
5.3.4 Testēšanas rezultātu apkopojums ... 95
5.4 Reciklētu maisījumu ar bitumena saistvielām sastādīšana un testēšana ... 98
5.4.1 Paraugu sablīvēšana ar Maršalu, d = 100 ... 98
5.4.2 Reciklētu maisījumu ar bitumena saistvielām paraugu izgatavošana ar presi ... 100
5.4.3 Reciklētie maisījumi ar putu bitumenu un cementu ... 103
5.4.4 Reciklētie maisījumi ar bitumena emulsiju un cementu ... 108
5.4.5 Spiedes stiprība, apkopojums, maisījumi ar bitumena saistvielām ... 111
5.4.6 Reciklēto maisījumu ar bitumena saistvielām kondicionēšana dažādos režīmos ... 112
5.4.7 Reciklētu maisījumu ar bitumena saistvielām poru saturs ... 114
5.4.8 Reciklētu maisījumu projekti saskaņā ar Wirtgen metodiku ... 116
5.4.9 Riteņa sliedes testēšana reciklētiem maisījumiem ar bitumena saistvielām ... 121
5.5 Pretestība liecei ... 124
5.6 Elastības modulis ... 127
5.7 Noguruma izturība un stingums ... 131
5.8 Plaisu veidošanās īpašības ... 138
6 Datu analīze ... 139
6.1 Ekspluatācijā esošo objektu analīze ... 139
6.2 Būvdarbu veikšanas analīze ... 141
6.3 Laboratorijā sagatavotu maisījumu analīze ... 142
6.3.1 Maisījumi ar cementu ... 142
6.3.2 Maisījumi ar bitumena saistvielām ... 143
7 FWD mērījumu izmantošanas iespējas reciklēto kārtu izbūves kvalitātes novērtēšanai 145
8 Frēzēta asfaltbetona pielietošanas izvērtējums ... 148
9 Kopsavilkums un atziņas ... 154
10 Priekšlikumi labojumiem un precizējumiem Ceļu specifikācijās ... 158
11 Izmantotā literatūra ... 161
12 Pielikumi (elektroniski) ... 164

Attēlu saraksts

Attēls 3-1 Izurbto paraugu sērija a/c A2 21,80 km, kreisā brauktuve, vidējā josla, brauktuves malā 37
Attēls 3-2 Ceļa segas šurfs 1 m dziļumā a/c A2 23,90 km, kreisā brauktuve, malējā josla, brauktuves malā 38
Attēls 3-3 Šurfs 23,31 km 38
Attēls 3-4 No ceļa segas izurbto paraugu testēšanas rezultāti 23,9 km 39
Attēls 3-5 Sazāģēti izurbtie paraugi no reciklētās kārtas 23,9 km 39
Attēls 3-6 Pēc FWD mērījumu rezultātiem uz A2 noteiktie E_{surf} pēc izbūves 2016. gadā un 2020. gadā 41
Attēls 3-7 No FWD datiem atvasinātie segas ielieču parametri ceļam A2 43
Attēls 3-8 Izurbtie paraugi a/c A3 53,85 km, kreisā josla, vidū 45
Attēls 3-9 a/c A5 34,45 km, labā josla, garenplaisas rišu vietā 47
Attēls 3-10 No ceļa segas izurbto paraugu testēšanas rezultāti 33,97 km 48
Attēls 3-11 Sazāģēti izurbtie paraugi no reciklētās kārtas 33,97 km 48
Attēls 3-12 Pēc FWD mērījumu rezultātiem uz A5 noteiktie E_{surf} 2018. gadā un 2020. gadā 50
Attēls 3-13 No FWD datiem atvasinātie segas ielieču parametri ceļam A5 52
Attēls 3-14 a/c A11 Garenplaisa un šķērsplaisas 30,75 km 55
Attēls 3-15 Ceļa segas šurfs 1 m dziļumā a/c A11 29,64 km, labā josla, vidū 55
Attēls 3-16 Pēc FWD mērījumu rezultāta uz A11 noteiktie E_{surf} 2018 .gadā un 2020. gadā 57
Attēls 3-17 No FWD datiem atvasinātie segas ielieču parametri ceļam A11 59
Attēls 3-18 a/c P39 20,5 km labā josla, plaisas 61
Attēls 3-19 Ceļa segas šurfs 1 m dziļumā a/c P39 20,48 km, labā josla, vidū 62
Attēls 3-20 No ceļa segas izurbto paraugu testēšanas rezultāti 20,48 km 62
Attēls 3-21 No ceļa segas izurbto paraugu testēšanas rezultāti 21,55 km 63
Attēls 3-22 Izurbtie paraugi no reciklētās kārtas 63
Attēls 4-1 Paraugu sablīvēšana ar rokas Proktoru 66
Attēls 4-2 Laboratorijā sagatavotu paraugu spiedes stiprība, Proktora blīvums, mitrums un ūdens absorbcija. Objekts A 67
Attēls 4-3 Objektā A izurbto paraugu īpašības 68
Attēls 4-4 Sabrucis paraugs. Neiztur sasaldēšanas – atkausēšanas ciklus 70
Attēls 4-5 Reciklēšana ar recikleri uz vietas būvobjektā 71
Attēls 4-6 Izurbto paraugu vietu aizpildīšana 72
Attēls 4-7 Laboratorijā sagatavotu paraugu spiedes stiprība, Proktora blīvums, mitrums un ūdens absorbcija. Objekts B 73
Attēls 4-8 Objektā B izurbto paraugu īpašības 74
Attēls 4-9 Spiedes stiprības testēšana 75
Attēls 4-10 Reciklētā maisījuma samaisīšana, iekraušana 77
Attēls 4-11 Reciklētā maisījuma parauga sadalīšana ar šķīrējkārbu 78
Attēls 4-12 Laboratorijā sagatavotu paraugu spiedes stiprība, Proktora blīvums, mitrums un ūdens absorbcija. Objekts C 79
Attēls 4-13 Objektā C izurbto paraugu īpašības 80
Attēls 4-14 Paraugu virsma sagatavota spiedes stiprības testēšanai 81
Attēls 4-15 Spiedes stiprība un tilpuma blīvums, apkopojums 82
Attēls 4-16 Mitrums un ūdens absorbcija, apkopojums 84
Attēls 5-1 Grants, frēzēta asfalta un smilts maisījums (45/45/10) 86
Attēls 5-2 Dolomīta, frēzēta asfalta un smilts maisījums (45/45/10) 87
Attēls 5-3 Sausais tilpuma blīvums un optimālais mitrums 89
Attēls 5-4 Tūlītējais nestspējas rādītājs 90
Attēls 5-5 Sastādīta maisījuma – grants vai dolomīta maisījums / frēzēts asfalts / smilts proporcijās 45/45/10 % netiešā stiepes stiprība. Cementa saturs 2 % 91

Attēls 5-6 Sastādīta maisījuma – grants vai dolomīta maisījums / frēzēts asfalts / smilts proporcijās 45/45/10 % netiešā stiepes stiprība. Cementa saturs 4 %.... 92
Attēls 5-7 Sastādīta maisījuma – grants vai dolomīta maisījums / frēzēts asfalts / smilts proporcijās 45/45/10 % spiedes stiprība. Cementa saturs 2 %.... 92
Attēls 5-8 Sastādīta maisījuma – grants vai dolomīta maisījums / frēzēts asfalts / smilts proporcijās 45/45/10 % spiedes stiprība. Cementa saturs 4 %.... 93
Attēls 5-9 Izejmateriālu (grants, dolomīts, frēzēts asfalts) ar 2 % un 4 % cementu ITS un spiedes stiprība sablīvējot ar Proktoru B veidnē.... 94
Attēls 5-10 Ūdens absorbcija.... 95
Attēls 5-11 Spiedes stiprība un ITS.... 95
Attēls 5-12 ITS vērtība procentos no spiedes stiprība.... 96
Attēls 5-13 Ūdens absorbcija un spiedes stiprība pēc 28 dienām.... 96
Attēls 5-14. Ūdens absorbcija un spiedes stiprība pēc 28 dienām un 10 salumkusumizturības cikliem.... 97
Attēls 5-15 Maršala tilpuma blīvums un poru saturs.... 99
Attēls 5-16 Reciklēta maisījuma sastāvs – grants/cements/bitumena emulsija.... 99
Attēls 5-17 Reciklēta maisījuma Maršala paraugi.... 100
Attēls 5-18 Paraugu izgatavošanas veidne un slogošanas režīms saskaņā ar Lietuvas ceļu administrācijas tehniskajiem noteikumiem [19], [20].... 101
Attēls 5-19 Parauga sablīvēšanas process ar betona presi Proktora B veidnē ar papildus gredzenu.... 102
Attēls 5-20 Sausais tilpuma blīvums.... 102
Attēls 5-21 Netiešā stiepes stiprība (ITS).... 103
Attēls 5-22 Sausais tilpuma blīvums, G/F/S, cements 1,5 %, putu bitumens 4 %.... 104
Attēls 5-23 Spiedes stiprība, G/F/S, cements 1,5 %, putu bitumens 4 %.... 104
Attēls 5-24 Netiešā stiepes stiprība (ITS), G/F/S, cements 1,5 %, putu bitumens 4 %.... 104
Attēls 5-25 Sausais tilpuma blīvums, D/F/S, cements 1,5 %, putu bitumens 4 %.... 105
Attēls 5-26 Spiedes stiprība, D/F/S, cements 1,5 %, putu bitumens 4 %.... 105
Attēls 5-27 Netiešā stiepes stiprība (ITS), D/F/S, cements 1,5 %, putu bitumens 4 %.... 105
Attēls 5-28 Sausais tilpuma blīvums, G/F/S, cements 2,5 %, putu bitumens 4 %.... 106
Attēls 5-29 Spiedes stiprība, G/F/S, cements 2,5 %, putu bitumens 4 %.... 106
Attēls 5-30 Netiešā stiepes stiprība (ITS), G/F/S, cements 2,5 %, putu bitumens 4 %.... 106
Attēls 5-31 Sausais tilpuma blīvums, D/F/S, cements 2,5 %, putu bitumens 4 %.... 107
Attēls 5-32 Spiedes stiprība, D/F/S, cements 2,5 %, putu bitumens 4 %.... 107
Attēls 5-33 Netiešā stiepes stiprība, D/F/S, cements 2,5 %, putu bitumens 4 %.... 107
Attēls 5-34 Sausais tilpuma blīvums, G/F/S, 1,5 % cements, 5,0 % bitumena emulsija.... 108
Attēls 5-35 Spiedes stiprība, G/F/S, 1,5 % cements, 5,0 % bitumena emulsija.... 109
Attēls 5-36 Netiešā stiepes stiprība – G/F/S, 1,5 % cements, 5,0 % bitumena emulsija.... 109
Attēls 5-37 Sausais tilpuma blīvums, G/F/S, 2,5 % cements, 5,0 % bitumena emulsija.... 109
Attēls 5-38 Spiedes stiprība, G/F/S, 2,5 % cements, 5,0 % bitumena emulsija.... 110
Attēls 5-39 Netiešā stiepes stiprība (ITS), G/F/S, 2,5 % cements, 5,0 % bitumena emulsija.. 110
Attēls 5-40 Maisījumu ar bitumena saistvielām spiedes stiprība, apkopojums.... 111
Attēls 5-41 Maisījumu ar cementu spiedes stiprība, salīdzinājumam.... 111
Attēls 5-42 ITS rezultāti paraugiem ar dažādu kondicionēšanas režīmu.... 113
Attēls 5-43. Reciklētu maisījumu ar bitumena saistvielām poru saturs.... 114
Attēls 5-44 Spiedes stiprība un poru saturs.... 115
Attēls 5-45 ITS un poru saturs, visi maisījumi.... 115
Attēls 5-46 ITS un poru saturs atsevišķi pa maisījumiem.... 116
Attēls 5-47 Tilpuma blīvums.... 117
Attēls 5-48 Netiešā stiepes stiprība (ITS).... 117
Attēls 5-49 Sagatavots sadalīts maisījums.... 118
Attēls 5-50 Tilpuma blīvums.... 118
Attēls 5-51 Netiešā stiepes stiprība (ITS).... 119
Attēls 5-52 Paraugs trīsasu testam, iekārta un process.... 120
Attēls 5-53 Trīsasu testa rezultāti.... 121

Attēls 5-54 Paraugu izgatavošana ar veltņa blīvētāju....122
Attēls 5-55 Riteņa sliedes veidošanās tests....123
Attēls 5-56 Izgatavotās sijas lieces pretestības testēšanai un lieces pretestības testēšana....124
Attēls 5-57 Pretestība liecei....125
Attēls 5-58 Paraugu lieces stiprības, netiešās stiepes stiprības un spiedes stiprības salīdzinājums....126
Attēls 5-59 Elastības modulis un spiedes stiprība ar cementu saistītiem maisījumiem....127
Attēls 5-60 Elastības modulis un spiedes stiprība ar bitumena saistvielām saistītiem maisījumiem....129
Attēls 5-61 Elastības moduļa un spiedes stiprības korelācija (visi maisījumi un saistvielas)....130
Attēls 5-62. Nogurumizturība....136

Tabulu saraksts

Tabula 2-1 Testēšanas plāns laboratorijā projektētiem maisījumiem. Apkopojums 34
Tabula 3-1 A/c A2 ceļa segas konstrukcija 38
Tabula 3-2 A/c A3 ceļa segas konstrukcija 45
Tabula 3-3 A/c A5 ceļa segas konstrukcija 47
Tabula 3-4 A/c A11 ceļa segas konstrukcija 56
Tabula 3-5. No ceļa izurbto paraugu testēšanas rezultāti 56
Tabula 3-6 A/c P39 ceļa segas konstrukcija 62
Tabula 5-1 Grants maisījuma 0/32 īpašības 87
Tabula 5-2 Dolomīta šķembu 0/32 īpašības 87
Tabula 5-3 Bitumena emulsijas īpašības 87
Tabula 5-4 Wirtgen rokasgrāmatās ieteiktie atbilstības novērtēšanas kritēriji 121
Tabula 5-5 Parauga 1B4C2,5 fizikālās īpašības 131
Tabula 5-6 Parauga 1B4C1,5 fizikālās īpašības 131
Tabula 5-7 Parauga 1E5C2,5 fizikālās īpašības 132
Tabula 5-8 Parauga 1B4C0 fizikālās īpašības 132
Tabula 5-9 Informācija par dinamiskā stinguma testēšanas apstākļiem 132
Tabula 5-10 Parauga 1B4C2,5 dinamiskais stingums 133
Tabula 5-11 Parauga 1B4C1,5 dinamiskais stingums 133
Tabula 5-12 Parauga 1E5C2,5 dinamiskais stingums 133
Tabula 5-13 Parauga 1B4C0 dinamiskais stingums 134
Tabula 5-14 Informācija par noguruma izturības testēšanas apstākļiem 134
Tabula 5-15 Parauga 1B4C2,5 noguruma izturība 134
Tabula 5-16 Paraugu 1B4C1,5 noguruma izturība 135
Tabula 5-17 Paraugu 1E5C2,5 noguruma izturība 135
Tabula 5-18 Paraugu 1B4C0 noguruma izturība 135
Tabula 5-19. Parauga no grants / frēzēta asfalta / smilts 45/45/10 maisījuma ar 5 % bitumena emulsiju un 2,5 % cementu testēšanas rezultāti 138
Tabula 5-20. Parauga no grants / frēzēta asfalta / smilts 45/45/10 maisījuma ar 4 % putu bitumenu un 2,5 % cementu testēšanas rezultāti 138
Tabula 8-1. Aprēķina piemērs izmaksu salīdzinājumam ar reciklētā asfalta atkārtotas izmantošanas potenciālo efektivitāti 152

Ievads

2020. gada 15. jūlijā noslēgts līgums Nr. LVC2020/1.8/AC/366 starp VAS "Latvijas Valsts ceļi" un SIA "Ceļu eksperts" par pētījuma "Aukstās reciklēšanas metodikas pilnveidošana" veikšanu.

Pēdējā desmitgadē autoceļu būvniecībā un pārbūvē Latvijā ceļu segu pamatu kārtās plaši tiek lietoti hidrauliski saistīti maisījumi ar cementu.

Praksē visai dažādi tiek interpretēta rīkošanās ar hidrauliski saistītu maisījumu paraugiem un to sagatavošanu testēšanai. Līdz ar to dažkārt izveidojas situācijas, kad viena un tā paša parauga dažādās laboratorijās iegūtie testēšanas rezultāti ir atšķirīgi. Arī sablīvēšanas režīms uz ceļa var atšķirties no sablīvēšanas režīma laboratorijā, līdz ar to uzbūvētās kārtas īpašības var atšķirties no projektētajām. Nenoliedzama ietekme ir arī materiālu izmēram, un gadījumos, kad uz vietas pārstrādājamie maisījumi satur liela izmēra rupjās daļas, tas neizbēgami var ietekmēt maisījuma projektēšanas rezultātu un kvalitātes kontroles iegūto datu attiecināšanu.

Ar cementu saistītas kārtas ir stingas, tāpēc nepieciešamas izvērtēt vai *Ceļu specifikācijās* šobrīd noteiktās prasības spiedes stiprībai nav pārāk augstas, vai arī pie kādas spiedes stiprības veidojas risks, ka asfalta kārtas nepieņemamā apjomā plaisā un tam par iemeslu ir pārāk stinga ar cementu saistīta apakšējā kārta.

Ceļu specifikācijās ir norādes, ka ceļu segu pamatu kārtās var tikt lietoti arī minerālmateriālu maisījumi ar bitumena saistvielām, bet šādu maisījumu izmantošana netiek praktizēta. *Ceļu specifikācijās* iekļautā maisījumu projektēšanas metodika, izmantojot bitumena saistvielas ir nepilnīga un pārāk nekonkrēta, kā arī nav definēti projektēšanas kritēriji. Minerālmateriālu maisījumi ar bitumena saistvielām ir elastīgi, kas pretstatā ar cementu saistītiem maisījumiem, kas ir stingi, var nodrošināt asfalta segu konstrukciju labāku ilgtspēju.

Līdz ar to pētījuma rezultātā izstrādāta minerālmateriālu maisījumu ar bitumena saistvielām detāla, Latvijā pielietojama, projektēšanas metodika, lai pavērtu

iespējas šādu maisījumu korektai praktiskai adaptācijai un izmantošanai jau tuvākajā nākotnē.

Izvirzītie pētījuma mērķi.

1. Noteikt hidrauliski saistīto pamatu kārtu īpašību ietekmi uz asfalta seguma kalpotspēju.
2. Pilnveidot un detalizēt hidrauliski saistītu maisījumu ar cementu paraugu ņemšanas un paraugu sagatavošanas testēšanai metodiku.
3. Precizēt hidrauliski saistītu maisījumu ar cementu paraugu izgatavošanas nosacījumus (veidnes izmērs, sablīvējums, materiālu izmēra ievērtēšana).
4. Analizēt, ja nepieciešams, precizēt vai noteikt hidrauliski saistītu maisījumu ar cementu spiedes stiprības prasību vērtības vai diapazonu.
5. Izstrādāt kritērijus minerālmateriālu maisījumu ar bitumena saistvielām (bitumena emulsija un/vai putu bitumens) projektēšanai.

Pētījuma ietvaros tika apsekoti vairāki pēdējos gados uzbūvēti objekti, kur uzbūvētas ar cementu saistītas segas pamatu kārtas, novērtēts seguma tehniskais stāvoklis, veikta objektu dokumentācijas analīze, veikti nestspējas mērījumi ar krītošā svara deflektometru (FWD), definēts konstatēto plaisu raksturs, veids un izcelsme, identificēti plaisu veidošanās cēloņi, t.sk. analizēta hidrauliski saistītu kārtu ietekme uz plaisu veidošanos asfalta segumā. Noņemti paraugi posmos ar plaisām asfalta segumā, kā arī atskaitei blakus posmos, kur nav plaisu defektu, un veikta testēšana saskaņā ar paraugu testēšanas programmu. Veikta rezultātu analīze.

Izstrādāta paraugu testēšanas programma katram izpētes posmam, iekļaujot arī testēšanas metodes papildus *Ceļu specifikācijās* lietotajām, kā, lieces stiprība, netiešā stiepes stiprība, elastības modulis, u.tml., identificējot potenciālo ietekmju faktoru akumulēšanos testēšanas rezultātos.

Vairākos būvobjektos, kur tika veikta hidrauliski saistītu kārtu ar cementu būvniecība, veikta objektu dokumentācijas analīze, paņemti maisījumu paraugi maisījuma iestrādes brīdī, veikta paraugu sadalīšana, fiksējot metodiku un laiku, identificējot ietekmes, mitruma zudumus, u.tml. Izgatavoti paraugi, interpretējot

sablīvējumu. Pēc tam šajās paraugu ņemšanas vietās pēc kārtas uzbūvēšanas izurbti paraugi, veikta paraugu testēšana atbilstoši izstrādātajai paraugu testēšanas programmai. Apkopoti testēšanas rezultāti un veikta to analīze.

Laboratorijā veikta hidrauliski saistītu maisījumu ar cementu sastādīšana. Paraugi sagatavoti ar dažādu sablīvējumu un dažādiem veidņu izmēriem. Veikta paraugu testēšana atbilstoši izstrādātajai paraugu testēšanas programmai. Analizētas ietekmes un to iedarbības nozīmīgums. Veikta visu iegūto datu un rezultātu apstrāde, un analīze. Izstrādāti ieteikumi, identificēti priekšnoteikumi, priekšrocības un trūkumi, hidrauliski saistītu maisījumu ar cementu turpmākai izmantošanai ceļu segu pamatu kārtās. Izstrādāti nepieciešamie labojumi un izmaiņas *Ceļu specifikācijās* un rokasgrāmatā *Ceļa segas pamatu pastiprināšana ar cementu*.

Veikts aukstās reciklēšanas ar bitumena saistvielām ārvalstu pieredzes apskats. Izpētītas paraugu sagatavošanas iespējas ar bitumena emulsiju un putu bitumenu. Apzinātas laboratorijas paraugu sagatavošanas ieviešanas iespējas Latvijā. Izstrādāta maisījumu ar bitumena saistvielām (bitumena emulsiju un putu bitumenu) testēšanas programma. Veikta maisījumu ar bitumena emulsiju, kā arī ar putu bitumenu projektēšana. Maisījumu un paraugu sagatavošanai izmantotas (nomātas) arī ārvalstu partnera (Wirtgen) iekārtas. Veikta paraugu testēšana atbilstoši izstrādātajai paraugu testēšanas programmai. Balstoties uz rezultātiem izstrādāti ar bitumena saistvielām saistītu maisījumu projektēšanas un atbilstības kritēriji. Izstrādāti nepieciešamie labojumi un izmaiņas *Ceļu specifikācijās*.

Definēti aukstās reciklēšanas ar cementu un ar bitumena saistvielām nākotnē pētāmie jautājumi.

Izvērtēts frēzēta asfaltbetona lietošanas aukstajā pārstrādē saimnieciskums un ietekme uz vidi, izvirzīti kritēriji racionālākam frēzētā asfalta pielietojumam.

Izvērtētas iespējas izmantot FWD aukstās reciklēšanas darbu kvalitātes kontrolei, balstoties uz kaimiņvalstu pieredzi.

1 Ārvalstu pieredze

Saskaņā ar *Report on available test and mix design procedures for cold-recycled bitumen stabilised materials, Deliverable D1.1, June 2014* apkopoto informāciju lielākajā daļā Eiropas valstu tiek lietota aukstā reciklēšana uz vietas objektā (> 90%). Auksto reciklēšanu var izmantot visu ceļa segas kārtu pārstrādē uz vietas objektā, gan pārstrādājot segas pamatu kārtas un papildkārtas, gan arī bituminētās segumu kārtas. Līdz ar to aukstajā reciklēšanā tiek izmantots arī no asfalta segumu kārtām atgūtais asfalts, vai arī atgūtā asfalta un minerālmateriālu maisījums, vai arī maisījums stabilizēts ar cementu/kaļķi.

1.1 Lietotās aukstās reciklēšanas tehnoloģijas

Visizplatītākie ir aukstās reciklēšanas maisījumi ar bitumenu, kuri galvenokārt tiek lietoti ceļa segas pamatu kārtās vai segumu apakškārtās. Gandrīz visās tālāk minētājās Eiropas valstīs aukstajai reciklēšanai tiek izmantots putu bitumens vai bitumena emulsija, izņemot Somijā netiek izmantota bitumena emulsija, savukārt Portugālē un Spānijā netiek izmantots putu bitumens.

Kā otra populārākā saistviela lielākajā daļā Eiropas valstu ir cements un kaļķis. Bet, piemēram, Somija vai Zviedrija neizmanto ne cementu, ne kaļķi, bet maisījumu korekcijai izmanto granti.

Tiek mēģināts izmantot arī citas minerālu saistvielas, piemēram, pelnus, kā arī putekļu pildvielas, īpaši, ja tā satur kalciju vai izdedžus. Daudzas valstis granulometriskā sastāva korekcijai izmanto, piemēram, dabīgas šķembas un aizpildītājus.

Dažās valstīs kā piedevas izmanto kādas putojošas piedevas, saķeres veicinātājus un/vai izdedžu pelnus.

Galvenokārt lietotās aukstās reciklēšanas tehnoloģijas dažādās Eiropas valstīs:

- Čehija. Uz vietas objektā – 90 %, rūpnīcā – 10 %. Pārsvarā reciklē pamatu un saistes kārtas. Tiek reciklētas asfalta saistkārtas un apakškārtas, ar cementu vai/un kaļķi stabilizētas kārtas, segas pamatu nesaistītas kārtas, kā arī tiek veikta zemes klātnes grunts stabilizācija. Kā saistvielas pārsvarā tiek lietotas bitumena emulsija un putu bitumens, arī kombinācijā ar cementu, bet tiek lietots arī tikai

cements un kaļķis. Adhēzijas vai citas piedevas aukstajā reciklēšanā netiek izmantotas.

- Somija. Aukstā reciklēšana galvenokārt tiek realizēta objektā uz vietas, nedaudz arī rūpnīcā. Pārsvarā reciklē pamatu un saistes kārtas. Uz augstākās klases ceļiem tiek lietota tikai karstā reciklēšana – ap 5 milj. m² gadā. Kā saistvielas tiek lietotas putu bitumens un bitumena emulsija. Cements tiek izmantots tikai, lai paaugstinātu ceļa segas nestspēju. Grants maisījumi 0/32; 0/56. Dažkārt tiek izmantoti izdedžu pelni.
- Francija. Aukstā reciklēšana galvenokārt tiek realizēta objektā uz vietas, nedaudz arī rūpnīcā. Ievērojamu daļu (> 60 %) sastāda atgūtā asfalta izmantošana karstajā un aukstajā reciklēšanā. Pārsvarā reciklē pamatu un saistes kārtas. Uz augstākas klases ceļiem asfalta kārtas reciklē līdz 4 cm biezumā, uz zemākas klases ceļiem reciklē 5-12 cm biezumā. Kā saistvielas primāri tiek lietotas bitumena emulsija un putu bitumens, sekundāri tiek lietots cements un kaļķis. Dažkārt tiek lietotas putošanās piedevas.
- Vācija. Aukstā reciklēšana galvenokārt tiek realizēta objektā uz vietas. Reciklē segas pamatu kārtas. Tiek reciklētas asfalta saistes un apakškārtas, speciālas metodes ar darvu piesārņotu kārtu reciklēšanai, ar cementu un/vai kaļķi stabilizētas kārtas, segas pamatu nesaistītas kārtas, kā arī tiek veikta zemes klātnes grunts stabilizācija. Kā saistvielas primāri tiek lietotas bitumena emulsija + cements un putu bitumens, sekundāri tiek lietota hidrauliskā ceļu saistviela un cements. Ja paredzēts, tiek lietotas adhēzijas piedevas.
- Īrija. Īrijā aukstās reciklēšanas pieredze ir agrīnā stadijā. Kā saistvielas primāri tiek lietotas bitumena emulsija un putu bitumens, sekundāri tiek lietots cements un kaļķis. Tiek lietotas putošanās un adhēzijas piedevas.
- Norvēģija. Asfalta segumu reciklēšana uz vietas objektā – ap 85 %, rūpnīcā – ap 15 %. Nesaistītu ceļa segas kārtu reciklēšana uz vietas objektā – 99 %, rūpnīcā – 1 %. Reciklē izlīdzinošās kārtas, saistkārtas un pamatu kārtas. Tiek reciklētas asfalta dilumkārtas un apakškārtas, nesaistītas pamatu kārtas, vecas grants segumu kārtas. Kā saistvielas primāri tiek lietotas bitumena emulsija, putu bitumens, lignīns (lignosulfonāts), sekundāri reciklētam asfaltam, lai uzlabotu samaisīšanu un sablīvēšanu, tiek pievienots ūdens. Putu bitumenam tiek pievienotas adhēzijas piedevas (amīni).

- Portugāle. 100 % reciklēšana uz vietas objektā. Reciklē saistkārtas un pamatu kārtas. Tiek reciklētas asfalta kārtas un piesūcināti šķembu pamati, virsmas apstrādes, ar cementu saistītas pamatu kārtas, nesaistītas pamatu kārtas. Kā saistvielas primāri tiek lietota bitumena emulsija, sekundāri tiek lietots cements un kaļķis.
- Spānija. Uz vietas objektā – 90 %, rūpnīcā – 10 %. Reciklē saistkārtas un pamatu kārtas. Tiek reciklētas asfalta kārtas un piesūcināti šķembu pamati, virsmas apstrādes, ar cementu saistītas pamatu kārtas. Kā saistvielas primāri tiek lietota bitumena emulsija un cements, sekundāri tiek lietots un kaļķis.
- Lielbritānija. Uz vietas objektā > 95 %, rūpnīcā < 5 %. Reciklē pamatu kārtas un papildkārtas. Tiek reciklētas asfalta kārtas, pamatkārtas, papildkārtas, atdalošās kārtas, zemes klātnes gruntis. Kā saistvielas primāri tiek lietotas bitumena emulsija un putu bitumens, sekundāri tiek lietots cements, kaļķis, izdedžu pelni, sadrupināti domnas sārņi. Tiek lietotas putošanās piedevas.
- Dienvidāfrika. Uz vietas objektā – 70 %, rūpnīcā – 30 %. Pārstrādājot esošos matriālus būvē galvenokārt pamatu kārtas. Tiek reciklētas (pārstrādātas) asfalta kārtas, virsmas apstrāde, labas kvalitātes nesaistītas pamatu kārtas. Kā saistviela pārsvarā tiek lietots putu bitumens, bet tiek lietots arī cements un kaļķis.

1.2 Aukstās reciklēšanas maisījumi

Parasti aukstās reciklēšanas maisījumiem ir noteiktas konkrētas prasības granulometriskajam sastāvam. Tas potenciāli nodrošina maisījumiem nepieciešamo kohēziju, kā arī porainību un stiprības īpašības.

Prasības reciklētā maisījuma izejmateriāliem:

- Čehija. Smalknes saturs ≤ 15 % (ja sastāvā cements), ≤ 6 % (ja sastāvā tikai bitumena saistvielas). Smalknes kvalitāte Ip ≤ 17 (ja sastāvā cements), nav prasību (ja sastāvā tikai bitumena saistvielas). Rupjo daļu virsizmērs ≤ 10 %. Tiek lietoti EN 13108-8, EN 13242, kā arī vietējās Tehniskās specifikācijas.
- Somija. < 0,063 mm ≥ 4 %, ≤ 8 % vai ≤ 10 %, ja ir pierādīta maisījuma ūdensjūtība. Rupjo daļu virsizmērs ≤ 10 %. Tiek lietotas vietējās Tehniskās specifikācijas.
- Vācija. Objektā: < 0,09 mm 2-10 %, < 2 mm ≥ 20 %. Rūpnīcā: < 0,063 mm 4-9 %, 0,063-2 mm 20-30 %. Rupjo daļu virsizmērs ≤ 10 %. Tiek lietotas vietējās Tehniskās specifikācijas.

- Lielbritānija (arī Īrija). Tiek lietotas vietējās specifikācijas.
- Spānija, Portugāle. < 0,063 mm 0-3 %, < 0,25 mm 0-10 %. Tiek lietotas katrā valstī savas vietējās Tehniskās specifikācijas.
- Dienvidāfrika. Ja putu bitumens ar cementu < 0,075 mm 2-9 % (ideāli) vai 9-20 % (pieļaujami), ja bitumena emulsija ar cementu < 0,075 mm 4-10 % (ideāli), 10-20 % (pieļaujami), praktiski < 0,075 mm ap 2 %, < 2 mm 25-35 %.

1.3 Saistvielas

Lietotās saistvielas, to tipiskākās kombinācijas, daudzumi un izvirzītās prasības:

- Čehija. Lietotās bitumena emulsijas C60B7, C65B7, arī modificētas ar polimēriem vai putu bitumens – 50/70; 70/100; 100/150; 160/220, saturs: 2-3,5 % (tīrais bitumens), ja bitumena emulsija vai putu bitumens + cements, 0,9-1,6 %, ja tikai bitumena emulsija vai putu bitumens. Cements – CEM I 32,5 N (R), CEM I 42,5 N (R), CEM I 52,5 N (R), saturs: 4-6 %, ja tikai cements, 2,5-5 %, ja cements + bitumena emulsija vai putu bitumens. Hidrauliskā ceļu saistviela – HRB 22,5 E, HRB 32,5 E, saturs: nav konkrētu prasību.
- Somija. Bitumena emulsija ar 160/220 ceļu bitumenu vai putu bitumens 160/220, ≥ 0,8 % (tīrais bitumens), kopējais bitumena daudzums, ietverot atgūto asfaltu ≥ 3,0 %. Cements – CEM I, II vai III, saturs 1/3 no bitumena saistvielas.
- Vācija. Bitumena emulsija C60B1-BEM, saturs 2,0-6,0 % (tīrais bitumens). Putu bitumens 50/70; 70/100, saturs 2,5-5,0 %. Cements – CEM I-V, saturs ≥ 3,0 %, ja tikai cements, 1,0-3,0 %, ja cements + putu bitumens, 3,0-6,0 %, ja cements + bitumena emulsija.
- Spānija (arī Portugāle). Bitumena emulsija C60B6-7 REC, saturs ≥ 1,5 % (tīrais bitumens), cements ≥ 1 %, hidrauliskā ceļu saistviela > 3 %.
- Lielbritānija (arī Īrija). Bitumena emulsija vai putu bitumens ≥ 3 %, ja maisījumu sagatavo rūpnīcā, ≥ 4 %, ja reciklē uz vietas objektā. Cements CEM I, saturs ≥ 2 %, ja maisījumu sagatavo rūpnīcā, ≥ 3 %, ja reciklē uz vietas objektā.
- Norvēģija. Bitumena emulsija C60B5-7, C65B5-7, tai jāsader ar konkrētajiem maisījuma materiāliem. Emulsificēts vai putu bitumens 160/220, 330/430, V12000 vai V6000. Tīrā bitumena saturs 2-4 %, maisījumiem ar D ≤ 16 mm.
- Dienvidāfrika. Bitumena emulsija SABS309 (anjonu), SABS548 (katjonu). Putu bitumens 80/100. Tīrā bitumena saturs ≤ 2,5 %. Cements CEM II 32,5, saturs ≤ 1% un jebkurā gadījumā mazāks par bitumena saturu.

1.4 Prasības reciklēto maisījumu projektēšanai

Dažādās valstīs tehnisko specifikāciju prasības reciklētajiem maisījumiem attiecībā uz blīvēšanas metodēm, testēšanas paraugu sacietēšanas un kondicionēšanas procedūrām, kā arī testēšanas rezultātu novērtēšanu, ievērojami atšķiras. Tāpēc nav iespējama viennozīmīga definēto prasību vērtību salīdzināšana.

Laboratorijas paraugu sablīvēšanas metodes. Vairākas valstis veic statisku blīvēšanu, testēšanai iegūstot dažādu izmēru cilindriskus paraugus. Dažas valstis izmanto žiratora blīvēšanu, atbilstoši Eiropas karsto asfalta maisījumu standartam. Bet arī pie vienāda blīvēšanas veida starp valstīm pastāv atšķirības, piemēram, pielietotajam spiedienam, sablīvēšanas laikam, paraugu sagatavošanas procedūrām u.tml. Maršala blīvēšana, kas ir populāra karsto asfalta maisījumu projektēšanā, nav pārāk izplatīta auksto maisījumu paraugu sablīvēšanai. Vispopulārākā metode auksto bitumena maisījumu optimālā ūdens satura un sausā blīvuma noteikšanai ir Modificētais Proktors, kas izskaidrojams ar to, ka auksto bituminēto maisījumu uzvedība sablīvēšanas laikā ir līdzīga kā nesaistītajiem maisījumiem. Proktora sablīvēšana daudzās valstīs tiek izmantota, lai iegūtu sākotnējos datus par aukstā maisījuma optimālo mitrumu, kas vēlāk tiek pielāgota būvobjektā.

Paraugu izmēri. Starp valstīm ir būtiskas atšķirības ne tikai attiecībā uz sagatavojamo paraugu diametru, t.i. d ≈ 100 mm, 120 mm un 150 mm, bet arī paraugu diametra un augstuma attiecību, t.i. h/d = 1; < 1; > 1. Tas pat var atšķirties bituminētiem maisījumiem un maisījumiem ar cementu.

Paraugu kondicionēšana. Arī prasības paraugu cietēšanas apstākļiem starp valstīm būtiski atšķiras, gan pēc dienu skaita (aptverot diapazonu no 3 līdz 28 dienām, visizplatītāk ir 7 dienas un 14 dienas), gan pēc kondicionēšanas temperatūras (no 5 ℃ līdz 50 ℃, ietverot temperatūras ap 20 ℃), gan pēc kondicionēšanas relatīvā mitruma (dažās valstīs nav prasību mitrumam, bet citās tiek noteiktas vērtības no 40 % līdz 95 % vai pat 100 % izolētu paraugu gadījumā). Lietotie cietēšanas laiki 7, 14 un 28 dienas, visticamāk, ir saistīti ar parastu cementa materiālu (betons u.c) cietēšanas laiku.

Paraugu testēšana (testēšanas apstākļi un kvalitātes raksturlielumi). Esošā prakse galvenokārt orientēta uz maisījumu izturību (neatkarīgi no tā, vai tas balstīts uz

netiešās stiepes testēšanu vai spiedes stiprības testēšanu), un ūdens ietekmi uz izturību (atkārtoti testējot netiešo stiepi, vai spiedes stiprību). Pat ja mehāniskais testēšanas veids dažādās valstīs varētu būt vienāds, tad iegūtie testēšanas rezultāti var ievērojami atšķirties atkarībā no testējamo paraugu blīvēšanas, cietēšanas un kondicionēšanas. Izņēmuma gadījumos tiek vērtētas papildu uz veiktspēju balstītas īpašības, piemēram, testējot bīdes stiprības īpašības – trīsasu tests Dienvidāfrikā (izpēte – Collings & Jenkins, 2008), vai testējot izturību pret nogurumu, ar divpunktu lieci (testēts SCORE projekta ietvaros, ar dažām problēmām paraugu sagatavošanā), ar četrpunktu lieci un netiešo stiepi (testēta dažos pētījumos - Chamot & Romero, 2009), cilindrisku paraugu netiešo spiedi pētījumos Portugālē (Batista, 2004) un netiešo spiedi pētījumos Lielbritānijā (Khweir et al., 2001; Fordyce & Khweir, 2002).

Līdz ar to dažādās Eiropas valstīs pieeja aukstās reciklēšanas projektu izstrādei ir dažāda. Liela nozīme ir vēsturiskajiem faktoriem. Piemēram, ir valstis kuras esošos Eiropas karsto asfalta maisījumu standartus, piemēram, tos, kas attiecas uz ūdens jūtību, pielāgo auksto reciklēto maisījumu testēšanai, bet citas valstis aukstās reciklēšanas maisījumu testēšanai turpina izmantot citus standartus.

Lietotās testēšanas metodes un prasības kvalitātei aukstās reciklēšanas maisījumiem dažādās Eiropas valstīs:

- Čehija. Paraugus sablīvē ar statisku 5 MPa slodzi, "peldošiem" virzuļiem. Paraugu izmēri: d = 150 mm, h = 125 mm. Katram testam jāizgatavo vismaz 3 paraugi. Kondicionēšanas procedūras: cements – 100 % mitrumā, 20 ℃; bitumena emulsija vai putu bitumens + cements – 2 dienas 90 % mitrumā, 20 ℃, tad 40-70 % mitrumā; bitumena emulsija vai putu bitumens – kondicionēšana gaisā 20 ℃. Prasības kvalitātei: cements – spiedes stiprība pēc 28 dienām 3-4 MPa, ūdens un sala izturība > 85 %; bitumena emulsija vai putu bitumens + cements – netiešā stiepes stiprība (testējot 15 ℃, slogošanas ātrums 50 mm/min.) pēc 7 dienām 0,3-0,7 MPa, ūdens iedarbības ietekme pēc 7 dienām sausa un 7 dienām ūdenī (apkārtējā t°) kondicionēšana ≥ 75 %; bitumena emulsija vai putu bitumens – poru saturs 6-14 %, netiešā stiepes stiprība pēc 7 dienām ≥ 0,3 MPa, ūdens iedarbības ietekme pēc 7 dienām sausa un 7 dienām ūdenī kondicionēšana ≥ 60 %.

- Somija. Paraugus sablīvē ar Proktoru. Paraugu d = 150 mm, h = 120 mm. Paraugu kondicionēšana: bez cementa – 7 un 28 dienas istabas apstākļos; ar cementu – 7 dienas un 28 dienas 95 % mitrumā, 20 ℃. Prasības kvalitātei: ITS (1 diena) ≥ 80 kPa; ITS (28 dienas) ≥ 500 kPa; ITSR pēc saldēšanas ≥ 40 %. ITS testēšanas temperatūra 10 ℃, slogošanas ātrums 50 mm/m.
- Francija. Paraugus sablīvē ar žiratoru, kā arī statisko blīvēšanu. Paraugu d = 120 mm. Paraugus kondicionē 18 ℃ 7 dienas gaisā un 7 dienas ūdenī. Prasības kvalitātei: spiedes stiprība ≥ 1,5; 3,0 vai 5,0 MPa, atkarībā no paredzētās klases.
- Vācija (arī Lietuva). Paraugus blīvē ar statisku 2,8 MPa slodzi, "peldošiem" virzuļiem, ar 5-7 slogošanas cikliem. Paraugu d = 150 mm, h = 125 ± 5 mm. Katram testam jāizgatavo vismaz 3 paraugi. Kondicionēšana: bitumena emulsija vai putu bitumens + cements (uz vietas objektā) – 2 dienas 95 % mitrumā 20 ℃, tad 40-70 % mitrumā 20 ℃. Prasības kvalitātei: poru saturs 8-15 %; ITS pēc 7 dienām 5 ℃ (slogošanas ātrums 50 mm/min.) ≥ 0,50 N/mm², ≤ 0,80 N/mm²; ITS pēc 28 dienām 5 ℃ ≥ 0,75 N/mm², ≤ 1,20 N/mm²; ITS samazinājums pēc 14 dienām ūdenī pret sausu paraugu ITS < 30 %; bitumena emulsija vai putu bitumens + cements (samaisot rūpnīcā) – poru saturs 5-15 % (ja materiāli satur darvu ≤ 10 %); ITS pēc 7 dienām 5 ℃ ≥ 0,60-0,80 N/mm²; ITS pēc 28 dienām 5 ℃ ≥ 0,70-1,00 N/mm².
- Lielbritānija (arī Īrija). Paraugus blīvē līdz atteicei (EN 12697-9), arī ar žiratoru vai vibroblieti. Paraugu izmēri d = 150 mm, h = 70-75 mm vai d=120 mm, h = 135 mm. Kondicionēšana: atkarībā no saistvielas un sablīvēšanas veida – 28 dienas 40 ℃, 28 dienas 20 ℃ vai 14 dienas 18 ℃, pie relatīvā mitruma 50-55 %. Prasības kvalitātei: granulometriskais sastāvs, mitruma saturs (± 2 % no paredzētā), relatīvais tilpuma blīvums objektā (individuālās vērtības ≥ 93 % no paredzētā, vidējā vērtība ≥ 95 % no paredzētā), kārtas biezums (individuālās vērtības ± 25 mm no paredzētā, vidējā vērtība ± 15 mm no paredzētā), vidējais stingums (EN 12697-26) 1,900, 2,500, 3,100 MPa, atkarībā no klases.
- Norvēģija. Paraugus blīvē statiski (8 t, 2 min.), ar žiratoru (1 ° leķis, 600 kPa statisks spiediens, 30 žirācijas/min). Žirāciju skaits, kas dod 96 % tilpuma blīvuma pie 200 žirācijām. Paraugu izmēri d = 100 mm, h = 50-60 mm. Katram testam jāizgatavo vismaz 3 paraugi. Glabāšana: 3-12 h plastikas maisā istabas temperatūrā, 12h-14 dienas plastikas maisā 5 ℃. Kondicionēšana: sausā – 7 dienas 40 ℃, tad 8 sasaldēšanas-atkausēšanas cikli (4 cikli dienā), atkausēšana

aukstā ūdenī. Prasības kvalitātei: Modificētā Proktora optimālais ūdens saturs, ITS 25 ℃, aprēķinot strukturālo koeficientu a = 0,38*$\sqrt[3]{ITS}$, kuram jābūt ≥ 1,5.

- Spānija un Portugāle. Paraugus blīvē ar statisku slodzi – 21 MPa/170 kN 2 min., "peldošiem" virzuļiem, tiek ieteikts arī 8 MPa/65 kN (Portugāle); 9,8 MPa/80 kN (d = 101,6 mm & h = 60 mm), 7,4 MPa/ 60 kN (d = 101,6 mm & h = 60 mm) vai žiratora blīvēšana (0,6 MPa & 1,25 °, d = 101,6 mm & h = 60 mm), Spānijā maisījumiem ar cementu – vibroblīvēšana (d = 150 mm, h = 177,8 mm). Paraugu izmēri d = 101,6 mm, h = 101,6 mm. Kondicionēšana: bitumena emulsija + cements vai kaļķis – 3 dienas 50 ℃; cements – 7 dienas (Spānija), kā arī ir vairākas alternatīvas paraugu kondicionēšanas procedūras dažādos apstākļos pie dažādām temperatūrām. Prasības kvalitātei: bitumena emulsija + 1-2 % cements vai kaļķis – sausu paraugu spiedes stiprība ≥ 2,5 vai 3,0 MPa, mitru paraugu spiedes stiprība ≥ 2,0 vai 2,5 MPa, mitru paraugu spiedes stiprība pret sausu paraugu spiedes stiprību ≥ 70 vai 75 %, atkarībā no satiksmes intensitātes; Spānijā maisījumiem ar cementu – spiedes stiprība ≥ 2,5 MPa (slogošanas ātrums 0,1 MPa/s). Spānijā izpētes rezultātā maisījumiem ar bitumenu pie lielas satiksmes intensitātes tiek ieteikta žiratora blīvēšana – sauss ITS ≥ 1,0 MPa (3 dienas 60 ℃), mitrs (1 diena ūdenī 60 ℃)/sauss ITS ≥ 75 %.

Apkopojums par laboratorijas paraugu izmēriem:

- d ≈ 100 mm, h ≈ 50-60 mm => h/d ≈ 50-60 % (Norvēģija);
- d ≈ 100 mm, h ≈ 100 mm => h/d ≈ 100 % (Portugāle un Spānija);
- d ≈ 120 mm, h ≈ 135 mm => h/d ≈ 113 % (Francija);
- d ≈ 150 mm, h ≈ 70-75 mm => h/d ≈ 47-50 % (Francija un Īrija, žiratora blīvēšana);
- d ≈ 150 mm, h ≈ 125 mm => h/d ≈ 80-85 % (Vācija, Čehija, Lietuva).

Ir nosacījumi paraugu izmēru atkarībai no maisījuma rupjo daļu izmēra:

- piemēram, paraugam ar diametru 101,6 mm, rupjo daļu izmērs nedrīkst pārsniegt 4D (Spānija, Portugāle);
- EN 12697-34 noteikts, ka materiāla rupjo daļu maksimālais izmērs paraugiem ar d = 101,6 mm, h = 63,5 mm, nedrīkst pārsniegt 22,4 mm, t.i. nedrīkst pārsniegt d ≥ 4,5D un h ≥ 2,8D.

Apkopojot, atbilstoši pielietojamības apstākļiem, vidēji populārākie paraugu izmēri Eiropas valstīs ir:

- d ≈ 102 mm, h ≈ 64 mm => h/d ≈ 63 %;
- d ≈ 150 mm, h ≈ 95 mm => h/d ≈ 63 %;
- d ≈ 150 mm, h ≈ 125 mm => h/d ≈ 83 %.

2 Realizētais testēšanas un mērījumu plāns

2.1 Testēšana iepriekšējos gados uzbūvētos objektos

No iepriekšējos gados uzbūvētiem objektiem, katrā objektā tika paņemti urbtie paraugi no divām vietām. No vienas vietas, kas atrodas posmā, kur nav novērojamas plaisas asfalta virskārtā, un no otras vietas, kur ir novērojamas plaisas asfalta virskārtā. Katrā vietā tika izurbti 10 paraugi, 6 paraugi 14 cm diametrā un 4 paraugi 10 cm diametrā. Tika veikti izurbto paraugu sekojoši testi:

- spiedes stiprība – LVS EN 13286-41:
  - ◊ izurbtais paraugs pilnā biezumā;
  - ◊ izurbtais paraugs pilnā biezumā pēc 10 salumkusumizturības cikliem – LVS CEN/TS 12390-9 (saskaņā ar t° līkni 7. attēls);
  - ◊ izurbtā parauga augšējā daļa (ja bija iespējams);
  - ◊ izurbtā parauga apakšējā daļa (ja bija iespējams);
- tilpuma blīvums – LVS EN 12390-7 (6.6.p., uzmērīšanas metode) un ūdens absorbcija – LVS EN 1338:
  - ◊ izurbtais paraugs pilnā biezumā;
  - ◊ izurbtā parauga augšējā daļa (ja bija iespējams);
  - ◊ izurbtā parauga apakšējā daļa (ja bija iespējams)

Katrā urbto paraugu ņemšanas vietā tika veikta ceļa segas konstruktīvo slāņu šurfēšana, iedzenot cauruli ⌀ 60 mm, 1 m dziļumā, šo slāņu organoleptiska novērtēšana un biezumu uzmērīšana.

Pie katras urbto paraugu ņemšanas vietas tika veikti ceļa segas nestspējas mērījumi ar krītošā svara deflektometru (FWD). Mērījumi veikti ar deflektometru Dynatest FWD 8002 – 150 (plātnes diametrs - 30 cm). Aprēķinātie elastības moduļi un D1, D2, D3, D4, D5, D6 un D7 vertikālie pārvietojumi, attiecīgi – 0, 20, 30, 45, 60, 90, 150 cm no slogošanas plātnes centra, atbilst temperatūras un mitruma apstākļiem mērīšanas brīdī. Mērījumi tika veikti joslas labajā risē. Katrā vietā veikti vismaz 3 mērījumi, urbto paraugu ņemšanas vietā un 10 – 20 m pirms un aiz paraugu ņemšanas vietas, un aprēķināts mērījumu vidējais ceļa virsmas elastības modulis.

2.2 Testēšana hidrauliski saistītu kārtu ar cementu būvniecības laikā

No trīs objektiem, kuros pētījuma izstrādes laikā tika veikta ar cementu saistītas kārtas būvniecība, tika paņemti ar cementu saistīta maisījuma paraugi pēc to samaisīšanas vai nu attiecīgi rūpnīcā vai aiz reciklera. Pēc tam tika izgatavoti cilindriski paraugi, sablīvējot gan ar Proktoru, gan Modificētu Proktoru (LVS EN 13286-50), veidnē ar ø 150 mm, h = 120 mm, kopā 26 gab. Paraugi tika izgatavoti:

- tūlīt pēc paraugu noņemšanas objektā;
- 2 h pēc paraugu noņemšanas;
- 4 h pēc paraugu noņemšanas.

Sagatavotajiem cilindriskajiem paraugiem tika veikti sekojoši testi:

- spiedes stiprība – LVS EN 13286-41:
  - ◊ pēc 28 dienu cietēšanas (27 dienas 90 – 100 % mitrumā un 1 dienu ūdenī);
  - ◊ pēc 28 dienu cietēšanas (27 dienas 90 – 100 % mitrumā un 1 dienu ūdenī) un 10 salumkusumizturības cikliem – LVS CEN/TS 12390-9 (saskaņā ar t° līkni 7. attēls);
- tilpuma blīvums – LVS EN 13286-50;
- ūdens absorbcija – LVS EN 1338.

Būvdarbu izpildes laikā tika ņemti arī ar cementu saistīta maisījuma paraugi to mitruma satura noteikšanai (LVS EN 1097-5) dažādos laikos (0 – 4 h) pēc samaisīšanas, kā arī paraugi mitruma satura noteikšanai no maisījuma paraugiem cilindrisko paraugu izgatavošanai.

Vēlāk katrā objektā tika arī izurbti 11 paraugi ar ø 150 mm no uzbūvētās ar cementu saistītās kārtas. Tika veikti izurbto paraugu sekojoši testi (vismaz 28 dienas pēc kārtas uzbūvēšanas):

- spiedes stiprība – LVS EN 13286-41:
  - ◊ izurbtais paraugs pilnā biezumā;
  - ◊ izurbtais paraugs pilnā biezumā pēc 10 salumkusumizturības cikliem – LVS CEN/TS 12390-9 (saskaņā ar t° līkni 7. attēls);
  - ◊ izurbtā parauga augšējā daļa (ja bija iespējams);
  - ◊ izurbtā parauga apakšējā daļa (ja bija iespējams);

- tilpuma blīvums – LVS EN 12390-7 (6.6.p., uzmērīšanas metode);
- ūdens absorbcija – LVS EN 1338.

2.3 Reciklētu maisījumu projektēšana laboratorijā

2.3.1 Izejmateriālu testēšana

Grants maisījumam un dolomīta maisījumam tika veikti šādi testi:

- granulometriskais sastāvs – LVS EN 933-1;
- drupināto vai lauzto un apaļo virsmu procentuālais daudzums – LVS EN 933-5 (tikai grants maisījumam);
- formas indekss – LVS EN 933-4;
- materiāla blīvums un ūdens absorbcija – LVS EN 1097-6;
- magnija sulfāta rādītājs – LVS EN 1367-2.

Frēzētajam asfaltam tika veikti šādi testi:

- granulometriskais sastāvs bez saistvielas atmazgāšanas – LVS EN 933-1;
- saistvielas (bitumena) saturs – LVS EN 12697-1;
- frēzētā asfalta minerālā karkasa granulometriskais sastāvs – LVS EN 12697-2.

Smiltij tika veikta veikti šādi testi:

- granulometriskais sastāvs – LVS EN 933-1;
- plūšanas koeficients – LVS EN 933-6;
- smilts ekvivalents – LVS EN 933-8;
- metilēnzilā vērtība – LVS EN 933-9.

Izmantotā cementa testēšana netika veikta. Tika fiksēts cementa tips un tā kvalitātes rādītāji saskaņā ar ražotāja atbilstības deklarāciju.

Bitumena emulsijai tika veikti šādi testi:

- saistvielas saturs vai atlikušās saistvielas saturs pēc destilācijas – LVS EN 1428;
- sadalīšanās vērtība – LVS EN 13075-1;
- atlikums sijājot (0,5 mm siets) – LVS EN 1429;
- caurplūdes laiks 4 mm + 40 ℃ – LVS EN 12846;
- uzglabāšanas stabilitāte sijājot, 7 dienas uzglabājot (0,5 mm siets) – LVS EN 1429;
- atgūtā bitumena (ar iztvaicēšanu – LVS EN 13074-1):

- ◊ penetrācija 25 ℃ – LVS EN 1426;
- ◊ mīkstēšanas temperatūra – LVS EN 1427.

Bitumenam tika veikti šādi testi:

- penetrācija 25 ℃ – LVS EN 1426;
- mīkstēšanas temperatūra – LVS EN 1427.

Putu bitumenam tika veikti šādi testi (MN ŠRK 18, 6. pielikums):

- optimālais ūdens saturs;
- putu veidošanās kvalitāte.

2.3.2 Ar cementu saistītu reciklētu maisījumu sastādīšana un testēšana

Vispirms tika veikta laboratorijā sastādītu maisījumu ar cementa saturu 2 % un 4 % (no sausu minerālmateriālu masas) sekojoši testi:

- Proktora un Modificēta Proktora paraugu sagatavošana – LVS EN 13286-50;
- Proktora un Modificēta Proktora tilpuma blīvums un optimālais mitrums – LVS EN 13286-2;
- TNI (tūlītējais nestspējas rādītājs) – LVS EN 13286-47.

Ar atsevišķajiem izejmateriāliem – dolomīta maisījumi, grants maisījumi un frēzēta asfalta maisījumi, ar cementa saturu 2 % un 4 %, tika izgatavoti cilindriski paraugi, sablīvējot ar Proktoru un Modificēto Proktoru (LVS EN 13286-50), veidnē ar ø 150 mm, h = 120 mm, kuriem veikti šādi testi:

- spiedes stiprība – LVS EN 13286-41:
  - ◊ pēc 7 dienu cietēšanas (6 dienas 90 – 100 % mitrumā un 1 dienu ūdenī);
  - ◊ pēc 28 dienu cietēšanas (27 dienas 90 – 100 % mitrumā un 1 dienu ūdenī);
  - ◊ pēc 28 dienu cietēšanas (27 dienas 90 – 100 % mitrumā un 1 dienu ūdenī) un 10 salumkusumizturības cikliem – LVS CEN/TS 12390-9 (saskaņā ar t° līkni 7. attēls);
- tilpuma blīvums – LVS EN 12390-7 (6.6.p., uzmērīšanas metode);
- ūdens absorbcija – LVS EN 1338.

Ar izejmateriālu maisījumiem – grants, frēzēts asfalts un smilts – 45/45/10, un dolomīts, frēzēts asfalts un smilts – 45/45/10, ar cementa saturu 2 % un 4 %, tika

izgatavoti cilindriski paraugi, sablīvējot ar Proktoru un Modificēto Proktoru (LVS EN 13286-50), veidnē ar ø 100 mm, h = 120 mm un veidnē ar ø 150 mm, h = 120 mm, kuriem veikti šādi testi:

- spiedes stiprība – LVS EN 13286-41 un netiešā stiepes stiprība – LVS EN 13286-42:
  - ◊ pēc 24 h cietēšanas 70 ℃ (90 – 100 % mitrumā) un 1 dienas ūdenī;
  - ◊ pēc 7 dienu cietēšanas (6 dienas 90 – 100 % mitrumā un 1 dienu ūdenī;
  - ◊ pēc 28 dienu cietēšanas (27 dienas 90 – 100 % mitrumā un 1 dienu ūdenī);
  - ◊ pēc 28 dienu cietēšanas (27 dienas 90 – 100 % mitrumā un 10 salumkusumizturības cikliem) – LVS CEN/TS 12390-9 (saskaņā ar t° līkni 7. attēls);
- elastības modulis pēc 28 dienu cietēšanas (27 dienas 90 – 100 % mitrumā un 1 dienu ūdenī) – LVS EN 13286-43;
- lieces stiprība – LVS EN 12390-5 (prizmatiskiem paraugiem 100x100x305 mm), trīspunktu liece;
- tilpuma blīvums – LVS EN 12390-7 (6.6.p., uzmērīšanas metode);
- ūdens absorbcija – LVS EN 1338.

Lieces stiprības testēšanai paraugi izgatavoti ar veltņa blīvētāju – LVS EN 12697-33, un pēc tam izzāģēti nepieciešamajos izmēros.

2.3.3 Ar bitumena saistvielām saistītu reciklētu maisījumu sastādīšana un testēšana

Ar izejmateriālu maisījumu – grants, frēzēts asfalts un smilts – 45/45/10 un dolomīts frēzēts asfalts un smilts – 45/45/10, ar bitumena emulsijas saturu 5 % un cementa saturu 1,5 % un 2,5 % un bez cementa pievienošanas, un putu bitumena saturu 4 % un cementa saturu 1,5 % un 2,5 % un bez cementa pievienošanas, tika izgatavoti cilindriski paraugi, sablīvējot ar Proktoru un Modificēto Proktoru (LVS EN 13286-50), ar ø 100 mm, h = 120 mm un ar ø 150 mm, h = 120 mm, sablīvējot ar presi (MN ŠRK 18, 5. pielikums), ar ø 150 mm, h = 125 mm, sablīvējot ar vibroāmuru (LVS EN 13286-4), ar ø 150 mm, h = 150 mm un ar ø 100 mm, h = 100 mm, un sablīvējot ar Maršalu ø 100 mm, h = 63 mm un ar ø 150 mm, h = 95 mm ar 2x50 un 2x75 sitieniem, kuriem veikti šādi testi:

- tilpuma blīvums – LVS EN 12697-6;

- maksimālais blīvums – LVS EN 12697-5;
- poru īpašības – LVS EN 12697-8;
- spiedes stiprība – LVS EN 13286-41:
  - ◊ pēc 24 h cietēšanas 20 ℃, iesaiņoti plastikāta plēvē, testējot 20 ℃;
  - ◊ pēc 7 dienu cietēšanas 20 ℃, iesaiņoti plastikāta plēvē, testējot 20 ℃;
  - ◊ pēc 28 dienu cietēšanas 20 ℃, iesaiņoti plastikāta plēvē, testējot 20 ℃;
- netiešā stiepes stiprība – LVS EN 12697-23:
  - ◊ pēc 24 h cietēšanas 20 ℃, iesaiņoti plastikāta plēvē, testējot 5 ℃;
  - ◊ pēc 7 dienu cietēšanas 20 ℃, iesaiņoti plastikāta plēvē, testējot 5 ℃;
  - ◊ pēc 28 dienu cietēšanas 20 ℃, iesaiņoti plastikāta plēvē, testējot 5 ℃;
  - ◊ pēc 28 dienu cietēšanas 20 ℃, iesaiņoti plastikāta plēvē, no tām 14 dienas ūdenī, testējot 5 ℃;
  - ◊ pēc 28 dienu cietēšanas 20 ℃, iesaiņoti plastikāta plēvē, un 10 salumkusumizturības cikliem, testējot 5 ℃;
- elastības modulis pēc 28 dienu cietēšanas 20 ℃, iesaiņoti plastikāta plēvē, testējot 20 ℃ – LVS EN 13286-43;
- lieces stiprība – LVS EN 12390-5 (prizmatiskiem paraugiem 100x100x305 mm), trīspunktu liece;
- nogurumizturība pēc 28 dienu cietēšanas 20 ℃, iesaiņoti plastikāta plēvē, – LVS EN 12697-24 (prizmatiskiem paraugiem 55x55x420 mm);
- izturība pret termoplaisu veidošanos (TSRST) pēc 28 dienu cietēšanas 20 ℃, iesaiņoti plastikāta plēvē, – LVS EN 12697-46 (prizmatiskiem paraugiem 60x60x160 mm);
- izturība pret paliekošajām deformācijām, maza izmēra iekārta – LVS EN 12697-22, LVS EN 12697-33.

Lieces stiprības, nogurumizturības un izturības pret termoplaisu veidošanos testēšanai paraugi izgatavoti ar veltņa blīvētāju – LVS EN 12697-33, un pēc tam izzāģēti nepieciešamajos izmēros.

Paraugu izgatavošanai izmantota arī vibrobliete.

Detalizāciju skatīt testēšanas plāna apkopojuma tabulā.

Tabula 2-1 Testēšanas plāns laboratorijā projektētiem maisījumiem. Apkopojums

Izejmateriāli: 1 - maisījums: grants / frēzēts asfalts / smilts - 45/45/10
2 - maisījums: dolomīts / frēzēts asfalts / smilts - 45/45/10
3 - grants
4 - dolomīts
5 - frēzēts asfalts

Saistviela - cements

2% / 4 %	**Proktors**		**mod. Proktors**			**Prokt.**	**mod.Pr.**	
	100	**150**	**100**	**150**	**Maisīj. Nr.**	**150**	**150**	**Maisīj. Nr.**
tilpumblīvums, ūdens absorbcija	x	x	x	x	1,2	x	x	3,4,5
spiede$_1$, ITS$_1$ - 24h 70-75 C	-	xx	-	xx	1,2	-	-	
spiede$_7$, ITS$_7$ - 7d	-	xx	-	x	1,2	xx	xx	3,4,5
spiede$_{28}$, ITS$_{28}$ - 28d	xx	xx	xx	xx	1,2	xx	xx	3,4,5
spiede$_{28/10c}$, ITS$_{28/10c}$ - 28d + 10c	-	xx	-	xx	1,2	xx	xx	3,4,5
el. mod. - 28d	x	x	x	x	1,2	-	-	
el. mod. - 28d + 10 c	x	x	x	x	1,2	-	-	
Sablīvējums:	mazāks	lielāks						
liece (100x100x305) - 28 d	x	x	-	-	1,2	-	-	

Saistviela - bitumena emulsija vai putu bitumens

5% bit. em. +1,5% cem. **5% bit. em. + 2,5% cem.** **5% bit. em.**	**Maršals 2x50**		**Maršals 2x75**	**Proktors**		**mod. Proktors**		**LT/DE**	**Vibrobliete**	**4% putu bit. +1,5% cem.** **4% putu bit. + 2,5% cem.** **4% putu bitumens**
	100	**150**	**100**	**100**	**150**	**100**	**150**	**150**	**150**	**Maisīj. Nr.**
tilpumblīvums, ūdens absorbcija	x	x	x	x	x	x	x			1,2
Spiede - 24h	x	-	-	-	x	-	-			1,2
Spiede 7d	x	-	-	-	x	-	-			1,2
Spiede 28d	x	-	-	-	x	x	-			1,2
ITS$_1$ - 24h (+ 5°C)	x	x	x	x	x	-	-			1,2
ITS$_7$ - 7d (+ 5°C)	x	x	x	x	x	-	-			1,2
ITS$_{28}$ - 28d (+ 5°C)	x	x	x	x	x	x	-			1,2
ITS$_{28/14ŪD}$ (+ 5°C) - 28d	x	x	x	x	x	x	-			1,2
ITS$_{28/10c}$ (+ 5°C) - 28d + 10c	y	-	y	y	-	-	-			1,2
el. mod. - 28d	x	x	x	x	x	-	-	x		1,2

Sablīvējums:	mod.Prokt ≈ Maršals 2x50
liece (100x100x305) - 28d	x veidne 305x305x100
nogurums (50x50x410) - 28d	x veidne 410x260x50
izturība pret termoplaisu veidošanos (60x60x≥160) - 28d	x veidne 305x305x60
sliede - 28d, 25 °C un 60 °C	x veidne 305x305x80

Papildus maisījumi:	***Papildus testēšana:***
1,8 % putu bit. + 1 % cem.	3 dienas 40 °C un 1 d 25 °C
2,0 % putu bit. + 1 % cem.	3 dienas 40 °C un 1 d 25 °C ūdenī
2,2 % putu bit. + 1 % cem.	8 h 40 °C, tad 3 dienas plēvē 40 °C, tad 1 d 25 °C
2,2 % putu bit + 1 % kaļķis	8 h 40 °C, tad 3 dienas plēvē 40 °C, tad 1 d 25 °C ūdenī
2,2 % putu bit.	
2,4 % putu bit. + 1 % cem.	

Faktiskais testēšanas apjoms dažādiem maisījumiem ir atšķirīgs, jo nav testēti pilnīgi visu maisījumu visas īpašības, bet tās visas ir aptvertas, izvērtējot katrā konkrētā gadījumā testēšanas nepieciešamību, analizējot iegūstamo rezultātu potenciālo atdevi un pārklājumu.

3 Iepriekšējos gados uzbūvētu objektu apsekošanas un testēšanas rezultāti

Pētījuma ietvaros tika apsekots pēdējos gados uzbūvētu vairāku objektu, kuru ceļa segas pamata kārta ir saistīta ar cementu, asfalta seguma tehniskais stāvoklis.

Objektos, kur bija novērojami kādi plaisu defekti, no divām vietām tika paņemti paraugi – no posma ar plaisām asfalta segumā un no posma, kur plaisu defekti nav novērojami. Veikta paņemto paraugu testēšana saskaņā ar paraugu testēšanas programmu. Šiem objektiem veikta arī objektu dokumentācijas analīze, nestspējas mērījumi ar FWD, definēts konstatēto plaisu raksturs, veids un, pēc iespējas, izcelsme, jeb plaisu veidošanās cēloņi, t.sk. analizēta ar cementu saistīto kārtu iespējamā ietekme uz plaisu veidošanos asfalta segumā.

Trijos no apsekotajiem posmiem veikta padziļināta segas nestspējas analīze:

- **A2** 21,8-23,9 km;
- **A5** 33,78-35,0 km;
- **A11** 21,85-45,02 km.

Minētajiem posmiem ir veikti ielieču mērījumi ar deflektometru. Mērījumi ir veikti pēc posma nodošanas ekspluatācijā attiecīgi A2 posmam – 2016. gadā, A5 un A11 posmiem 2018. gadā. Kā arī mērījumi atkārtoti 2020. gadā šo posmu vietās, kurās novērojami segas bojājumi un salīdzinājumam vietā, kur redzamu bojājumu nav vai tie ir salīdzinoši mazāk.

Analīze veikta balstoties uz:

- datiem par norādīto posmu projektos projektēto segas konstrukciju;
- FWD mērījumiem uz pēc šiem projektiem izbūvētās konstrukcijas;
- datiem par urbumos noteikto faktisko segas konstrukciju.

Pētījums veikts izmantojot datus, kas norādītajos objektos iegūti 2020/21. gada rudenī/pavasarī. Pētījumā katram pētāmajam posmam noskaidrots tālāk minētais.

Pēc FWD mērījumu datiem ir noteikti segas konstrukciju un tās stāvokli raksturojoši parametri, kas noteikti atbilstoši pētījumiem [1], [3], [4], [5].

- pēc FWD mērījuma datiem atvasinātais (backcalculated) konstrukcijas elastības modulis Esurf;
- parametrs SCI (Surface Curvature Index, SCI=D0-D30), kas raksturo saistīto (asfalta) kārtu stāvokli;
- parametrs BDI (Base Damage Index, BDI=D30-D60), kas raksturo pamata kārtu strukturālo konsistenci;
- parametri BCI un BCI_2 (Base Curvature Index, BCI=D60-D90 un BCI_2=D90-D150), kas raksturo nesaistīto pamata kārtu stāvokli;
- parametri F1 un F2 (Shape Factors, F1=(D0-D60)/D30 un F2=(D30-D90)/D60), kas raksturo attiecīgi pamata virskārtas un pamata apakškārtas stāvokli;
- parametrs AREA (deflection basin curvature index), AREA=6∗[1+2(D30/D0)+ +2(D60/D0)+(D90/D0)], kas raksturo segas kopējo kondīciju izejot no ieliekuma tases formas parametriem. Jo lielāka AREA vērtība norāda uz lēzenāku ieliekuma tases formu, tātad attiecīgi lēnāku impulsa dzišanas straujumu un stingāku konstrukciju.

Parametri SCI, BDI un BCI raksturo slodzes impulsa pārneses intensitāti attiecīgajos attālumos no tā pielikšanas vietas, jeb konstrukcijas spēju absorbēt šo impulsu. No FWD datiem atvasinātie ielieču parametri parāda slodzes radītā impulsa dzišanas straujumu ielieces tasē. Vājas konstrukcijas gadījumā impulsa dzišana notiek straujāk, un līdz ar to šo triju parametru vērtības būs lielākas. Stingākai konstrukcijai attiecīgi otrādi.

F1 un F2 ir parametri, kas raksturo ieliekuma tases formu (ieliekuma rādiusu) attiecīgi tuvāk slodzes centram (0,3-0,6 m), un tālāk no tā (0,6-0,9 m). Jo mazāks ir tases ieliekuma rādiuss, jo lielāka ir F vērtība. Izliekuma gadījumā šī sakarība ir pretēja. Tases liekuma rādiuss raksturo segas konstrukcijas attiecīgo elementu (segums un pamats) nestspēju.

Katrs no minētajiem parametriem noteikts visā ar attiecīgo projektēto konstrukciju izbūvētā posma garumā tās būvniecības pabeigšanas gadā un bojājumu lokalizācijas vietās – 2020 gadā. Veikts iegūto parametru salīdzinājums un izdarīti secinājumi.

Pētījumā izmantotie FWD dati nav reducēti pēc temperatūras mērījuma brīdī, jo visos mērījumos – gan pēc būvdarbu pabeigšanas, gan pētījuma laikā viena

objekta ietvaros, mērījumu sesijas laikā fiksētās temperatūras neatšķiras vairāk kā par 5 ℃. Tādējādi tie ir savstarpēji salīdzināmi sagaidāmo noviržu robežās bez pārveides.

FWD datu apstrādi un analīzi veica RTU Doktors Atis Zariņš.

3.1 A/c A2 Rīga – Sigulda – Igaunijas robeža (Veclaicene) 21,80-23,90 km, kreisā brauktuve

3.1.1 A/c A2 posma apsekošana un paraugu ņemšana

Apsekotais posms no dzelzceļa pārvada līdz Garkalnes pārvadam Rīgas virzienā. Vizuāla apsekošana veikta 2020. gada 9. septembrī. Visā posmā ir novērojamas garenplaisas starp risēm, vairāk malējā joslā, kur ir lielāka smago transporta līdzekļu kustība, iekšējā joslā plaisu ir salīdzinoši mazāk.

Paraugu ņemšana veikta 2020. gada 11. un 28. septembrī un 2021. gada 22. martā. Paraugu ņemšanas vietas:

- 23,90 km kreisā brauktuve, malējā joslā, brauktuves malā;
- 23,31 km kreisā brauktuve, malējā joslā, brauktuves malā pie nogriešanās pa labi joslas;
- 21,80 km kreisā brauktuve, vidējā joslā, brauktuves malā.

Attēls 3-1 Izurbto paraugu sērija a/c A2 21,80 km, kreisā brauktuve, vidējā josla, brauktuves malā

Attēls 3-2 Ceļa segas šurfs 1 m dziļumā a/c A2 23,90 km, kreisā brauktuve, malējā josla, brauktuves malā

Attēls 3-3 Šurfs 23,31 km

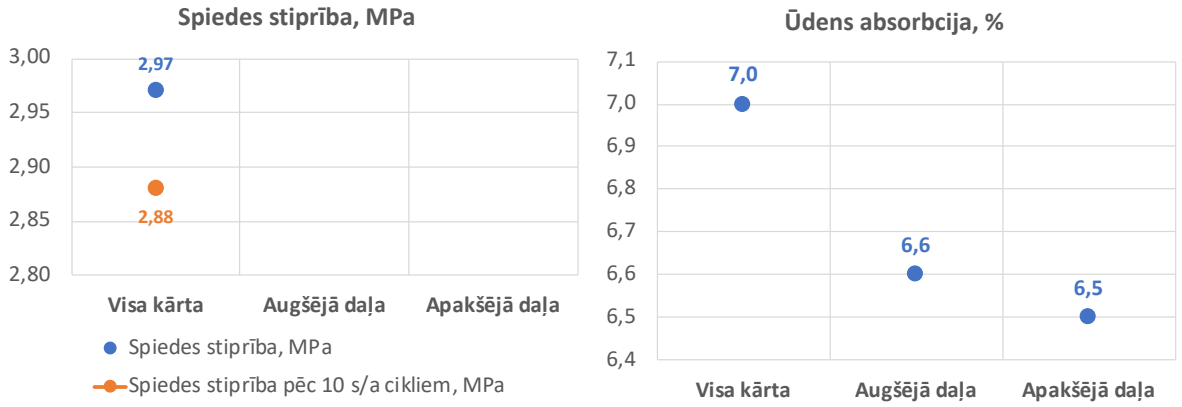
Paraugu ņemšanas vietās tika konstatēta sekojoša ceļa segas konstrukcija.

Tabula 3-1 A/c A2 ceļa segas konstrukcija

23,9 km, kreisā brauktuve, malējā josla, brauktuves malā		**23,31 km, kreisā brauktuve, malējā josla, pie nogriešanās pa labi joslas**		**21,80 km, kreisā brauktuve, vidējā josla, brauktuves malā**	
Nosaukums	**Biezums, cm**	**Nosaukums**	**Biezums, cm**	**Nosaukums**	**Biezums, cm**
Karstā asfalta kārtas	20,0	Karstā asfalta kārtas	20,0	Karstā asfalta kārtas	21,0
Ar cementu saistīta reciklētā kārta	16,0	Smalka smilts, melna, ar atsevišķiem akmentiņiem	25,0	Reciklētā kārta	27,0
Dolomīta šķembas	29,0	Smilts, gaiši brūna	55,0	Dolomīta šķembas Grants	17,0 12,0
Smilts	35,0			Smilts	23,0

3.1.2 A/c A2 mērījumu un paraugu testēšanas rezultāti

Attēls 3-4 No ceļa segas izurbto paraugu testēšanas rezultāti 23,9 km



Attēls 3-5 Sazāģēti izurbtie paraugi no reciklētās kārtas 23,9 km

21,8 km un 23,31 km reciklētās kārtas paraugu testēšana nebija iespējama, jo tie izurbšanas laikā sadrupa. Arī paraugu no 23,9 km testēšanas iespējas bija ļoti ierobežotas, izurbto paraugu sliktā stāvokļa dēļ.

3.1.3 A/c A2 posma būvobjekta dokumentācija

Būvdarbi veikti 2015. gadā. Saskaņā ar būvprojekta specifikācijām realizējamā reciklēšanas tehnoloģija ir novākt karstā asfalta dilumkārtu, safrēzēt atlikušo asfalta segumu ar nesaistīto pamatu 30 cm biezumā, un pēc tam reciklēt augšējo kārtu 15 cm biezumā, pievienojot 4 % cementu. Sasniedzamās reciklētās kārtas īpašības projektā nav noteiktas. Konstatēts, ka būvdarbu veicēja projektētais cementa daudzums ir 4 %, atlikušā esošā asfalta un nesaistītā pamata proporcijas pēc safrēzēšanas svārstās samērā lielā diapazonā, ar safrēzētā asfalta daudzumu maisījumā ap 40 – 80 %. Būvdarbu veicēja izstrādātajā reciklētā maisījuma projektā iegūta spiedes stiprība (pēc kondicionēšanas 1 dienu 75 ℃) ar lielāku frēzētā asfalta daudzumu 2,4 MPa, ar mazāku frēzētā asfalta daudzumu 5,1 MPa. Darbu izpildes laikā spiedes stiprības nav testētas, jo specifikācijas to neparedzēja. Būvdarbu izpildes laikā pēc reciklētās kārtas uzbūvēšanas testēta nestspēja un sablīvējums ar statisko plātni ne ātrāk kā 1 – 2 dienas pēc darbu pabeigšanas.

3.1.4 A/c A2 FWD mērījumu rezultāti

FWD mērījumu rezultāti izpētes punktos:

- 2020. gada 3. novembrī 23,9 km vidēji Esurf = 1160 MPa (1. mērījums), Esurf = 1688 MPa (2. mērījums, blakus joslā);
- 2016. gada 16. oktobrī 21,8 km Esurf = 1289 MPa, 24,0 km Esurf = 1251 MPa;
- 2016. gada 16. oktobrī 23,8 km E_{surf} = 1483 MPa, 24,0 km E_{surf} = 1197 MPa.

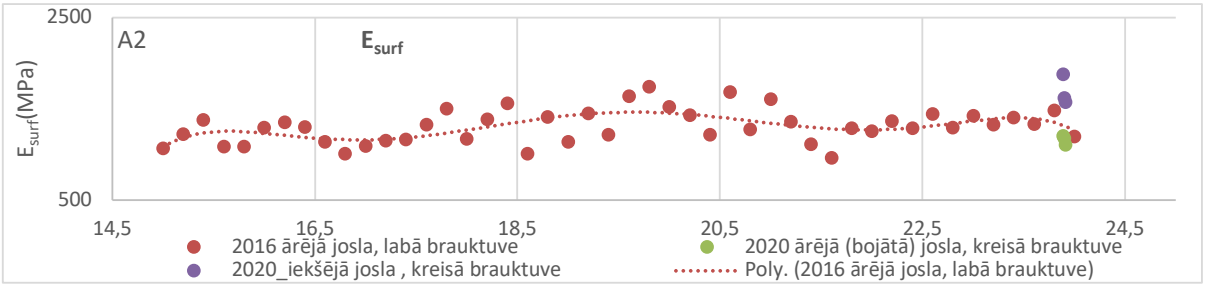
Situācijas apraksts un bojājumu raksturs

A2 kreisās brauktuves ārējā joslā ir novērojams izteiktas un praktiski nepārtrauktas garenvirziena plaisas aptuveni 5 km garā posmā no aptuveni 19 km līdz posma beigām aiz dzelzceļa pārvada. Plaisu lokalizācija ir izteikti pa joslas vidu. Plaisu intensitāte ir mainīga, taču visizteiktākās plaisas ir ap 23,3 km. Pie visvairāk bojātā griezuma 2020. gadā ir veikti mērījumi ar FWD. E_{surf} rezultāti salīdzināti visam pēc viena projekta uzbūvētajam posmam nodošanas gadā un pēc četriem gadiem divos griezumos – ar un bez defektiem (sk. Attēls 3-6). Tā kā visa brauktuve ir būvēta ar vienādu segas konstrukciju, tad A2 gadījumā salīdzināšanai ir izvēlēta iekšējā josla, kurā redzamu bojājumu nav.

FWD datu analīze

Kā redzams grafikā – ārējās joslas E_{surf} ir par aptuveni 30% zemāks nekā blakus (iekšējā) joslā, un nedaudz zemāks arī par to, kāds uz konstrukcijas šajā griezumā izmērīts segas nodošanas gadā. Jāatzīmē, ka nodošanas gada mērījumi ir uz labās puses brauktuves ārējās joslas.

Attēls 3-6 Pēc FWD mērījumu rezultātiem uz A2 noteiktie E_{surf} pēc izbūves 2016. gadā un 2020. gadā



Vērtējot atvasinātos parametrus arī ir saskatāma segas konstruktīvo elementu sabrukuma tendence 2020. gada mērījumos ārējā joslā, īpaši, ja izmērīto salīdzina ar iekšējo joslu, kurā līdzīgi bojājumi nav novērojami. Šāda tendence ir acīmredzama visos sešos parametros (sk. Attēls 3-7).

SCI=D0-D30: parametrs kas raksturo seguma, jeb asfalta daļas stāvokli. Ja iekšējās joslas parametrs 2020. gada mērījumos norāda uz stingu konstrukciju, un ir salīdzinoši lielāks par izbūves gadā fiksēto, tad ārējās (bojātās) kārtas mērījums uzrāda praktiski tādu pašu līmeni, kā sākotnēji. Šāda situācija visticamāk norāda uz to, ka segas asfalta daļa vēl funkcionē normāli. Tomēr diezgan izteiktā atšķirība ar references mērījumu arī norāda uz to, ka bojājumu negatīvā ietekme uz asfalta daļas veiktspēju ir iespējama un būtiska.

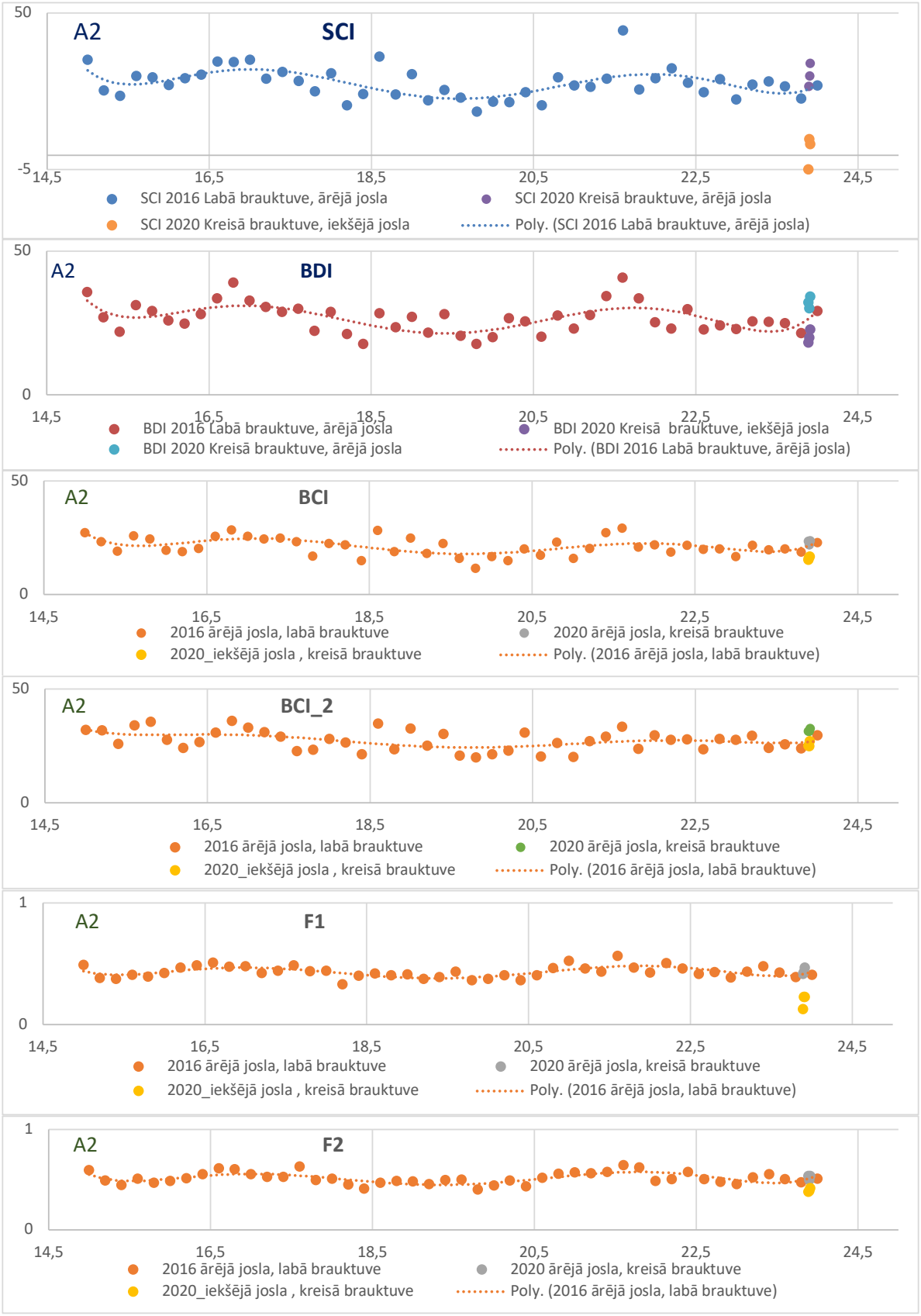
BDI=D30-D60: parametrs, ar kuru var raksturot slodzes impulsa izmaiņas, kas skaidrojamas ar zem asfalta esošo (h=0,2-0,4 m) kārtu ietekmi. Atbilstoši projekta un būvniecības dokumentācijai, tām atbilst reciklētā materiāla kārta h=0,3 m, kas virspusē daļēji (h=0,15 m) nostiprināta ar saistvielu. Arī šim parametram ir skaidri redzama atšķirība (aptuveni 30 %) starp ārējo (ar bojājumiem) un iekšējo joslu. Ir novērojams bojājumu izpausmes progress salīdzinot ar sākotnējo stāvokli (2016. gadā), bet līdzīgs, kā asfalta daļā.

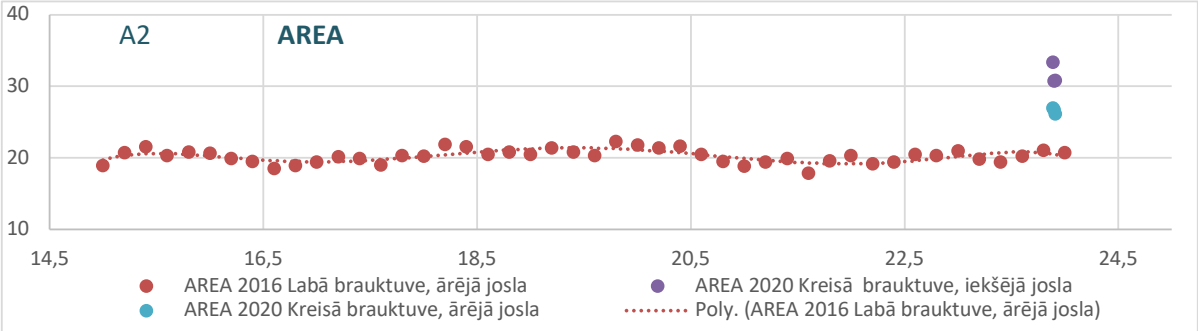
BCI=D60-D90 un **BCI_2**=D90-D150: raksturo slodzes impulsa izmaiņas, kas skaidrojamas attiecīgi ar nesaistīto pamata un smilts (h=0,5-0,9 m) kārtu ietekmi, vai ar pamatnes grunts kondīciju. Kā redzams grafikos, tad atšķirība starp ārējo un

iekšējo joslu turpina samazināties, tā iekļaujas iepriekš noteikto mērījumu robežās, tomēr joprojām ir nepārprotami saskatāma atšķirība starp bojāto ārējo joslu un references – iekšējo joslu. Bojātajā joslā impulss dziest straujāk, tātad konstrukcijas nestspēja tur ir zemāka.

F1=(D0-D60)/D30 un **F2**=(D30-D90)/D60: ir parametri kas raksturo ieliekuma tases formu (ieliekuma rādiusu) attiecīgi tuvāk slodzes centram (0,3-0,6 m), un tālāk no tā (0,6-0,9 m). Jo mazāks ir tases ieliekuma rādiuss, jo lielāka ir F vērtība. Tases liekuma rādiuss raksturo segas konstrukcijas attiecīgo elementu nestspēju. Veiktajos 2020. gada mērījumos redzams, ka bojātajā joslā parametrs F uzrāda lielākas vērtības ieliekuma tases iekšējā daļā (F1), un būtiski lielākas tās ir ārējā joslā salīdzinot ar iekšējo joslu. Šis fakts norāda uz konstrukcijas nestspējas pavājināšanos salīdzinājumā ar iekšējās joslu, kā arī uz iespējamu caurejošu plaisu klātbūtni saistītajās kārtās.

Attēls 3-7 No FWD datiem atvasinātie segas ielieču parametri ceļam A2





Kopumā secināms, ka kreisās brauktuves ārējās joslas segas struktūra ir būtiski vājāka par references griezuma (iekšējās joslas) struktūru. Lielākās atšķirības novērojamas pamata virsējās daļas līmenī.

3.1.5 A/c A2 21,90-23,90 km, kreisā brauktuve, atzinums par segas konstrukciju

Būvprojektā lietotās specifikācijas tobrīd vēl neparedzēja noteikt konkrētas prasības reciklētā maisījuma īpašībām. Ar FWD veiktie ceļa segas nestspējas mērījumu rezultāti norāda uz salīdzinoši sliktu ceļa segas kopējo nestspēju. Turklāt malējā joslā ceļa segas nestspēja ir par aptuveni 30 % zemāka.

Līdz ar to ceļa segas defektu cēlonis ceļa segas nepietiekamai nestspējai, ievērtējot apsekojuma, testēšanas un dokumentācijas analīzes datus, visticamāk ir nepietiekama ceļa segas pamata nesošā konstrukcija (reciklētā un šķembu kārta).

3.2 A/c A3 Inčukalns – Valmiera – Igaunijas robeža (Valka) 53,0-55,0 km

3.2.1 A/c A3 posma apsekošana un paraugu ņemšana

Apsekotais posms 53,0-55,0 km. Vizuāla apsekošana veikts 2020. gada 9. septembrī. Apsekotais posms atrodas uzbērumā. Plaisas novērotas galvenokārt posmā 53,5-54,5 km, kreisajā joslā. Garenvirziena plaisas, vietām vairākas blakus. Vietām rišu vietās plaisu tīkls.

Paraugu ņemšana veikta 2020. gada 11. novembrī. Paraugu ņemšanas vietas:

- 53,85 km kreisajā joslā, vidū (vieta ar plaisu tīklu);
- 54,08 km labajā joslā, brauktuves malā un vidū (vieta bez plaisām).

Attēls 3-8 Izurbtie paraugi a/c A3 53,85 km, kreisā josla, vidū

Paraugu ņemšanas vietās zem asfalta kārtas atradās nesaistītu materiālu kārta. 53,85 km dažos urbumos reciklētā kārta zem asfalta kārtas bija arī sasaistījusies. Saskaņā ar vēlāk iegūtu informāciju, dažviet sasaistījies, visticamāk, ir reciklēšanas procesā safrēzētais asfalts. Šajā objektā reciklētās kārtas būvniecībai saistvielas (cementa) izmantošana nebija paredzēta.

Paraugu ņemšanas vietās tika konstatēta sekojoša ceļa segas konstrukcija.

Tabula 3-2 A/c A3 ceļa segas konstrukcija

53,85 km, kreisā josla, vidū		**54,08 km, labā josla, vidū**	
Nosaukums	**Biezums, cm**	**Nosaukums**	**Biezums, cm**
Karstā asfalta kārtas	20,0	Karstā asfalta kārtas	20,0
Reciklētā kārta	16,0	Reciklētā kārta	24,0
Dolomīta šķembas	9,0	Dolomīta šķembas	12,0
Smilts	55,0	Smilts	44,0

3.2.2 A/c A3 mērījumu un paraugu testēšanas rezultāti

Tā kā izrādījās, ka reciklētā kārta nav saistīta ar saistvielām (tas arī nebija paredzēts), tad reciklētās kārtas testēšana nebija iespējama.

3.2.3 A/c A3 posma būvobjekta dokumentācija

A/c A3 48,5-60,2 km būvprojektā tika paredzēts vispirms safrēzēt esošo asfalta segumu un apakšā atrodošos pamatu 15-20 cm biezumā, pēc tam uzbērt jaunu minerālo materiālu ≥ 20 % (lai galarezultātā iegūtu maisījumu tuvu 0/45) un to samaisīt (reciklēt) 20 cm biezumā bez saistvielu pievienošanas. Saskaņā ar būvdarbu izpildes dokumentāciju šāds risinājums arī tika realizēts. Būvdarbi veikti 2014. gadā. Nomērītā nestspēja (E_{V2}) uz uzbūvētas reciklētās kārtas paraugu ņemšanas vietu tuvumā:

- kreisajā joslā ap 150 MPa;
- labajā joslā ap 190 MPa.

3.2.4 A/c A3 FWD mērījumu rezultāti

FWD mērījumi netika veikti.

3.2.5 A/c A3 53,0-55,0 km atzinums par segas konstrukciju

Konstatētie plaisu defekti a/c A3 53,5-54,5 kreisajā joslā visticamāk ir saistīti vai nu atsevišķi, vai kombinācijā, ar nepietiekamu kopējo ceļa segas nestspēju (pārāk plāna kopējā ceļa segas pamata nesošā kārta) un kādu zemes klātnes funkcionalitātei svarīgu parametru (grunšu īpašības vai mitruma režīms) nelabvēlīgu ietekmi šajā posmā.

Iespējams arī, ka kādi atšķirīgi būvdarbu izpildes paņēmieni vai materiāli, kas ir tikuši lietoti būvējot kreiso joslu šajā posmā, var būt par vienu no defektu iemesliem, bet dokumentāli tas netika konstatēts.

3.3 A/c A5 Rīgas apvedceļš (Salaspils – Babīte) 33,78-35,0 km

3.3.1 A/c A5 posma apsekošana un paraugu ņemšana

Apsekotais posms 33,78-35,0 km. Vizuāla apsekošana veikta 2020. gada 15. septembrī. Posmā vietām novērojamas garenplaisas, pārsvarā rišu vietās, arī brauktuves vidū. Salīdzinoši vairāk plaisu satiksmes pārvada pieejās uzbērumā.

Paraugu ņemšana veikta 2020. gada 23. septembrī un 2020. gada 3. decembrī. Paraugu ņemšanas vietas:

- 33,97 km kreisajā joslā, brauktuves malā (vieta bez plaisām);
- 34,34 km kreisajā joslā, brauktuves malā (vieta ar plaisām).

Attēls 3-9 a/c A5 34,45 km, labā josla, garenplaisas rišu vietā

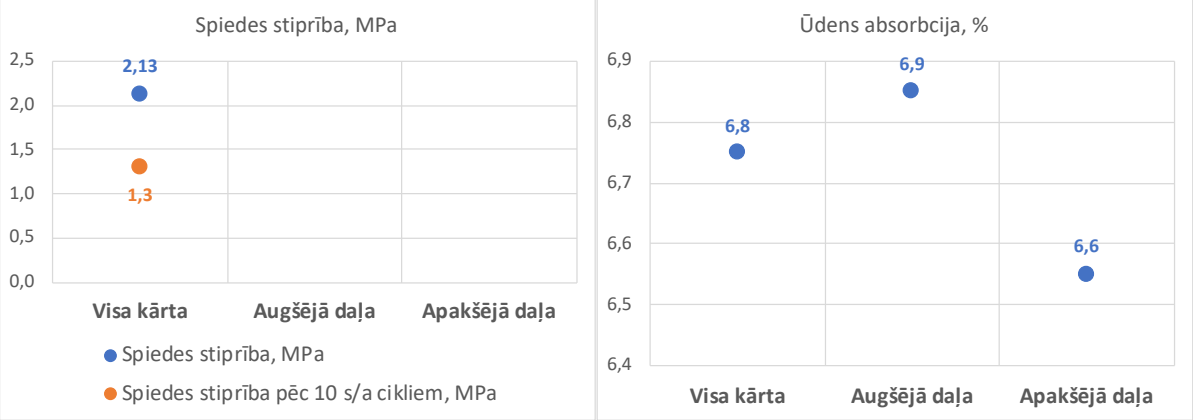
Paraugu ņemšanas vietās tika konstatēta sekojoša ceļa segas konstrukcija.

Tabula 3-3 A/c A5 ceļa segas konstrukcija

33,97 km, kreisā josla, brauktuves malā		**34,34 km, kreisā josla brauktuves malā**	
Nosaukums	**Biezums, cm**	**Nosaukums**	**Biezums, cm**
Karstā asfalta kārtas	20,0	Karstā asfalta kārtas	18,5
Ar cementu saistīta reciklētā kārta	29,0	Ar cementu saistīta reciklētā kārta	32,0
Dolomīta šķembas	20,0	Dolomīta šķembas	10,0
Smilts	31,0	Smilts	30,0

3.3.2 A/c A5 mērījumu un paraugu testēšanas rezultāti

Attēls 3-10 No ceļa segas izurbto paraugu testēšanas rezultāti 33,97 km



Attēls 3-11 Sazāģēti izurbtie paraugi no reciklētās kārtas 33,97 km

34,34 km reciklētās kārtas paraugu testēšana nebija iespējama, jo tie izurbšanas laikā sadrupa.

3.3.3 A/c A5 posma būvobjekta dokumentācija

Būvdarbi veikti 2012. gadā. Saskaņā ar būvprojekta specifikācijām realizējamā reciklēšanas tehnoloģija ir novākt karstā asfalta dilumkārtu, safrēzēt atlikušo

asfalta segumu ar nesaistīto pamatu 30 cm biezumā, un pēc tam reciklēt augšējo kārtu 15 cm biezumā, pievienojot 4 % cementu. Sasniedzamās reciklētās kārtas īpašības projektā nav noteiktas. Konstatēts, ka kā saistviela lietots nevis cements, bet hidrauliskā ceļu saistviela HRB 32,5 E. Darbu izpildes laikā spiedes stiprības nav testētas, jo specifikācijas to neparedzēja. Būvdarbu izpildes laikā hidrauliskās ceļu saistvielas daudzums samazināts uz 3 %. Būvdarbu izpildes laikā pēc reciklētās kārtas uzbūvēšanas testēta nestspēja un sablīvējums ar statisko plātni ne ātrāk kā 1 – 2 dienas pēc darbu pabeigšanas.

3.3.4 A/c A5 FWD mērījumu rezultāti

FWD mērījumu rezultāti izpētes punktos:

- 2020. gada 30. oktobrī 33,97 km KJ vidēji E_{surf} = 1199 MPa;
- 2020. gada 30. oktobrī 34,34 km KJ vidēji E_{surf} = 684 MPa;
- 2018. gada 3. jūlijā 33,9 km KJ E_{surf} = 1175 MPa;
- 2018. gada 3. jūlijā 34,3 km KJ E_{surf} = 744 MPa.

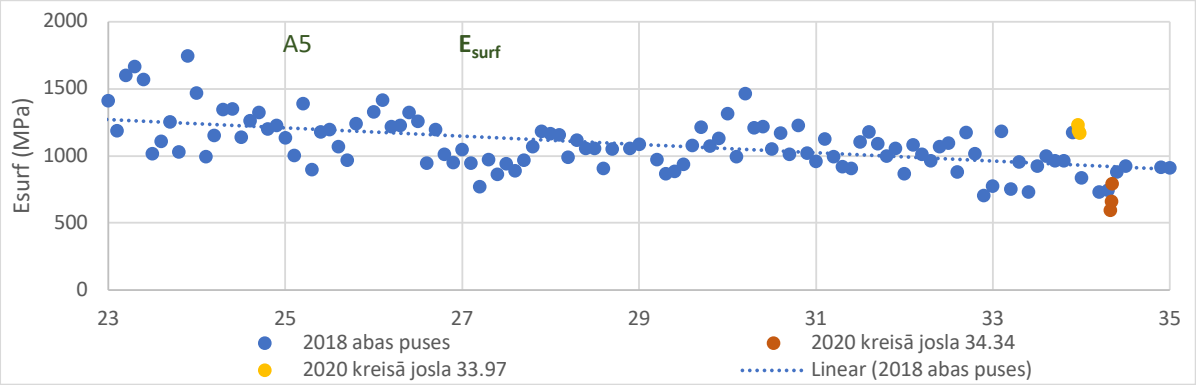
Situācijas apraksts un bojājuma raksturs

A5 kreisajā joslā atsevišķos posmos ir novērojams garenvirziena plaisas. Plaisas lokalizācija ir izteikti pa joslas vidu. Plaisu intensitāte ir mainīga, taču visizteiktākās plaisas ir ap 34,3 km. Pie visvairāk bojātā griezuma 2020. gadā ir veikti mērījumi ar FWD un salīdzināti rezultāti E_{surf}, visam pēc viena projekta izbūvētajam posmam 2018. gadā, ar pēc diviem gadiem divos griezumos – ar un bez defektiem (Attēls 3-12). Mērījums 34,34 km ir bojājuma vietā, savukārt salīdzinājumam veikts vietā bez redzamiem defektiem 33,97 km.

FWD datu analīze

Kā redzams grafikā (sk. Attēls 3-12) – bojātā griezuma E_{surf} ir par aptuveni 30 % zemāks nekā nebojātajā posmā ar to pašu konstrukciju, un vidēji nedaudz zemāks arī par to, kāds uz konstrukcijas šajā griezumā izmērīts 2018. gadā.

Attēls 3-12 Pēc FWD mērījumu rezultātiem uz A5 noteiktie E_{surf} 2018. gadā un 2020. gadā



Vērtējot atvasinātos parametrus arī ir saskatāma segas konstruktīvo elementu sabrukuma tendence 2020. gada mērījumos bojātajā griezumā 34,34 km arī, ja izmērīto salīdzina ar references griezumu 33,97 km. Šāda tendence ir acīmredzama arī visos sešos pētāmajos parametros (sk. Attēls 3-13).

SCI=D0-D30: parametrs kas raksturo seguma, jeb asfalta daļas stāvokli. Ja nebojātajā griezumā 33,97 km parametri 2020. gada mērījumos norāda uz stiprāku konstrukciju nekā 2018. gadā fiksētie (mazāks SCI), tad bojātā griezuma kārtas mērījumiem divi ir iepriekš noteikto parametru robežās, bet viens norāda uz stipri pavājinātu segas virsējo daļu. Šāda situācija var veidoties pie caurejošas plaisas asfaltā, kombinācijā ar vājas nestspējas pamatu.

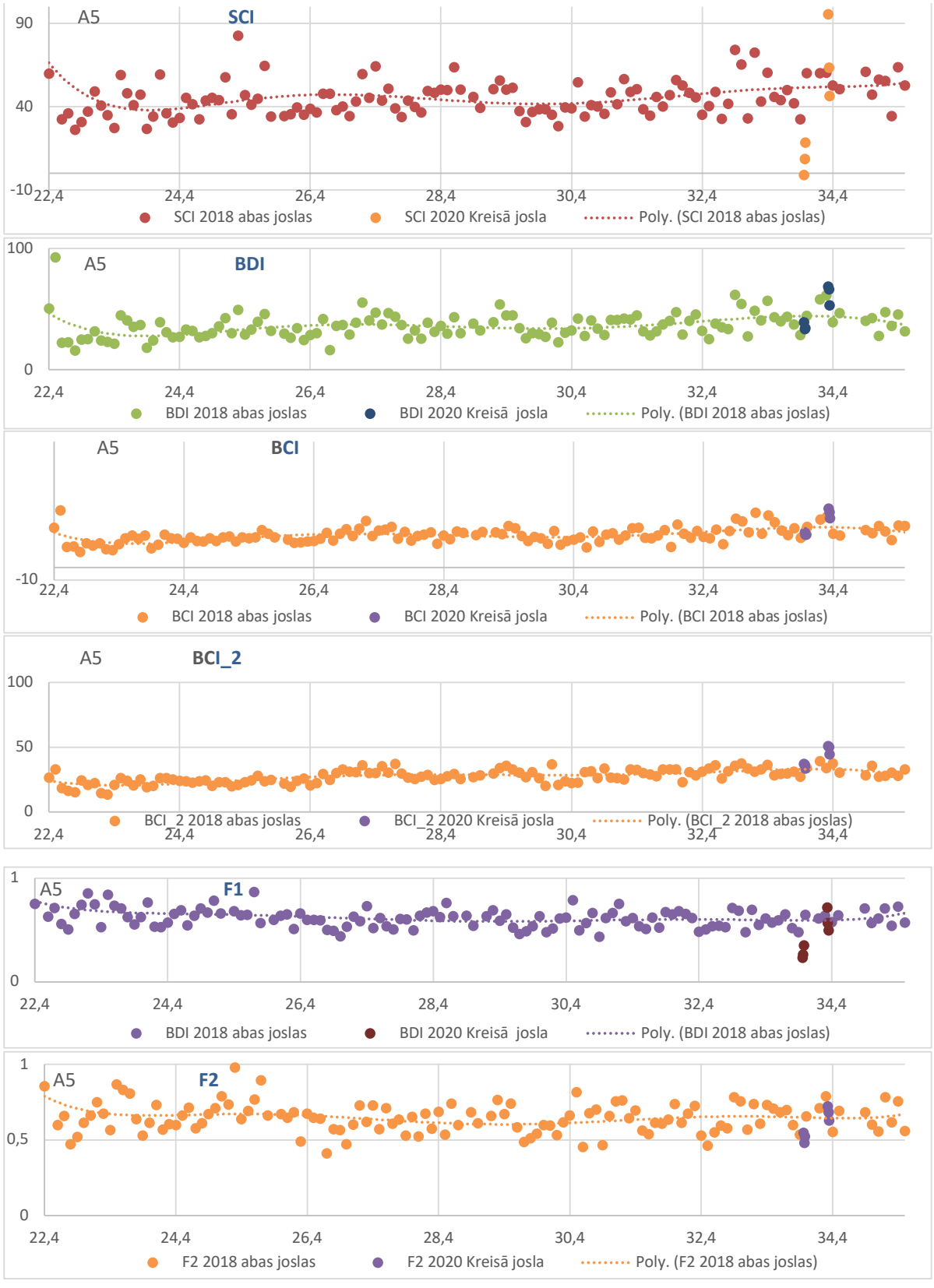
BDI=D30-D60: parametrs, ar kuru var raksturot slodzes impulsa izmaiņas, kas skaidrojamas ar zem asfalta esošo (h=0,2-0,4 m) kārtu ietekmi. Atbilstoši projekta un būvniecības dokumentācijai tām atbilst reciklētā materiāla kārta h=0,3 m, kas daļēji (h=0,15 m) nostiprināta ar saistvielu. BDI parametra gadījumā ir līdzīgi kā SCI – bojātajā griezumā parametrs norāda uz vājāku konstrukciju nekā references griezumā. Tomēr atšķirības ir mazākas. Arī šim parametram ir skaidri redzama atšķirība (aptuveni 30-40%) starp bojāto un references griezumu.

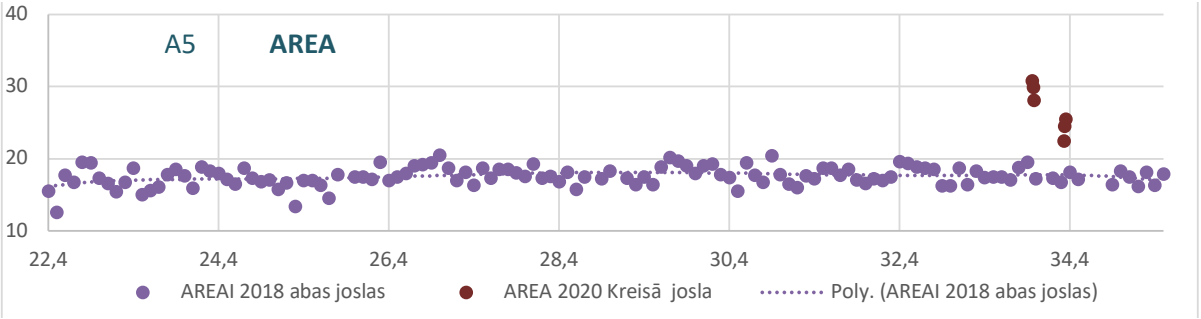
BCI=D60-D90 un **BCI_2**=D90-D150: raksturo slodzes impulsa izmaiņas, kas skaidrojamas attiecīgi ar nesaistīto pamata un smilts (h=0,5-0,9 m) kārtu ietekmi, vai ar pamatnes grunts kondīciju. Kā redzams grafikos, tad atšķirība starp references un bojāto griezumiem turpina samazināties, taču joprojām ir nepārprotami saskatāms, ka bojātā griezuma mērījumi norāda uz pavājinātu

struktūru, un nedaudz izteiktāka šī norāde ir BCI_2 parametram, kas skaidrojama ar pamata apakšdaļas un/vai smilts kārtas kondīciju.

F1=(D0-D60)/D30 un **F2**=(D30-D90)/D60: ir parametri kas raksturo ieliekuma tases formu (ieliekuma rādiusu) attiecīgi tuvāk slodzes centram (0,3-0,6 m), un tālāk no tā (0,6-0,9 m). Jo mazāks ir tases ieliekuma rādiuss, jo lielāka ir F vērtība. Izliekuma gadījumā šī sakarība ir pretēja. Tases liekuma rādiuss raksturo segas konstrukcijas attiecīgo elementu nestspēju. Veiktajos 2020. gada mērījumos redzams, ka bojātajā joslā parametrs F uzrāda lielākas vērtības ieliekuma tases iekšējā daļā (F1), un būtiski lielākas tās ir ārējā joslā salīdzinot ar iekšējo joslu. Šis fakts norāda uz konstrukcijas nestspējas pavājināšanos salīdzinājumā ar iekšējo joslu, kā arī uz iespējamu caurejošu plaisu klātbūtni saistītajās kārtās.

Attēls 3-13 No FWD datiem atvasinātie segas ielieču parametri ceļam A5





Apkopojot iegūtos datus ir secināms, ka bojātajā griezumā segas struktūra ir pavājināta pamata apakšējās daļas līmenī, uz ko vistiešāk norāda parametri BCI un BCI_2.

3.3.5 A/c A5 33,78-35,0 km atzinums par segas konstrukciju

Defektu iemesls a/c A5 33,78 – 35,0 km visticamāk ir nepietiekama ceļa segas nestspēja, visticamāk tas saistīts ar nepietiekamu reciklētās kārtas un, iespējams, arī nesošās nesaistītās kārtas zem reciklētās kārtas nestspēju. Uzbēruma posmā pieejās pārvadam ceļa segas nestspēja ir salīdzinoši zemāka un seguma defekti (plaisas), to intensitāte un koncentrācija lokālos apgabalos ir lielāki nekā pārējā posmā, kur nestspēja ir lielāka un defektu ir salīdzinoši mazāk. Bet ceļa segas nestspēja tomēr nav pietiekama visā posmā.

3.4 A/c A9 Rīga (Skulte) – Liepāja 9,9-22,9 km

3.4.1 Apsekošana

Vizuāla apsekošana veikta 2020. gada 23. septembrī. Objektā vērā ņemami seguma defekti nav novērojami. Ap 18 km kreisajā joslā lokālā apgabalā nelielas garenplaisas visā joslas platumā.

Būvdarbu izpildes gads – 2011. Ar cementu saistītas reciklētās kārtas biezums – 19-22 cm. 2016. gadā urbjot paraugus no reciklētās kārtas tie sabruka. Saskaņā ar 2016. gadā veikta pētījuma datiem ceļa segas konstrukcijai 14,4-15,4 km tika konstatēts 5 % nestspējas deficīts.

3.5 A/c A9 Rīga (Skulte) – Liepāja 79,3-97,58 km

3.5.1 Apsekošana

Vizuāla apsekošana veikta 2020. gada 23. septembrī. Objektā vērā ņemami seguma defekti nav novērojami. 85,2 km labajā joslā un Brocēnos kreisajā joslā nelielos lokālos apgabalos novērojamas garenplaisas un seguma deformācijas. Plaisu un deformāciju iemesls saistīts ar zemes klātnes funkcionalitātei svarīgu parametru

(grunšu īpašības vai mitruma režīms) neievērtēšanu, jo būvprojekta izstrādes gaitā tika veikta tikai esošās ceļa segas konstrukcijas uzmērīšana 60 cm biezumā.

Būvdarbu izpildes gads – 2012-2013. Ar cementu saistītas reciklētās kārtas biezums – 20-24 cm. Paredzētais pievienojamā cementa daudzums – 4,5 %. 2016. gadā no reciklētās kārtas urbto paraugu spiedes stiprība vidēji 4,2-7,2 MPa, elastības modulis – 1300-1800 MPa.

Saskaņā ar 2016. gadā veikta pētījuma datiem ceļa segas konstrukcijas nestspēja bija atbilstoša paredzētajai.

3.6 A/c A9 Rīga (Skulte) – Liepāja 148,59-163,28 km

3.6.1 Apsekošana

Vizuāla apsekošana veikta 2020. gada 23. septembrī. Objektā vērā ņemami seguma defekti nav novērojami.

Būvdarbu izpildes gads ap 2014. Ar cementu saistītas reciklētās kārtas biezums – 14-15 cm. Paredzētais pievienojamā cementa daudzums – 4,5 %. 2016. gadā urbjot paraugus no reciklētās kārtas tie sabruka.

Saskaņā ar 2016. gadā veikta pētījuma datiem ceļa segas konstrukcijas nestspēja bija atbilstoša paredzētajai.

3.7 A/c A11 Liepāja – Lietuvas robeža (Rucava) 21,85-45,02 km

3.7.1 A/c A11 posma apsekošana un paraugu ņemšana

Apsekotais posms 21,85-35,0 km. Vizuāla apsekošana veikts 2020. gada 23. septembrī. Praktiski visā posmā garenplaisa brauktuves vidū, vietām blakus arī otra garenplaisa. Vietām novērojamas šķērsplaisas ar savstarpējo attālumu ap 5 – 10 m.

Paraugu ņemšana veikta 2020. gada 2. oktobrī un 2021. gada 10. martā. Paraugu ņemšanas vietas:

- 29,64 km labajā joslā, vidū (vieta bez plaisām - nosacīti);
- 30,75 km kreisajā joslā, vidū (vieta ar plaisām).

Attēls 3-14 a/c A11 Garenplaisa un šķērsplaisas 30,75 km

Attēls 3-15 Ceļa segas šurfs 1 m dziļumā a/c A11 29,64 km, labā josla, vidū

Iedzenot paraugu ņemšanas cauruli pirmajā paraugu ņemšanas vietā (29,64 km), tā iesprūda. Kad ar smagās tehnikas palīdzību caurule tika izvilkta tika konstatēts, ka tā iesprūda zem recikla kārtas atrodošā reciklēšanas darbu gaitā nesafrēzētā (vai atkārtoti sasaistījusies) vecajā asfalta kārtā. Tāpēc 30,75 km paraugu ņemšanas vietā netika veikti ceļa segas konstruktīvo kārtu biezuma mērījumi zem reciklētās kārtas.

Paraugu ņemšanas vietās tika konstatēta sekojoša ceļa segas konstrukcija.

Tabula 3-4 A/c A11 ceļa segas konstrukcija

29,64 km, labā josla, vidū		**30,75 km, kreisā josla, vidū**	
Nosaukums	**Biezums, cm**	**Nosaukums**	**Biezums, cm**
Karstā asfalta kārtas	14,0	Karstā asfalta kārtas	14,0
Ar cementu saistīta reciklētā kārta	17,0	Ar cementu saistīta reciklētā kārta	17,0
Vecais asfalts	20,0		
Smilts-grants maisījums	29,0		
Smilts	20,0		

3.7.2 A/c A11 mērījumu un paraugu testēšanas rezultāti

Tabula 3-5. No ceļa izurbto paraugu testēšanas rezultāti

Īpašība	**29,64 km**	**30,75 km**
Spiedes stiprība, visa kārta, MPa	6,10	8,88
Spiedes stiprība, augšējā daļa, MPa	5,93	9,10
Spiedes stiprība, apakšējā daļa, MPa	3,59 (bojāts paraugs)	7,51
Spiedes stiprība pēc 10 sasaldēšanas – atkausēšanas cikliem, visa kārta, MPa	5,69	7,75
Visas kārtas ūdens absorbcija, %	4,7	4,7
Augšējās daļas ūdens absorbcija, %	4,9	4,0
Apakšējās daļas ūdens absorbcija, %	4,9	5,0

3.7.3 A/c A11 posma būvobjekta dokumentācija

Būvdarbi veikti 2015. un 2016. gadā. Saskaņā ar būvprojekta risinājumu a/c A11 reciklētā kārta uzbūvēta samaisot esošo ceļa segu ar jaunu minerālo materiālu 22/45, pievienojot 4 % cementa, sasniedzot uz reciklētās kārtas virsmas $E_{V2} \geq 180$ MPa. Izbūvējamais reciklētās kārtas biezums – 18 cm. Saskaņā ar būvdarbu izpildes laikā veikto testēšanu, reciklētā maisījuma granulometriskais sastāvs atbilst prasībām 0/45 nesaistītu maisījumu granulometriskajam sastāvam. Prasības reciklētā maisījuma spiedes stiprībai vai citām īpašībām nebija noteiktas.

3.7.4 A/c A11 FWD mērījumu rezultāti

FWD mērījumu rezultāti izpētes punktos:

- 2020. gada 24. novembrī 29,64 km KJ vidēji E_{surf} = 1657 MPa;
- 2020. gada 24. novembrī 30,75 km LJ vidēji E_{surf} = 1628 MPa;

- 2018. gada 5. oktobrī 29,7 km KJ E_{surf} = 1670 MPa;
- 2018. gada 4. oktobrī 30,8 km LJ E_{surf} = 795 MPa.

Situācijas apraksts un bojājuma raksturs

Praktiski visā posmā novērota garenplaisa brauktuves vidū, kas iespējams ir vērtējama, kā tehnoloģiskas izcelsmes salaiduma plaisa. Vietām blakus arī otra garenplaisa (iespējams kopē asfalta apkškārtas malu). Vietām novērojamas šķērsplaisas ar savstarpējo attālumu ap 5-10 m.

FWD mērījumi 2020/21. gadā veikti divos griezumos:

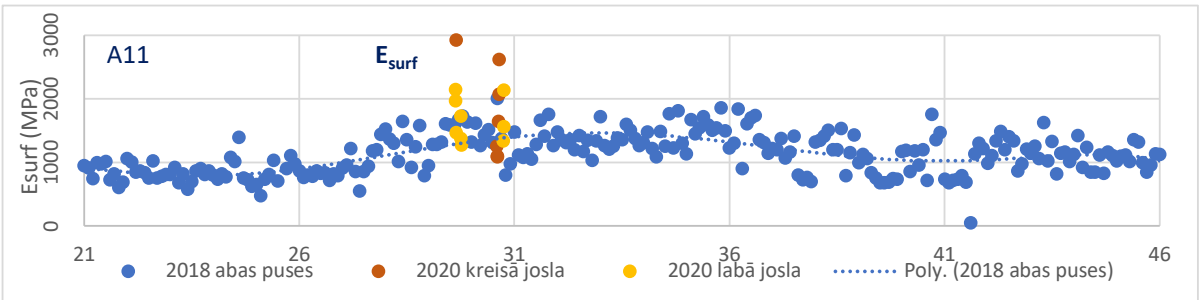
- 29,64 km labajā joslā, vidū (references griezums, bez plaisām - nosacīti);
- 30,75 km kreisajā joslā, vidū (vieta ar plaisām).

FWD mērījumi 2020 gadā ir veikti attiecīgi - gan griezuma labajā, gan kreisajā joslā.

FWD datu analīze

Kā redzams grafikā (sk. Attēls 3-16) – abos griezumos E_{surf} ir praktiski vienādi gan salīdzinot tos abos griezumos, gan abās pusēs. Tāpat var teikt, ka tie ir vienādi, vai pat lielāki, par tiem, kādi šajā posmā izmērīti 2018. gadā.

Attēls 3-16 Pēc FWD mērījumu rezultāta uz A11 noteiktie E_{surf} 2018 .gadā un 2020. gadā



Vērtējot atvasinātos parametrus ir saskatāma līdzīga sakarība – parametri abos kotrolgriezumos ir līdzīgi. Šāda tendence ir piecos no sešiem pētāmajiem parametriem (sk. Attēls 3-17).

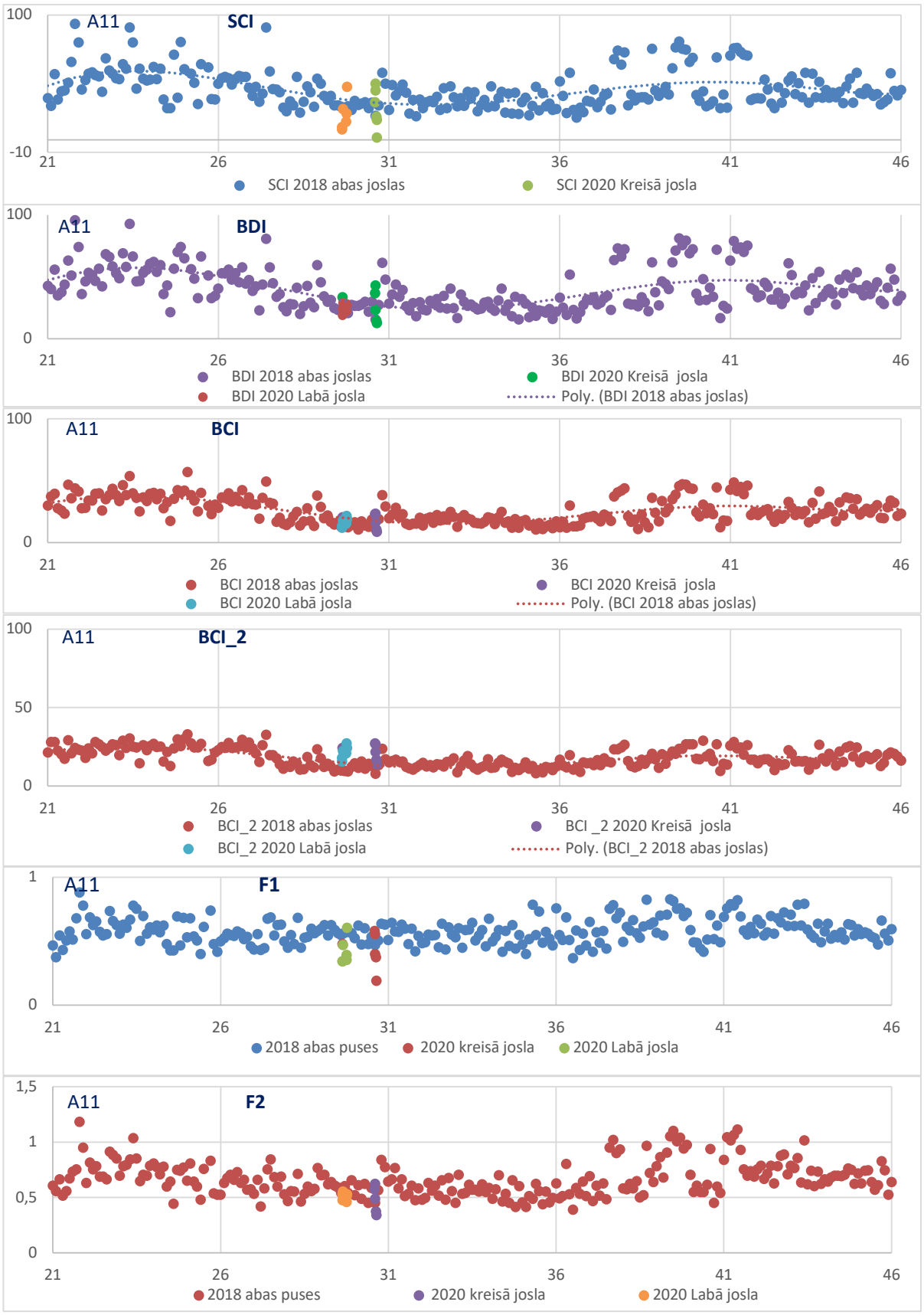
SCI=D0-D30: parametrs kas raksturo seguma, jeb asfalta daļas stāvokli. Abos griezumos noteiktās SCI vērtības ir līdzīgas un tās iekļaujas arī 2018. gada mērījumu diapazonā. Jāatzīmē ka šajā, kā arī abos iepriekšējos izpētes posmos SCI parametrs uzrāda vislielāko izkliedi starp aplūkotajiem. Turklāt nedaudz lielāka tā ir bojātajā griezumā.

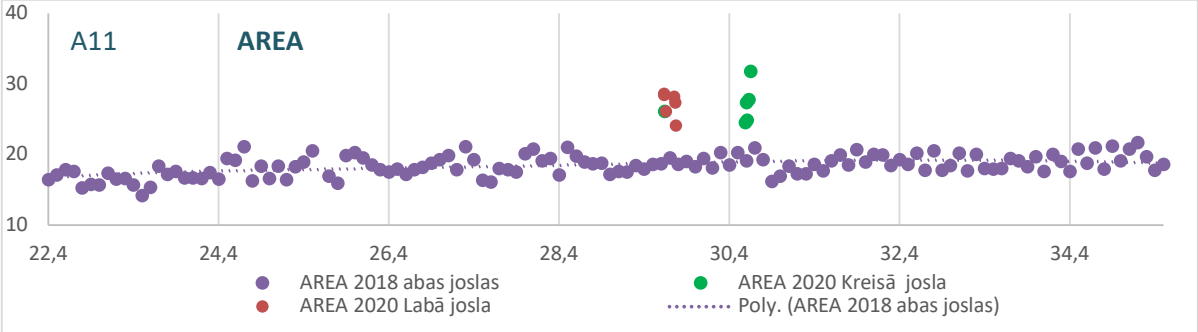
BDI=D30-D60: parametrs, ar kuru var raksturot slodzes impulsa izmaiņas, kas skaidrojamas ar zem asfalta esošo (h=0,2-0,4 m) kārtu ietekmi. Arī šis parametrs neuzrāda atkāpes no iepriekš noteiktajām vērtībām, taču novērojama aptuveni 2 reizes lielāka izkliede bojātajā griezumā.

BCI=D60-D90 un **BCI_2**=D90-D150: raksturo slodzes impulsa izmaiņas, kas skaidrojamas attiecīgi ar nesaistīto pamata un smilts (h=0,5-0,9 m) kārtu ietekmi, vai ar pamatnes grunts kondīciju. Kā redzams grafikos, tad atšķirīgas references un bojātajā griezumos joprojām ir izkliedes (bojātajā lielāka). BCI_2 parametrs arī vienīgais šajā A11 posmā uzrāda nepārprotamu struktūras vājinājuma pazīmi. Taču tā ir novērojama vienādi abos – gan references, gan bojātajā griezumā.

F1=(D0-D60)/D30 un **F2**=(D30-D90)/D60: ir parametri kas raksturo ieliekuma tases formu (ieliekuma rādiusu) attiecīgi tuvāk slodzes centram (0,3-0,6 m), un tālāk no tā (0,6-0,9 m). Jo mazāks ir tases ieliekuma rādiuss, jo lielāka ir F vērtība. Izliekuma gadījumā šī sakarība ir pretēja. Tases liekuma rādiuss raksturo segas konstrukcijas attiecīgo elementu nestspēju. Veiktajos 2020. gada mērījumos redzams, ka gan F1, gan F2 vērtības vidēji iekļaujas vai ir pozitīvāk vērtējamas, salīdzinājumā ar 2018. gadā mērītajām. Joprojām atšķirīgas ir izkliedes 2020. gadā mērītajos griezumos – bojātajā lielākas.

Attēls 3-17 No FWD datiem atvasinātie segas ielieču parametri ceļam A11





Kopumā par A11 posmu var secināt, ka palielinātas izkliedes veiktajos mērījumos griezumā ar bojājumiem norāda uz struktūras neviendabīgumu šajā vietā. Plaisas segumā varētu būt gan tieši gan pakārtoti saistāmas ar šo faktu. Tehnoloģiskā garenplaisa nav tieši saistāma ar struktūras neviendabīgumu, taču var norādīt uz sistemātisku problēmu pašas konstrukcijas risinājumā un izpildījumā. Tas pats ir sakāms par šķērsplaisām.

3.7.5 A/c A11 21,85-45,02 km atzinums par segas konstrukciju

Šajā objektā plaisu defekti lielā mērā varētu būt saistīti ar uzbūvētās reciklētās kārtas īpašībām. Jo posmā, kur novērojamas šķērsplaisas, konstatētas arī samērā augstas reciklētās kārtas spiedes stiprības, kas var provocēt lielāka apjoma plaisu veidošanos reciklētajā kārtā, kuras tālāk reflektējas asfalta segumā. Arī kā iemesls defektiem var būt iespējamā konstruktīvo slāņu neviendabība zem reciklētās kārtas, tai skaitā tur konstatētā vecā asfalta kārta.

3.8 A/c P30 Cēsis – Vecpiebalga – Madona 24,5-38,0 km

3.8.1 Apsekošana

Apsekotais posms 24,5-38,0 km. Vizuāla apsekošana veikta 2020. gada 9. septembrī. Lielākā vai mazākā koncentrācijā plaisas novērojamas praktiski visā posmā. 25,5-27,0 km garenplaisas pārsvarā brauktuves vidū un iekšējā rišu vietā. 36,0-37,0 km abās joslās rišu vietās salīdzinoši nedaudz vairāk plaisu kā pārējā objektā. Ap 35,0 km ceļš ielejā, kreisajā joslā ārējā rišu vietā novērojamas salīdzinoši vairāk plaisas. Vairākās lokālās vietās – 25,6 km labajā joslā, 28,7 km labajā joslā un 35,5 km labajā joslā konstatēti apgabali ar plaisu tīklu.

Vēlāk noskaidrojās, ka šajā objektā nav būvēta reciklēta kārta, bet nesaistītu minerālmateriālu pamats, līdz ar to tālākas darbības šī pētījuma ietvaros objektā netika veiktas.

3.9 A/c P39 Alūksne – Ape 20,0-22,2 km

3.9.1 A/c P39 posma apsekošana un paraugu ņemšana

Apsekotais posms 20,0-22,2 km. Vizuāla apsekošana veikta 2020. gada 9. septembrī. Gandrīz visā objektā ierobežota garuma garenplaisas gan brauktuves vidū, gan arī ārējās rišu vietās, brauktuves malās. Arī dažādā virzienā vērstas plaisas. Atsevišķās vietās ik pa gabalam (pārsvarā > 200 m) arī pa kādai šķērsplaisai. Vietām joslās posmi ar lielāku plaisu koncentrāciju, pārsvarā labajā joslā.

Paraugu ņemšana veikta 2020. gada 13. novembrī. Paraugu ņemšanas vietas:

- 20,48 km labajā joslā, vidū (vieta ar plaisām);
- 21,55 km kreisajā joslā, vidū (vieta bez plaisām) – a/p "Ozolnieki".

Attēls 3-18 a/c P39 20,5 km labā josla, plaisas

Attēls 3-19 Ceļa segas šurfs 1 m dziļumā a/c P39 20,48 km, labā josla, vidū

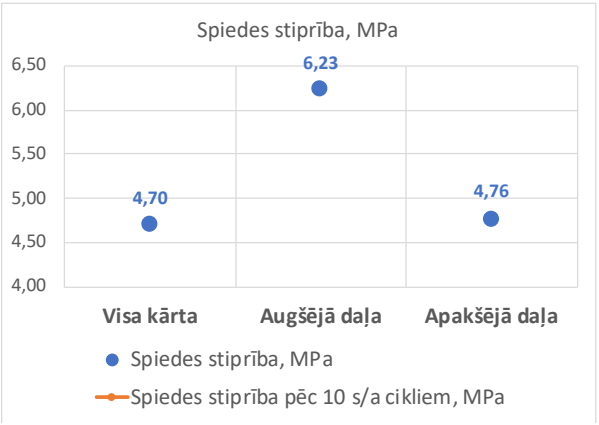
Paraugu ņemšanas vietās tika konstatēta sekojoša ceļa segas konstrukcija.

Tabula 3-6 A/c P39 ceļa segas konstrukcija

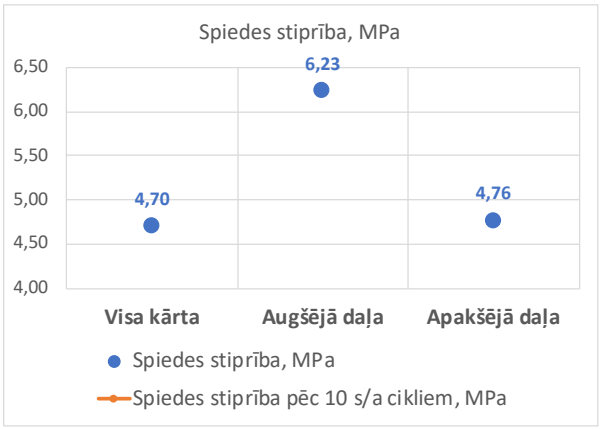
20,48 km, labā josla, vidū		**21,55 km, kreisā josla, vidū**	
Nosaukums	**Biezums, cm**	**Nosaukums**	**Biezums, cm**
Karstā asfalta kārtas	10,0	Karstā asfalta kārtas	11,0
Ar cementu saistīta reciklētā kārta	37,0	Ar cementu saistīta reciklētā kārta	34,0
Smilts-grants maisījums	12,0	Smilts-grants maisījums	14,0
Smilts	41,0	Smilts Māls	9,0 32,0

3.9.2 A/c P39 mērījumu un paraugu testēšanas rezultāti

Attēls 3-20 No ceļa segas izurbto paraugu testēšanas rezultāti 20,48 km



Attēls 3-21 No ceļa segas izurbto paraugu testēšanas rezultāti 21,55 km



Attēls 3-22 Izurbtie paraugi no reciklētās kārtas

3.9.3 A/c P39 posma būvobjekta dokumentācija

Saskaņā ar būvprojekta risinājumu a/c P39 reciklētā kārta uzbūvēta vispirms samaisot esošo ceļa segu 30 cm biezumā, tad pievienojot jaunu minerālo materiālu (≈ 50 %) un cementu 8,8 kg/m² (≈ 3 %), samaisot un sablīvējot 14 cm biezumā, sasniedzot uz reciklētās kārtas virsmas E_{V2} ≥ 130 MPa. Izstrādājot būvprojektu veikta esošās ceļa segas konstruktīvo kārtu uzmērījumi 60 cm dziļumā (brauktuves malās). Kā pievienojamais jaunais minerālmateriāls tika lietotas 32/45 šķembas. Būvdarbu izpildes laikā uzmērītais uz reciklētās kārtas virsmas E_{V2} > 200 MPa. Prasības reciklētā maisījuma spiedes stiprībai vai citām īpašībām nebija noteiktas. Būvdarbu izpilde veikta 2015. un 2016. gadā.

3.9.4 A/c P39 FWD mērījumu rezultāti

FWD mērījumi netika veikti.

3.9.5 A/c P39 20,0-22,2 km atzinums par segas konstrukciju

Konstatētie plaisu defekti a/c AP39 20,0-22,2 lielā mērā ir saistīti ar kādu zemes klātnes funkcionalitātei svarīgu parametru (grunšu īpašības vai mitruma režīms) neievērtēšanu, jo netika veikta ģeoloģiskā izmeklēšana, bet tikai esošās ceļa segas konstrukcijas novērtējums. Kā arī ir iespējams, ka daļa defektu ir saistīti ar atšķirībām esošās ceļa segas konstruktīvo kārtu platumos, kas varētu būt vēsturiski izveidojušies ceļu pēc tā sākotnējās uzbūvēšanas vēlāk paplašinot, par ko liecina plaisas brauktuves malās.

4 Ar cementu saistītu kārtu apsekošana un testēšana būvdarbu izpildes laikā

Tika izvēlēti 3 būvobjekti, kuros tika veikta ar cementu saistītas kārtas būvdarbu procesa apsekošana, reciklētā maisījuma paraugu ņemšana, sadalīšana, paraugu izgatavošana gan ar Proktoru, gan Modificēto Proktoru gan A, gan B veidnē. Vēlāk tika veikta arī paraugu izurbšana no uzbūvētās kārtas. Tika testēta paraugu spiedes stiprība pēc 28 dienām, un 28 dienām 10 salumkusumizturības cikliem, kā arī tika testēts mitruma saturs, lai novērtētu tā izmaiņas gan paraugu ņemšanas, gan būvdarbu izpildes laikā.

4.1 Objekts A

4.1.1 Objektā A paredzētais un faktiski realizētais reciklēšanas risinājums

Būvprojektā paredzēts uzbūvēt ar cementu saistītu reciklēto kārtu 15 cm biezumā, samaisot rūpnīcā. Nodrošinot granulometriskā maisījuma struktūru atbilstošu CBGM 0/22 vai CBGM 0/32. Pievienojot cementu 2-6 %, lai sasniegtu spiedes stiprību ≥ 3,0 MPa pēc 28 dienu cietēšanas (vai arī testējot pēc 7 dienu cietēšanas, tad prasības spiedes stiprībai par 30 % zemākas, t.i. ≥ 2,1 MPa), un pieļaujamais spiedes stiprības kritums pēc 10 sasaldēšanas – atkausēšanas cikliem ≥ 0,7.

Saskaņā ar būvdarbu veicēja Darba formulu, reciklētais maisījums projektēts pēc prasībām CBGM 0/32 maisījumam. Deklarētais pievienojamā cementa daudzums 3 % (100 % cements kopā ar minerālajiem materiāliem). Deklarētais optimālais ūdens saturs virs kopējās masas ap 5 %. Darba formulā deklarētā spiedes stiprība pēc 7 dienu cietēšanas – 3,6 MPa. Spiedes stiprības kritums pēc 10 sasaldēšanas – atkausēšanas cikliem nav testēts un nav deklarēts, bet tas bija jāizdara.

Reciklētā maisījuma ražošana tiek realizēta blakus objektam betona ražošanas rūpnīcā, pēc tam iekraujot transportlīdzekļos piegādei būvobjektā. Reciklētā kārta tika ieklāta ar ieklājēju un sablīvēta paredzētajā biezumā vienā tvērienā.

4.1.2 Reciklētā maisījuma paraugu ņemšana

Reciklētā maisījuma paraugu ņemšana tika veikta 2020. gada 17. augustā betona rūpnīcā tūlīt pēc samaisīšanas un turpat sablīvēti ar rokas Proktoru un rokas Modificēto Proktoru. Tika paņemti arī paraugi mitruma satura noteikšanai no

dažādām vietām no ieklātās kārtas (dažādos laikos pēc reciklētās kārtas ieklāšanas) un no ieklājēja.

Attēls 4-1 Paraugu sablīvēšana ar rokas Proktoru

Paraugi no reciklētās kārtas izurbti 2020. gada 11. septembrī.

4.1.3 Testēšanas rezultāti

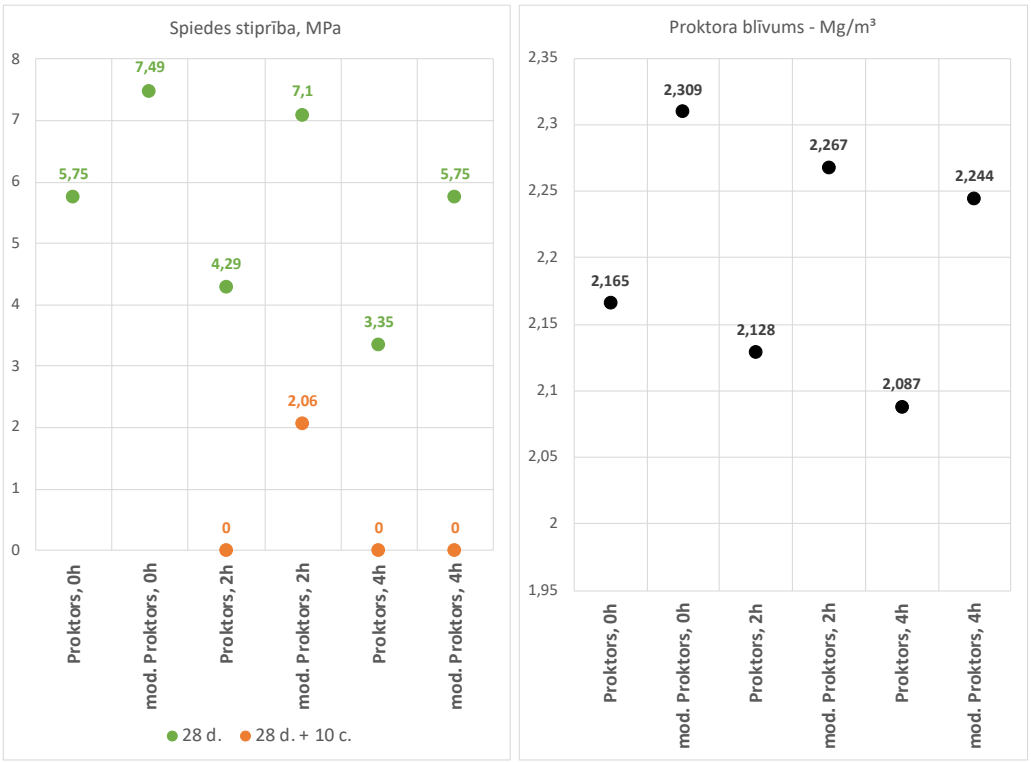
Atkarībā no cilindrisko paraugu izgatavošanas laika pēc svaiga maisījuma parauga noņemšanas novērojams samērā liels spiedes stiprības kritums, samazinās arī izgatavoto paraugu tilpuma blīvums. Līdzīgās tendencēs tas novērojams gan ar Proktoru izgatavotajiem paraugiem, gan arī ar Modificēto Proktoru izgatavotajiem paraugiem. Ar Modificēto Proktoru līdzīgos apstākļos izgatavoto paraugu spiedes stiprība ir augstāka par ar Proktoru izgatavoto paraugu spiedes stiprību. Paraugi neiztur salumkusumizturības testēšanu. Paraugu ūdens absorbcija, paraugus sablīvējot vēlāk, pieaug. Ar Modificēto Proktoru līdzīgos apstākļos izgatavoto paraugu ūdens absorbcija ir mazāka par ar Proktoru izgatavoto paraugu ūdens absorbciju.

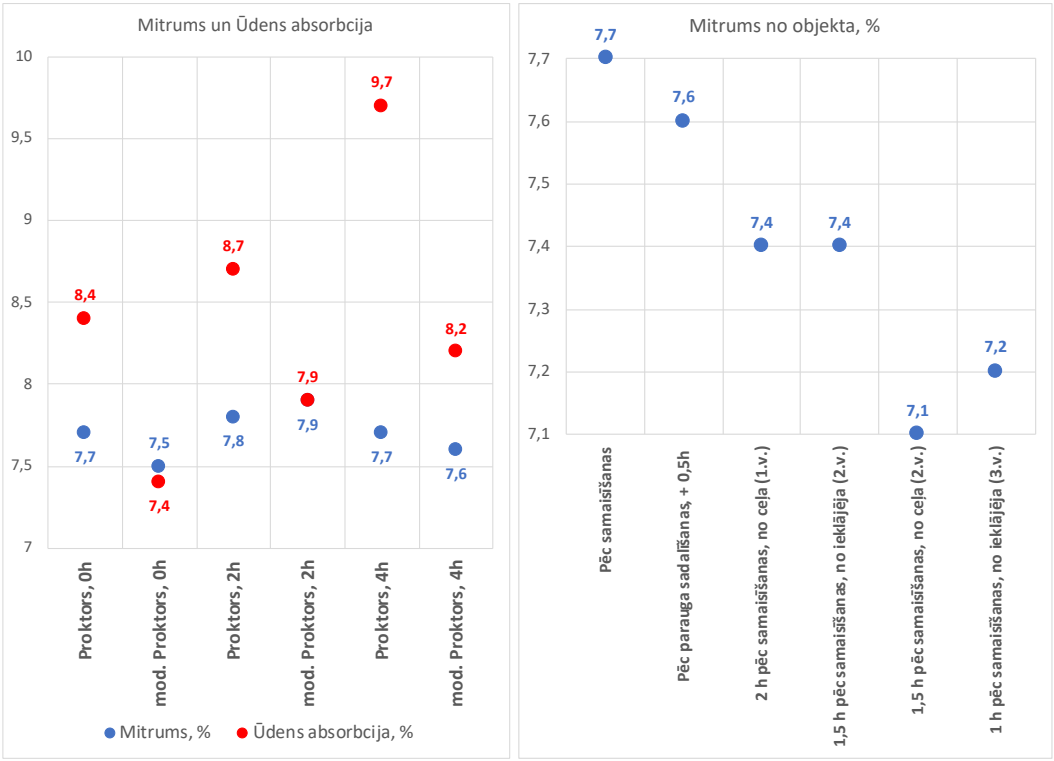
Svaiga maisījuma mitruma zudumi visā paraugu ņemšanas, sadalīšanas un sablīvēšanas procesā – niecīgi. Mitruma zudumi objektā no ieklātās kārtas, līdz 2 h

periodā pēc svaiga maisījuma samaisīšanas konstatēti līdz 0,5 %, kas vērtējams kā apstāklis, kas nelabvēlīgi neietekmē kārtas sablīvēšanas iespējas saprātīgā termiņā.

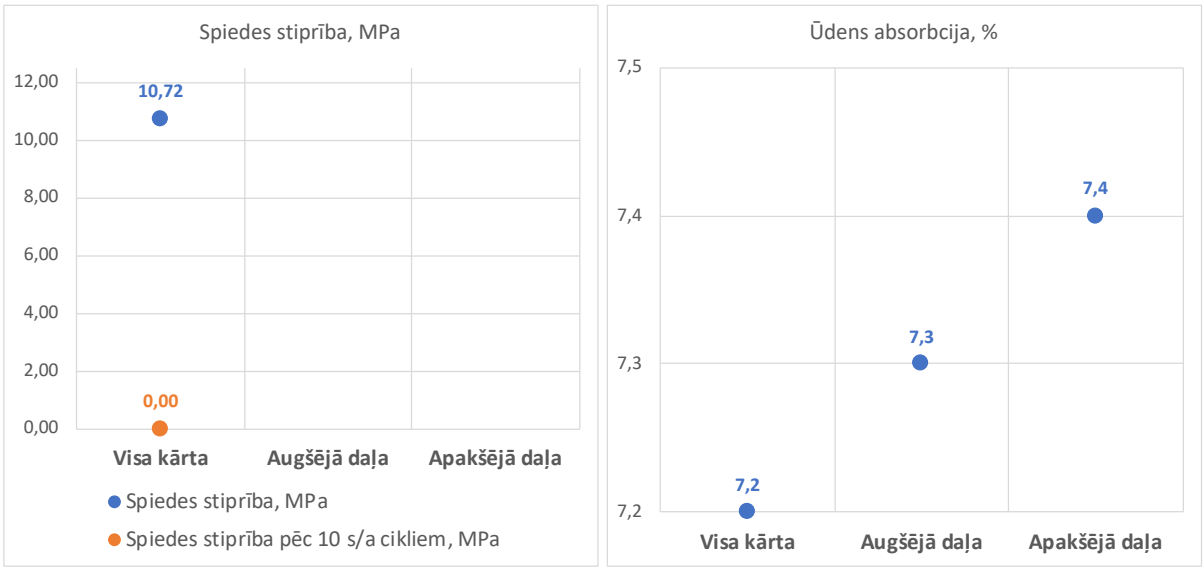
No uzbūvētās kārtas izurbtie paraugi sliktā stāvoklī, no augšas un apakšas apdrupis. Iespējams notestēt tikai atlikušo parauga daļu. Nav iespējams paraugu pārzāģēt, lai atsevišķi notestētu spiedes stiprību augšējai un apakšējai daļai, jo sagatavoti testēšanai derīgi paraugi ir pārāk īsi. Paraugu ūdens absorbcija izurbtajiem paraugiem līdzīga kā no maisījuma ar Modificēto Proktoru izgatavotajiem paraugiem. Spiedes stiprība visai augsta, lielāka nekā no maisījuma izgatavotajiem paraugiem, bet arī neiztur salumkusumizturības testu. Sasniegtais sablīvētas kārtas tilpuma blīvums tuvs paraugu, kuri izgatavoti ar Modificēto Proktoru, tilpuma blīvumam.

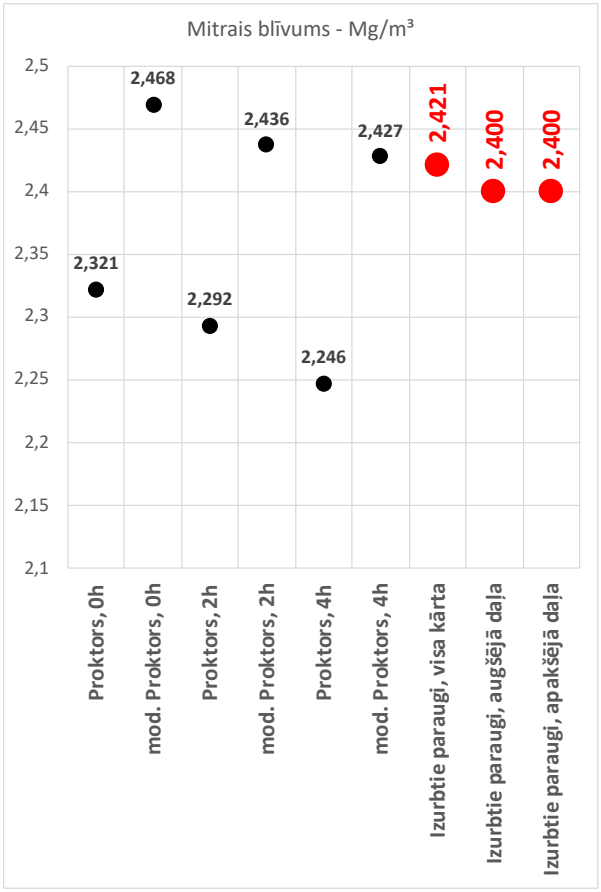
Attēls 4-2 Laboratorijā sagatavotu paraugu spiedes stiprība, Proktora blīvums, mitrums un ūdens absorbcija. Objekts A





Attēls 4-3 Objektā A izurbto paraugu īpašības





Izurbtie paraugi bija sliktā stāvoklī, apdrupuši, pārsvarā no apakšas, bet dažiem paraugiem nodrupumi gan no augšējās daļas, gan apakšējās daļas. Spiedes stiprību varēja notestēt tikai atlikušajai neapdrupušajai paraugu daļai. Sasaldēšanas – atkausēšanas ciklus paraugi neizturēja – sabruka. Izstrādājot maisījuma Darba formulu, būvdarbu izpildītājs testēja spiedes stiprību pēc 7 dienu cietēšanas, bet neveica spiedes stiprības testēšanu pēc 10 sasaldēšanas – atkausēšanas cikliem. Līdz ar to netika pārbaudīta paraugu salumkusumizturība, kas ar izmantoto cementa daudzumu – 3 %, izrādījās nepietiekama. Lai nodrošinātu prasīto paraugu salumkusumizturību Darba formulas izstrādes laikā bija jāizgatavo vēl paraugi ar lielāku cementa daudzumu, vai arī jānomaina izejmateriāli, un jāveic vēlreizēja spiedes stiprības testēšana gan pēc 7 vai 28 dienu cietēšanas, gan arī papildus 10 sasaldēšanas – atkausēšanas cikliem. Galīgo Darba formulu vajadzēja noteikt tikai pēc tam, kad iegūti prasībām atbilstoši visi testēšanas rezultāti.

Attēls 4-4 Sabrucis paraugs. Neiztur sasaldēšanas – atkausēšanas ciklus

4.2 Objekts B

4.2.1 Objektā B paredzētais un faktiski realizētais reciklēšanas risinājums

Būvprojektā paredzēts uzbūvēt ar cementu saistītu reciklēto kārtu 16, 20 vai 24 cm biezumā. Nodrošinot granulometriskā maisījuma struktūru tuvu prasībām 0/45 nesaistītu maisījumu granulometriskajam sastāvam. Pievienojot cementu 3-5 %, lai sasniegtu spiedes stiprību ≥ 4,0 MPa pēc 28 dienu cietēšanas un 10 sasaldēšanas atkausēšanas cikliem (vai arī testējot pēc 7 dienu cietēšanas, tad prasības spiedes stiprībai samazinātas par 30 %).

Saskaņā ar būvdarbu veicēja Darba formulu, reciklētais maisījums projektēts atbilstoši prasībām 0/45 maisījuma granulometriskajam sastāvam. Deklarētais pievienojamā cementa daudzums 5 % (100 % cements kopā ar minerālajiem materiāliem). Deklarētais optimālais ūdens saturs virs kopējās masas ap 5 %.

Reciklētais maisījums tiek iegūts samaisot ar recikleri būvobjektā uz vietas, samaisot esošo safrēzēto asfaltu, no jauna pievienoto minerālmateriālu 0/45 un cementu. Pēc tam reciklētais maisījums tiek izlīdzināts ar autogreideri un sablīvēts.

Attēls 4-5 Reciklēšana ar recikleri uz vietas būvobjektā

4.2.2 Reciklētā maisījuma paraugu ņemšana

Reciklētā maisījuma paraugu ņemšana tika veikta 2020. gada 26. augustā tūlīt aiz reciklera un sablīvēti ar rokas Proktoru un rokas Modificēto Proktoru pie objekta. Tika paņemti arī paraugi mitruma satura noteikšanai no dažādām vietām no reciklētās kārtas (dažādos laikos pēc reciklētās kārtas samaisīšanas).

Paraugi no reciklētās kārtas izurbti 2020. gada 7. septembrī.

Attēls 4-6 Izurbto paraugu vietu aizpildīšana

4.2.3 Testēšanas rezultāti

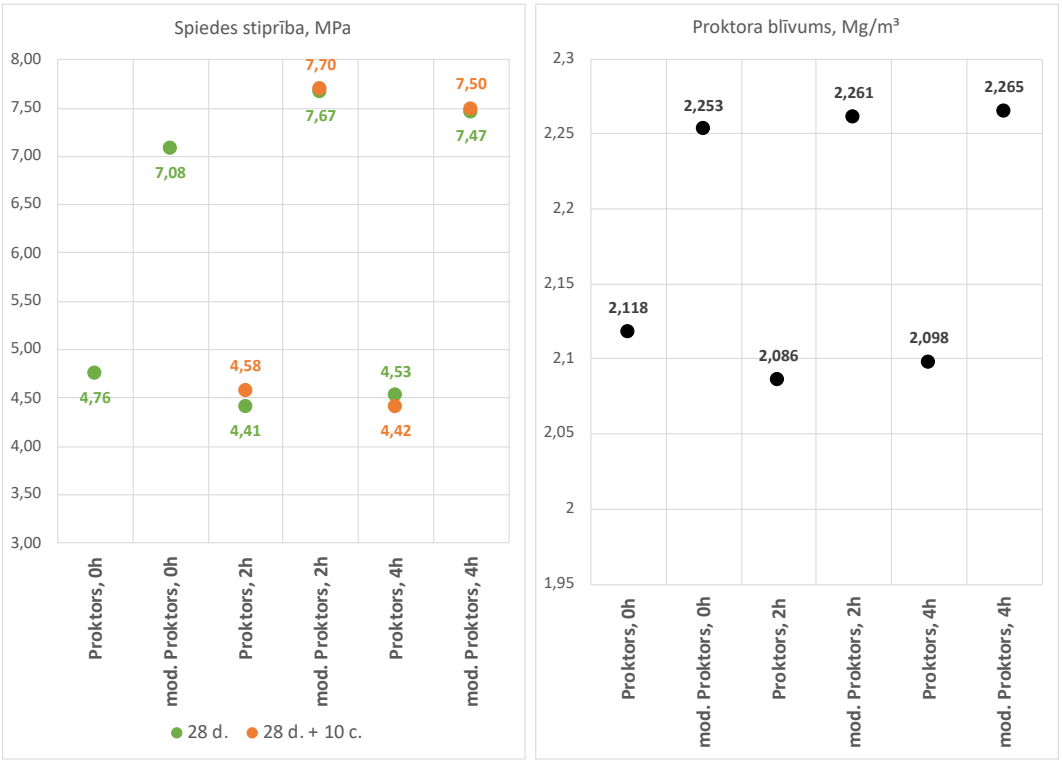
Atkarībā no cilindrisko paraugu izgatavošanas laika pēc svaiga maisījuma parauga noņemšanas spiedes stiprība praktiski nemainās, tāpat arī izgatavoto paraugu tilpuma blīvums. Līdzīgi tas novērojams gan ar Proktoru izgatavotajiem paraugiem, gan arī ar Modificēto Proktoru izgatavotajiem paraugiem. Ar Modificēto Proktoru līdzīgos apstākļos izgatavoto paraugu spiedes stiprība ir augstāka par ar Proktoru izgatavoto paraugu spiedes stiprību. Paraugi ļoto labi iztur salumkusumizturības testēšanu. Arī paraugu ūdens absorbcija, paraugus sablīvējot vēlāk, nemainās. Ar Modificēto Proktoru līdzīgos apstākļos izgatavoto paraugu ūdens absorbcija ir mazāka par ar Proktoru izgatavoto paraugu ūdens absorbciju.

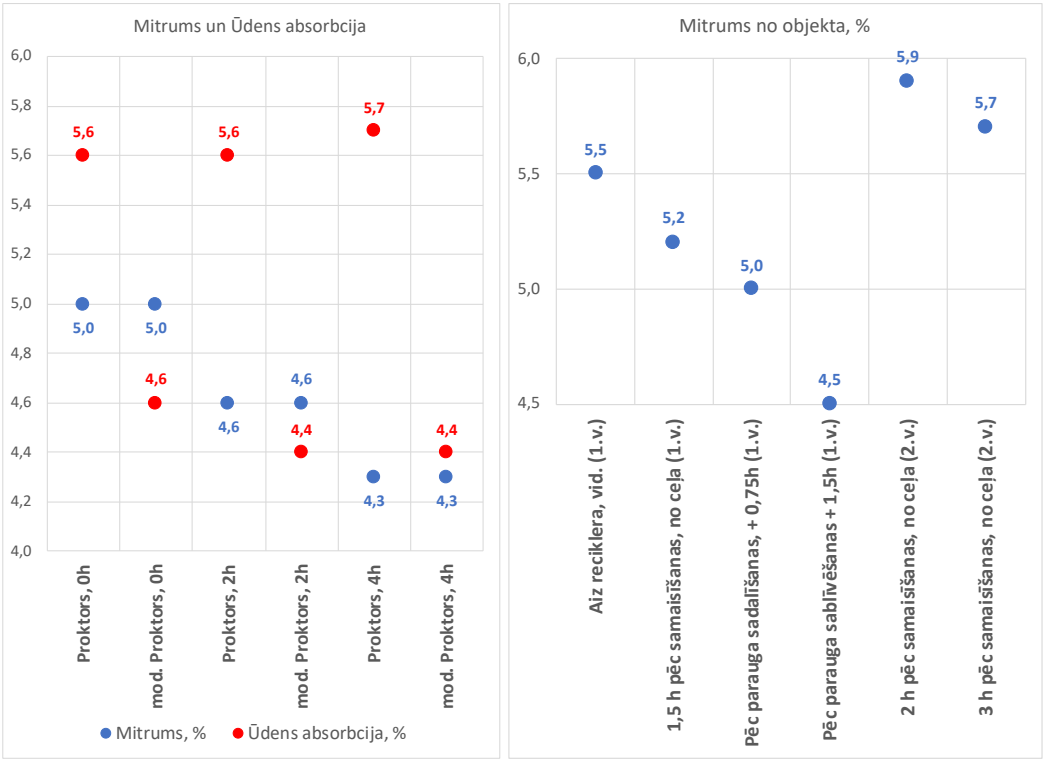
Svaiga maisījuma mitruma zudumi visā paraugu ņemšanas, sadalīšanas un sablīvēšanas procesā – nelieli, bet novērojami. Mitruma zudumi objektā no ieklātās

kārtas, līdz 3 h periodā pēc svaiga maisījuma samaisīšanas arī konstatēti nelieli, kas vērtējams kā apstāklis, kas nelabvēlīgi neietekmē kārtas sablīvēšanas iespējas saprātīgā termiņā.

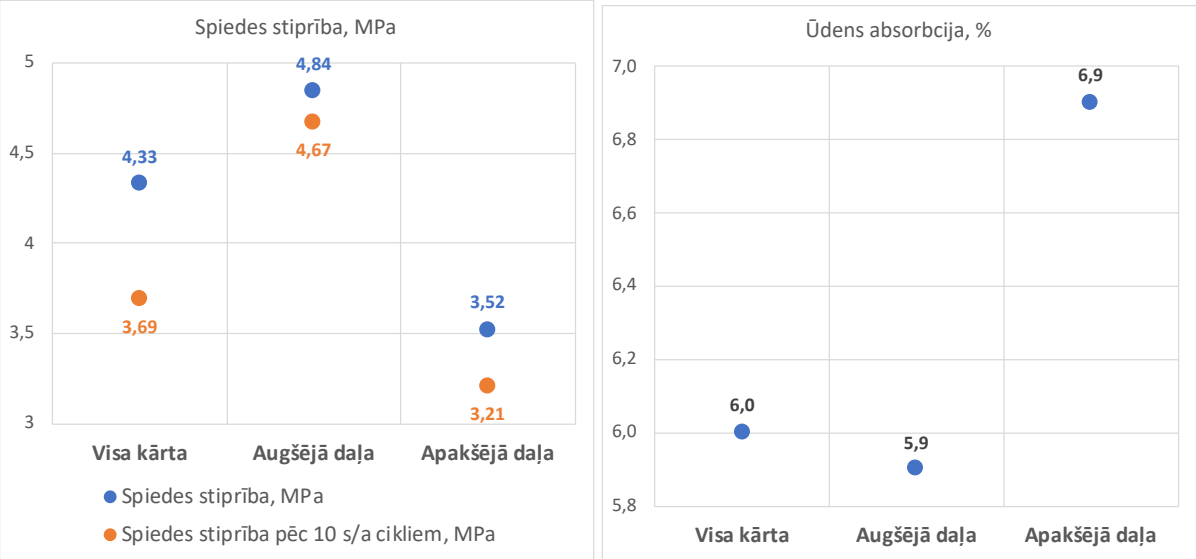
No uzbūvētās kārtas izurbtie paraugu ūdens absorbcija līdzīga kā no maisījuma ar Modificēto Proktoru izgatavotajiem paraugiem. Spiedes stiprība līdzīga kā no maisījuma ar Modificēto Proktoru izgatavotajiem paraugiem, kā arī paraugi labi iztur salumkusumizturības testu. Sasniegtais sablīvētas kārtas tilpuma blīvums tuvs paraugu, kuri izgatavoti ar Proktoru tilpuma blīvumam.

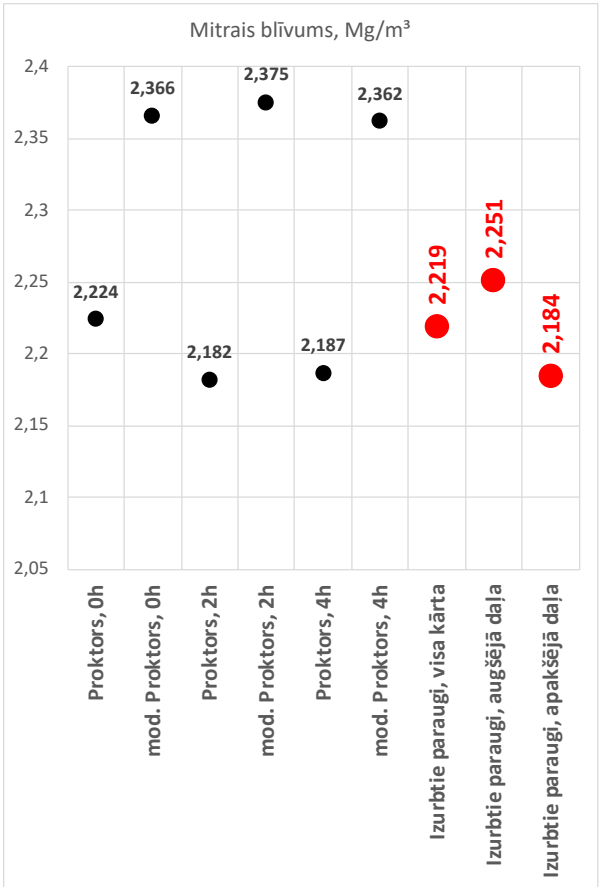
Attēls 4-7 Laboratorijā sagatavotu paraugu spiedes stiprība, Proktora blīvums, mitrums un ūdens absorbcija. Objekts B





Attēls 4-8 Objektā B izurbto paraugu īpašības





Attēls 4-9 Spiedes stiprības testēšana

4.3 Objekts C

4.3.1 Objektā C paredzētais un faktiski realizētais reciklēšanas risinājums

Būvprojektā paredzēts uzbūvēt ar cementu saistītu reciklēto kārtu 20 cm biezumā. Nodrošinot granulometriskā maisījuma struktūru tuvu prasībām 0/45 nesaistītu maisījumu granulometriskajam sastāvam. Pievienojot cementu 3-5 %, lai sasniegtu spiedes stiprību ≥ 5,0 MPa pēc 28 dienu cietēšanas (vai arī testējot pēc 7 dienu cietēšanas, tad prasības spiedes stiprībai samazinātas par 30 %), un spiedes stiprības kritums pēc 10 sasaldēšanas atkausēšanas cikliem ≥ 0,7.

Saskaņā ar būvdarbu veicēja Darba formulu, reciklētais maisījums projektēts atbilstoši prasībām 0/45 maisījuma granulometriskajam sastāvam. Deklarētais pievienojamā cementa daudzums 5 % (100 % cements kopā ar minerālajiem materiāliem). Deklarētais optimālais ūdens saturs ap 5 % uz 1 t materiāla.

Reciklētā maisījuma ražošana tiek realizēta blakus objektam, vispirms ar dozatoriem sastādot paredzēto maisījumu un transportējot ar transportlentu kaudzē, tad pārkraujot šo kaudzi ar frontālo iekrāvēju kaudzē blakus, tādējādi samaisot, pēc tam iekraujot transportlīdzekļos piegādei būvobjektā. Reciklētā kārta tiek ieklāta un sablīvēta divos tvērienos. Pirmajā tvērienā – izlīdzinot ar autogreideri, otrajā tvērienā – ieklājot ar ieklājēju. Katru kārtu arī atsevišķi sablīvējot.

Attēls 4-10 Reciklētā maisījuma samaisīšana, iekraušana

4.4 Reciklētā maisījuma paraugu ņemšana

Reciklētā maisījuma paraugu ņemšana tika veikta 2020. gada 21. augustā no kaudzes maisījuma ražošanas vietā un sablīvēti ar rokas Proktoru un rokas Modificēto Proktoru pie objekta. Tika paņemti arī paraugi mitruma satura noteikšanai gan no kaudzes paņemtajiem paraugiem, gan arī no dažādām vietām būvobjektā (dažādos laikos pēc reciklētās kārtas ieklāšanas).

Attēls 4-11 Reciklētā maisījuma parauga sadalīšana ar šķīrējkārbu

Paraugi no reciklētās kārtas izurbti 2020. gada 23. septembrī. Paraugus izurbjot, reciklētā kārtas (ar autogreideri ieklātā un ar ieklājēju ieklātā) savstarpēji atdalījās.

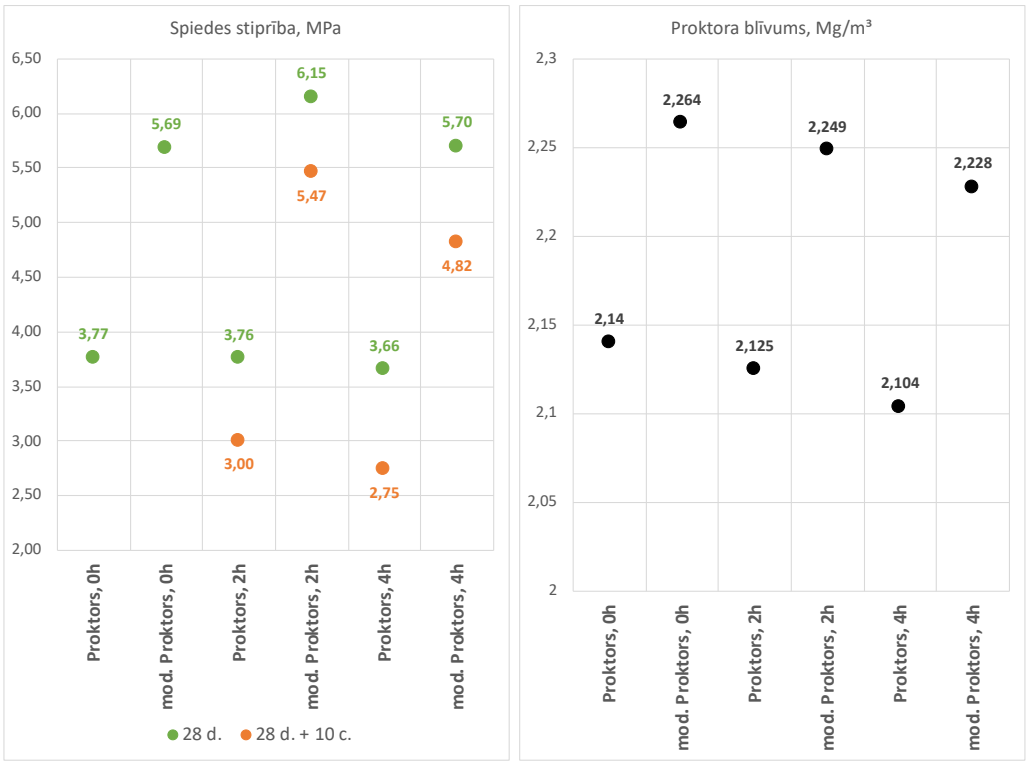
4.4.1 Testēšanas rezultāti

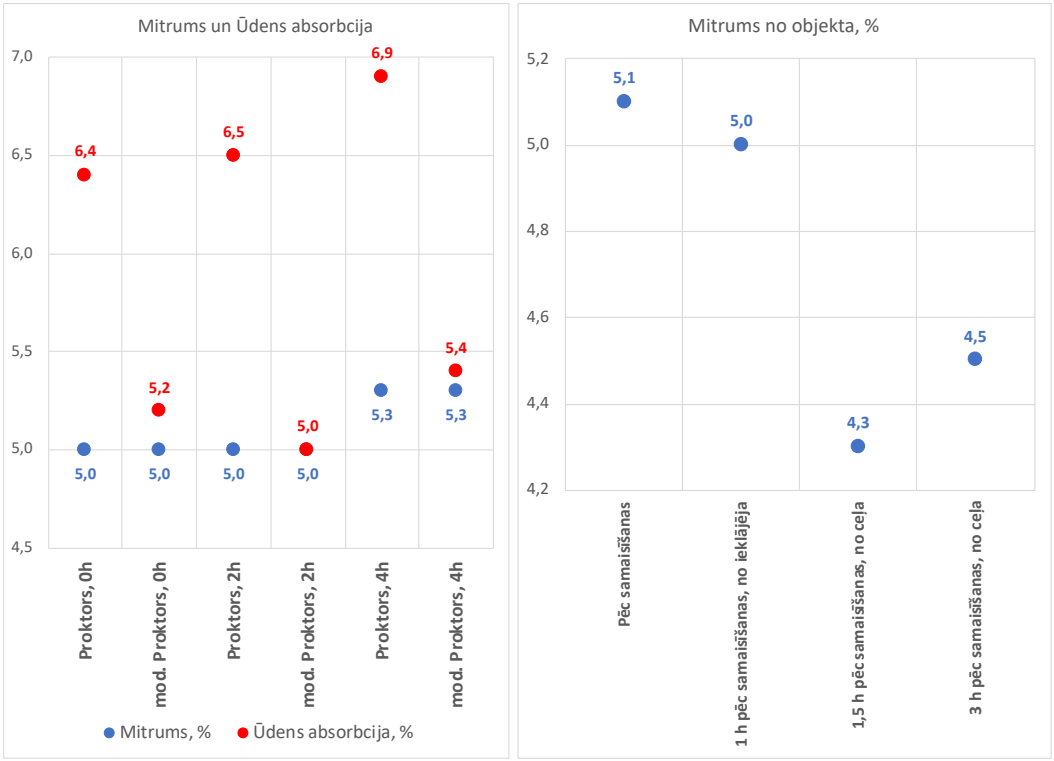
Atkarībā no cilindrisko paraugu izgatavošanas laika pēc svaiga maisījuma parauga noņemšanas spiedes stiprība praktiski nemainās, bet izgatavoto paraugu tilpuma blīvums nedaudz samazinās. Līdzīgās tendencēs tas novērojams gan ar Proktoru izgatavotajiem paraugiem, gan arī ar Modificēto Proktoru izgatavotajiem paraugiem. Ar Modificēto Proktoru līdzīgos apstākļos izgatavoto paraugu spiedes stiprība ir augstāka par ar Proktoru izgatavoto paraugu spiedes stiprību. Paraugi pienācīgi iztur salumkusumizturības testēšanu. Paraugu ūdens absorbcija, paraugus sablīvējot vēlāk, nedaudz pieaug. Ar Modificēto Proktoru līdzīgos apstākļos izgatavoto paraugu ūdens absorbcija ir mazāka par ar Proktoru izgatavoto paraugu ūdens absorbciju.

Svaiga maisījuma mitruma zudumi visā paraugu ņemšanas, sadalīšanas un sablīvēšanas procesā nav konstatēti. Mitruma zudumi objektā no ieklātās kārtas, līdz 3 h periodā pēc svaiga maisījuma samaisīšanas konstatēti nelieli, kas vērtējams kā apstāklis, kas nelabvēlīgi neietekmē kārtas sablīvēšanas iespējas saprātīgā termiņā.

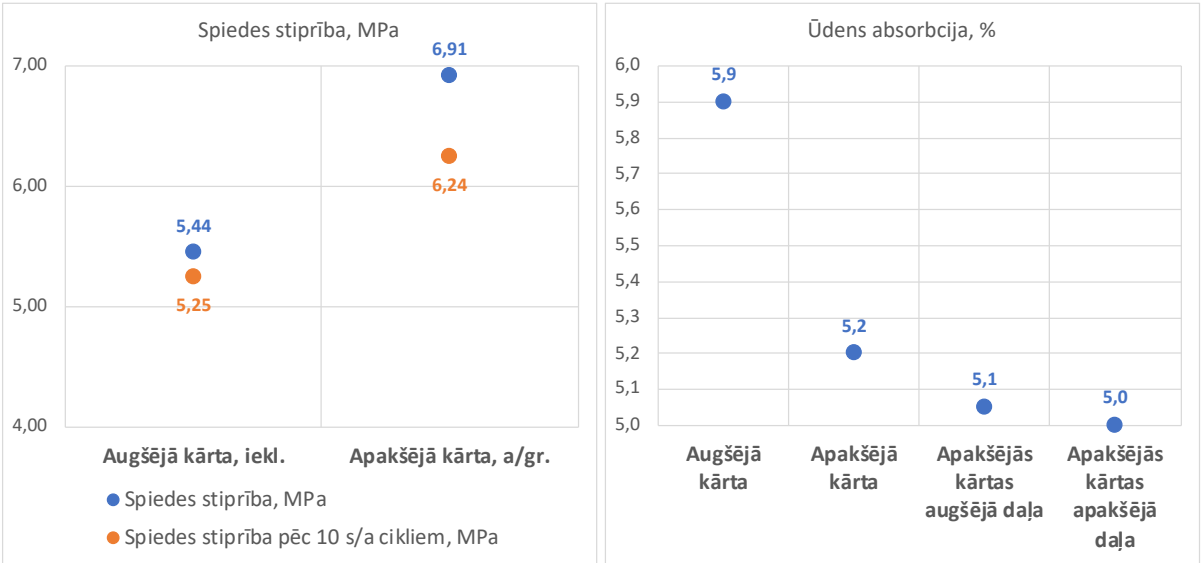
Paraugu ūdens absorbcija izurbtajiem paraugiem līdzīga kā no maisījuma ar Proktoru izgatavotajiem paraugiem. Spiedes stiprība līdzīga, ka no maisījuma ar Modificēto Proktoru izgatavotajiem paraugiem, kā arī labi iztur salumkusumizturības testu. Sasniegtais sablīvētas kārtas tilpuma blīvums starp paraugu, kuri izgatavoti ar Proktoru un Modificēto Proktoru tilpuma blīvumiem.

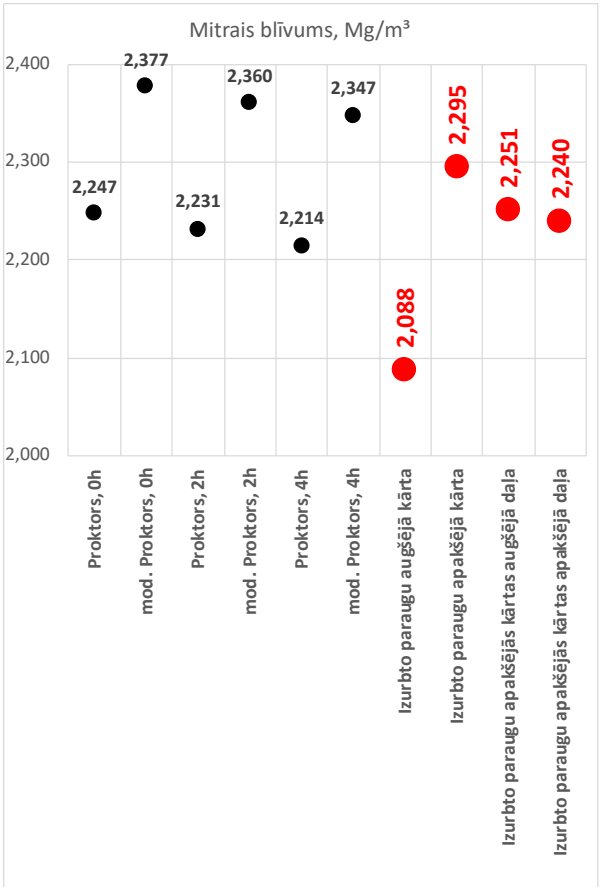
Attēls 4-12 Laboratorijā sagatavotu paraugu spiedes stiprība, Proktora blīvums, mitrums un ūdens absorbcija. Objekts C





Attēls 4-13 Objektā C izurbto paraugu īpašības

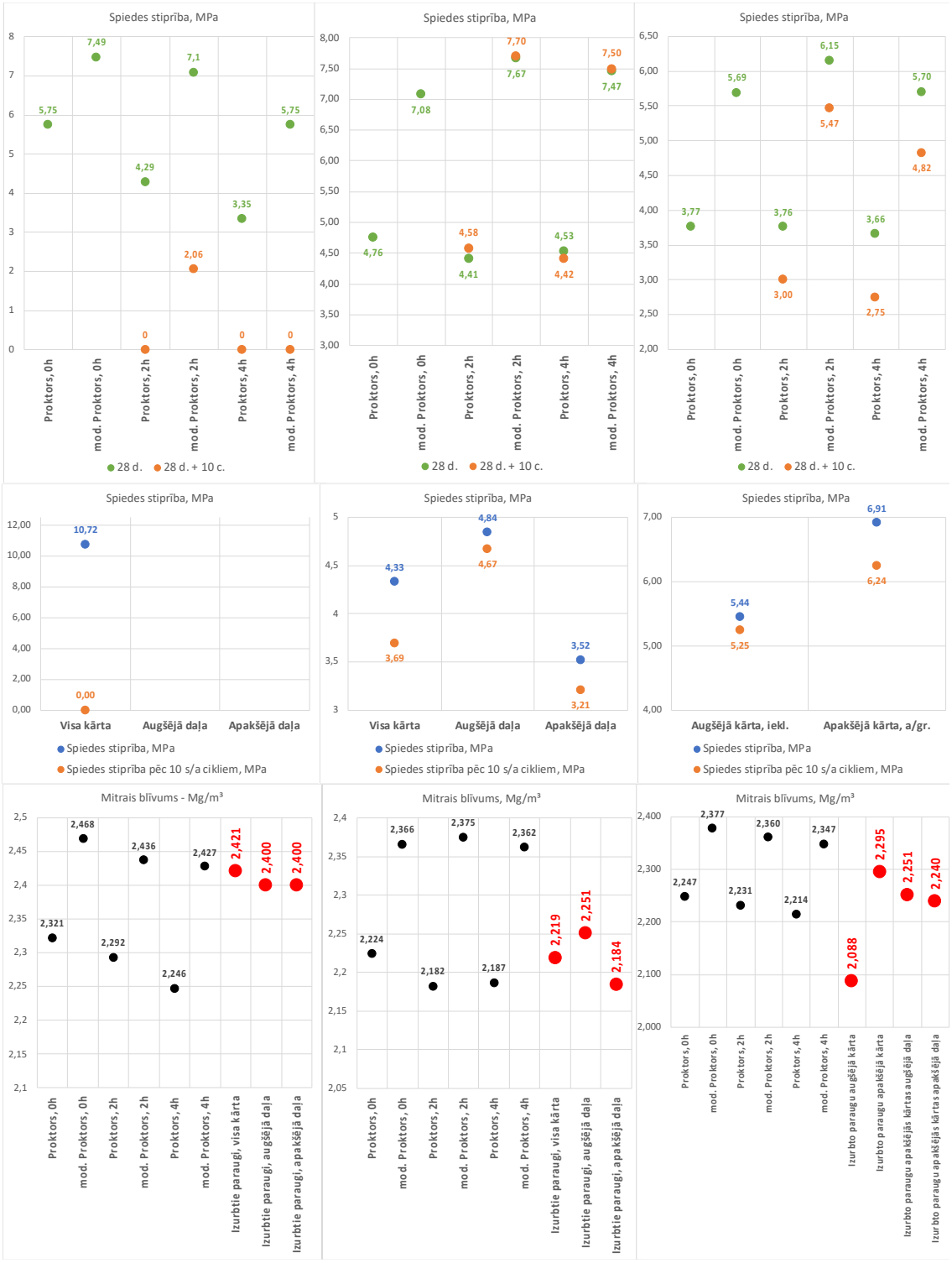




Attēls 4-14 Paraugu virsma sagatavota spiedes stiprības testēšanai

4.5 Objektu datu apkopojums

Attēls 4-15 Spiedes stiprība un tilpuma blīvums, apkopojums



Svaiga maisījuma paraugus sablīvējot līdz 4 h laikā pēc to paņemšanas, nav konstatēta spiedes stiprības samazināšanās, izņemot vienā objektā, bet tur tas visticamāk saistīts arī ar neveiksmīgu sastādītā maisījuma projektu.

Arī izgatavoto paraugu tilpuma blīvuma samazināšanās atkarībā no laika kad izgatavo paraugus pēc saistvielas iemaisīšanas visos objektos 4 h periodā atbilst LVS 13286-45 noteiktajam, ka tilpuma blīvuma samazināšanās pret sākotnējo drīkst būt līdz 98 %, izņemot vienā objektā, kur tilpuma blīvuma samazinājums sasniedza 98 % no sākotnējā jau pēc apmēram 2 h, sablīvējot gan ar Proktoru, gan Modificēto Proktoru.

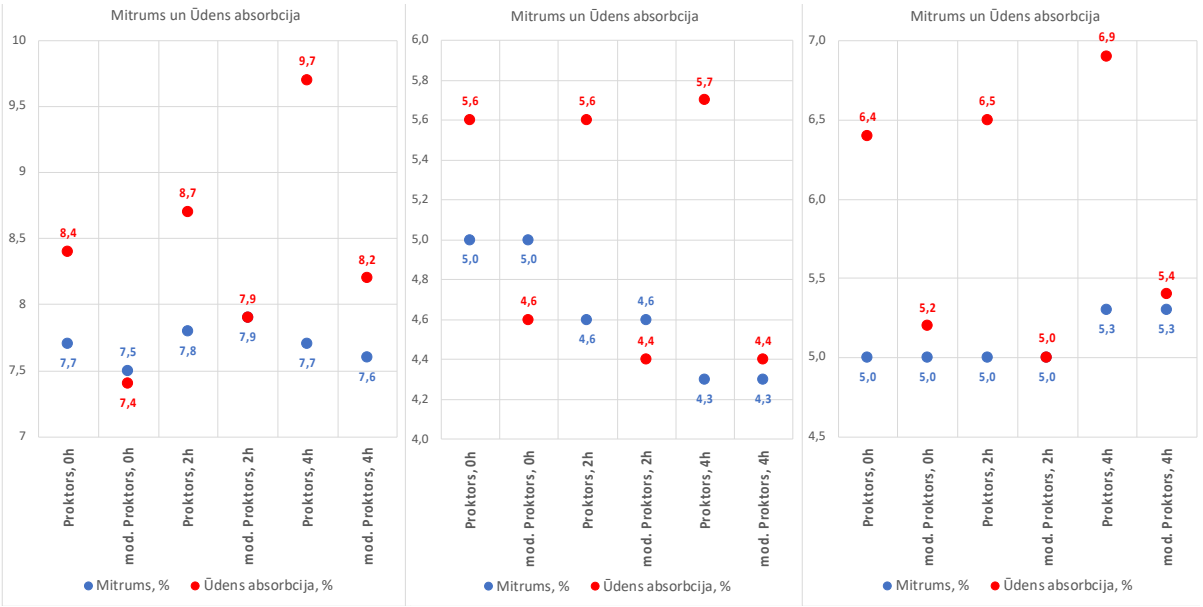
Sablīvētas kārtas tilpuma blīvums visos gadījumos konstatēts robežās starp Proktora un Modificētā Proktora blīvumu. Iegūstot izgatavoto paraugu vai uzbūvētas kārtas lielāku tilpuma blīvumu, tiks iegūta augstāka spiedes stiprība.

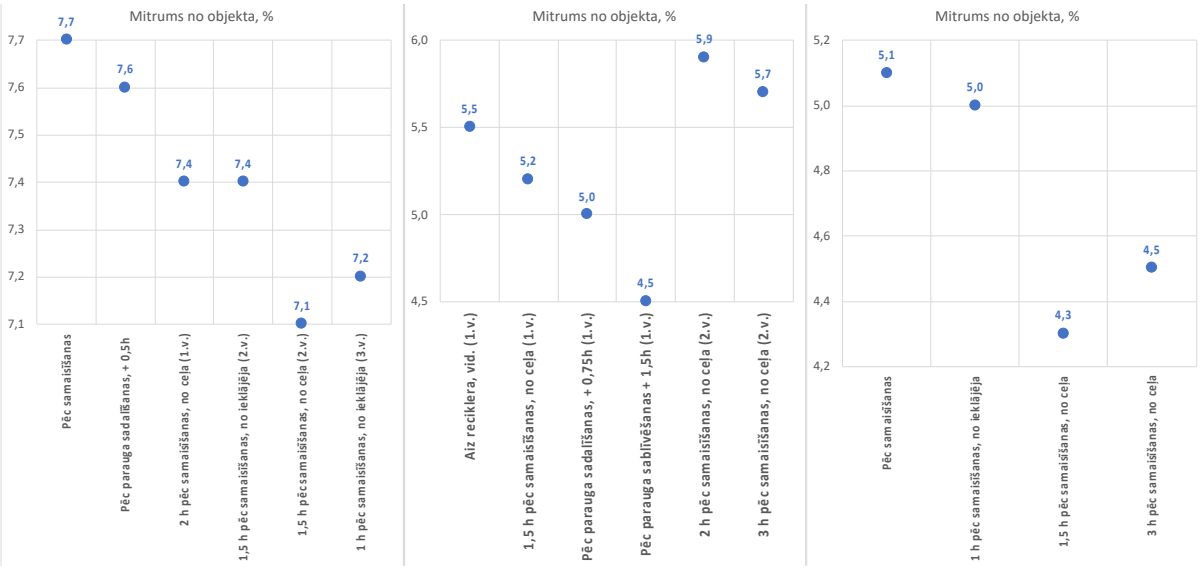
Paraugu noturība pret salumkusumizturības testēšanu ir līdzīga neatkarīgi no sablīvēšanas pakāpes.

Ūdens absorbcija zināmā mērā raksturo paraugu stāvokli. Piemēram, objektā, kur paraugi neiztur salumkusumizturības testu, paraugu ūdens absorbcija ir augstāka, nekā pārējos divos objektos. Mitruma zudumi no svaiga maisījuma paraugu paņemšanas līdz cilindrisko paraugu izgatavošanai, veicot pasākumus, lai izolētu paņemtos svaiga maisījuma paraugus visos periodos, kad ar tiem netiek veiktas kādas darbības, ir niecīgi, un to nodrošināt nav ne sarežģīti, ne arī kā īpaši apgrūtinoši.

Konstatētie mitruma zudumi reciklēto kārtu būvniecības laikā no ieklātas vai samaisītas kārtas (visos gadījumos laiks bija karsts > 25 ℃ un saulains) arī nav konstatēti pārāk lieli un kārtas sablīvēšanu saprātīgā laikā nelabvēlīgi neietekmē, līdz ar to arī netiek traumēta cietēšanas procesa sākuma fāze.

Attēls 4-16 Mitrums un ūdens absorbcija, apkopojums





5 Ar saistvielām saistītu reciklētu maisījumu projektēšana

Lietoti šādi apzīmējumi un saīsinājumi:

G – grants maisījums

D – dolomīta maisījums

F – reciklēts asfalts (Ra)

S – smilts

B – putu bitumens

E – bitumena emulsija

C – cements

P – Proktors (A – A veidne, B – B veidne)

mP (mod. Pr.) – modificētais Proktors (A – A veidne, B – B veidne)

M – Maršals

LT – Lietuva

DE – Vācija

TNI – tūlītējais nestspējas rādītājs

5.1 Izejmateriālu atlase un testēšana

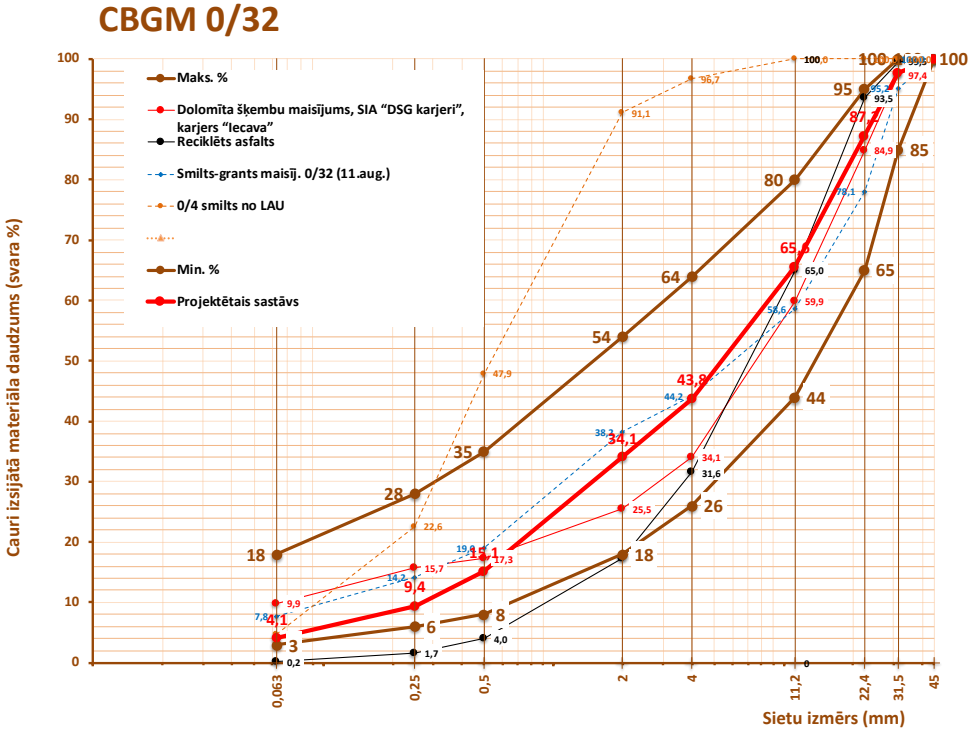
Lai novērtētu ar saistvielām saistītu ceļa segas pamata kārtu maisījumu īpašības atkarībā no Latvijā tipiski lietotajiem izejmateriāliem, laboratorijā sastādītajiem maisījumiem tika izmantoti šādi sastāvdaļu materiāli:

- grants maisījums;
- frēzēts asfalts;
- dolomīta maisījums;
- smilts;
- grants, frēzēta asfalta un smilts maisījums (45/45/10);
- dolomīta, frēzēta asfalta un smilts maisījums (45/45/10);

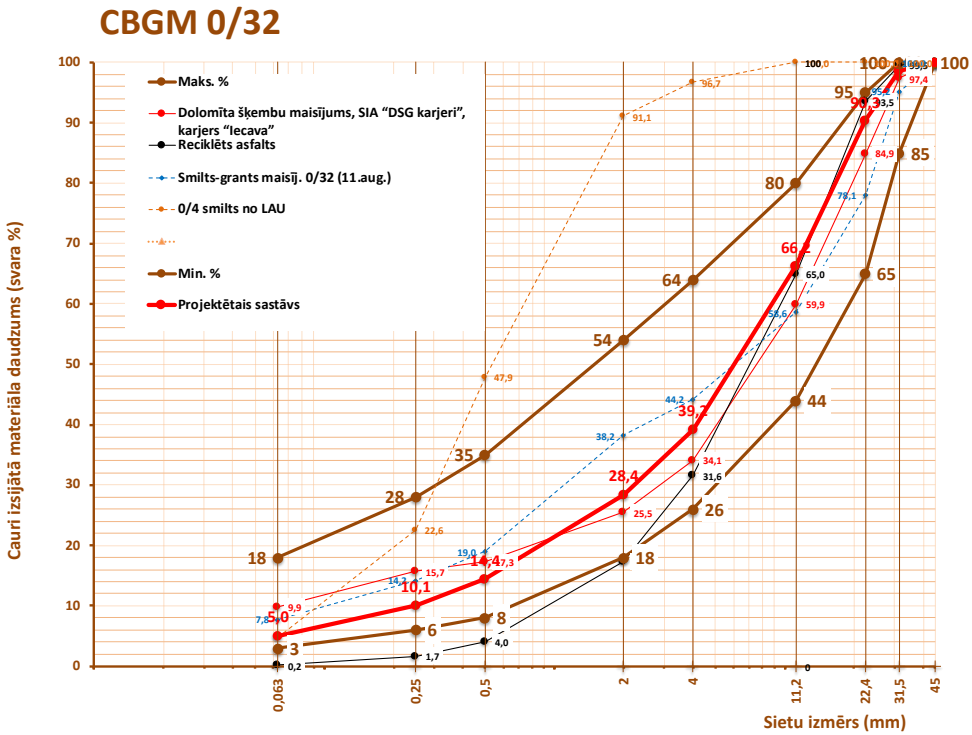
Izmantotās saistvielas:

- cements;
- bitumena emulsija;
- bitumens.

Attēls 5-1 Grants, frēzēta asfalta un smilts maisījums (45/45/10)



Attēls 5-2 Dolomīta, frēzēta asfalta un smilts maisījums (45/45/10)



Tabula 5-1 Grants maisījuma 0/32 īpašības

Īpašība, mērvienība	Vērtība
Formas indekss, %	24
Drupinātās un lauztās daļas, %	72
Pilnīgi noapaļotās daļas, %	15
Losandželosas koeficients	37
Salumkusumizturība, magnija sulfāta vērtība	26,7

Tabula 5-2 Dolomīta šķembu 0/32 īpašības

Īpašība, mērvienība	Vērtība
Formas indekss, %	5
Drupinātās un lauztās daļas, %	-
Pilnīgi noapaļotās daļas, %	-
Losandželosas koeficients	35

Tabula 5-3 Bitumena emulsijas īpašības

Īpašība, mērvienība	Vērtība
Atlikums uz 0,5 mm sieta, %	0,01
Ūdens saturs, %	47,8

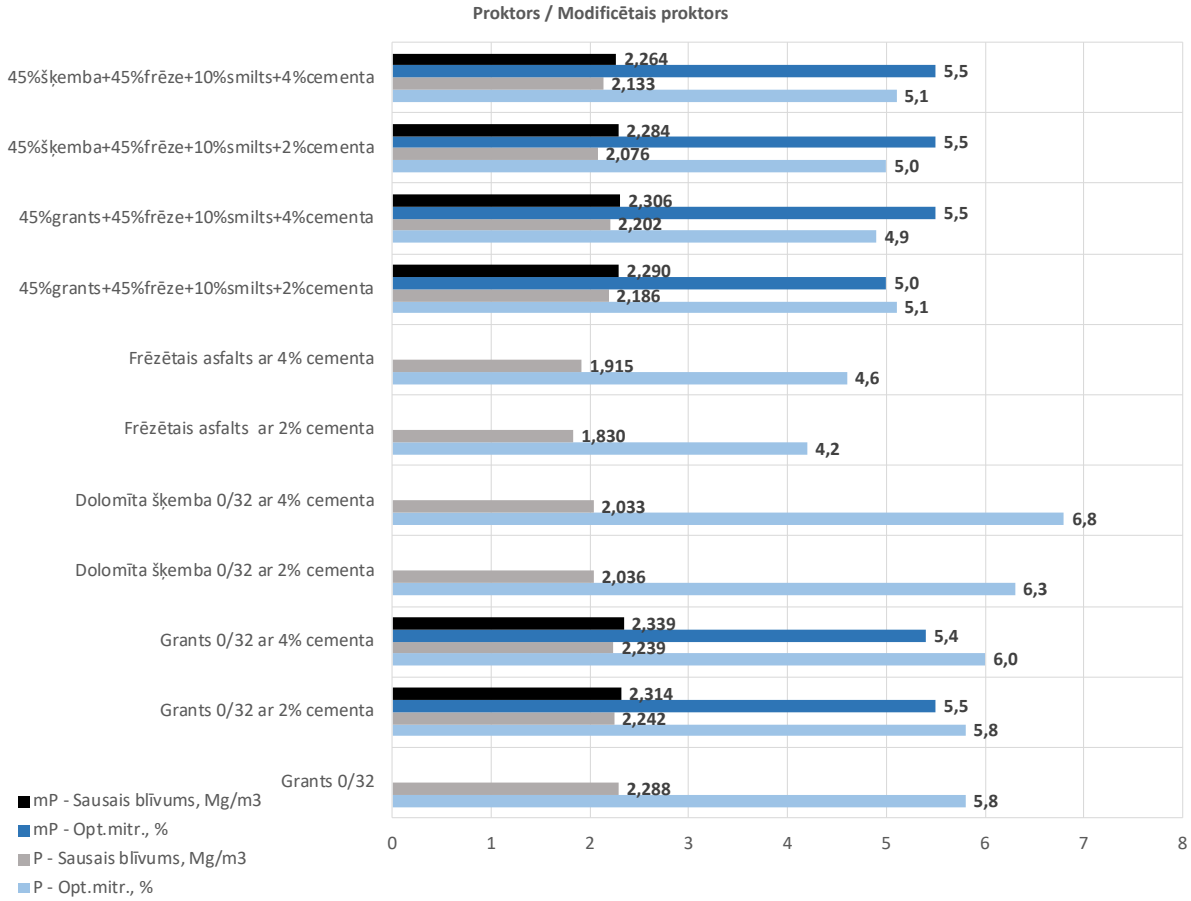
Īpašība, mērvienība	Vērtība
Saistvielas saturs, %	52,2
Izplūdes laiks caur 4 mm sprauslu pie 40 ℃, s	35
Sadalīšanās vērtība	228
Atlikums uz 0,5 mm sieta pēc 7 dienu uzglabāšanas, %	0,02

Izmantotais cements – CEM I 42,5 N.

5.2 Reciklētu maisījumu sausais tilpuma blīvums, optimālais mitrums un TNI

Visiem sastādītajiem reciklētajiem maisījumiem ar cementa saistvielu, tika noteikts sausais tilpuma blīvums, optimālais mitrums un tūlītējais nestspējas rādītājs (TNI). Visi rādītāji tika noteikti paraugus sagatavojot gan ar Proktoru, gan Modificēto Proktoru. Iegūtie sausā (maksimālā) tilpuma blīvuma un optimālā mitruma rādītāji tālāk tika izmantoti visu reciklēto sastāvu projektēšanā.

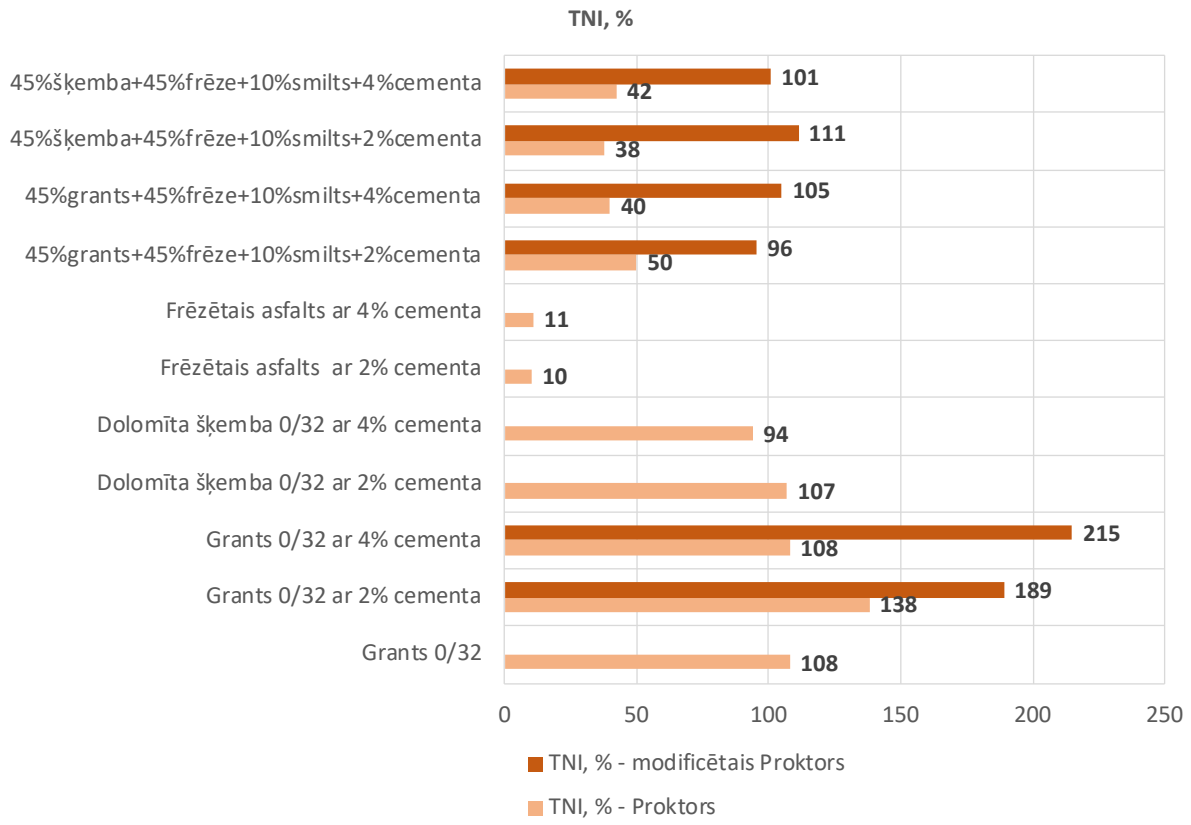
Attēls 5-3 Sausais tilpuma blīvums un optimālais mitrums



Sablīvējot ar Modificēto Proktoru, tilpuma blīvums visos gadījumos tika iegūts lielāks, nekā sablīvējot ar Proktoru. Optimālais mitrums sablīvējot sastādītos maisījums ar Modificēto Proktoru, pārsvarā bija lielāks, izņemot vienā gadījumā, nekā sablīvējot ar Proktoru. Grants maisījumam gan ar lielāku, gan mazāku cementa saturu optimālais mitrums bija lielāks sablīvējot ar Proktoru, bet mazāks, sablīvējot ar Modificēto Proktoru. Grants maisījumu tilpuma blīvums ir salīdzinoši lielāks nekā dolomīta maisījumu tilpuma blīvums, tāda pati tendence vērojama sastādītajiem maisījumiem ar granti un dolomītu. Sastādītajiem maisījumiem

optimālais mitrums, atkarībā no grants vai dolomīta esamības sastāvā praktiski neatšķiras, bet testējot atsevišķi grants un dolomīta maisījumus, optimālais mitrums ir lielāks dolomīta maisījumiem un mazāks grants maisījumiem. Līdzīgas sakarības starp grants un dolomīta maisījumiem vai to esamības sastādīto maisījumu sastāvos novērojamas arī atkarībā no cementa satura.

Attēls 5-4 Tūlītējais nestspējas rādītājs



Tūlītējais nestspējas rādītājs ir ievērojami lielāks, ja paraugi sagatavoti ar Modificēto Proktoru. Atkarībā no cementa daudzuma TNI atšķirības ir mazākas. Frēzēta asfalta TNI vērtības ir ļoti zemas. Atsevišķajiem izejmateriāliem (grantij, dolomītam) TNI vērtības ir ievērojami augstākas, nekā tās ir sastādītajos maisījumos. Līdz ar to šajā gadījumā savienojot maisījumā materiālu ar zemu TNI (frēzēts asfalts), ar materiālu ar augstu TNI (grants vai dolomīts), tiek iegūts šādi sastādīta maisījuma TNI ar aptuveni vidējām vērtībām, vai šajā gadījumā nedaudz zemākām par vidējām, jo daļa no sastādīto maisījumu sastāva ir arī smilts, kurai TNI potenciāli ir salīdzinoši zems.

5.3 Reciklētu maisījumu ar cementu sastādīšana un testēšana

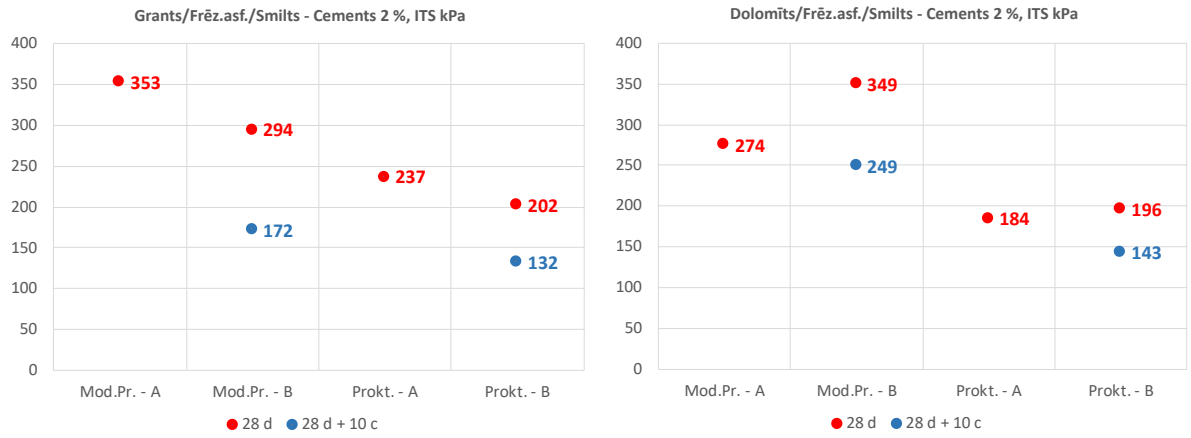
Ar cementu saistītajos maisījumos cementa daudzums tika pieņemts 2 % un 4 % no minerālmateriālu masas.

Paraugi tika izgatavoti gan ar Proktoru, gan Modificēto Proktoru, gan A (d = 100 mm) veidnēs, gan B (d = 150 mm) veidnēs. Paraugu augstums h = 120 mm. Paraugi uz kondicionēšanas laiku ietīti plēvē, nodrošinot ūdensnecaurlaidību, uzglabāti laboratorijas telpā, pirms testēšanas kondicionēti 24 h ūdenī 20 ℃. Paraugu kondicionēšanas režīmi:

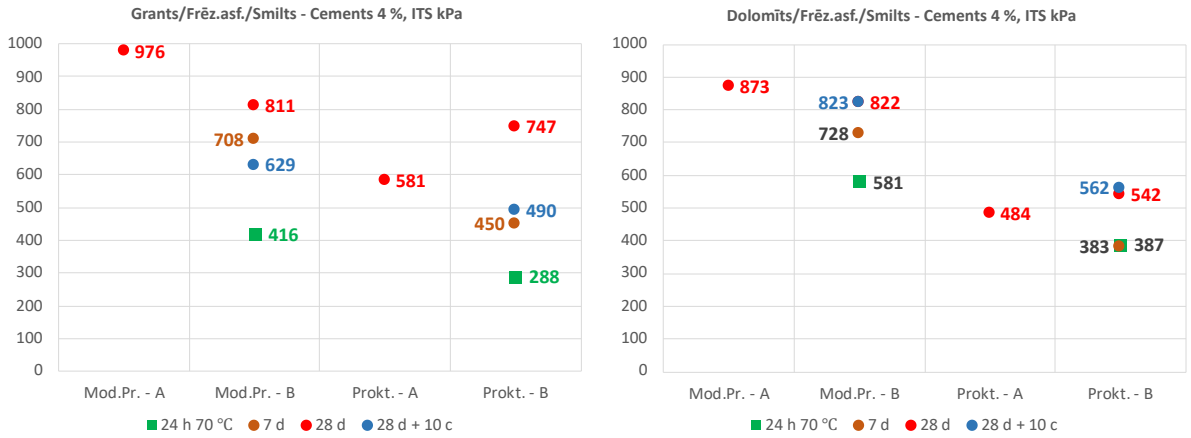
- 24 h 70 ℃;
- 7 dienas;
- 28 dienas;
- 28 dienas un 10 salumkusumizturības cikli.

5.3.1 Sastādītu maisījumu spiedes stiprības un ITS testēšana

Attēls 5-5 Sastādīta maisījuma – grants vai dolomīta maisījums / frēzēts asfalts / smilts proporcijās 45/45/10 % netiešā stiepes stiprība. Cementa saturs 2 %

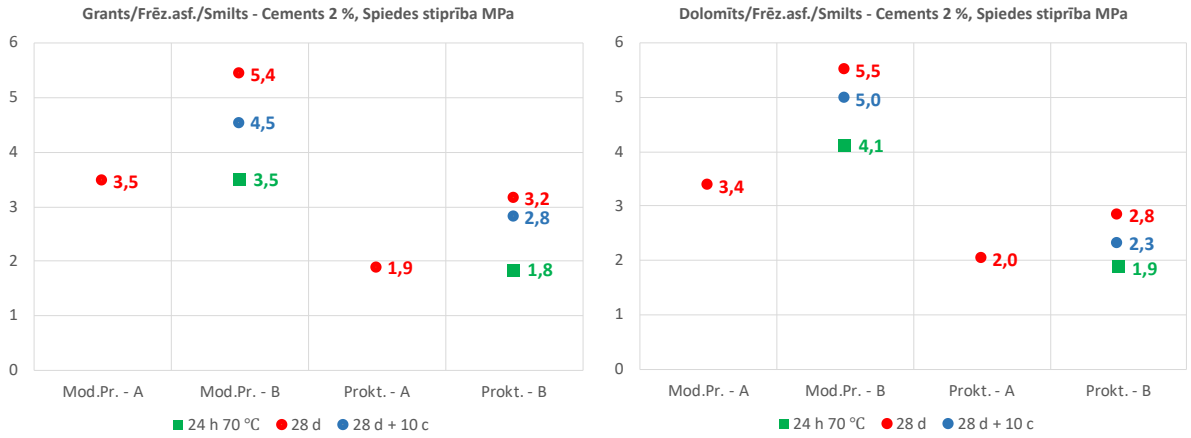


Attēls 5-6 Sastādīta maisījuma – grants vai dolomīta maisījums / frēzēts asfalts / smilts proporcijās 45/45/10 % netiešā stiepes stiprība. Cementa saturs 4 %

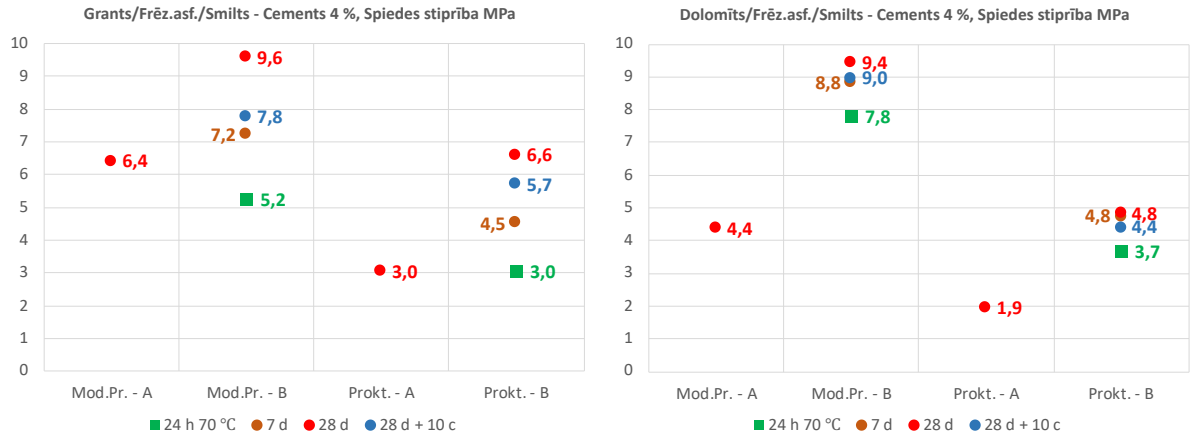


Lielākas ITS vērtības ir masījumiem, kuri sablīvēti ar Modificēto Proktoru, bet mazākas ITS vērtības ir maisījumiem, kuri sablīvēti ar Proktoru. Atkarībā no formas izmēra, dažkārt ITS vērtības ir lielākas lielajā (B) veidnē, dažkārt mazajā (A) veidnē. Salumkusumizturība ir augstāka sastādītajiem maisījumiem ar lielāku cementa saturu. Salumkusumizturība ir augstāka sastādītajam maisījumam ar dolomītu. ITS vērtības pēc 24 h 70 °C visos gadījumos, izņemot vienā – kur tās ir vienādas, ir zemākas, nekā ITS vērtības pēc 7 dienu cietēšanas. ITS vērtības pēc 7 dienu cietēšanas pārsvarā ir ap 70 – 80 % no ITS vērtības pēc 28 dienu cietēšanas, izņemot vienā gadījumā tā ir ap 60 %.

Attēls 5-7 Sastādīta maisījuma – grants vai dolomīta maisījums / frēzēts asfalts / smilts proporcijās 45/45/10 % spiedes stiprība. Cementa saturs 2 %



Attēls 5-8 Sastādīta maisījuma – grants vai dolomīta maisījums / frēzēts asfalts / smilts proporcijās 45/45/10 % spiedes stiprība. Cementa saturs 4 %



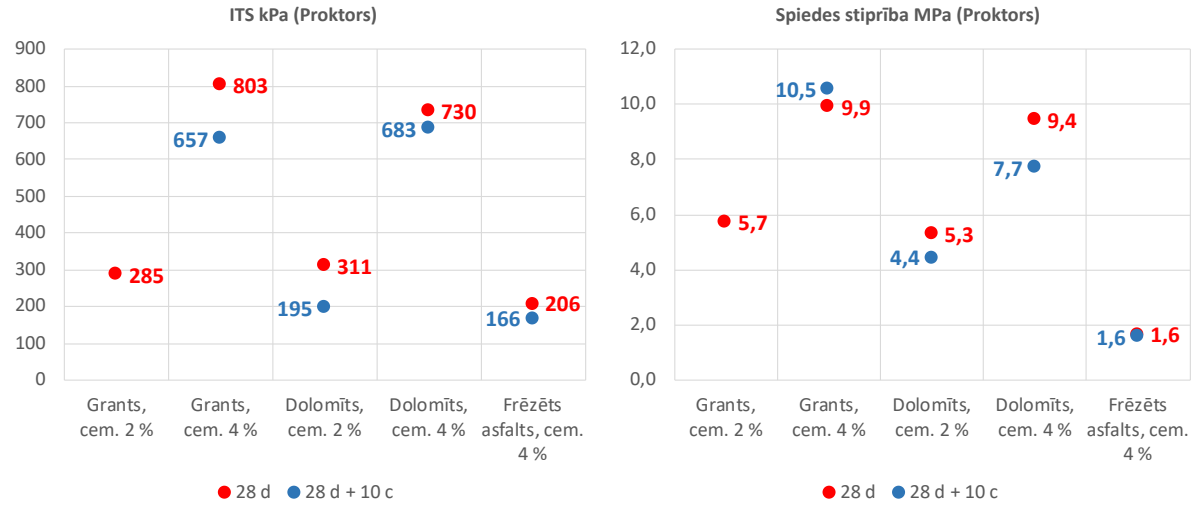
Lielākas spiedes stiprības vērtības ir maisījumiem, kuri sablīvēti ar Modificēto Proktoru, bet mazākas ITS vērtības ir maisījumiem, kuri sablīvēti ar Proktoru. Līdzīgas spiedes stiprības vērtības ir maisījumiem, kas sablīvēti ar Modificēto Proktoru A veidnē un ar Proktoru B veidnē. Visos gadījumos spiedes stiprības vērtības ir ievērojami lielākas, sablīvējot lielajā (B) veidnē. Salumkusumizturība ir augstāka sastādītajiem maisījumiem ar lielāku cementa saturu. Salumkusumizturība ir augstāka sastādītajam maisījumam ar dolomītu. Spiedes stiprības vērtības pēc 24 h 70 ℃ visos gadījumos ir zemākas, nekā ITS vērtības pēc 7 dienu cietēšanas. Spiedes stiprības vērtības pēc 7 dienu cietēšanas sastādītajam maisījumam ar granti ir ap 70 – 75 % no spiedes stiprības vērtības pēc 28 dienu cietēšanas, bet sastādītajam maisījumam ar dolomītu > 90 %.

Sastādītu maisījumu ITS un spiedes stiprības rezultātiem ir sekojošas atšķirīgas tendences:

- spiedes stiprības rezultātiem ir daudz lielāka un izteiktāka lietotās veidnes ietekme nekā ITS rezultātiem;
- salumkusumizturība ir augstāka testējot spiedes stiprību, bet kopējās savstarpējās rezultātu tendences salumkusumizturībai gan testējot ITS, gan spiedes stiprību ir līdzīgas.

5.3.2 Izejmateriālu ar cementu spiedes stiprības un ITS testēšana

Attēls 5-9 Izejmateriālu (grants, dolomīts, frēzēts asfalts) ar 2 % un 4 % cementu ITS un spiedes stiprība sablīvējot ar Proktoru B veidnē



Lielākas ITS un spiedes stiprības vērtības ir materiāliem ar lielāku cementa saturu. Grants un dolomīta ITS un spiedes stiprības vērtības pie līdzīga cementa daudzuma praktiski ir identiskas. Ievērojami zemākas ITS un spiedes stiprības vērtības pie līdzīga cementa daudzuma ir frēzētajam asfaltam. Salumkusumizturība pārsvarā ir augstāka testējot spiedes stiprību.

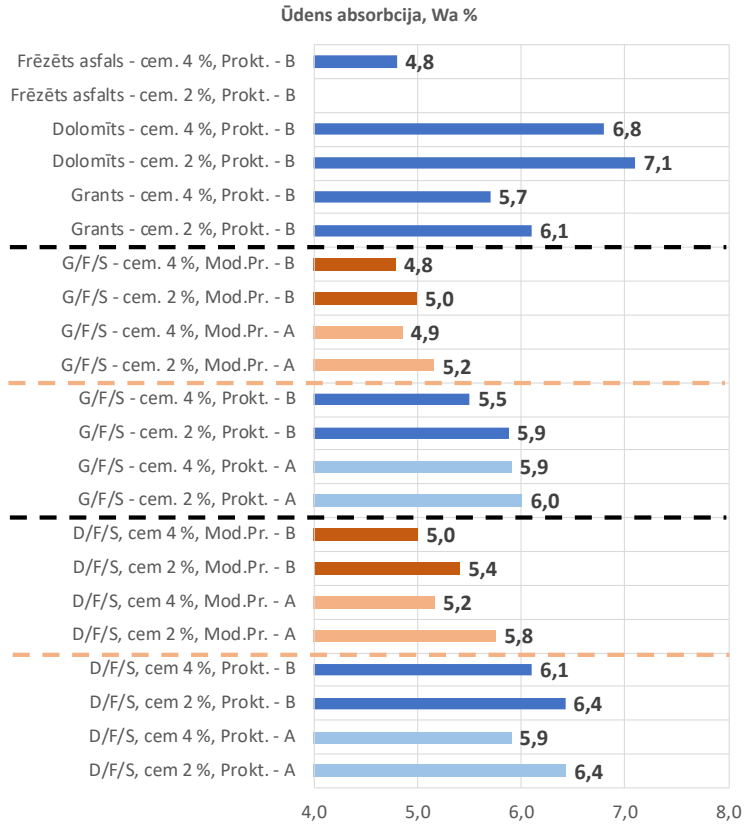
5.3.3 Ūdens absorbcijas testēšana

Paraugiem tika testēta ūdens absorbcija saskaņā ar LVS EN 1338 E pielikumu (sk. Attēls 5-10). Ūdens absorbcija ir mazāka:

- ar lielāku cementa daudzumu;
- ar lielāku sablīvējumu;
- lielākajā daļā gadījumu, ja lietota lielāka veidne.

Ūdens absorbcija ir mazāka grantij nekā dolomītam. Vismazākā ūdens absorbcija ir frēzētam asfaltam, jo sablīvētā struktūra ir ļoti poraina un paraugu nosusinot pēc mērcēšanas ūdens brīvi izplūst ārā. Sastādīto maisījumu ūdens absorbcija atspoguļo, tajos izmantoto izejmateriālu ūdens absorbciju.

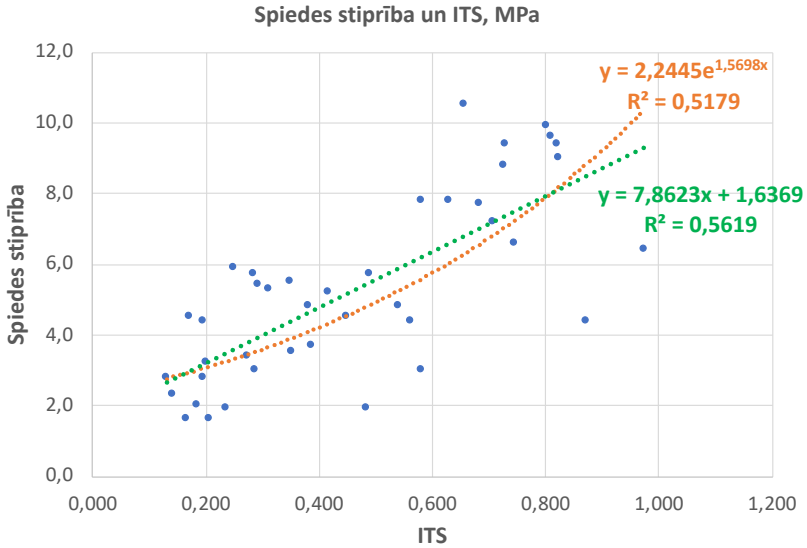
Attēls 5-10 Ūdens absorbcija



5.3.4 Testēšanas rezultātu apkopojums

Tika pārbaudīta spiedes stiprības un ITS korelācija.

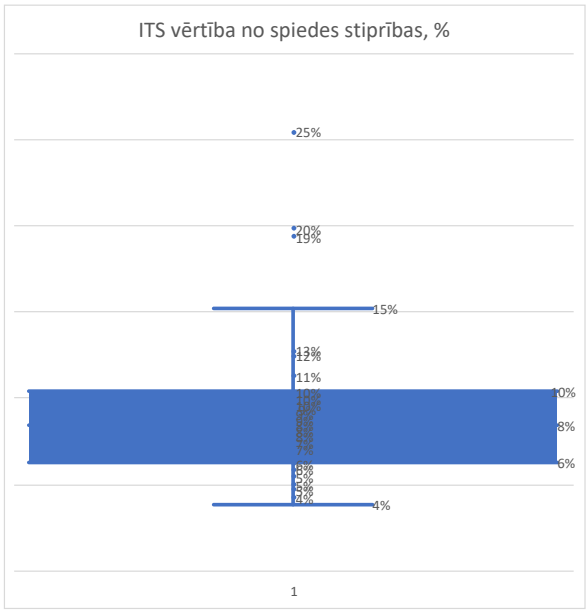
Attēls 5-11 Spiedes stiprība un ITS



Spiedes stiprībai un ITS novērojama savstarpēja korelācija. ITS vērtības ir mazākas par spiedes stiprības vērtībām robežās no 4 % līdz 25 %. Lielākajā daļā gadījumu (27

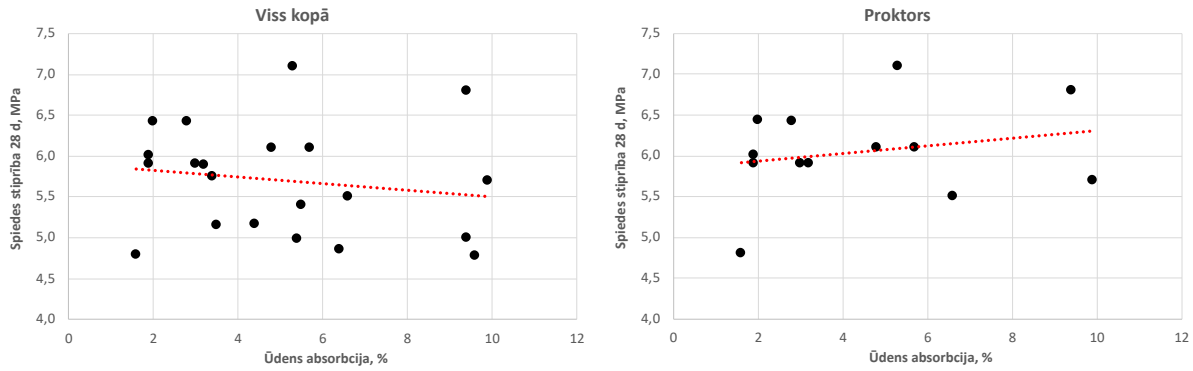
vērtības no 41, t.i. 65 %) ITS vērtības iekļaujas robežās no 6 % līdz 10 %, 6 ITS vērtības (15 %) ir mazākas par 6 %, un 8 ITS vērtības (20 %) ir lielākas par 10 % pret spiedes stiprības vērtībām. Vidēji ITS vērtības ir 9 % no spiedes stiprības vērtībām.

Attēls 5-12 ITS vērtība procentos no spiedes stiprība



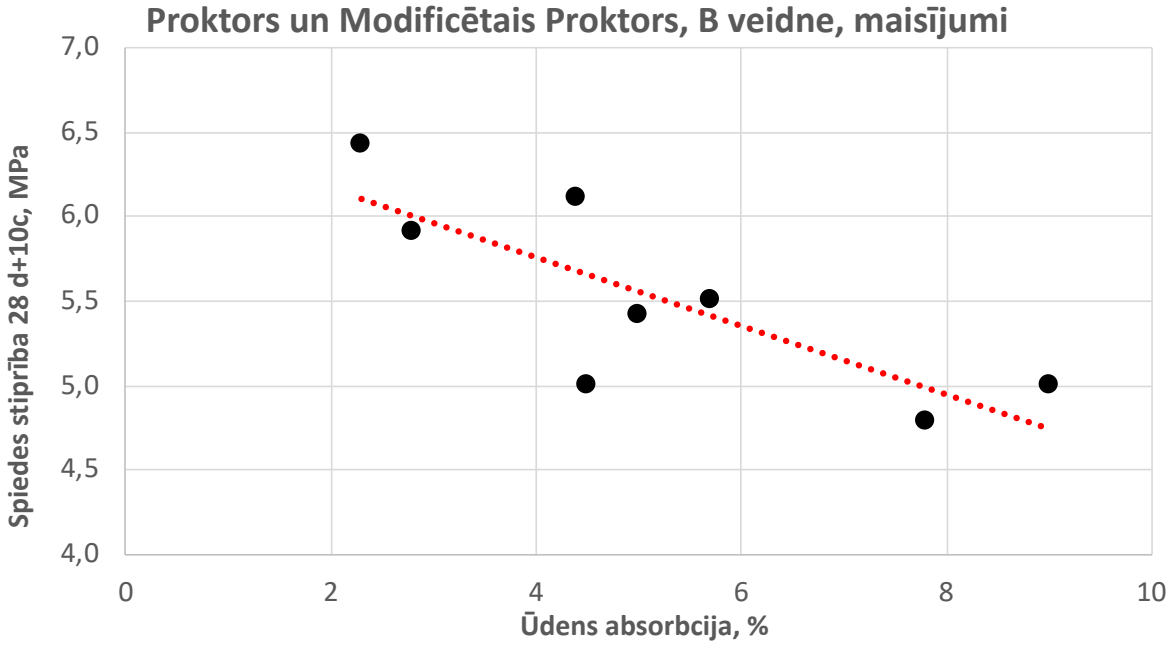
Tika pārbaudīta ūdens absorbcijas iespējamā korelācija ar spiedes stiprību. Korelācija netika konstatēta.

Attēls 5-13 Ūdens absorbcija un spiedes stiprība pēc 28 dienām



Pārbaudot ūdens absorbcijas korelāciju ar maisījumu spiedes stiprību pēc 10 salumkusumizturības cikliem, zināma rezultātu korelācija tika konstatēta. Jo lielāka konstatētā ūdens absorbcija, jo zemāka spiedes stiprība pēc 28 dienām un 10 salumkusumizturības cikliem.

Attēls 5-14. Ūdens absorbcija un spiedes stiprība pēc 28 dienām un 10 salumkusumizturības cikliem



5.4 Reciklētu maisījumu ar bitumena saistvielām sastādīšana un testēšana

Tika izgatavoti dažādi maisījumi ar putu bitumenu un cementu, un bitumena emulsiju un cementu. Sastādītajos maisījumos tika izmantota grants, frēzēts asfalts un smilts, gan ar dolomītu, frēzētu asfaltu un smilti. Proporcijās attiecīgi 45/45/10 %. Pievienotā cementa daudzums 0; 1,0; 1,5; 2,5 %. Pievienotā putu bitumena daudzums 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 4,0 %.

Visi paraugi kondicionēti ietīti plēvē laboratorijas telpas temperatūrā, izņemot 24 h: kondicionēti 70 ℃. Pirms testēšanas paraugi kondicionēti 24 h ūdenī, tad pirms testa 2-4 h gaisā 5 ℃, izņemot LT/DE pirms testa kondicionēti 24 h 25 ℃ gaisā un 25 ℃ ūdenī.

Paraugi tika izgatavoti gan ar Maršalu ar 2x50 un 2x75 sitieniem, gan ar Proktoru, gan Modificēto Proktoru, gan arī ar vibroblieti.

LT/DE paraugi izgatavoti ar presi d = 150 mm veidnē, cikliski pieliekot preses spēku 49 kN uz 30 sekundēm, pēc tam pilnībā atslogojot un tad atkal slogojot 49 kN, kopā 5 cikli. Šādi sablīvētu paraugu augstums h = 125 mm.

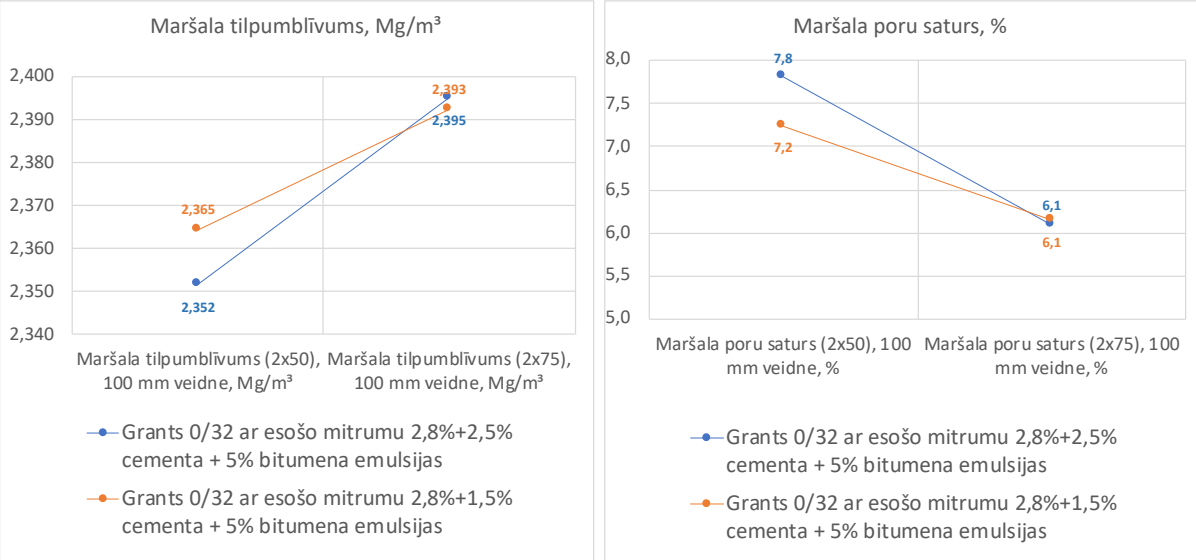
Izgatavoto paraugu izmēri:

- d = 100 mm, h = 63 mm (Maršals 2x50, 2x75) vai 120 mm (Proktors, Modificētais Proktors);
- d = 150 mm, h = 95 mm (Maršals 2x50, 2x75) vai 120 mm (Proktors, Modificētais Proktors), vai 125 mm (prese);
- d = 152 mm, h = 95 mm vai 120 mm, vai 300 mm (vibrobliete).

5.4.1 Paraugu sablīvēšana ar Maršalu, d = 100

Tika izgatavoti minerālmateriālu maisījumi ar 5 % bitumena emulsiju un 1,5 % un 2,5 % cementu, sablīvējot ar Maršala āmuru (veidne d = 100 mm).

Attēls 5-15 Maršala tilpuma blīvums un poru saturs



Konstatējams, ka tilpuma blīvums ir lielāks un poru saturs mazāks, kā arī atšķirība tilpuma blīvuma un poru satura rezultātos atkarībā no cementa daudzuma maisījumā ir mazāka, ja sablīvē ar 2x75 sitieniem.

Attēls 5-16 Reciklēta maisījuma sastāvs – grants/cements/bitumena emulsija

Attēls 5-17 Reciklēta maisījuma Maršala paraugi

5.4.2 Reciklētu maisījumu ar bitumena saistvielām paraugu izgatavošana ar presi

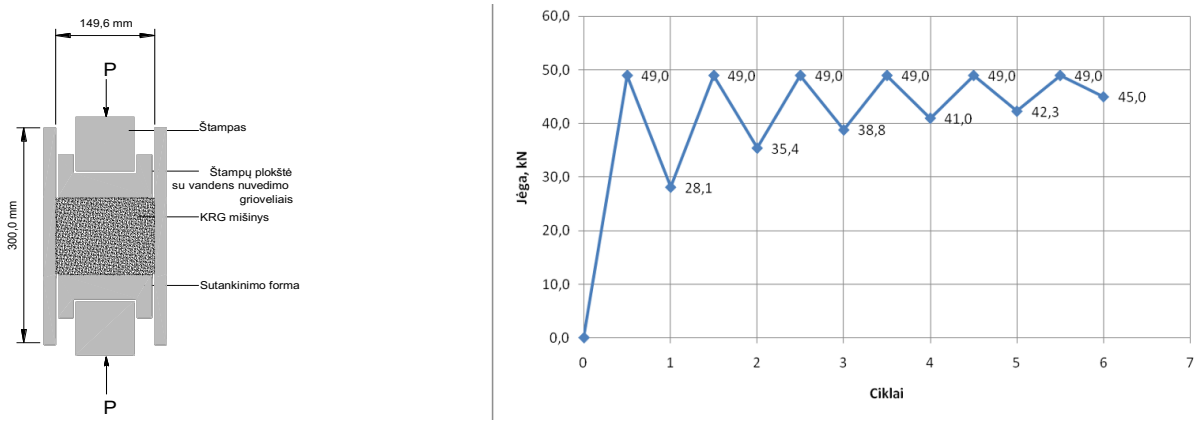
Tika izgatavoti paraugi, izmantojot presi. Paraugu izgatavošana tika veikta cikliski slogojot paraugus līdz 49 kN, tad noturot slodzi 30 s, tad atslogojot un atkal slogojot, kopā veicot 5 šādus ciklus. Tiek lēsts, ka šāds blīvēšanas režīms nodrošināja paraugu sablīvējumu līdzīgu kā blīvējot pēc Lietuvas ceļu administrācijas specifikācijām [19], [20] (sk. Attēls 5-18). Izgatavojamo paraugu izmēri: d = 150 mm, h = 125±5 mm. Bet realizēt sablīvēšanas režīmu atbilstoši Lietuvas specifikācijām ar pieejamajām iekārtām nebija iespējams, jo:

- Maršala prese pēc saviem parametriem un esošās programmatūras, to darbinot rokas režīmā, teorētiski var nodrošināt šādu sablīvēšanas cikliskumu, bet preses konstrukcija nav piemērota šāda masīva un augsta (kopējais augstums ar virzuļiem ap 50 cm) parauga blīvēšanai – paraugu veidne ar virzuļiem tos spiežot ar presi neizbēgami izšķiebjas un tas ir risks salauzt iekārtu;
- vidējas jaudas betona preses nav piemērotas, jo tajās parasti nevar ievietot tik augstus paraugus;

- lielākas jaudas betona preses arī nav piemērotas, lai tajās ievietotu veidni kāda norādīta Lietuvas tehniskajos noteikumos;
- bet, lai izgatavotu paraugus ar augstumu 125 mm, ir pietiekami, ja veidnes augstums ir 230 mm (tika izmantota Proktora B veidne ar papildgredzenu), tad ir iespējams veidnē iepildīt nepieciešamo materiāla daudzumu, un veidni kopā ar virzuļiem (kopējais augstums ap 33 cm) ievietot betona presē. Preses konstrukcija ir pietiekami masīva, lai sablīvēšanas laikā veidne pārāk neizšķiebtos, bet kaut kādā mērā tas tomēr var notikt, jo to var ietekmēt, gan tas cik precīzi iecentrē veidni ar virzuļiem, gan arī tas, ka abi virzuļi ir kustīgi (sk. Attēls 5-19);
- bet ar betona presi, bez speciālas pārbūves un attiecīgas sablīvēšanas režīma programmatūras, nav iespējams nodrošināt Lietuvas tehniskajos noteikumos norādīto sablīvēšanas režīmu, ir iespējams rokas režīmā tikai pielikt slodzi, noturēt to, tad pilnībā atslogot, atkarībā no preses modifikācijas papildus vēl var vai nevar izmērīt, piemēram, virzuļa pārvietojumu.

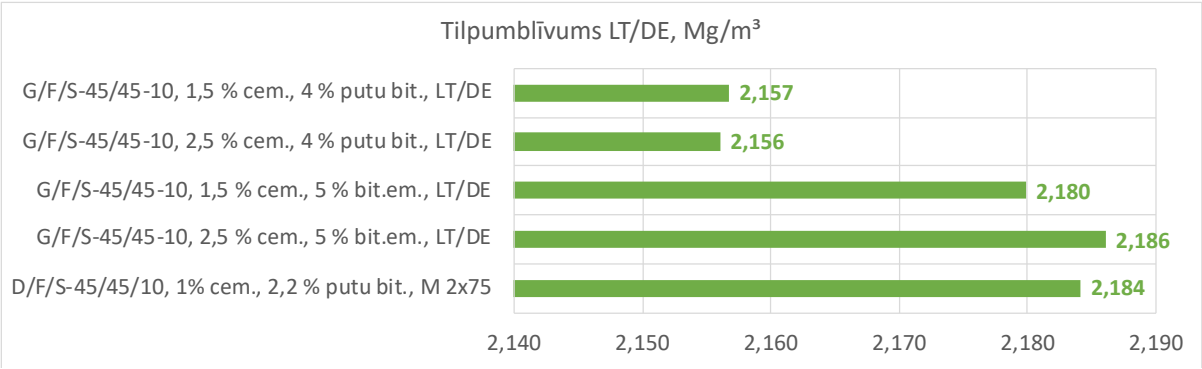
Pēc paraugu izgatavošanas tie nekavējoši tika atveidņoti un tajā pašā dienā ievietoti kondicionēšanai krāsnī uz 3 dienām 40 ℃, tad uz 24 h 25 ℃ gaisā un ūdenī.

Attēls 5-18 Paraugu izgatavošanas veidne un slogošanas režīms saskaņā ar Lietuvas ceļu administrācijas tehniskajiem noteikumiem [19], [20]



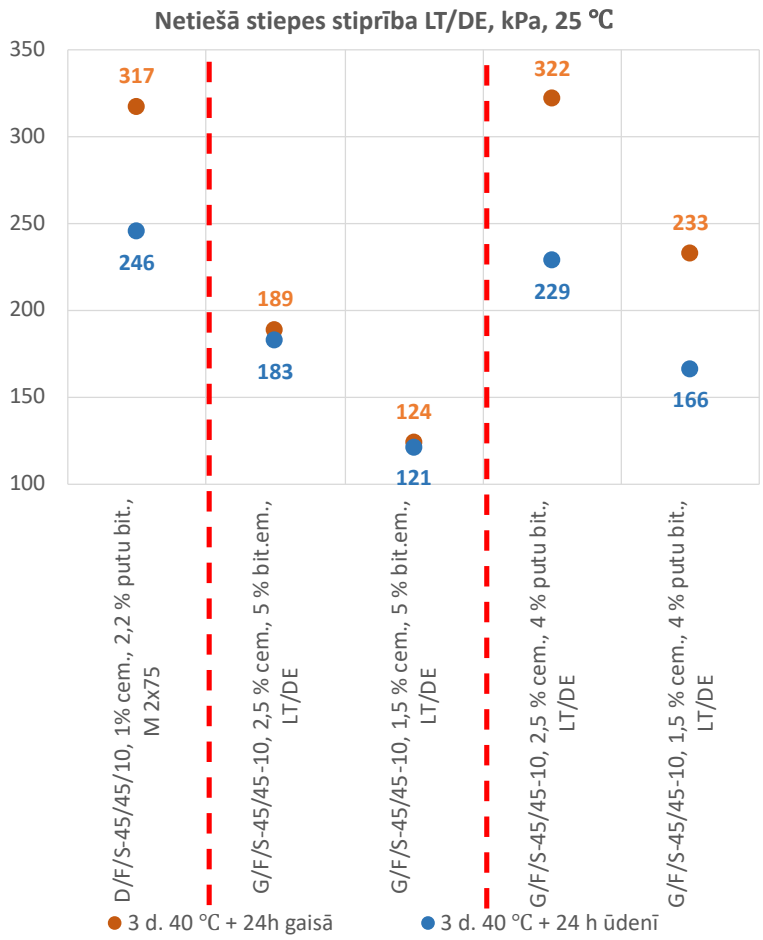
Attēls 5-19 Parauga sablīvēšanas process ar betona presi Proktora B veidnē ar papildus gredzenu

Attēls 5-20 Sausais tilpuma blīvums



Sablīvējot paraugus ar presi, slogojot ar 49 kN spēku 30 s 5 reizes, to tilpuma blīvums ir tuvs tilpuma blīvumam kādu iegūst sablīvējot ar Maršalu ar 2x75 sitieniem.

Attēls 5-21 Netiešā stiepes stiprība (ITS)

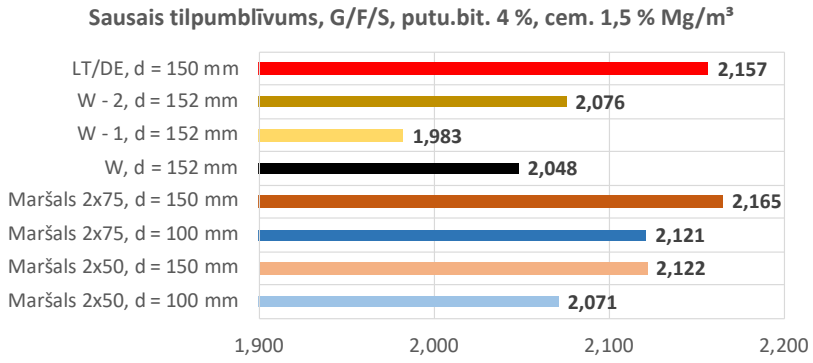


Lielāki ITS rezultāti pārsvarā tika iegūti maisījumiem ar putu bitumenu. ITS rezultāti lielāki, ja sastāvā lielāks cementa saturs. Izņemot, līdzvērtīgi rezultāti iegūti maisījumam ar mazāko cementa un putu bitumena daudzumu (1,0 % un 2,2 %) un maisījumam ar lielāko cementa un putu bitumena daudzumu (2,5 % un 4,0 %). Atšķirīgs šiem maisījumiem ir izejmateriālu sastāvs, attiecīgi, pirmais ar dolomītu, otrs ar granti.

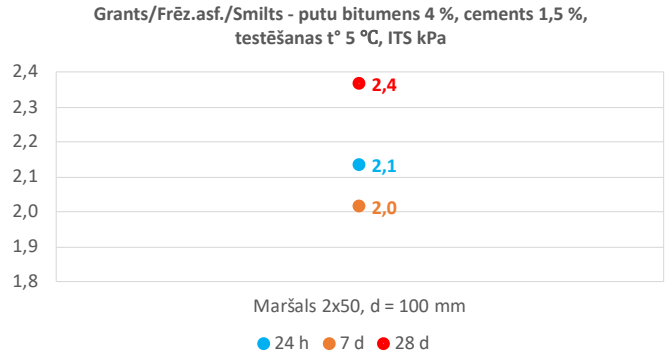
5.4.3 Reciklētie maisījumi ar putu bitumenu un cementu

Tika izgatavoti vairāki sastādīti maisījumi ar putu bitumenu un cementu. Paraugu sablīvēšana veikta ar dažādām iekārtām dažādos režīmos. Testēts tilpuma blīvums, ITS un spiedes stiprība. Kondicionēšana galvenokārt – 24 h, 3 dienas, 7 dienas, 28 dienas, 14 + 14 ūdenī dienas, 28 dienas + 10 salumkusumizturības cikli, testēšanas temperatūra 5 ℃. Salīdzinājumam arī kondicionēti paraugi 3 dienas 40 ℃ un 1 dienu 25 ℃ gan gaisā, gan ūdenī, testēšanas temperatūra 25 ℃.

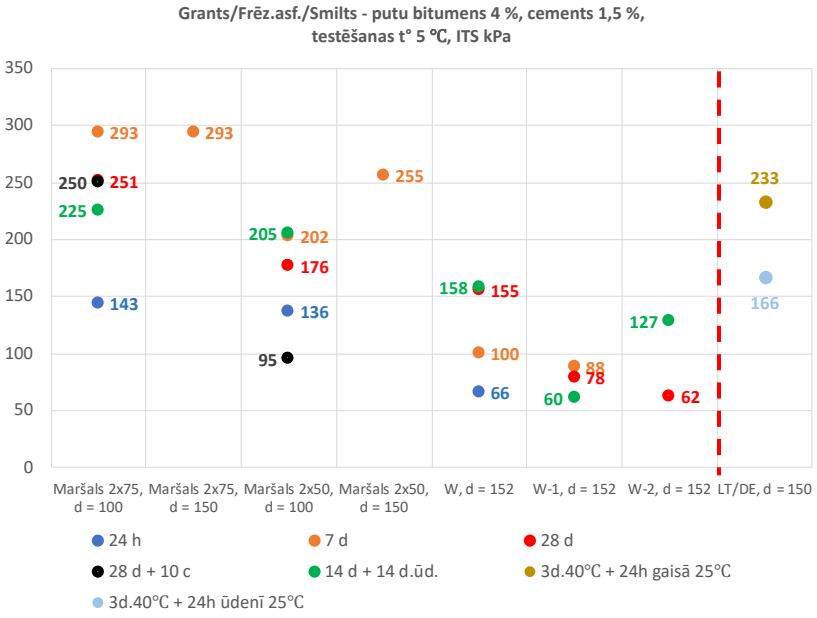
Attēls 5-22 Sausais tilpuma blīvums, G/F/S, cements 1,5 %, putu bitumens 4 %



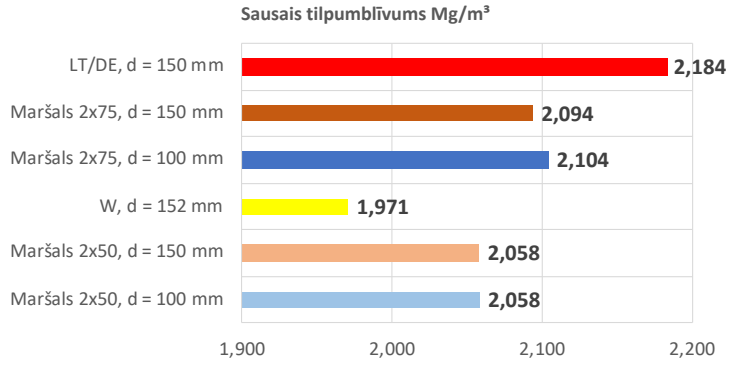
Attēls 5-23 Spiedes stiprība, G/F/S, cements 1,5 %, putu bitumens 4 %



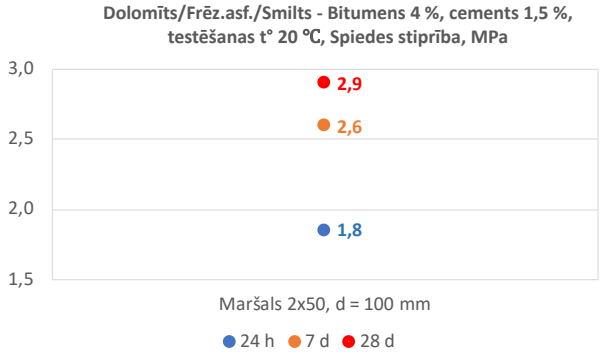
Attēls 5-24 Netiešā stiepes stiprība (ITS), G/F/S, cements 1,5 %, putu bitumens 4 %



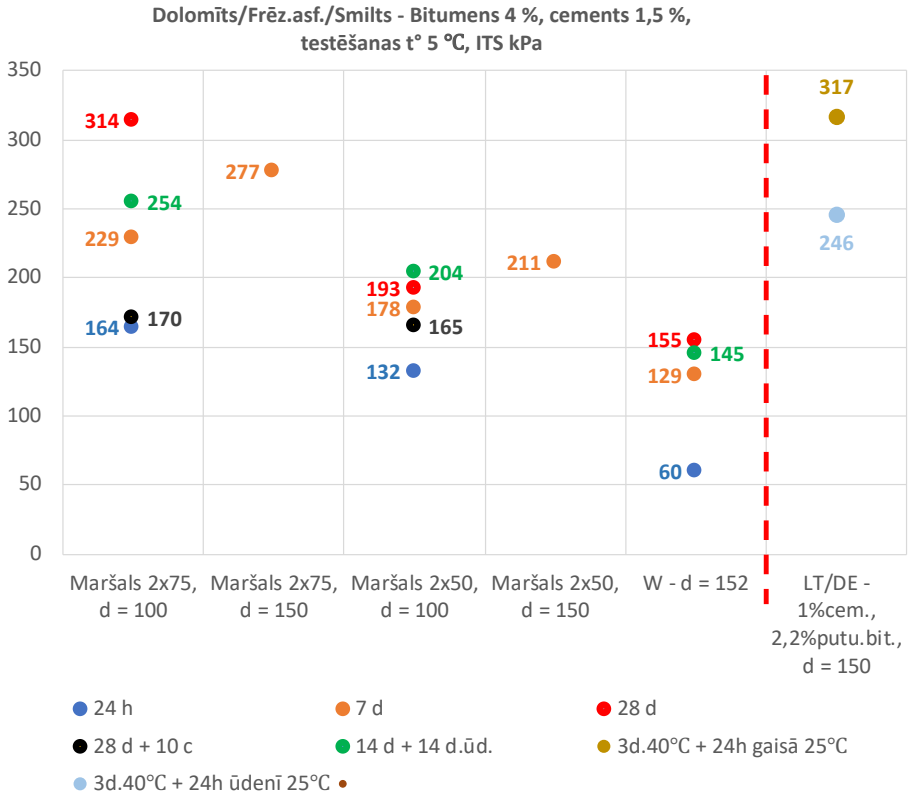
Attēls 5-25 Sausais tilpuma blīvums, D/F/S, cements 1,5 %, putu bitumens 4 %



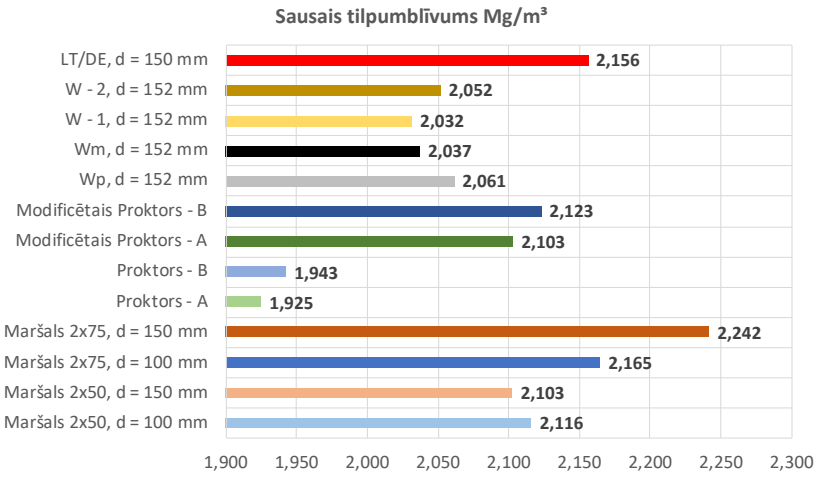
Attēls 5-26 Spiedes stiprība, D/F/S, cements 1,5 %, putu bitumens 4 %



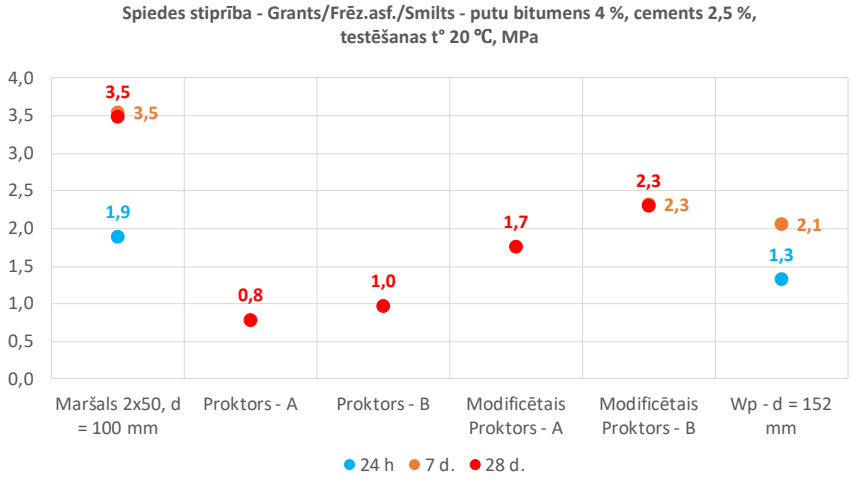
Attēls 5-27 Netiešā stiepes stiprība (ITS), D/F/S, cements 1,5 %, putu bitumens 4 %



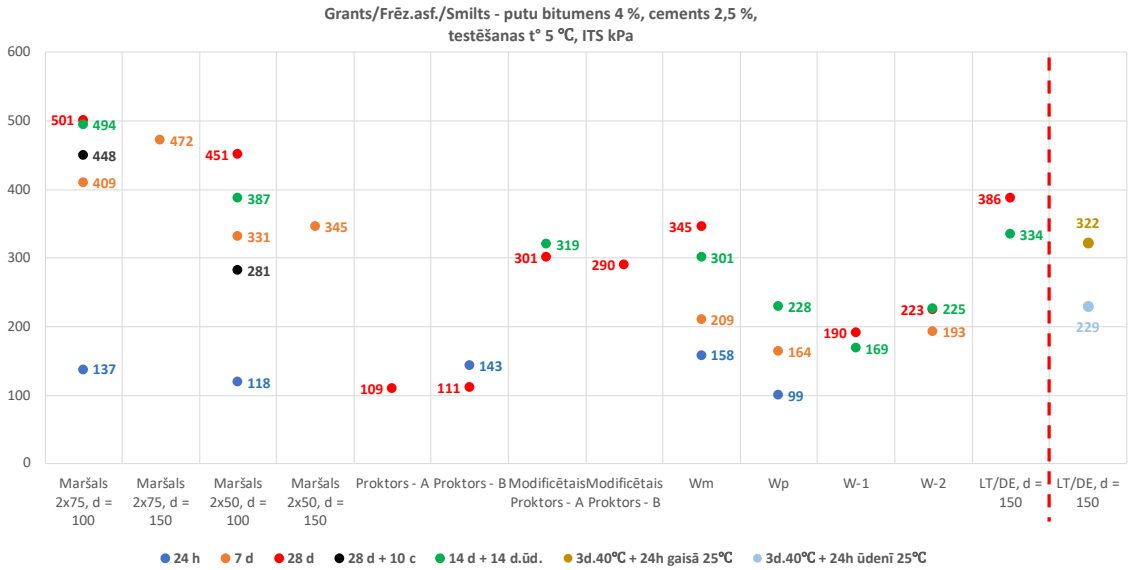
Attēls 5-28 Sausais tilpuma blīvums, G/F/S, cements 2,5 %, putu bitumens 4 %



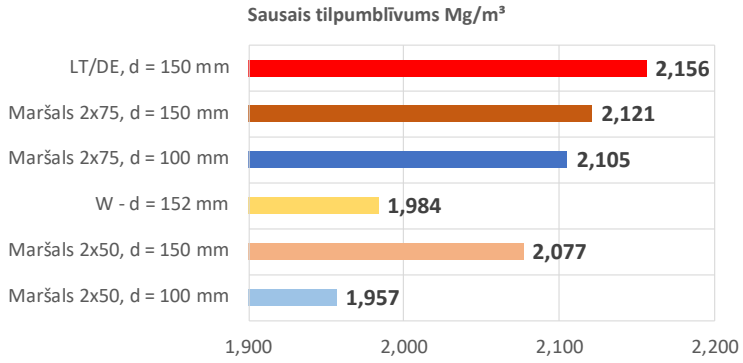
Attēls 5-29 Spiedes stiprība, G/F/S, cements 2,5 %, putu bitumens 4 %



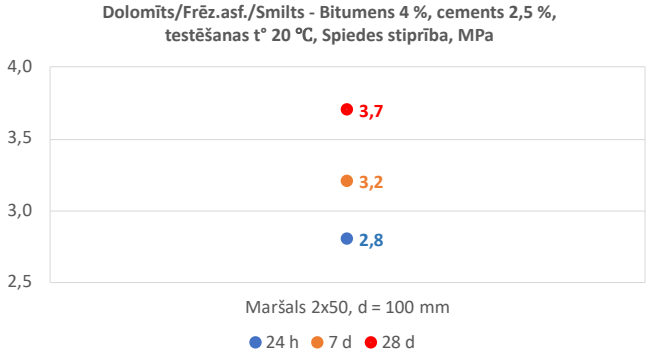
Attēls 5-30 Netiešā stiepes stiprība (ITS), G/F/S, cements 2,5 %, putu bitumens 4 %



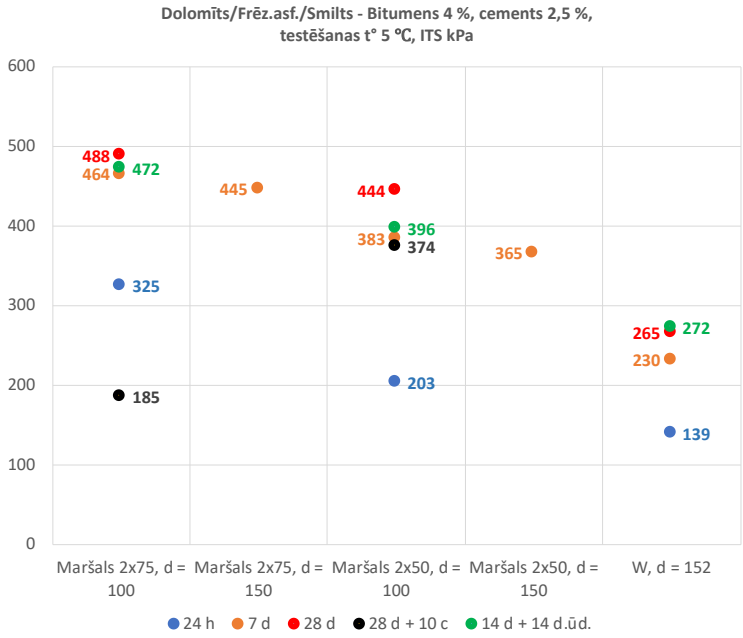
Attēls 5-31 Sausais tilpuma blīvums, D/F/S, cements 2,5 %, putu bitumens 4 %



Attēls 5-32 Spiedes stiprība, D/F/S, cements 2,5 %, putu bitumens 4 %



Attēls 5-33 Netiešā stiepes stiprība, D/F/S, cements 2,5 %, putu bitumens 4 %



Paraugu tilpuma blīvums, pieliekot lielāku sablīvēšanas enerģiju ir lielāks. Neatkarīgi no lietotajiem materiāliem, paraugiem ar lielāku tilpuma blīvumu saniegtās ITS vērtības ir lielākas. Sablīvējot paraugus ar vienādu pielikto enerģiju

dažāda izmēra veidnēs, pārsvarā gadījumu lielāka izmēra veidnēs tika sasniegts lielāks tilpuma blīvums. ITS vērtības pārsvarā gadījumu pieaug pēc kondicionēšanas laika secībā: 24 h, 7 dienas, 14 + 14 ūdenī dienas, 28 dienas, bet mēdz būt arī atšķirīgi, īpaši paraugiem ar mazāku cementa saturu un mazāku sablīvējumu.

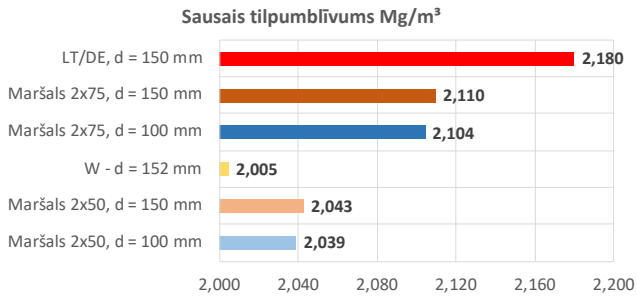
Nav novērojama izteikta atšķirība pēc 28 dienām vai paraugus 14 dienas tur ūdenī vai nē. Tas, iespējams, saistīts ar izvēlēto paraugu kondicionēšanas vispārējo režīmu, tos glabājot iesaiņotus plastikāta plēvē. Līdz ar to nav lielas atšķirības vai pēc pirmajām 14 dienām nākamās 14 dienas paraugs ir iesaiņots vai arī neiesaiņots atrodas ūdenī. Pirmajās 14 dienās galvenie cietēšanas procesi jau ir notikuši un pakļaušana tiešai ūdens iedarbībai nākamās 14 dienas turpmāko cietēšanas režīmu vairs būtiski neietekmē.

Ventilējamā krāsnī kondicionētu neiesaiņotu paraugu ITS vērtības, testējot 25 ℃, pārsvarā gadījumu līdzīgas pēc 7 dienām plēvē iesaiņotu paraugu ITS vērtībām, testējot 5 ℃. Pēc kondicionēšanas ventilējamā krāsnī 1 dienu ūdenī noturētu paraugu ITS vērtības raksturo paraugu mitruma noturību.

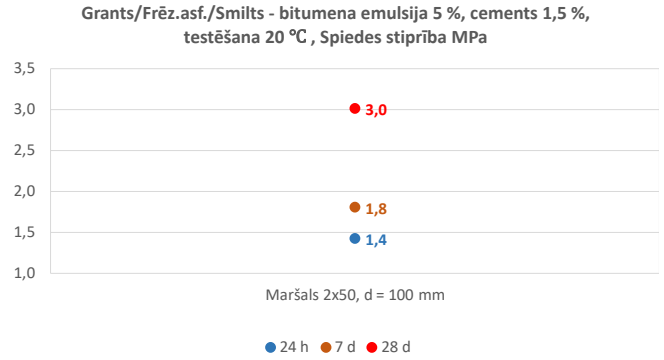
5.4.4 Reciklētie maisījumi ar bitumena emulsiju un cementu

Tika izgatavoti vairāki sastādīti maisījumi ar bitumena emulsiju un cementu. Paraugu sablīvēšana veikta ar dažādām iekārtām dažādos režīmos. Testēts tilpuma blīvums, ITS un spiedes stiprība. Kondicionēšana galvenokārt – 24 h, 3 dienas, 7 dienas, 28 dienas, 14 + 14 ūdenī dienas, 28 dienas + 10 salumkusumizturības cikli, testēšanas temperatūra 5 ℃. Salīdzinājumam arī kondicionēti paraugi 3 dienas 40 ℃ un 1 dienu 25 ℃ gan gaisā, gan ūdenī, testēšanas temperatūra 25 ℃.

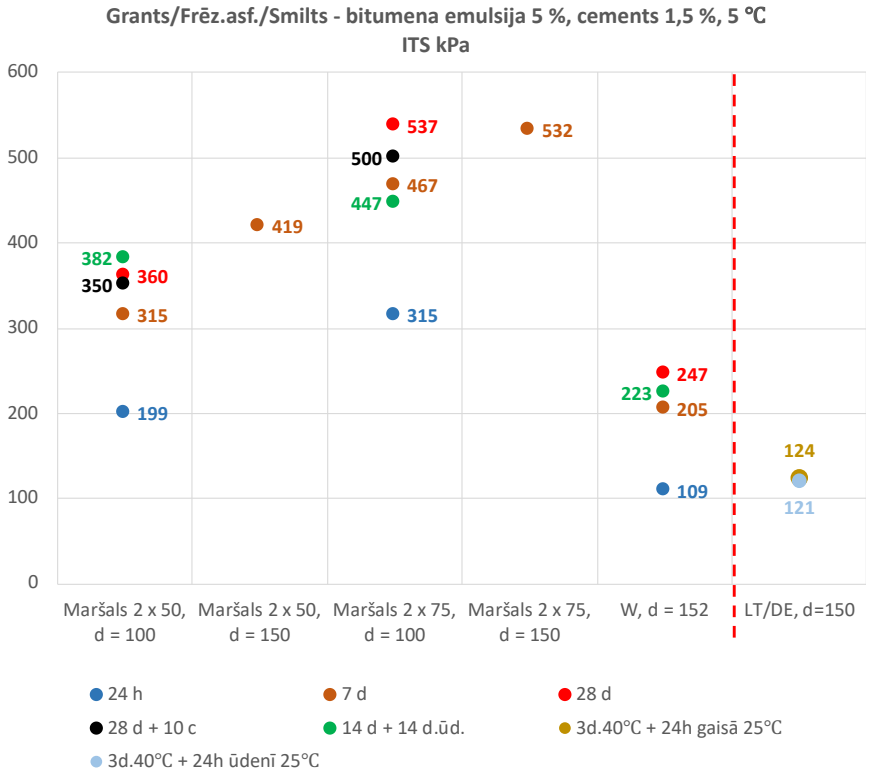
Attēls 5-34 Sausais tilpuma blīvums, G/F/S, 1,5 % cements, 5,0 % bitumena emulsija



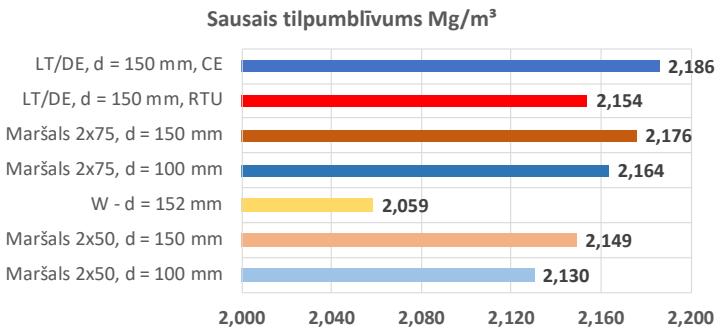
Attēls 5-35 Spiedes stiprība, G/F/S, 1,5 % cements, 5,0 % bitumena emulsija



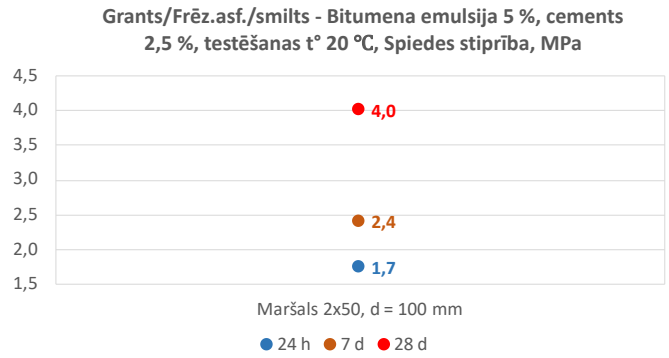
Attēls 5-36 Netiešā stiepes stiprība – G/F/S, 1,5 % cements, 5,0 % bitumena emulsija



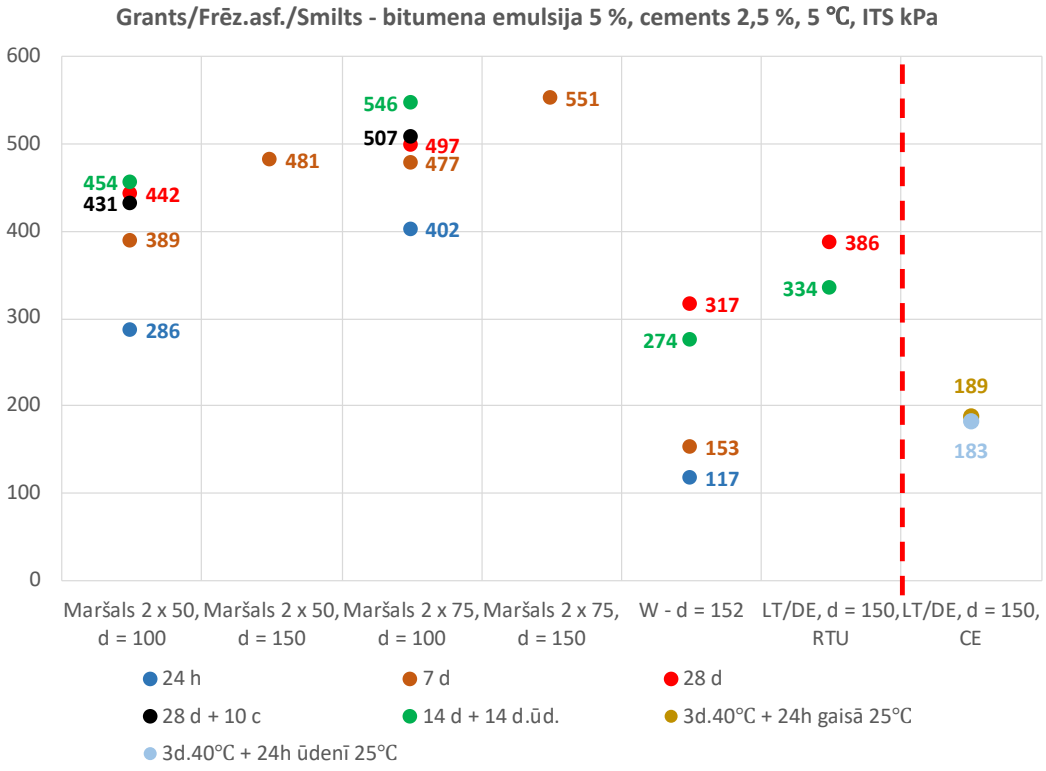
Attēls 5-37 Sausais tilpuma blīvums, G/F/S, 2,5 % cements, 5,0 % bitumena emulsija



Attēls 5-38 Spiedes stiprība, G/F/S, 2,5 % cements, 5,0 % bitumena emulsija



Attēls 5-39 Netiešā stiepes stiprība (ITS), G/F/S, 2,5 % cements, 5,0 % bitumena emulsija



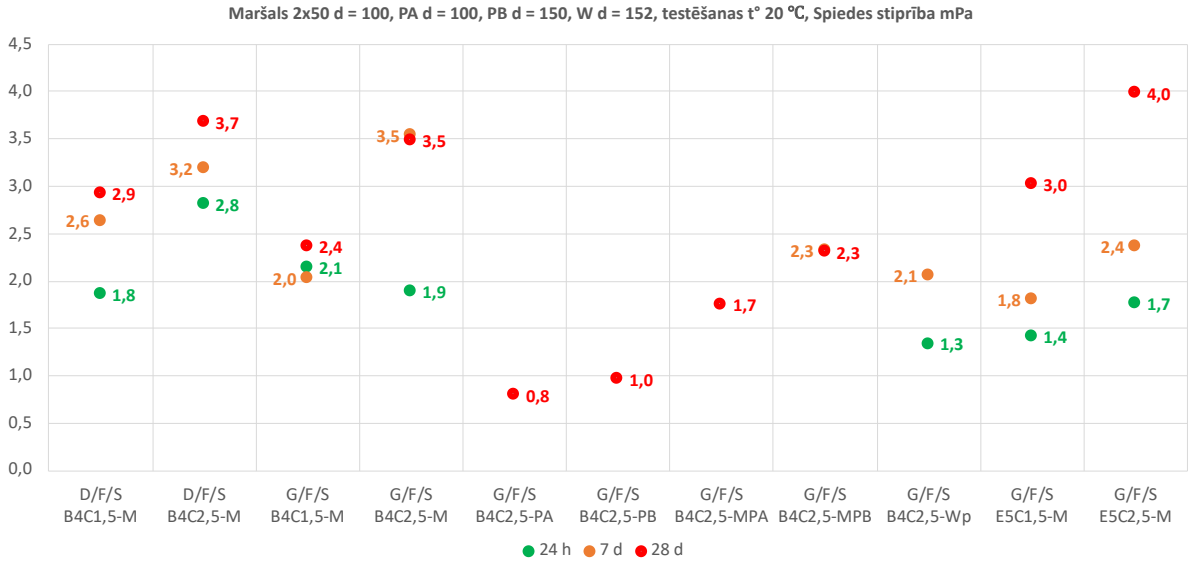
Paraugu tilpuma blīvums, pieliekot lielāku sablīvēšanas enerģiju ir lielāks. Neatkarīgi no lietotajiem materiāliem, paraugiem ar lielāku tilpuma blīvumu sasniegtās ITS vērtības ir lielākas. Sablīvējot paraugus ar vienādu pielikto enerģiju dažāda izmēra veidnēs, lielāka izmēra veidnēs tika sasniegts lielāks tilpuma blīvums. ITS vērtības pārsvarā gadījumu pieaug pēc kondicionēšanas laika secībā: 24 h, 7 dienas, 14 + 14 ūdenī dienas, 28 dienas, bet mēdz būt arī atšķirīgi, neatkarīgi no paraugu cementa satura vai sablīvējuma.

Līdzīgi kā maisījumiem ar putu bitumenu nav novērojama ITS rezultātu atšķirība pēc 28 dienām vai paraugus 14 dienas tur ūdenī vai nē.

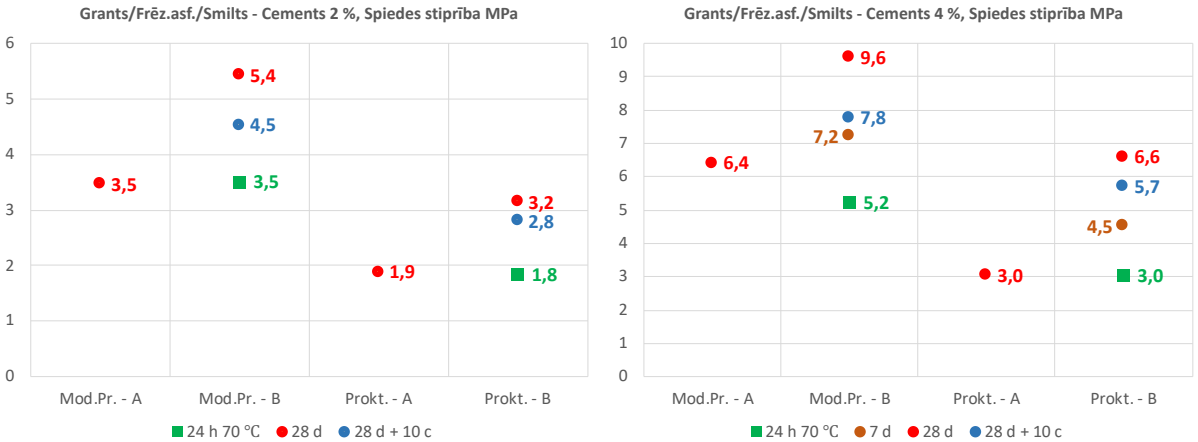
Ventilējamā krāsnī kondicionētu neiesaiņotu paraugu ITS vērtības, testējot 25 °C, zemākas nekā pēc 7 dienām plēvē iesaiņotu paraugu ITS vērtības, testējot 5 °C. Pēc kondicionēšanas ventilējamā krāsnī 1 dienu ūdenī noturētu paraugu ITS vērtības raksturo paraugu mitruma noturību.

5.4.5 Spiedes stiprība, apkopojums, maisījumi ar bitumena saistvielām

Attēls 5-40 Maisījumu ar bitumena saistvielām spiedes stiprība, apkopojums



Attēls 5-41 Maisījumu ar cementu spiedes stiprība, salīdzinājumam



Maisījumu ar bitumena saistvielām spiedes stiprības ir lielākas, ja ir lielāks cementa saturs, un mazākas, ja cementa saturs mazāks. Maisījumos ar dolomītu spiedes stiprības salīdzinoši lielākas nekā maisījumos ar granti. Vairākos gadījumos nav novērojams vērā ņemams spiedes stiprības pieaugums atkarībā no

kondicionēšanas laika, izņemot maisījumiem ar bitumena emulsiju, kur tas iezīmējas samērā izteikti. Ar vienādu enerģiju sablīvētu paraugu spiedes stiprības ir lielākas, ja izmantotas lielāka diametra veidnes. Ar lielāku enerģiju sablīvētu paraugu spiedes stiprības ir lielākas, nekā ar mazāku enerģiju sablīvētu paraugu spiedes stiprības. Spiedes stiprības vai lietots putu bitumens vai bitumena emulsija būtiski neatšķiras.

Maisījumu ar cementu spiedes stiprības, salīdzinot līdzīgi izgatavotus paraugus, ir lielākas nekā maisījumu ar bitumena saistvielā (+ cements) spiedes stiprībām.

5.4.6 Reciklēto maisījumu ar bitumena saistvielām kondicionēšana dažādos režīmos

Lai novērtētu paraugu dažādu kondicionēšanas režīmu ietekmi uz testēšanas rezultātiem, šajā gadījumā – netiešo stiepes stiprību – ITS, tika izgatavoti paraugi ar Maršalu. Paraugu diametrs 100 mm, paraugu augstums 63 mm, sitienu skaits 2 x 50. Vienā gadījumā paraugi sablīvēti ar presi, slogojot ar 49 kN, ar kustīgiem virzuļiem gan no augšas, gan apakšas, paraugu diametrs 150 mm, paraugu augstums 125 mm.

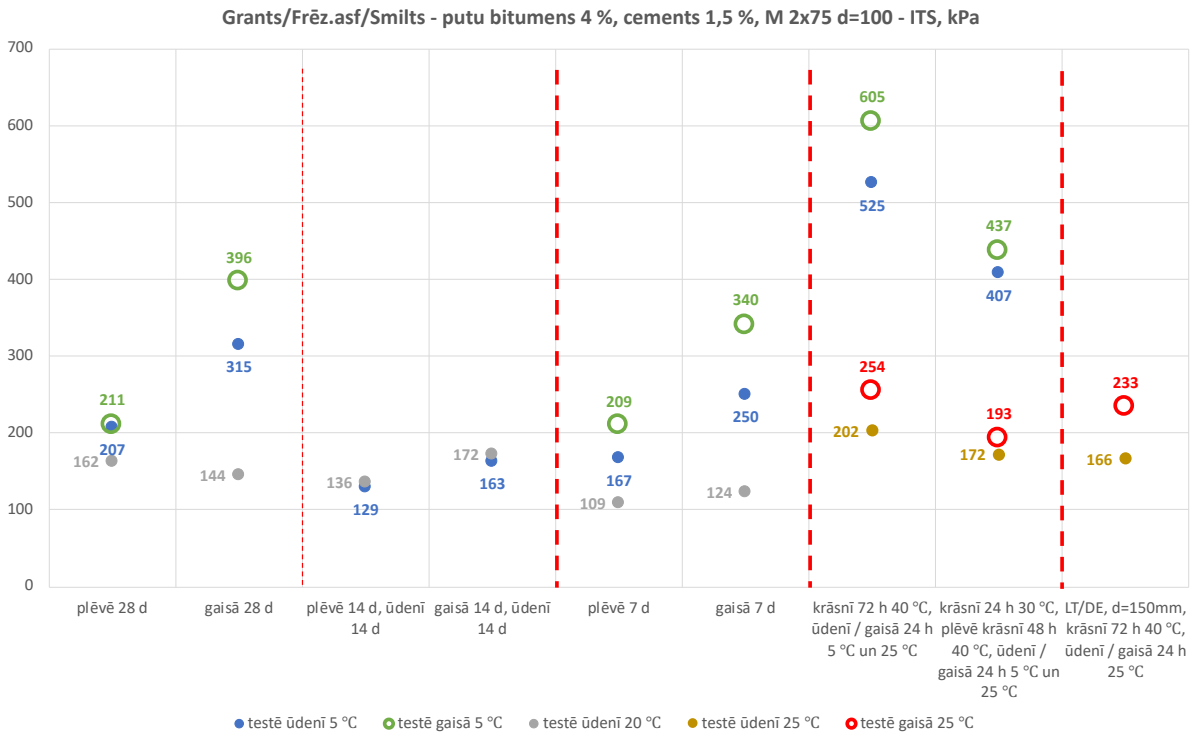
Ar Maršalu sagatavoto paraugu vidējais tilpuma blīvums 2,130 Mg/m^3. Ar presi sagatavoto paraugu vidējais tilpuma blīvums 2,157 Mg/m^3.

Izmantotais reciklētais maisījums – grants maisījums / frēzēts asfalts / smilts – 45 / 45 / 10 %, putu bitumens - 4 %, cements 1,5 %.

Paraugi pēc izgatavošanas līdz testēšanai tika glabāti dažādos apstākļos:

- ietīti ūdens un gaisa necaurlaidīgā plēvē, uzglabājot laboratorijas telpā 7 dienas vai 28 dienas, testējot ūdenī un gaisā 5 ℃, un testējot gaisā 25 ℃;
- neiesaiņoti paraugi, uzglabājot laboratorijas telpā 7 dienas vai 28 dienas, testējot ūdenī un gaisā 5 ℃, un testējot gaisā 25 ℃;
- ietīti ūdens un gaisa necaurlaidīgā plēvē, uzglabājot laboratorijas telpā 14 dienas un pēc tam izsaiņoti 14 dienas ūdenī, testējot ūdenī 5 ℃ un 25 ℃;
- neiesaiņoti paraugi, uzglabājot krāsnī 3 dienas 40 ℃, tad 24 h ūdenī un gaisā 5 ℃ un 25 ℃;
- neiesaiņoti paraugi, uzglabājot krāsnī 1 dienu 30 ℃, tad ietīti ūdens un gaisa necaurlaidīgā plēvē krāsnī 2 dienas 40 ℃, tad 24 h ūdenī un gaisā 5 ℃ un 25 ℃.

Attēls 5-42 ITS rezultāti paraugiem ar dažādu kondicionēšanas režīmu



Kondicionēšanas režīmi ventilējamā krāsnī realizēti atbilstoši "Wirtgen Cold Recycling Technology", 2012 [25] aprakstiem. Kondicionēšanas režīmi "gaisā" realizēti atbilstoši norādēm Lietuvas "METODINIAI NURODYMAI ATLIEKANT REGENERAVIMĄ KELYJE ŠALTUOJU BŪDU MN ŠRK 18", 2018 [19].

Ja paraugi netiek izolēti (ietīti plēvē), tad tiek sasniegtas lielākas ITS vērtības. Kondicionējot "gaisā" un "plēvē", testējot 5 °C, salīdzinoši ir daudz lielākas ITS vērtību starpības starp ūdens nepiesātinātiem un ūdens piesātinātiem (14 + 14 dienas) paraugiem, nekā kondicionējot "krāsnī", testējot 20 °C, attiecīgi 0,6 un 0,4, pret 0,8 un 0,7. Tuvākas ir attiecības kondicionētiem "krāsnī" (testēts 25 °C) pret kondicionētiem "gaisā" un "plēvē" (testēts 5 °C), pirms testēšanas 24 h noturot ūdenī vai gaisā testēšanas temperatūrā. ITS vērtību attiecības attiecīgi pārsvarā ap 0,8.

Kondicionējot 72 h "krāsnī" 40 °C un testējot 25 °C, tiek iegūtas līdzīgas vērtības kā kondicionējot 7 dienas "gaisā" un testējot 5 °C.

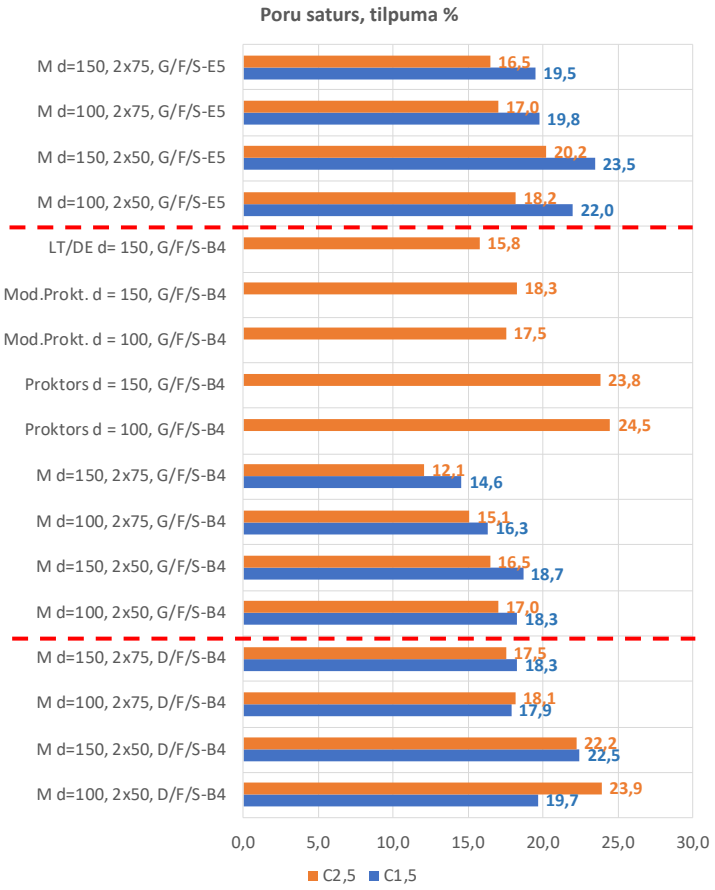
Plēvē ietītiem paraugiem nav lielas atšķirības ITS rezultātos pēc 7 un pēc 28 dienām. Pēc 7 dienām paraugi ir jūtīgāki pret ūdens iedarbību.

Nav lielu starpību rezultātos paraugiem, kas kondicionēti 14 dienas "gaisā" vai "plēvē", tad kondicionējot 14 dienas ūdenī, testējot 5 ℃ vai arī 20 ℃. Nedaudz lielāki ITS rezultāti ir, ja paraugi sākotnēji kondicionēti "gaisā".

5.4.7 Reciklētu maisījumu ar bitumena saistvielām poru saturs

Sastādītajiem maisījumiem tika testēts poru saturs. Tika noteikts sausa materiāla maksimālais blīvums saskaņā ar LVS EN 12697-5 (A metode ar ūdeni) un laboratorijā sablīvētu paraugu sausais tilpuma blīvums saskaņā ar LVS EN 12697-6 (D metode). Poru satura aprēķins veikts saskaņā ar LVS EN 12697-8.

Attēls 5-43. Reciklētu maisījumu ar bitumena saistvielām poru saturs

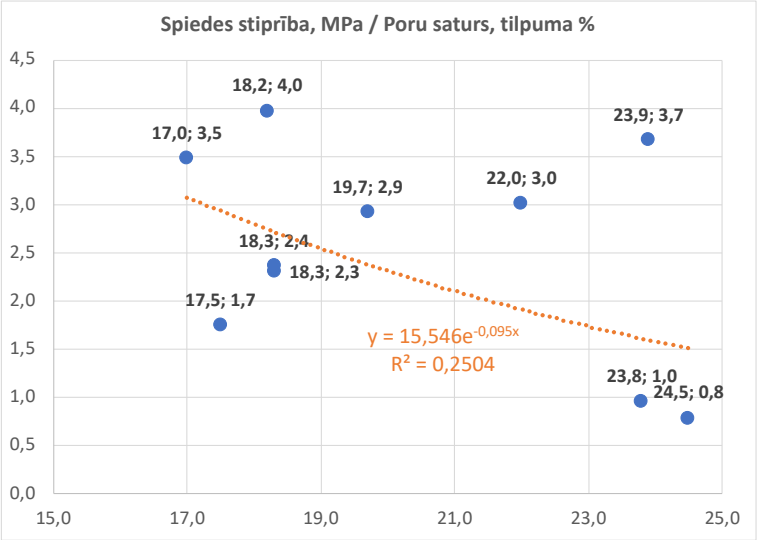


Jo lielāka ir pieliktā sablīvēšanas enerģija, jo poru saturs ir mazāks. Atkarībā no veidnes izmēra, sablīvējot lielāka diametra veidnē poru saturs pārsvarā gadījumu ir salīdzinoši mazāks. Atkarībā no pievienotā cementa daudzuma, pievienojot vairāk cementa poru saturs pārsvarā gadījumu ir salīdzinoši mazāks. Atkarībā no izmantotajiem materiāliem, maisījumam ar granti un putu bitumenu poru saturs

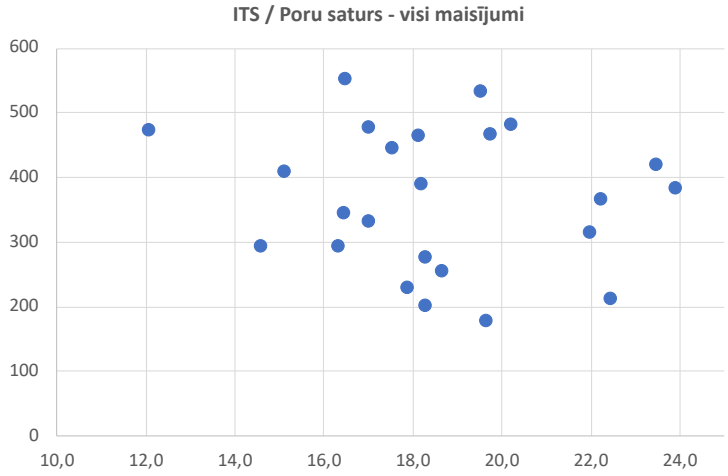
ir salīdzinoši mazāks, bet maisījumiem bitumena emulsiju un granti un putu bitumenu un dolomītu poru saturs ir salīdzinoši lielāks.

Apskatot poru satura sakarības ar spiedes stiprību pēc 28 dienām un netiešo stiepes stiprību pēc 7 dienām, konstatējama sakarība, ka jo mazāks poru saturs, jo lielāka spiedes stiprība un ITS, un otrādi. Aplūkojot ITS un poru saturu visiem maisījumiem kopā nekāda sakarība nav konstatējama, bet aplūkojot katru maisījumu atsevišķi sakarība, ka mazāks poru saturs ir lielāks ITS apliecinās.

Attēls 5-44 Spiedes stiprība un poru saturs



Attēls 5-45 ITS un poru saturs, visi maisījumi



Attēls 5-46 ITS un poru saturs atsevišķi pa maisījumiem

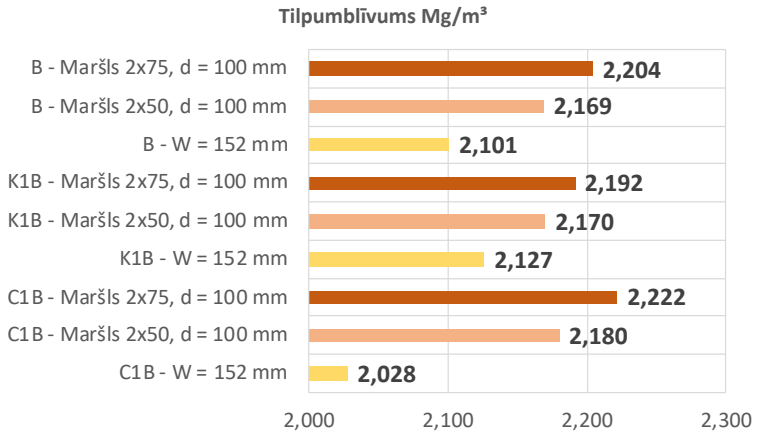
5.4.8 Reciklētu maisījumu projekti saskaņā ar Wirtgen metodiku

Saskaņā ar Wirtgen metodiku, kas aprakstīta rokasgrāmatās [22], [23], [24], tika veikta paraugu sagatavošana un testēšana diviem maisījumiem:

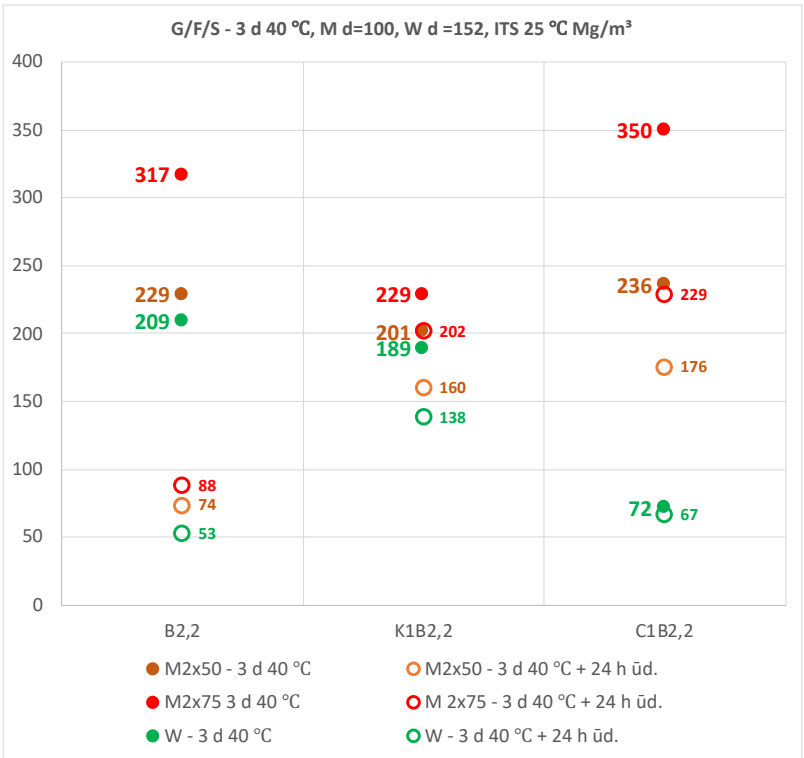
- grants maisījums / frēzēts asfalts / smilts – 45/45/10 %;
- dolomīta maisījums / frēzēts asfalts / smilts – 45/45/10 %.

No maisījuma ar granti tika sagatavoti paraugi, gan sablīvējot ar Maršalu d = 100 mm, ar 2x50 un 2x75 sitieniem, gan arī sablīvējot ar vibroblieti. Kā saistviela tika izmantots putu bitumens 2,2 %, kā arī divos maisījumos tika izmantotas hidrauliskās saistvielas – kaļķis un cements. Tika testēts sablīvēto paraugu tilpuma blīvums un netiešā stiepes stiprība, kondicionējot 3 dienas 40 °C, tad 1 dienu 25 °C gaisā un ūdenī.

Attēls 5-47 Tilpuma blīvums



Attēls 5-48 Netiešā stiepes stiprība (ITS)

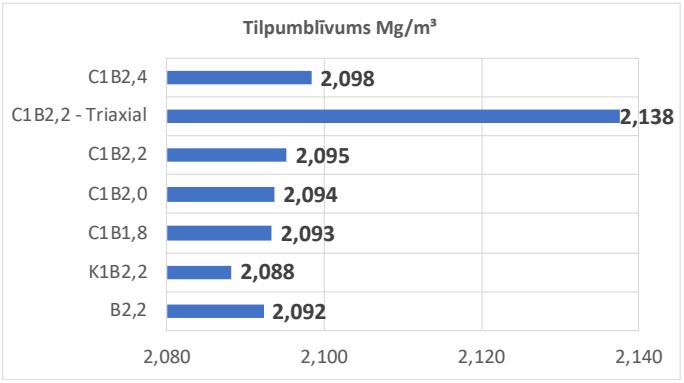


Visos gadījumos ITS vērtības ir lielākas paraugiem ar lielāku tilpuma blīvumu. Vislielākās ITS vērtības ir paraugiem ar cementu, izņemot kad sablīvēts ar vibroblieti, bet šajā gadījumā tāpēc, ka paraugiem ir ievērojami zemāks tilpuma blīvums. Vissliktākā noturība pret ūdens iedarbību ir paraugiem tikai ar putu bitumenu bez hidrauliskajām saistvielām.

Maisījumam ar dolomītu tika veikts pilns reciklētā maisījuma projekta izstrādes cikls.

Attēls 5-49 Sagatavots sadalīts maisījums

Attēls 5-50 Tilpuma blīvums



Paraugi tika izgatavoti ar vibroblieti, sasniedzamo tilpuma blīvumu izvēloties atbilstošu minerālmateriālu Modificētā Proktora tilpuma blīvumam, tāpat arī optimālo mitrumu. Sagatavoto paraugu izmēri: d = 152 mm, h = 95 mm. Katram testam tika izgatavoti trīs paraugi. Izgatavotie paraugi tika tūlīt atveidņoti un kondicionēti 40 ℃ 3 dienas un 25 ℃ 1 dienu gaisā un ūdenī.

Pirmais posms. Vispirms tika sagatavoti maisījumi ar 2,2 % putu bitumenu (šāds bitumena saturs saskaņā ar norādēm Wirtgen metodikā bija norādīts sākotnējai izvēlei šādas sturktūras maisījumam):

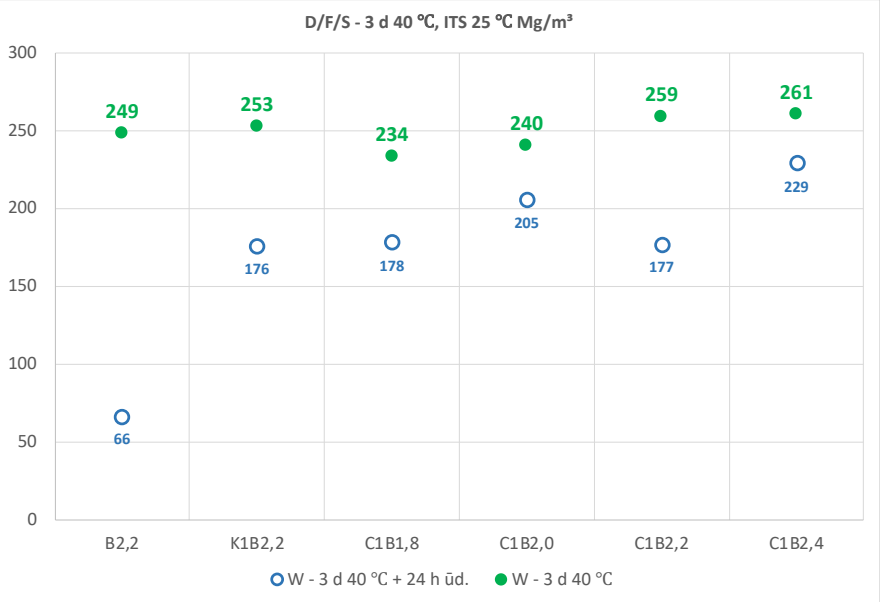
- ar 2,2 % putu bitumenu;

- ar 2,2 % putu bitumenu un 1,0 % kaļķi;
- ar 2,2 % putu bitumenu un 1,0 % cementu.

Otrais posms. Pēc tam pēc līdzīgiem principiem tika izgatavoti paraugi ar 1,0 % cementu un dažādu putu bitumena saturu – 1,8; 2,0; 2,2 un 2,4 %.

Paraugiem testēta netiešā stiepes stiprība pēc to kondicionēšanas 3 dienas 40 ℃, pēc tam 24 h 25 ℃ ūdenī un gaisā.

Attēls 5-51 Netiešā stiepes stiprība (ITS)



Pirmā posma paraugu ar hidrauliskajām saistvielām ITS rezultāti praktiski ir līdzīgi, bet paraugu tikai ar putu bitumenu ūdens noturība ir ļoti vāja.

Saskaņā ar otrā posma paraugu testēšanas rezultātiem novērojamā tendence, ka ar lielāku putu bitumena daudzumu ITS vērtības ir lielākas.

Trešais posms. Izvērtējot rezultātus, trīsasu testam tika izvēlēts un sagatavots maisījums ar 1,0 % cementu un 2,2 % putu bitumena saturu. Sagatavoto paraugu izmēri: d = 152 mm, h = 300 mm. Kopā tika izgatavoti 10 paraugi. Izgatavotie paraugi tika tūlīt atveidņoti un kondicionēti 8 h neiesaiņoti 40 ℃, tad iesaiņoti pieguļošā ūdens un gaisa necaurlaidīgā plastikāta plēvē un kondicionēti 2 dienas 40 ℃, tad 2 paraugi izsaiņoti kondicionēti 25 ℃ pilnībā iegremdēti ūdenī un 6 paraugi neizsaiņoti 25 ℃ gaisā. Šāds kondicionēšanas režīms nodrošina, ka paraugu paliekošais ūdens saturs ir 65-75 % no optimālā ūdens satura.

Trīsasu tests raksturo materiāla mehāniskās īpašības – tā stabilitāti un noturību. Trīsasu testam lietota bīdes testēšanas procedūra, nodrošinot pastāvīgu sānu spiedienu (σ_3) un pieliekot vertikālu slodzi (σ_1) līdz parauga sagraušanai. Tiek iegūti dati par materiāla iekšējās berzes leņķi un kohēziju, izmantojot Mora apļa principu un paraugu stiprības un slodžu grafisku attēlojumu (sk. Attēls 5-53).

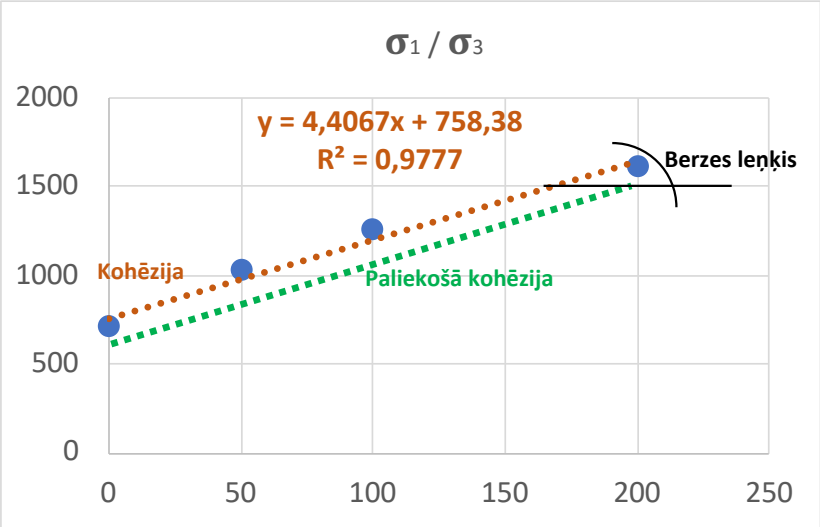
Paraugi testēti ar Maršala presi sekojošos režīmos:

- 2 sausi paraugi bez sānu spiediena;
- 2 sausi paraugi ar 50 kPa sānu spiedienu;
- 2 sausi un 2 mitri paraugi ar 100 kPa sānu spiedienu;
- 2 sausi paraugi ar 200 kPa sānu spiedienu.

Attēls 5-52 Paraugs trīsasu testam, iekārta un process

Saskaņā ar iegūtajiem spiedes stiprības rezultātiem tika aprēķināta materiāla kohēzija, tā iekšējās berzes leņķis, kā arī mitruma iedarbību raksturojoša paliekošā kohēzija.

Attēls 5-53 Trīsasu testa rezultāti



Saskaņā ar Wirtgen metodiku aprēķinātie parametri:

- iekšējās berzes leņķis 39,1 °;
- kohēzija 180,6 kPa;
- paliekošā kohēzija 81,6 %.

Tabula 5-4 Wirtgen rokasgrāmatās ieteiktie atbilstības novērtēšanas kritēriji

Klase	RA (%)	ITS (kPa)		Trīsasu tests		
		ITS_{sauss}	ITS_{mitrs}	Kohēzija (kPa)	Berzes leņķis (°)	Paliekošā kohēzija (%)
BSM 1	< 50 %	225	125	250	40	75
	50 – 100 %			265	38	75
BSM 2	< 50 %	175	100	200	38	65
	50 – 100 %			225	35	75

Projektētais maisījums pēc ITS rezultātiem (attiecīgi 259 kPa un 177 kPa) atbilst BSM1 klasei. Bet, lai arī materiāla berzes leņķis ir pietiekams, lai izpildītu BSM1 prasības, sasniegtā kohēzijas vērtība nav pietiekama, lai arī ar visai labu paliekošo kohēziju.

5.4.9 Riteņa sliedes testēšana reciklētiem maisījumiem ar bitumena saistvielām

Lai novērtētu reciklētu maisījumu ar bitumena saistvielām pretestību riteņa sliedes deformācijām, ar veltņa blīvētāju tika izgatavotas plātnes 80 mm biezumā. Maisījumi riteņa sliedes testēšanai tika sagatavoti ar dažādu cementa un bitumena saistvielu saturu. Kā bitumena saistviela tika izmantos gan putu bitumens, gan

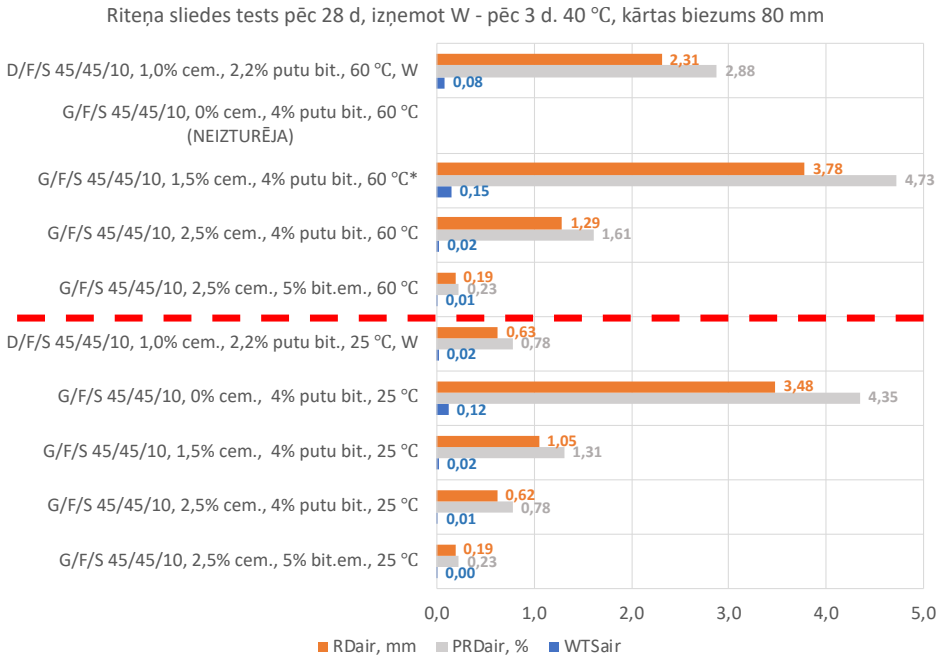
bitumena emulsija. Maisījumu samaisīšana, sablīvēšana un testēšana tika veikta telpas temperatūrā ap 20 ℃. Pēc sablīvēšanas paraugi tika uzglabāti 28 dienas laboratorijas telpā, izņemot divi paraugi tika kondicionēti 3 dienas 40 ℃.

Tika izmantoti sastādītie maisījumi: grants maisījums / frēzēts asfalts / smilts (G/F/S) proporcijās 45/45/10 %, un dolomīta maisījums / frēzēts asfalts / smilts (D/F/S) proporcijās 45/45/10 %.

Paraugu izgatavošana ar veltņa blīvētāju tika veikta saskaņā ar LVS EN 12697-33 un testēšana ar riteņa sliedes iekārtu tika veikta saskaņā ar LVS EN 12697-22.

Attēls 5-54 Paraugu izgatavošana ar veltņa blīvētāju

Attēls 5-55 Riteņa sliedes veidošanās tests



Visi sastādītie reciklētie maisījumi, kuru sastāvā ir cements, apliecina labu pretestību riteņa sliedes deformācijām. Dažādu maisījumu salīdzinošie rezultāti pie 25 °C un pie 60 °C uzrāda līdzīgas tendences. Salīdzinoši labāki riteņa sliedes rezultāti ir, ja kā saistviela izmantota bitumena emulsija. Kondicionējot paraugu ar aptuveni divreiz zemāku cementa un bitumena saistvielas saturu 3 dienas 40 °C (W), tika iegūti līdzīgi rezultāti kā kondicionējot 28 dienas laboratorijas telpā (ietītus plēvē) paraugus ar ievērojami lielāku saistvielu saturu.

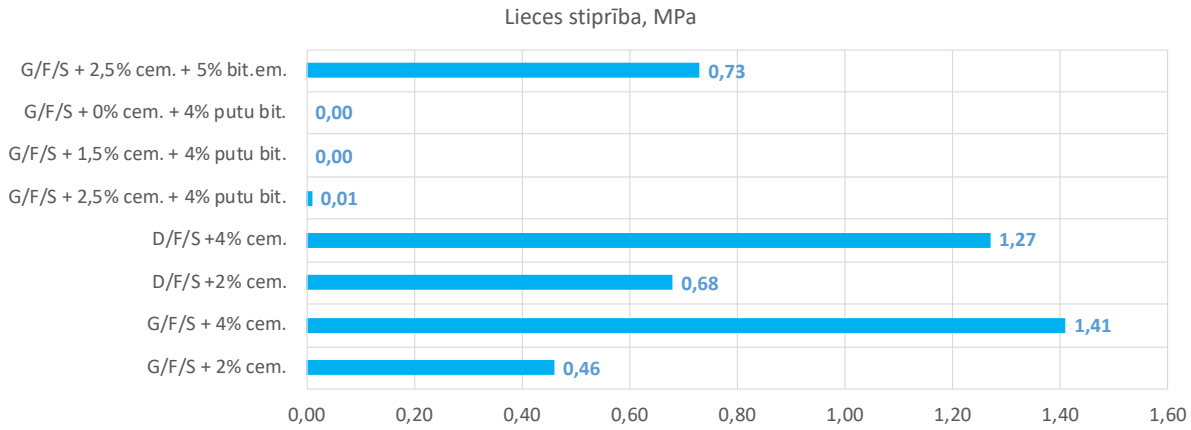
5.5 Pretestība liecei

Ar lieces testu netieši nosaka materiāla stiepes izturību. Šis tests raksturo sijas spēju pretoties sagrūšanai liecē. Pretestība liecei betonam parasti sastāda ap 10 – 20 % no spiedes stiprības. Pretestība liecei testēta paraugiem ar izmēriem 100x100x305 mm saskaņā ar LVS EN 12390-5, lietojot standarta A pielikumā minēto testēšanas shēmu ar slodzes rulli centrā (trīspunktu metode). Attālums starp apakšējiem ruļļiem, ievērtējot izgatavotā parauga garumu, 260 mm. Salīdzinot ar četru punktu testēšanas metodi, trīs punktu testēšanas metodes rezultāti betonam konstanti ir par 13 % augstāki.

Lieces testēšanai paraugi izgatavoti gan ar cementa saistvielu, gan arī ar bitumena un cementa saistvielām. Paraugi izgatavoti ar veltņa blīvētāju laboratorijas telpas temperatūrā. Plātņu izmēri 305x305x100 mm. Līdz testēšanai plātnes uzglabātas laboratorijas telpā 28 dienas. Pēc tam no plātnēm izzāģētas sijas 100x100x305 mm, kuras pēc tam tad attiecīgi izmantotas testēšanai. Testējamo paraugu izgatavošana un testēšana šādā veidā pārsvarā bija iespējama, bet paraugiem ar putu bitumenu un paraugiem bez cementa testēšana neizdevās. Un jāievērtē arī, ka veiksmīgi notestētajiem paraugiem iegūtās lieces stiprības vērtības iespējams var būt pazeminātas dēļ paraugu izgatavošanas veida, tos izzāģējot.

Attēls 5-56 Izgatavotās sijas lieces pretestības testēšanai un lieces pretestības testēšana

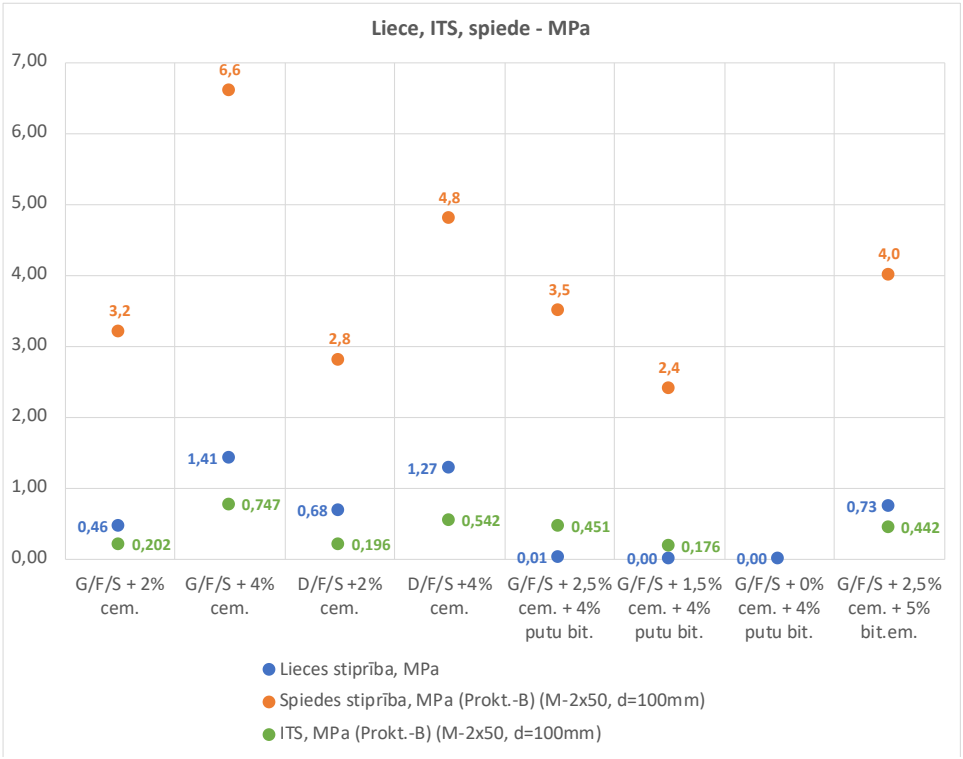
Attēls 5-57 Pretestība liecei



Pretestība liecei ir lielāka, paraugiem ar lielāku cementa saturu. Bitumena saistviela (šajā gadījumā – bitumena emulsija) pretestību liecei nedaudz paaugstina. Ar mazāku cementa saturu lieces pretestība lielāka sastādītajam maisījumam ar dolomītu. Ar lielāku cementa saturu lieces pretestība lielāka sastādītajam maisījumam ar granti. Paraugiem ar putu bitumenu pretestību liecei notestēt neizdevās, izņemot paraugam ar putu bitumenu un 2,5 % cementu, bet iegūtais rezultāts objektīvi ir pārāk zems. Tas visticamāk izvēlētās (praktiski iespējamās) testēšanas paraugu izgatavošanas metodes dēļ, izzāģējot.

Veikts lieces stiprības, netiešās stiepes stiprības (ITS) un spiedes stiprības rezultātu salīdzinājums paraugiem pēc 28 dienu cietēšanas.

Attēls 5-58 Paraugu lieces stiprības, netiešās stiepes stiprības un spiedes stiprības salīdzinājums



Gan liece, gan spiede, gan ITS ar lielāku cementa saturu ir ar lielākām vērtībām. Visiem rādītājiem konstatējama savstarpēja korelācija atkarībā no izejmateriāliem un saistvielu satura. Lieces stiprība pret spiedes stiprību iegūta robežās apmēram no 15 % līdz 25 %. ITS pret lieces stiprību iegūta robežās apmēram no 30 % līdz 60 %. Attiecīgi ITS pret spiedes stiprību iegūta robežās no 6 % līdz 13 %.

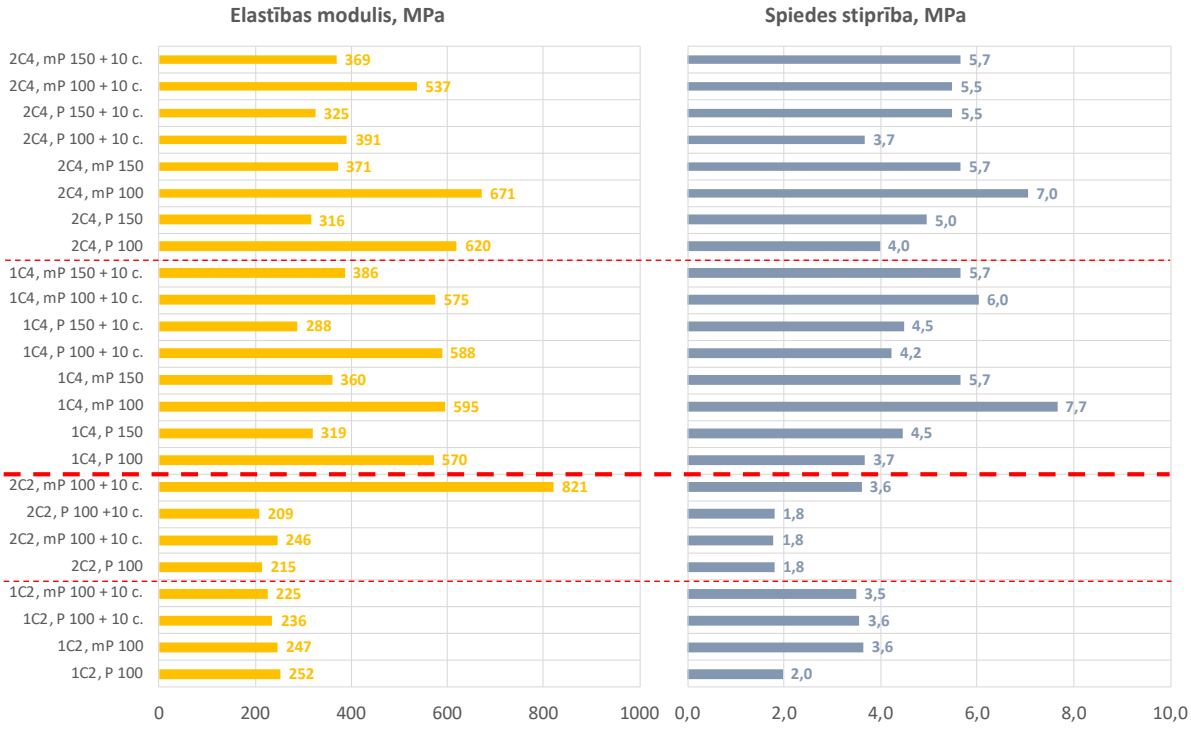
5.6 Elastības modulis

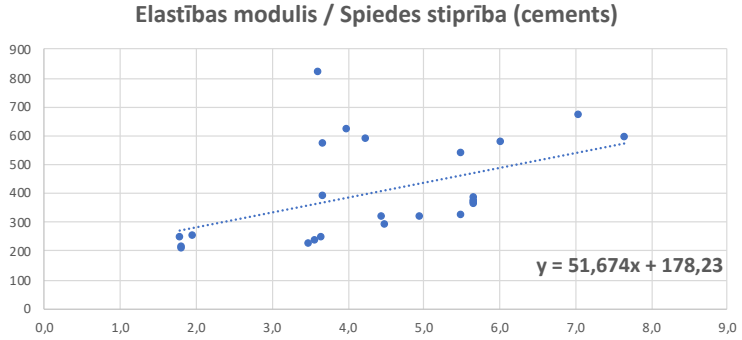
Tika veikta paraugu elastības moduļa testēšana saskaņā ar LVS EN 13286-43. Sagatavoti reciklētie maisījumi tika sablīvēti veidnēs un izmēros līdzīgi kā spiedes stiprības un netiešās stiepes stiprības testēšanai. Testēšana tika veikta pēc vismaz 28 dienu cietēšanas (ietīti plēvē). Elastības moduļa testēšanu veica dr.sc.ing. Kaspars Kalniņš no Rīgas Tehniskās universitātes.

Elastības modulis testēts sastādītajiem maisījumiem ar granti/frēzētu asfaltu/smilti – 45/45/10 un dolomītu/frēzētu asfaltu/smilti – 45/45/10, pievienojot 2 % un 4 % cementu.

Elastības modulis ar cementu saistītiem maisījumiem

Attēls 5-59 Elastības modulis un spiedes stiprība ar cementu saistītiem maisījumiem





Apzīmējumi grafikos:

- pirmais cipars 1 – sastādītais maisījums ar granti/frēzētu asfaltu/smilti – 45/45/10;
- pirmais cipars 2 – sastādītais maisījums ar dolomītu/frēzētu asfaltu/smilti – 45/45/10;
- C2 – pievienotā cementa daudzums 2 %;
- C4 – pievienotā cementa daudzums 4 %;
- P 100 – sablīvēts ar Proktoru A veidnē;
- P 150 – sablīvēts ar Proktoru B veidnē;
- mP 100 – sablīvēts ar Modificēto Proktoru A veidnē;
- mP 150 – sablīvēts ar Modificēto Proktoru B veidnē;
- + 10 c. – pēc 28 dienu kondicionēšanas paraugi pakļauti 10 salumkusumizturības cikliem;
- visi paraugi kondicionēti 28 dienas.

Elastības moduļi ar cementa saturu 2 % ir mazāki, bet ar cementa saturu 4 % elastības moduļi ir lielāki.

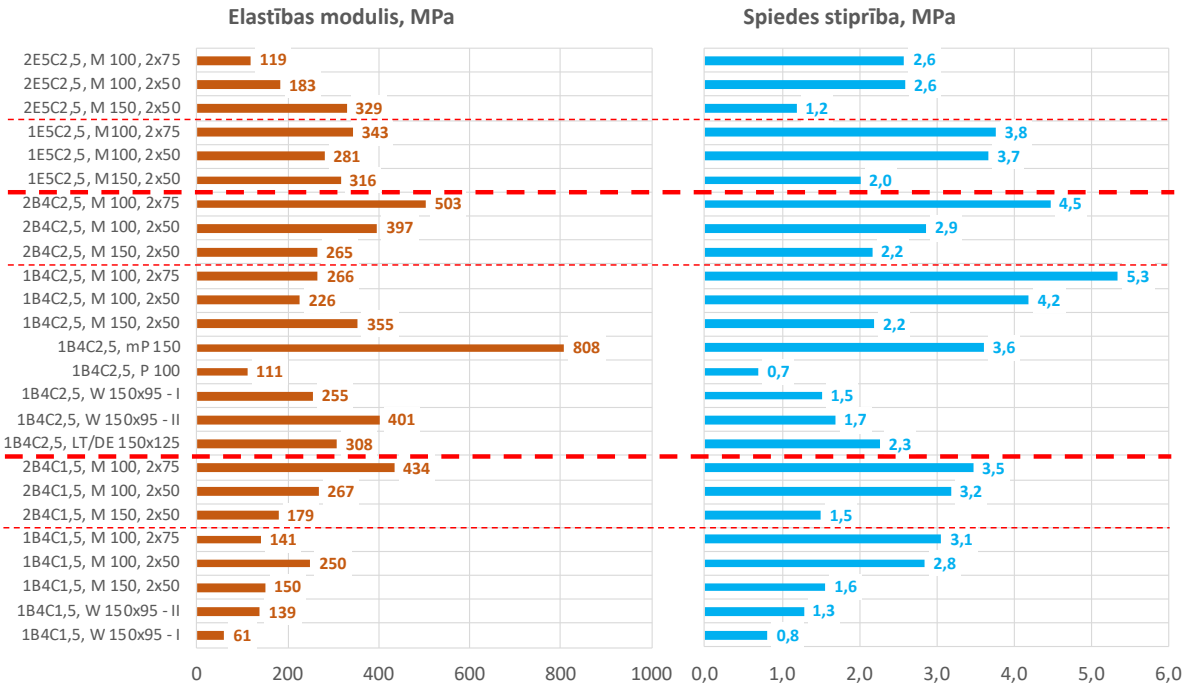
Ar cementa saturu 2 % nav novērojamas elastības moduļu vērtību vērā ņemamas atšķirības pie dažāda sablīvējuma un dažāda diametra veidnēm, lai arī spiedes stiprības vērtības pārsvarā ir augstākas maisījumam ar granti. Paraugu pakļaušana salumkusumizturības testēšanai ne elastības moduļu, ne spiedes stiprības vērtību vērā ņemamu kritumu neizsauc.

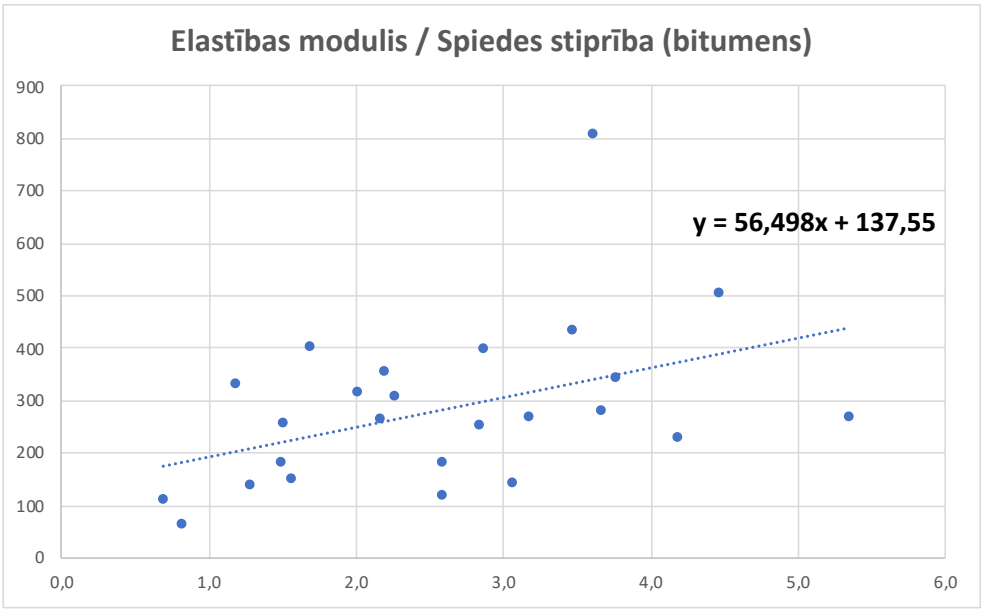
Ar cementa saturu 4 % paraugu elastības moduļu vērtības ir atšķirīgas, atkarībā no lietotās veidnes diametra. Mazāka diametra veidnēs izgatavotu paraugu elastības moduļu vērtības ir apmēram par 50 % augstākas nekā lielāka diametra veidnēs izgatavotu paraugu elastības moduļu vērtības. Elastības moduļu vērtību kritums pēc paraugu pakļaušanas salumkusumizturības cikliem lielāks ir maisījumam ar dolomītu, bet mazāks maisījumam ar granti.

Apskatot visus maisījumu ar cementu veiktos elastības moduļu un spiedes stiprības testēšanas rezultātus ir konstatējama, lai arī ar salīdzinoši lielu izkliedi, rezultātu savstarpēja korelācija. Respektīvi, pieaugot paraugu spiedes stiprībai, pieaug arī elastības modulis.

Elastības modulis ar bitumena saistvielām saistītiem maisījumiem

Attēls 5-60 Elastības modulis un spiedes stiprība ar bitumena saistvielām saistītiem maisījumiem





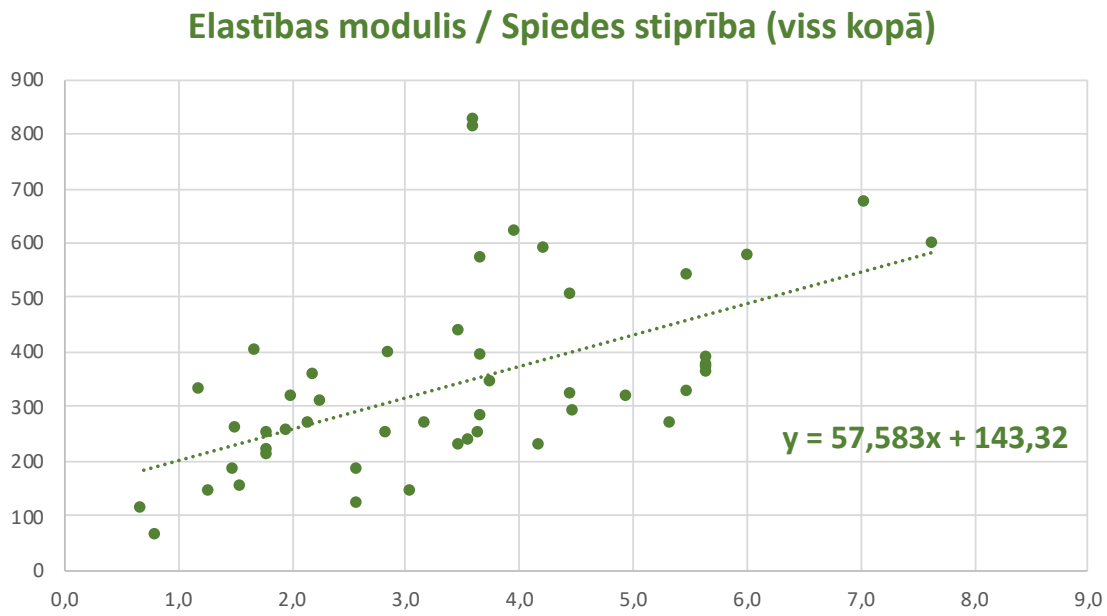
Apzīmējumi grafikos:

- pirmais cipars 1 – sastādītais maisījums ar granti/frēzētu asfaltu/smilti – 45/45/10;
- pirmais cipars 2 – sastādītais maisījums ar dolomītu/frēzētu asfaltu/smilti – 45/45/10;
- B4 – pievienotā putu bitumena daudzums 4 %;

- E5 – pievienotās bitumena emulsijas daudzums 5 %;
- C1,5 – pievienotā cementa daudzums 1,5 %;
- C2,5 – pievienotā cementa daudzums 2,5 %;
- P 100 – sablīvēts ar Proktoru A veidnē;
- mP 150 – sablīvēts ar Modificēto Proktoru B veidnē;
- M 100 – sablīvēts ar maršalu d = 100 mm veidnē;
- M 150 – sablīvēts ar Maršalu d = 150 mm veidnē;
- 2x50 – sablīvēts ar Maršalu ar 50 sitieniem no katras puses;
- 2x75 – sablīvēts ar Maršalu ar 2x75 sitieniem no katras puses;
- W 150x95 – sablīvēts ar vibroblieti (I – mazāks blīvums, II – lielāks blīvums);
- LT/DE 150x125 – sablīvēts ar presi ar 49 kN;
- visi paraugi kondicionēti 28 dienas.

Apskatot visus maisījumu ar bitumena saistvielām veiktos elastības moduļu un spiedes stiprības testēšanas rezultātu ir konstatējama, lai arī ar salīdzinoši lielu izkliedi, rezultātu savstarpēja korelācija, samērā līdzīga kā testējot maisījumus ar cementu.

Attēls 5-61 Elastības moduļa un spiedes stiprības korelācija (visi maisījumi un saistvielas)



5.7 Noguruma izturība un stingums

Tika veikta paraugu noguruma izturības un stinguma testēšana saskaņā ar LVS EN 12697-24. Sagatavoti reciklētie maisījumi tika sablīvēti ar veltņa blīvētāju saskaņā ar LVS EN 12697-22 laboratorijas telpas temperatūrā, ar katru maisījumu izgatavojot plātnes 420x420x50 mm. Pēc 28 dienu cietēšanas (ietītas plēvē), plātnes tika sazāģētas iegūstot sijas 50x50x420 mm. Noguruma izturības un stinguma testēšanu veica dr.sc.ing. Viktors Haritonovs no Rīgas Tehniskās universitātes.

Paraugu fizikālās īpašības

Tabula 5-5 Parauga 1B4C2,5 fizikālās īpašības

Paraugu izmēri, mm																			
Paraugs Nr.																			
1.		2.		3.		4.		5.		6.		7.		8.		9.		10.	
w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h
56,58	57,00	55,51	57,18	56,21	57,03	55,48	56,64	55,29	56,40	55,43	56,58	55,40	56,83	56,11	56,47	55,72	56,60	55,74	56,60
Paraugu masa, g																			
1.		2.		3.		4.		5.		6.		7.		8.		9.		10.	
2614,0		2578,4		2640,6		2572,5		2587,5		2558,3		2577,4		2580,8		2560,7		2508,3	
Tilpuma blīvums, Mg/m³																			
2,026		2,031		2,059		2,047		2,074		2,039		2,047		2,036		2,030		1,988	

Tabula 5-6 Parauga 1B4C1,5 fizikālās īpašības

Paraugu izmēri, mm																			
Paraugs Nr.																			
1.		2.		3.		4.		5.		6.		7.		8.		9.		10.	
w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h
56,77	56,65	55,27	56,52	54,97	55,68	55,99	56,69	56,55	56,30	56,02	56,26	55,79	56,01	56,62	55,76	55,86	56,19	56,72	55,82
Paraugu masa, g																			
1.		2.		3.		4.		5.		6.		7.		8.		9.		10.	
2462,0		2449,5		2479,5		2485,3		2532,8		2506,0		2470,7		2399,8		2468,2		2391,4	
Tilpuma blīvums, Mg/m³																			
1,914		1,960		2,025		1,958		1,989		1,989		1,977		1,900		1,966		1,888	

Tabula 5-7 Parauga 1E5C2,5 fizikālās īpašības

Paraugu izmēri, mm																			
Paraugs Nr.																			
1.		2.		3.		4.		5.		6.		7.		8.		9.		10.	
w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h
55,71	56,47	56,83	55,76	57,04	56,02	55,85	56,11	55,59	56,22	56,19	56,32	57,27	55,92	56,02	56,36	56,35	56,48	55,73	56,42
Paraugu masa, g																			
1.		2.		3.		4.		5.		6.		7.		8.		9.		10.	
2601,8		2582,6		2669,4		2608,8		2604,5		2617,0		2556,0		2593,6		2635,9		2596,2	
Tilpuma blīvums, Mg/m³																			
2,067		2,037		2,088		2,081		2,083		2,067		1,995		2,054		2,071		2,064	

Tabula 5-8 Parauga 1B4C0 fizikālās īpašības

Paraugu izmēri, mm																			
Paraugs Nr.																			
1.		2.		3.		4.		5.		6.		7.		8.		9.		10.	
w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h
55,88	56,03	55,66	56,05	55,40	55,92	56,36	55,69	56,41	56,25	56,19	55,94	55,48	55,68	56,13	55,82	55,34	55,66		
Paraugu masa, g																			
1.		2.		3.		4.		5.		6.		7.		8.		9.		10.	
2384,2		2368,5		2375,8		2380,5		2422,1		2386,6		2362,1		2381,5		2354,2			
Tilpuma blīvums, Mg/m³																			
1,904		1,898		1,917		1,896		1,908		1,898		1,912		1,900		1,911			

Paraugu dinamiskais stingums

Tabula 5-9 Informācija par dinamiskā stinguma testēšanas apstākļiem

Informācija par testēšanas apstākļiem LVS EN 12697-24:2018 B metode (Stingums)	
Standarta metode	**B pielikums četru punktu lieces tests**
Parauga termostatēšanas ilgums, min.	240
Testēšanas temperatūra, ^{0}C	20
Testēšanas frekvence, Hz	10
Deformāciju mode	Konstanta relatīva deformācija 50 µm/m (microstrain)
Radītā sijas izliece (deflection), mm	0,026 mm
Slogošanas ciklu skaits pie kura nosaka stinguma vērtību	100

Tabula 5-10 Parauga 1B4C2,5 dinamiskais stingums

Asfaltbetona parauga tips un identifikācija	Standarts	Parauga Nr.	Temperatūra, °C	Stinguma modulis, MPa	Vid. stinguma modulis, MPa
1B4C2,5	LVS EN 12697-24:2018 B metode	1.	20	2241	2549
		2.		2793	
		3.		2574	
		4.		2114	
		5.		2867	
		6.		913	
		7.		1473	
		8.		2769	
		9.		2486	
		10.		797	
	- rezultāti netika ņemti vērā vid. vērtības aprēķinā				

Tabula 5-11 Parauga 1B4C1,5 dinamiskais stingums

Asfaltbetona parauga tips un identifikācija	Standarts	Parauga Nr.	Temperatūra, °C	Stinguma modulis, MPa	Vid. stinguma modulis, MPa
1B4C1,5	LVS EN 12697-24:2018 B metode	1.	20	829	763
		2.		919	
		3.		1178	
		4.		897	
		5.		-	
		6.		430	
		7.		-	
		8.		-	
		9.		597	
		10.		574	
	- rezultāti netika ņemti vērā vid. vērtības aprēķinā				

Tabula 5-12 Parauga 1E5C2,5 dinamiskais stingums

Asfaltbetona parauga tips un identifikācija	Standarts	Parauga Nr.	Temperatūra, °C	Stinguma modulis, MPa	Vid. stinguma modulis, MPa
1E5C2,5	LVS EN 12697-24:2018 B metode	1.	20	2463	2037
		2.		2079	
		3.		1684	
		4.		687	
		5.		2076	
		6.		2418	
		7.		1291	
		8.		1657	
		9.		2144	
		10.		1771	
	- rezultāti netika ņemti vērā vid. vērtības aprēķinā				

Tabula 5-13 Parauga 1B4C0 dinamiskais stingums

Asfaltbetona parauga tips un identifikācija	Standarts	Parauga Nr.	Temperatūra, °C	Stinguma modulis, MPa	Vid. stinguma modulis, MPa
1B4C0	LVS EN 12697-24:2018 B metode	1.	20	126	190
		2.		252	
		3.		288	
		4.		Neizturēja	
		5.		131	
		6.		222	
		7.		199	
		8.		110	
		9.		Neizturēja	
		10.		Neizturēja	
	- rezultāti netika ņemti vērā vid. vērtības aprēķinā				

Paraugu noguruma izturība

Tabula 5-14 Informācija par noguruma izturības testēšanas apstākļiem

Informācija par testēšanas apstākļiem LVS EN 12697-26:2018 D pielikums (Nogurumizturība)	
Standarta metode	**D pielikums četru punktu lieces tests**
Parauga termostatēšanas ilgums, min.	240
Testēšanas temperatūra, ^{0}C	20
Testēšanas frekvence, Hz	10
Sagraušanas kritērijs	50% no sākotnējā stinguma
Deformāciju mode	Kontrolēta deformācija (*control starin*)

Tabula 5-15 Parauga 1B4C2,5 noguruma izturība

Parauga Nr.	Konstanta deformācija, µm/m	Ciklu skaits līdz 50% stinguma moduļa samazinājumam	Vid. ciklu skaits līdz 50 % stinguma moduļa samazinājumam	Standarta novirze
1.	100	> 3244500	-	-
10.		10230	-	-
5.	150	182347	-	-
6.		13697		
7.		19897		
8.		36622		
9.		125177		
2.	200	9900	-	-
3.		135815		
4.		7519		

Tabula 5-16 Paraugu 1B4C1,5 noguruma izturība

Parauga Nr.	Konstanta deformācija, µm/m	Ciklu skaits līdz 50% stinguma moduļa samazinājumam	Vid. ciklu skaits līdz 50% stinguma moduļa samazinājumam	Standarta novirze
1.	100	> 706500	-	-
3.	150	220723	-	-
10.		952000		
2.	200	115303	-	
9.		38600		
6.		119104		
4.		156500	-	-
5.	250	9838		

Tabula 5-17 Paraugu 1E5C2,5 noguruma izturība

Parauga Nr.	Konstanta deformācija, µm/m	Ciklu skaits līdz 50% stinguma moduļa samazinājumam	Vid. ciklu skaits līdz 50% stinguma moduļa samazinājumam	Standarta novirze
2.	150	4875	-	-
4.		57534		
5.		249426		
9.		138500		
3.	200	9357	-	-
6.		628		
7.		4286		
1.	250	4056	-	-
8.		463		
10		15681		

Tabula 5-18 Paraugu 1B4C0 noguruma izturība

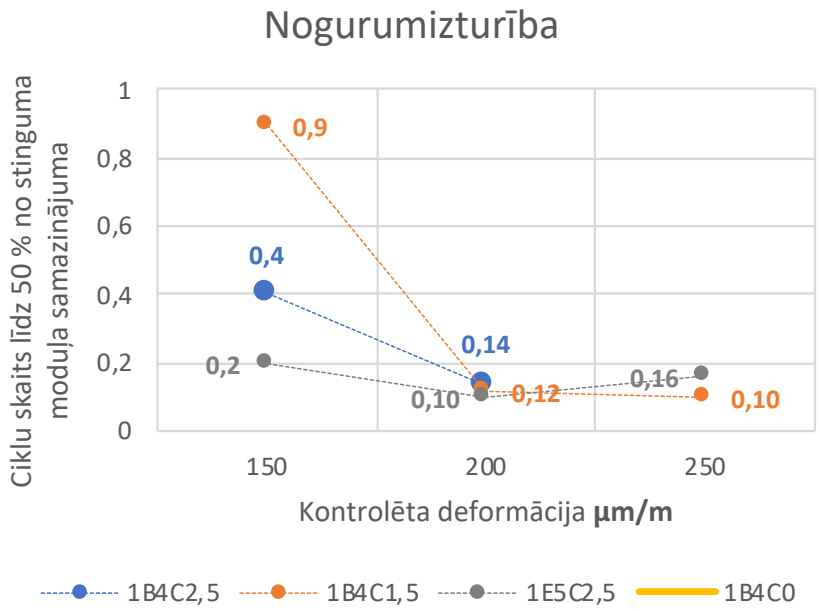
Paraugi neiztur nogurumizturību – nogurums iestājas stinguma testa laikā pie 20°C, 10Hz, 50µm/m

Rezultātu apkopojums

Stingums:

- 1B4C2,5 = 2549 MPa;
- 1B4C1,5 = 763 MPa;
- 1E5C2,5 = 2037 MPa;
- 1B4C0 = 190 MPa.

Attēls 5-62. Nogurumizturība



Par rezultātiem:

- paraugi 1B4C2,5 un 1E5C2,5 ir stingāki par paraugiem 1B4C1,5 un 1B4C0;
- parauga 1B4C1,5 nogurumizturības rezultāti ir loģiski - pieaugot relatīvai kontrolētai (visa testa laikā) deformācijai nogurumizturība samazinās;
- 1B4C2,5 un 1E5C2,5 ir krasas atšķirības starp atsevišķu paraugu rezultātiem. Iespējams paraugiem ir vai nu neviendabīga maisījuma struktūras izkliede pa plātni, vai ir ietekme no paraugu sagatavošanas tos izzāģējot. Daļa paraugu uzrāda labu nogurumizturību, bet daļa cikliskās slodzes ietekmē uzrāda vāju nogurumizturību;
- 1B4C0 nogurumizturības testu neiztur;
- paraugi ar lielāku cementa daudzumu (1B4C2,5 un 1E5C2,5) neatkarīgi no lietotās bitumena saistvielas – putu bitumens vai bitumena emulsija vērtējami kā noturīgāki, jo labāk sadala slodzi;

- paraugi ar mazāku cementa daudzumu vai bez cementa (1B4C1,5 un 1B4C0) daudz sliktāk sadala slodzi, līdz ar to vērtējami kā pārāk elastīgi ar nepietiekamu noturību, īpaši, ja cements vispār netiek pievienots.

Paraugu apzīmējumi:

- 1B4C1,5 – grants maisījums / frēzēts asfalts / smilts – 45/45/10 %, putu bitumens 4,0 %, cements 1,5 %;
- 1B4C2,5 – grants maisījums / frēzēts asfalts / smilts – 45/45/10 %, putu bitumens 4,0 %, cements 2,5 %;
- 1BEC2,5 – grants maisījums / frēzēts asfalts / smilts – 45/45/10 %, bitumena emulsija 5,0 %, cements 2,5 %;
- 1B4C0 – grants maisījums / frēzēts asfalts / smilts – 45/45/10 %, putu bitumens 4,0 %, cements – nav pievienots.

5.8 Plaisu veidošanās īpašības

Tika veikta paraugu plaisu veidošanās īpašību testēšana ar vienass stiepes testu saskaņā ar LVS EN 12697-46. Sagatavoti reciklētie maisījumi tika sablīvēti ar veltņa blīvētāju saskaņā ar LVS EN 12697-22 laboratorijas telpas temperatūrā, izgatavojot plātnes 305 x 305 x 60 mm. Pēc 28 dienu cietēšanas (ietītas plēvē), plātnes tika sazāģētas no katras plātnes iegūstot 3 sijas 60x60x160 mm. Plaisu veidošanās īpašību testēšana veikta VSIA "Latvijas Valsts ceļi" Kompetences centra laboratorijā.

Paraugs no grants / frēzēta asfalta / smilts 45/45/10 maisījuma ar 4 % putu bitumenu un 1,5 % cementu, to sagatavojot testēšanai kļuva testēšanai nederīgs (apdrupa).

Tabula 5-19. Parauga no grants / frēzēta asfalta / smilts 45/45/10 maisījuma ar 5 % bitumena emulsiju un 2,5 % cementu testēšanas rezultāti

1E5C2,5	**1**	**2**	**3**
Sagraušanas spēks, MPa	0,228	0,254	0,213
Sagraušanas temperatūra, ℃	0,3	-32,0	-21,8
	vidēji: -18,0		

Tabula 5-20. Parauga no grants / frēzēta asfalta / smilts 45/45/10 maisījuma ar 4 % putu bitumenu un 2,5 % cementu testēšanas rezultāti

1B4C2,5	**1**	**2**	**3**
Sagraušanas spēks, MPa	0,425	0,275	0,359
Sagraušanas temperatūra, ℃	-12,3	-10,7	-7,8
	vidēji: -10,3		

Vērojama rezultātu neviendabība starp atsevišķajām viena parauga daļām, kas visticamāk skaidrojams ar iespējamu parauga struktūras neviendabību, kā arī iegūtajiem parauga bojājumiem tā sagatavošanas laikā, izzāģējot no plātnes, struktūras salīdzinoši vājākas konsolidācijas dēļ nekā, piemēram karstajam asfaltam.

Neskatoties uz to testētie paraugi uzrāda samērā labu sagraušanas temperatūru pret plaisu veidošanos, un līdz ar to potenciāli šāda ar bitumena saistvielām (+ cements) saistīta kārta izraisīs mazāk plaisu defektus, kā arī nodrošinās mazākus šādu plaisu defektu riskus, nekā tikai ar cementu saistīta kārta.

6 Datu analīze

Saskaņā ar pētījuma ietvaros veiktajiem darbiem, mērījumiem un testēšanu, iegūtie rezultāti ļauj izdarīt sekojošus secinājumus.

6.1 Ekspluatācijā esošo objektu analīze

Ir veikta lielākā daļa iepriekšējos gados uzbūvēto objektu, kuros uzbūvēta ar hidrauliskajām saistvielām saistīta segas konstrukcijas nesošā kārta. Pārsvarā tika apsekoti objekti, kur novērojami kādi seguma defekti (parasti plaisas) un paraugi tika ņemti tikai objektos ar novērojamiem seguma defektiem. Kā liecina objektu vizuālās apsekošanas, kā arī testēšanas rezultāti, tad pat pēc vairāku gadu ekspluatācijas kopumā gandrīz nav novērojami defekti, kuru izcelsmi varētu saistīt galvenokārt ar hidrauliski saistīto segas pamatu nesošo kārtu īpašībām (tikai vienā apsekotajā objektā ar cementu saistītās kārtas īpašības, iespējams ir par iemeslu plaisām asfalta segumā), piemēram:

- a/c A2 21,90-23,90 km, kreisā brauktuve – plaisas asfalta segumā visticamāk ir saistītas ar nepietiekamu ceļa segas nestspēju, ko apliecina arī FWD mērījumi, kam par iemeslu var būt: pirmkārt, neatbilstoši uzbūvēta reciklētā kārta (tobrīd vēl netika pietiekami precīzi specificētas prasības reciklētajām kārtām), vai arī nekorekti aprēķināts ceļa segas konstrukcijas nepieciešamais pastiprinājums, jo zem domātās ar saistvielām reciklētās kārtas visās vietās nav arī konstatēta pietiekama biezuma (šādas noslodzes ceļam) nesaistīta nesošā kārta;
- a/c A3 53,0-55,0 km – par šo objektu tika saņemta informācija, ka ir uzbūvēta ar cementu saistīta reciklētā kārta, bet apsekojot objektu tika konstatēts, ka atbilstoši būvprojektam uzbūvēta paredzētā ar saistvielām nesaistīta nesošā kārta un defekti visticamāk ir saistīti ar to, ka pietiekamā mērā nav nodrošināta ūdens atvade no zemes klātnes, un ceļa segas pamatnes gruntis kādos klimatiskajos periodos var nenodrošināt pietiekamu ceļa segas nestspēju, kas arī ir izraisījis defektu rašanos;
- a/c A5 33,78-35,0 km – plaisas asfalta segumā visticamāk ir saistītas ar nepietiekamu ceļa segas nestspēju, ko apliecina arī FWD mērījumi, kam par iemeslu var būt: neatbilstoši uzbūvēta reciklētā kārta (tobrīd vēl netika pietiekami precīzi specificētas prasības reciklētajām kārtām), vai arī nekorekti aprēķināts ceļa segas konstrukcijas nepieciešamais pastiprinājums. Labāks

seguma stāvoklis ir posmā līdz satiksmes pārvada uzbērumam, kur reciklētās kārtas paraugus varēja izurbt un arī notestēt, savukārt posmā satiksmes pārvada uzbērumā seguma stāvoklis ir sliktāks (vairāk plaisas, raksturīgas segai ar nepietiekamu nestspēju), kur paraugus no reciklētās kārtas izurbt nebija iespējams, tie izjuka – līdz ar to faktiski ekspluatācijā ir ar saistvielām nesaistīta nesošā kārta;

- a/c A9 9,9-22,9 km, 79,3-97,58 km, 148,59-163,28 km – šie objekti atrodas ekspluatācijā 5 – 8 gadus. Nekādi vērā ņemami defekti šajos objektos nav novērojami. 2. un 3. objektā tika paredzēts lietot samērā lielu cementa daudzumu > 4 % (tobrīd vēl netika pietiekami precīzi specificētas prasības reciklētajām kārtām), bet neskatoties uz to nekādi plaisu defekti objektos nav novērojami. Objektā 79,3-97,58 km tikai divās lokālās vietās ir novērojami plaisu defekti, kas saistāmi ar zemes klātnes deformācijām, bet ne no transporta slodzēm;
- a/c A11 21,85-45,02 – šajā objektā daļa defektu iespējams varētu būt saistīti ar cementu saistītās kārtas īpašībām (tobrīd vēl netika pietiekami precīzi specificētas prasības reciklētajām kārtām), jo posmā, kur plaisas netika novērotas, konstatētā urbto paraugu spiedes stiprība ≈ 6 MPa. Savukārt posmā, kur novērojamas arī šķērsplaisas, spiedes stiprība ir par aptuveni par 30 % augstāka, līdz ar to, daļu no plaisām šajā objektā asfalta segumā iespējams var saistīt ar cementu saistītās kārtas īpašībām. Šuves plaisa, vietām dubultplaisa, visticamāk saistāma ar izvēlēto būvdarbu izpildes tehnoloģisko risinājumu;
- a/c P39 20,0-22,2 km – plaisas asfalta segumā visticamāk ir saistītas ar nepietiekamu ceļa segas nestspēju, kam par iemeslu visticamāk ir vai nu nekorekti aprēķināts ceļa segas konstrukcijas nepieciešamais pastiprinājums, vai arī netika adekvāti ievērtētas zemes klātnes grunšu īpašības vai to mitruma režīms (izstrādājot būvprojektu netika veikta ģeoloģiskā izmeklēšana), vai kaut kādā mērā, abi šie faktori. Blakus atrodošajā posmā Alūksnes virzienā, kur tā paša projekta ietvaros uzbūvēta ar saistvielā nesaistīta ceļa segas nesošā kārta, abās joslās novērojami līdzīgi seguma defekti (plaisas).

Līdzīgi kā A3 objektā, kur tika konstatēts, ka nav uzbūvēta ar cementu saistīta reciklētā kārta, bet ir uzbūvēta nesaistīta pamata kārta, arī objektā P30 24,5 – 38,0 km, izrādījās, ka nav uzbūvēta ar cementu saistīta reciklētā kārta, bet ir uzbūvēta

nesaistīta pamata kārta. Abos gadījumos izveidojušies defekti nosacīti neilgā periodā pēc būvdarbu pabeigšanas tika asociēti ar cementa pielietošanas negatīvajām blaknēm ceļa segas pamata kārtās. Šāda nekorekta informācijas aprite nozarē rada pārmērīgu neuzticēšanos vai noliedzošus aizspriedumus par faktisko ceļa segas pamata kārtu pastiprināšanas ar saistvielām efektivitāti un racionalitāti. Pieejai tam vai citam risinājumam, protams, ir jābūt pamatotam, izvērtētam, skaidram un arī pietiekami piesardzīgam, bet ne dogmatiski noliedzošam, kas tā nevilšus var izveidoties, ja defektu iemeslu attiecina uz neesošiem faktoriem, neizmantotiem materiāliem vai saistvielām. Arī objektos A2 un A5 konstatētais liecina, ka cementa lietošana nav saistāma ar seguma defektiem šajos objektos, bet visticamāk ar neveiksmīgu segas atjaunošanas risinājuma izvēli, iespējams, kombinācijā ar nepietiekami augsta līmeņa būvdarbu realizācijas rezultātu, kas zināmā mērā attiecināms arī uz tolaik lietotajām specifikācijām darbu izpildei.

6.2 Būvdarbu veikšanas analīze

Tika veikta paraugu ņemšana un testēšana ar cementu saistītu reciklētu kārtu būvdarbu izpildes laikā. Kopumā tika konstatēts, ka ar cementu saistītu reciklēto kārtu Darba formulas projektētas atbilstoši prasībām, izņemot vienā objektā, kur Darba formula bija izstrādāta nepilnīgi. Veicot no objekta ņemto paraugu salumkusumizturības testēšanu tika konstatēti neatbilstoši rezultāti, kas varētu radīt risku ceļa segas pietiekamas nestspējas nodrošināšanai visā paredzētajā ekspluatācijas periodā.

Visos objektos tika ņemti paraugi dažādos laikos pēc reciklētā maisījuma samaisīšanas un iestrādes, kā arī laboratorijas paraugu sagatavošanas laikā, un veikta mitruma satura testēšana. Mitruma satura testēšanas rezultāti liecina par to, ka mitruma saturs, ražojot reciklēto maisījumu rūpnīcā objekta tuvumā vai samaisot ar recikleri, pārvadājot, izlīdzinot, blīvējot, samazinās niecīgi, un šī ietekme uzbūvētās kārtas kvalitāti praktiski neietekmē. Arī izgatavojot laboratorijas paraugus dažādos laikos pēc paraugu paņemšanas tika testēts mitruma saturs. Paraugu sadalīšanas un izgatavošanas laikā paraugi tika glabāti pēc iespējas plastikāta maisos, lai ierobežotu iespējamus mitruma zudumus. Kopumā arī paraugu izgatavošanas laikā konstatētie mitruma zudumi, vienkārši ievietojot maisījuma paraugus plastikāta maisos vai izolētās piemērota izmēra kārbās, ir

nelieli un mitruma zuduma ietekme uz testēšanas rezultātiem praktiski nav novērojama.

Lai novērtētu sablīvējumu, laboratorijas paraugi tika izgatavoti gan ar Proktoru, gan Modificēto Proktoru. Protams, ka ar Proktoru izgatavoto paraugu gan tilpuma blīvums, gan arī sasniegtā spiedes stiprība bija mazāki, par ar Modificēto Proktoru izgatavoto paraugu tilpuma blīvumu un sasniegto spiedes stiprību. No objekta izurbto paraugu tilpuma blīvums bija robežās no līdzīga ar Proktora blīvumu līdz līdzīgam (bet tomēr nedaudz mazākam) ar Modificētā Proktora blīvumu. Līdzīgas tendences bija arī no objekta izurbto paraugu spiedes stiprībām – ja kārtas tilpuma blīvums līdzīgs Proktora tilpuma blīvumam, arī spiedes stiprība gan no ceļa urbtajiem, gan arī laboratorijā sagatavotajiem paraugiem ir līdzīga, savukārt, ja kārtas tilpuma blīvums lielāks par Proktora tilpuma blīvumu, tad arī spiedes stiprība no ceļa urbtajiem paraugiem ir lielāka par laboratorijā sagatavotu paraugu spiedes stiprību.

Tāpat arī laboratorijā sagatavotu Proktora paraugu ūdens absorbcija visos gadījumos bija par apmēram 1,5 % augstāka par ar Modificēto Proktoru sagatavoto paraugu ūdens absorbciju.

Lai novērtētu kāda ietekme ir laikam kādā veic reciklētā maisījuma iestrādi, laboratorijas paraugi tika sagatavoti ar sekojošiem intervāliem – tūlīt pēc parauga noņemšanas (pēc ūdens pievienošanas cementam), 2 h pēc parauga noņemšanas un 4 h pēc parauga noņemšanas. Konstatēts, ka 2 objektos spiedes stiprības atšķirības, atkarībā no paraugu izgatavošanas laika pēc samaisīšanas, praktiski nav, savukārt vienā objektā šīs spiedes stiprības atšķirības (spiedes stiprības samazināšanās) ir samērā lielas (≈ 2 Mpa) [šajā objektā netika nodrošināta reciklētā maisījuma paraugu salumkusumizturība].

6.3 Laboratorijā sagatavotu maisījumu analīze

6.3.1 Maisījumi ar cementu

Laboratorijas maisījumi ar cementu tika izgatavoti sablīvējot ar Proktoru un Modificēto Proktoru. Optimālais mitrums pārsvarā tika iegūts nedaudz lielāks, ja sablīvēja ar Modificēto Proktoru. Materiāla bez cementa optimālais mitrums bija lielāks, nekā materiālam ar pievienotu cementu, savukārt tilpuma blīvums materiālam bez cementa bija mazāks nekā materiālam ar pievienotu cementu

Modificētā Proktora tilpuma blīvums. Cementa daudzums optimālā mitruma izmaiņas ietekmēja dažādi, dažkārt tas praktiski nemainījās, dažkārt ar lielāku cementa daudzumu optimālais mitrums bija augstāks. Tilpuma blīvums visos gadījumos, sablīvējot ar Modificēto Proktoru bija lielāks, nekā sablīvējot ar Proktoru.

TNI atšķirības atkarībā no maisījuma sablīvējuma atšķīrās ievērojami, pārsvarā > 2 reizes. Cementa daudzums maisījumā TNI rezultātu praktiski neietemēja, bet atkarībā no lietotajiem izejmateriāliem vai to kombinācijas TNI atšķirības arī var būt ļoti lielas.

ITS testēšanas rezultātus paraugu izmērs ietekmē, bet nav konstatējamas kādas likumsakarības. Savukārt spiedes stiprība, lietojot lielāka izmēra veidnes vienmēr ir lielāka. Gan ITS, gan spiedes stiprības rezultāti ir lielāki, ja tiek lietota lielāka paraugu sablīvēšanas enerģija. Gan ITS, gan spiedes stiprības rezultāti pieaug secībā: 24 h 70 ℃, 7 dienas, 28 dienas. Visi testēšanas rezultāti pēc 24 h 70 ℃ ir mazāki par testēšanas rezultātiem pēc 7 dienu cietēšanas. Sastādīto maisījumu testēšanas rezultāti akumulē sevī atsevišķo izejmateriālu testēšanas rezultātus.

Labāku pretestību salumkusumizturības testēšanai uzrāda spiedes stiprību attiecības (pēc 28 dienām un 10 cikliem pret pēc 28 dienām). Salumkusumizturība neatkarīgi no sasniegtā parauga sablīvējuma (tilpuma blīvuma), testējot spiedes stiprību, praktiski neatšķiras.

6.3.2 Maisījumi ar bitumena saistvielām

Laboratorijas maisījumi, ar bitumena saistvielām – bitumena emulsiju un putu bitumenu, un dažādu cementa (arī kaļķa) satura piedevu, tika izgatavoti sablīvējot gan ar Maršalu, d = 100 mm, ar 2x50 un 2x75 sitieniem, gan Maršalu d = 150 mm, ar 2x50 un 2x 75 sitieniem, gan Proktoru, gan Modificēto Proktoru, gan d = 100 mm, gan d = 150 mm, gan sablīvējot ar vibroblieti, gan arī presē.

Paraugu izmēri un pieliktā sablīvēšanas enerģija ietekmē iegūto paraugu tilpuma blīvumu, kas savukārt pārsvarā gadījumu ietekmē tālākos testēšanas rezultātus. ITS testēšana veikta pie paraugu temperatūras gan 5 ℃, gan 25 ℃. Liela ietekme uz testēšanas rezultātiem ir arī lietotajam kopējam kondicionēšanas režīmam. Lielākas ITS vērtības ir sausiem paraugiem, kas nozīmē, ka arī būvobjektā uzbūvētās kārtas formēšanās posmā, īpaši pirmās dienas, jāveicina uzbūvētās

kārtas izžūšana, kas veicinās lielākas stiprības sasniegšanu. Arī laboratorijā līdz ar to ieteicamāk lietot kondicionēšanas režīmu žāvējot neiesaiņotus paraugus krāsnī (kas kopumā ļauj veikt sastāva projektēšanu relatīvi īsā periodā), bet iespējams, ka Latvijas klimatiskajiem apstākļiem būtu piemēroti lietot kondicionēšanas režīmu, kurš tomēr nepieļauj pilnīgu paraugu izžāvēšanu, bet tas var aizņemt ilgāku laika periodu un, iespējams, uzkrājoties praktiskā darba pieredzei nākotnē jāizvērtē lietotā laboratorijas paraugu kondicionēšanas režīma salāgotība ar uzbūvētu kārtu reālajiem cietēšanas apstākļiem.

Kondicionējot paraugus ietītus plēvē būtiskas atšķirības sasniegtajos ITS rezultātos atkarībā no lietotās saistvielas – putu bitumens vai bitumena emulsija pārsvarā netika konstatētas, bet atsevišķos gadījumos pie citiem kondicionēšanas apstākļiem, paraugiem ar bitumena emulsiju dažkārt tika konstatētas zemākas ITS vērtības. Bet maisījumiem ar bitumena emulsiju ir mazākas galējās starpības ITS vērtībās starp 24 h un 28 dienām, nekā maisījumiem ar putu bitumenu, kur šīs starpības ir lielākas. Arī noturība pret ūdens iedarbību maisījumiem ar bitumena emulsiju ir vērtējama kā labāka visos kondicionēšanas režīmos.

7 FWD mērījumu izmantošanas iespējas reciklēto kārtu izbūves kvalitātes novērtēšanai

Analīzi veica Dr.sc.ing. Atis Zariņš no Rīgas Tehniskās universitātes.

Izvērtējot kaimiņvalstu pieredzi, par deflektometra izmantošanu reciklēto segu konstrukciju būvniecības kvalitātes kontrolei, izmantojot interneta resursos un publicētajos materiālos atrodamo informāciju, ir atrodams, ka hidrauliski saistīto materiālu kvalitāti primāri vērtē pēc laboratorijā veiktajiem spiedes testiem. Pārsvarā tas nozīmē – pēc 28 dienu cietēšanas cikla. Līdz ar to šīs konstrukcijas daļas konsistences vai kvalitātes tieša vērtēšana ar FWD visticamāk vairs nav iespējama, vai arī vairs nav efektīva, jo virs tās tajā brīdī jau visticamāk ir uzbūvēts segums. Tieši apliecinājumi tam, ka iepriekš praksē vai pētījumos būtu bijuši veikti mērījumi ar FWD uz svaigi ieklāta hidrauliski saistīta auksti reciklētā maisījuma, netika atrasti.

Pakārtotus secinājumus par šo jautājumu var gūt šādās publikācijās un pētījumos:

1) Jautājums šādā aspektā ir intensīvi pētīts Igaunijā no 2008. līdz 2012. gadam, un šie pētījumi aplūkoti vairākās publikācijās [3], [4], [5]. Autori šiem pētījumiem ir Ott Talvik, Andrus Aavik, Priit Paabo un Tiit Kaal. Visi minētie pētījumi bija vairāk vai mazāk savstarpēji saistīti un vērsti uz deflektometra datu izmantošanu ceļa segu stāvokļa novērtēšanā. Pētījumos izmantoti dati no Igaunijas ceļu segu pārvaldības sistēmas (kopumā mērījumi veikti aptuveni 30 tūkst. punktos), ar mērķi tos sasaistot ar projekta parametriem (segas aprēķina datiem – VSN metode), identificēt segas kondīciju. Pēc pašu autoru secinātā, šī metodika bija neveiksmīga un neperspektīva, un pēc tam, vismaz publikācijās, tā vairs nav aplūkota. Neveiksmes būtība ir projektēšanas parametru un ar FWD izmērīto parametru fizikālās būtības principiālās atšķirības. Nav iespējams viennozīmīgi ar vienu vai dažiem FWD mēroga mērījumiem izmērīt neviendabīgu vidi, par kādu šajā kontekstā ir uzskatāma ceļa konstrukcija un tajā izmantotie būvmateriāli, īpaši, ja segā jau ir bojājumi – plaisas. Jo lielāka ir materiāla neviendabība un vairāk izteiktu plaisu, jo lielāka standartnovirze būs sagaidāma mērījumiem, jo vairāk mērījumi ir nepieciešami, lai iegūtu prasītajā līmenī ticamu rezultātu. Tādejādi joprojām aktuāli ir divi jautājumi – 1) cik mērījumi attiecīgai

konstrukcijai ir nepieciešami, un 2) ko var izmantot kā references lielumu, apzinoties, ka segas aprēķina parametri nav tam īsti piemēroti.

2) Pētījumā [10] veikta 12 ar reciklēta asfalta (RA) segas pamatu pētījuma posmu izbūve, un izbūves kontrolei izmantojot ekspres testu metodes, kuru pamatā ir sablīvējuma kontrole. Secināts, ka lietojot sastāvā 100 % RA, rezultāti ir neapmierinoši, pat pie ideāla sablīvējuma. Labākie rezultāti tika iegūti posmos ar 60 % RA daudzumu maisījumos, ar uzlabotu granulometriju.

3) Publikācijā [11] ir aplūkotas sakarības starp FWD un CBR testu rezultātiem un pamata reakcijas koeficientu "k", kuru izmanto, kā aprēķina parametru stingo segu projektēšanā, līdzīgi kā E_{ekv} mums zināmajā nestingas segas aprēķina metodē, ar mērķi noskaidrot iespējas tās izmantot pamata kārtu būvniecības kvalitātes un atbilstības kontrolei. Problēmas šajā gadījumā ir tieši tās pašas, kas pieminētas šī izvērtējuma pirmajā punktā attiecībā uz igauņu pētījumiem. Ir secināts, ka ar FWD mērījumiem var iegūt ļoti nenoteiktus un stipri izkliedētus rezultātus, vairumā gadījumu augstākus nekā aprēķinā lietotās *k* vērtības. Attiecībā uz nesaistītajām kārtām daudz noteiktāki rezultāti ir sagaidāmi lietojot CBR testu. Domājams, ka šo testu var lietot arī auksti reciklēto saistīto pamata kārtu izbūves kontrolei pēc sablīvēšanas.

4) Lietuvā ir pētīta smilts kārtu izbūves parametru pārbaudes iespējas un salīdzinājums lietojot FWD, LWD un statisko slogošanu [12]. Secināts, ka katra no metodēm dod atšķirīgu rezultātu. Atšķirība starp FWD un LWD ir ap 100 %. Izmantojot ZORN LWD atšķirība ir pat 3 reizes. Statiskās plātnes tests dod vidēju vērtību starp LWD un FWD. Tajā pat laikā citā pētījumā [13] ir arī noskaidroti redukcijas koeficienti ar pētītajām metodēm (FWD, LWD, statiskā plātne) iegūto parametru pielīdzināšanai. Šie koeficienti ir katram materiālam (kārtai) atšķirīgi. Uz smilts kārtas biezuma izmaiņām reaģē tikai statiskā testa mērījums.

Kopsavilkuma par FWD mērījumu izmantošanas iespējām ar saistvielām reciklētu kārtu kvalitātes novērtēšanā:

- kvalitātes kontrole ar FWD aukstā veidā svaigi ieklātai reciklētai kārtai ar relatīvi nelielu saistvielu saturu nav praktiski un tehnoloģiski piemērota. Savukārt to darīt pēc noteikta cietēšanas cikla, piemēram, 7 vai 28 dienām, nozīmē, ka par šo laiku, kamēr nav veikti mērījumi un mērījumu rezultātu novērtējums, tiek aizkavēts būvniecības process;
- reciklētā materiāla struktūra ar hidrauliskām saistvielām, parasti ar 2-4% saistvielu, nav vērtējama, ne kā saistīta, ne arī kā stinga. FWD standarta mērījums (ar 50kN/700kPa) tieši uz šī materiāla, visticamāk, nebūs vērtējams kā negraujošs. Iespējams, šim nolūkam ir jāizvērtē mazākas slodzes, vai arī jāizvērtē vieglā svara deflektometra (LWD) pielietošanas iespējas.

8 Frēzēta asfaltbetona pielietošanas izvērtējums

Ceļu atjaunošanā arvien lielāka loma un nozīme ir atgūtam (frēzētam, reciklētam, Ra) asfaltam. Asfalts, īpaši karstais asfalts, kur kā saistviela lietots ceļu bitumens, nav uzskatāms par videi kaitīgu materiālu, atrodoties tam ceļa konstrukcijā vai piemērotā krautnē. Zināma ietekme uz vidi ir maisījumu ražošanas un ieklāšanas laikā, bet procesi un izmešu daudzumi ir salīdzinoši viegli kontrolējami un ierobežojami, savukārt ieklāta kārta ceļa konstrukcijā praktiski ir uzskatāma par videi nekaitīgu. Reciklētā asfalta iespējamā piesārņojuma izvērtēšanai, ja to paredzēts izmantot ļoti skābā vidē (pH ≤ 4), ieteicams noteikt metālu un ogļūdeņražu koncentrāciju un, ja tā pārsniedz noteiktos kritērijus dzeramajam ūdenim, tad nav pieļaujama reciklētā asfalta izmantošana skābā vidē vietās, kur būtu iespējams kontakts ar gruntsūdeni (arī kapilāro ūdeni). Asfaltiem, kuru saistvielas ir atšķaidīti bitumeni vai kādi naftas blakusprodukti, būtu nepieciešams veikt testēšanu attiecībā uz iespējamu ķimikāliju izgarošanu, kā arī toksisku vielu izskalošanos [27].

Latvijā pēdējās desmitgadēs no jauna būvētās asfalta kārtas ir vērtējamas kā viendabīgas, ar pienācīgu un nosakāmu kvalitāti, un tās lielākajā daļā gadījumu, ar retiem izņēmumiem, ir karstā asfalta kārtas. Ceļa segās un segumos, kas būvēti 25-30 un vairāk gadus atpakaļ situācijas var būt dažādas un ļoti atšķirīgas. Iespējamas ir situācijas, kad vecākas asfalta kārtas ir atstātas segas konstrukcijas apakšējos slāņos, kur virs tām ir uzbūvēta jauna segas konstrukcija, turklāt šādas senākos laikos būvētas asfalta kārtas bieži var būt neviendabīgas gan pēc savas struktūras, gan biezuma, arī ar dažādu lietoto saistvielu, kas var būt gan ceļu bitumens, gan atšķaidīti bitumeni, gan var gadīties arī dažādi naftas pārstrādes blakusprodukti. Līdz ar to arī nojaucamo asfalta kārtu potenciālās efektīvas izmantošanas iespējas var būt ļoti dažādas, bet var uzskatīt, ka praktiski visos gadījumos nojaucamās asfalta kārtas, ar tām pienācīgi rīkojoties, var tikt atkārtoti izmantotas atjaunojamu vai jaunu ceļa segu konstrukciju būvniecībā.

Karstā asfalta dilumkārtas normālas dzīves ilgums ir no 7 līdz 15 gadiem. Šajā periodā nepieciešama kādu uzturēšanas darbu veikšana, bet pēc tam dilumkārta ir jānomaina vai jāatjauno. Pirms 20-25 gadiem Latvijā karstā asfalta segumu dilumkārtu atjaunošanā ievērojamā apjomā tika lietots karstais remikss vai karstais

remikss plus, bet pēdējās desmitgadēs šīs tehnoloģijas nav izmantotas. Pēdējos gados karstā asfalta dilumkārtu atjaunošana tiek veikta nofrēzējot esošo dilumkārtu un ieklājot jaunu. Ir arī gadījumi, kad atjauno divas vai vairākas asfalta kārtas.

Savukārt segas pamata atjaunošanai Latvijā populāra tehnoloģija ir pilnīga vai daļēja esošā asfalta seguma aukstā pārstrāde uz vietas objektā to safrēzējot un samaisot vai nu ar jaunu minerālmateriālu vai/un arī esošo segas pamatu, pēc tam visbiežāk pievienojot arī hidrauliskās (pēdējos 10 gados) vai bitumena (pirms apmēram 20 gadiem, un tiek paredzēts pie tā atgriezties) saistvielas. Parasti esošās vecās segas asfalta dilumkārta iepriekš tiek nofrēzēta.

Asfalta atkārtotas pielietošanas iespējas:

- ceļa segas pamata kārtās – pārstrādājot uz vietas objektā (aukstā reciklēšana):
  - ◊ safrēzējot ar esošo pamatu;
  - ◊ safrēzējot ar esošo pamatu un no jauna pievienotu materiālu;
  - ◊ safrēzējot ar no jauna pievienotu materiālu;
  - ◊ pievienojot saistvielas;
  - ◊ nepievienojot saistvielas;
- ceļa segas seguma kārtās – pārstrādājot uz vietas objektā (karstā reciklēšana):
  - ◊ pārstrādājot esošo asfalta kārtu, arī, ja nepieciešams, ar jauna minerālmateriāla un saistvielas piedevu – karstais remikss;
  - ◊ pārstrādājot esošo asfalta kārtu, un uzbūvējot jaunu nosedzošo dilumkārtu (parasti vienā tvērienā) – karstais remikss plus;
- ceļa segas seguma kārtās – izmantot reciklēto asfaltu jauna karstā asfalta ražošanai;
- ceļa segas pamata kārtās – izmantot reciklēto asfaltu nesaistītu un ar saistvielām saistītu auksto maisījumu sagatavošanai;
- novietot uzglabāšanai krautnē vēlākai izmantošanai:
  - ◊ auksto maisījumu ražošanai;
  - ◊ karstā asfalta ražošanai;
  - ◊ nesaistītu un ar saistvielām saistītu maisījumu sagatavošanai.

Šobrīd objektā atgūtie materiāli paliek būvdarbu izpildītāja rīcībā un no pasūtītāja puses nav noteikti obligāti izpildāmi nosacījumi to atkārtotai izmantošanai. Ja paredzēta esošo segas kārtu materiālu pārstrāde uz vietas objektā ar recikleri, tad tas tā tiek realizēts. Ja tiek paredzēts nojaukt esošās ceļa segas kārtas, projektā izstrādājot risinājumu atgūto materiālu atkārtotai izmantošanai, tad visticamāk tas tā tiek realizēts, bet būvdarbu izpildītājs nav ierobežots rīkoties arī citādāk. Specifikācijas pieļauj ceļa segas konstruktīvajās kārtās izmantot atgūtus materiālus ar šādiem nosacījumiem:

- ceļa segas pamata papildkārtas (salizturīgās, drenējošās):
  - ◊ nav noteikti ierobežojumi atgūtu materiālu izmantošanai – 100 % (t.sk. reciklēts asfalts);
- ceļa segas pamata nesaistītas nesošās kārtas:
  - ◊ reciklēts asfalts ≤ 30 %;
  - ◊ domnas un tēraudkausēšanas sārņi ≤ 50 %;
  - ◊ citi – 100 %;
- nesaistītas segumu kārtas:
  - ◊ nav atļauts;
- karstā asfalta kārtas:
  - ◊ saistes kārtas un apakškārtas:
    - > domnas un tēraudkausēšanas sārņi – 100 %;
    - > reciklēts asfalts ≤ 50 %;
  - ◊ dilumkārtas:
    - > domnas un tēraudkausēšanas sārņi ≤ 20 %;
    - > reciklēts asfalts ≤ 30 %.

Tālāk veikta reciklētā asfalta atkārtotas izmantošanas efektivitātes novērtēšana dažādās situācijās. Izmantoti VSIA "Latvijas Valsts ceļi" 2019. un 2020. gadu autoceļu būvniecības darba veidu vidējie apkopotie vienības izcenojumi.

Saskaņā ar vidējiem apkopotajiem izcenojumiem asfalta seguma nojaukšanas izmaksas ir 12-55 EUR/m³, bet tā kā šādā veidā atgūts materiāls bez iepriekšējas sagatavošanas nav atkārtoti izmantojams ceļa segas kārtās, tad tālāk tas nav vērtēts.

Asfalta seguma nofrēzēšanas vidējās izmaksas ir 81,80 EUR/m³. Šādi atgūtu asfaltu praktiski var izmantot atkārtoti bez iepriekšējas papildus sagatavošanas, attiecīgi to ieprojektējot jauno segas kārtu materiālu maisījumos.

Zemes klātnes ierakuma būvniecības vidējās izmaksas ir 9,47 EUR/m³ (aprēķinos attiecinātas uz nesaistītu kārtu nojaukšanas izmaksām).

Aukstā reciklētā maisījuma būvniecības vidējās izmaksas ir 7,97 EUR/m³ (esošā asfalta safrēzēšana un materiālu samaisīšana).

Salizturīgās kārtas būvniecības vidējās izmaksas ir 18,54 EUR/m³. Salīdzinot ar reciklēta nofrēzēta asfalta atgūšanas izmaksām redzams, ka salizturīgās kārtas materiāla izmaksas ir vairākas reizes zemākas, līdz ar to nebūs racionāli reciklēto asfaltu paredzēt izmantot salizturīgajā kārtā, ja vien tā kvalitātes parametri ir tik zemi, ka nav iespējama tā izmantošana nesošo vai seguma kārtu maisījumos, vai arī, ja paredzēta esošo asfalta kārtu reciklēšana uz vietas objektā (vidējā izmaksa 7,97 EUR/m³), tādējādi uzbūvējot jaunās ceļa segas salizturīgo kārtu, kas var nodrošināt pat vairāk kā 2 reizes zemākas izmaksas, nekā nojaucot un aizvācot esošās asfalta kārtas un pēc tam būvējot jaunās kārtas.

Ceļa segas pamata nesaistītas nesošās kārtas vidējās izmaksas ir 42,72 EUR/m³ un jaunu nesaistītu minerālmateriālu pievienošana reciklētajam maisījumam vidējās izmaksas ir 48,92 EUR/m³. Salīdzinot ar reciklēta nofrēzēta asfalta atgūšanas izmaksām redzams, ka nesošās kārtas materiāla izmaksas ir zemākas, līdz ar to nebūs racionāli reciklēto asfaltu paredzēt izmantot nesošajā kārtā, ja vien tās kvalitātes parametri ir tik zemi, ka nav iespējama tā izmantošana seguma kārtu maisījumos, vai arī, ja paredzēta esošo asfalta kārtu reciklēšana uz vietas objektā (vidējā izmaksa 7,97 EUR/m³), tādējādi uzbūvējot jaunās ceļa segas nesošo kārtu, kas var nodrošināt pat vairāk kā 5 reizes zemākas izmaksas, nekā nojaucot un aizvācot esošās asfalta kārtas un pēc tam būvējot jaunās kārtas.

Asfalta seguma dilumkārtas būvniecības vidējās izmaksas ir 192,88 EUR/m³. Pieņemot, ka pusi sastāda materiālu izmaksas un pusi – ražošanas, transportēšanas un iestrādes izmaksas, tad, ja maisījuma ražošanā tiek izmantots reciklētais asfalts pieļautajā 30 % apjomā, tad kopējās izmaksas potenciāli var samazināties par 28,93 EUR/m³, kas sastāda ap 15 % no dilumkārtas izmaksas (izmaksas samazināsies arī tāpēc, ka jālieto mazāk jauno saistvielu, bet papildus izmaksas būs par nepieciešamu reciklētā asfalta bitumena atjaunošanas piedevu lietošanu), salīdzinot, ja reciklēto asfaltu neizmantotu, bet izmantotu visus jaunus materiālus.

Asfalta seguma saistes kārtas un apakškārtas vidējās izmaksas ir 151,50 EUR/m³. Pēc līdzīgiem kritērijiem kā dilumkārtām, bet lietojot reciklēto asfaltu pieļautajā 50 % apjomā, saistes kārtu un pamata kārtu izmaksas var samazināt apmēram par 25 %.

Tabula 8-1. Aprēķina piemērs izmaksu salīdzinājumam ar reciklētā asfalta atkārtotas izmantošanas potenciālo efektivitāti

Visas izmaksas EUR/m² bez PVN	*Atjaunotā konstrukcija*					
	1		2		3	
	Seguma atjaunošana		***Ceļa segas pastiprināšana, saistīts pamats***		***Ceļa segas pastiprināšana, nesaistīts pamats***	
Vecā ceļa sega	Nojaukšana - 11,45 *Jauni materiāli*	Nojaukšana - 11,45 *Ar reciklētu asfaltu*	Nojaukšana - 13,81 *Jauni materiāli*	Nojaukšana - 7,36 *Ar reciklētu asfaltu*	Nojaukšana - 16,17 *Jauni materiāli*	Nojaukšana - 11,45 *Ar reciklētu asfaltu*
segums: dilumkārta - 4 cm	**Jauna dil.k. - 7,72**	**ar RA 30% - 6,56**	**Jauns segums 14 cm - 22,87**	**Jauns segums ar RA 30-50 % - 17,92**	**Jauns segums 14 cm - 22,87**	**Jauns segums ar RA 30-50 % - 17,92**
segums: saistes kārta / apakškārta - 10 cm	**Jauna s.k./a.k. - 15,15**	**ar RA 50% - 11,36**	**Saistīta aukstās pārstrādes kārta 30 cm (jauns materiāls - 100 %) - 18,73**	**Saistīta aukstās pārstrādes kārta 30 cm (jauns materiāls - 50 %, RA - 50 %) - 11,39**	**Jauna nesošā kārta 25cm - 10,68**	**Jauna nesošā kārta 25cm - 10,68**
nesošā kārta - 25 cm	nesošā kārta				**Jauna salizturīgā kārta 40 cm, - 7,42**	**Safrēzēta, pārmaisīta esošā sega 40 cm - 3,19**
salizturīgā kārta	salizturīgā kārta		salizturīgā kārta		salizturīgā kārta	
Kopējās atjaunošanas izmaksas, EUR/m²	**34,32**	**29,37**	**55,41**	**36,67**	**57,14**	**43,24**
Izmaksu samazinājums, ja izmanto esošās segas reciklēto asfaltu		-14%		-34%		-24%

Kā redzams, tad atgūtā (reciklētā) asfalta izmantošana jaunās ceļa segas konstruktīvajās kārtās ir racionāla gadījumos, ja:

- ir iespējama atgūtā asfalta atkārtota izmantošana uz vietas objektā (gan aukstās pārstrādes – reciklēšanas, gan karstā asfalta kārtās);
- ir iespējama atgūtā asfalta (gan uz vietas, gan citā objektā) atkārtota izmantošana jaunajos karstā asfalta maisījumos;
- jaunu minerālmateriālu ieguves iespējas kādu lokālu apstākļu dēļ ir netipiski sarežģītas un dārgas, līdz ar to kādos, faktiski – izņēmuma gadījumos, iespējams, var izrādīties racionāli, atgūto asfaltu izmantot nesaistītās ceļa segas pamatu kārtās.

Citos gadījumos izmantojot reciklēto asfaltu atkārtoti, izmaksu samazinājuma nebūs, bet var realizēties citi, dārgāki, vairāk ar apkārtējās vides funkcionālo kvalitāti saistīti, ieguvumi: reciklētais asfalts neuzkrāsies krautnēs, tiks ietaupīti jauni dabas resursi, būs zemāks apkārtējās vides piesārņojums, kas saistīts gan ar jaunu materiālu ieguvi un piegādi, gan arī ar jau minēto reciklētā asfalta krautņu apsaimniekošanu.

9 Kopsavilkums un atziņas

Vērtējot paveiktos darbus un testēšanas rezultātus, attiecībā uz ar hidrauliskajām saistvielām saistītiem maisījumiem un kārtām, var secināt, ka:

- gandrīz nav novērotas problēmas (iespējams izņemot vienā objektā) ar ceļu segumu plaisāšanu tāpēc, ka segas pamatu kārtās ir lietotas ar cementu saistītas kārtas, tāpēc, ka tās būtu pārāk stingas:
  - ◊ a/c A2 21,9-23,9 km kreisā brauktuve; būvdarbu izpildes gads – 2015; recikls ar cementu; defekti – plaisas; iespējamais cēlonis – nepietiekama ceļa segas un pamata nestspēja;
  - ◊ a/c A3 48,5-60,2 km; būvdarbu izpildes gads – 2014; nesaistīts pamats (cements nav lietots); defekti – plaisas, plaisu tīkls; iespējamais cēlonis – vājas zemes klātnes gruntis vai/un epizodiska grunšu pārmitrināšanās;
  - ◊ a/c A5 33,78-35,0 km; būvdarbu izpildes gads – 2012; recikls ar cementu; defekti – plaisas; iespējamais cēlonis – nepietiekama ceļa segas un pamata nestspēja;
  - ◊ a/c A9 9,9-22,9 km; būvdarbu izpildes gads – 2011; recikls ar cementu; defektu praktiski nav;
  - ◊ a/c A9 79,9-97,58 km; būvdarbu izpildes gads – 2013; recikls ar cementu; defektu nav, izņemot 2 lokālas vietas, kur defektu iemesli saistīti ar nestabilu zemes klātni;
  - ◊ a/c A9 148,59-163,28 km; būvdarbu izpildes gads – 2014, recikls ar cementu; defektu nav;
  - ◊ a/c A11 21,85-45,02 km; būvdarbu izpildes gads – 2016, recikls ar cementu; defekti – garenplaisas un šķērsplaisas; iespējamais cēlonis – iespējams pārāk stinga reciklētā kārta vai segas neviendabība, vai pilnībā nenojaukta vecā asfalta kārta zem recikla, vai visu, vai dažu šo faktoru kopums;
  - ◊ a/c P30 24,5-38,0 km; nesaistīts pamats (cements nav lietots); defekti – plaisas un plaisu tīkls, cēloņi nav tālāk nav analizēti, jo cements nav lietots;
  - ◊ a/c P39 20,0-22,2 km; būvdarbu izpildes gads – 2016; recikls ar cementu; defekti – plaisas, plaisu tīkls; iespējamie cēloņi – vājas zemes klātnes gruntis, nelabvēlīgs mitruma režīms, nepietiekamā apjomā veikti pārbūves darbi.

- gadījumos kad ir bijis paredzēts iegūt saistītu reciklēto kārtu, bet tā uzbūvēta, tomēr neiegūstot saistītu kārtu, vai iegūstot ļoti vāji saistītu kārtu (paraugi urbjot pilnīgi vai daļēji sagrūst), jo pirmajos gados, kad tika uzsākta cementa lietošana reciklētajās kārtās, specifikācijās vēl nebija izvirzītas konkrētas prasības sasniedzamajām reciklētas kārtas īpašībām, visbiežāk defektu iemesls ir nepietiekama ceļa segas kopējā nestspēja. Šāds ceļa segas nepietiekamas nestspējas risks pastāv arī gadījumos, ja prasības reciklētās kārtas īpašībām specifikācijās ir izvirzītas, bet būvdarbu izpildes rezultātā netiek sasniegtas;
- kopumā Ceļu specifikācijās definētās prasības reciklēšanai ar hidrauliskajām saistvielām, pie to korektas izpildes, nodrošina paredzēto ceļa segas nestspējas iegūšanu, bet ir lietderīgi specifikācijās iekļaut precizējumus attiecībā uz paraugu ņemšanu un rīcību ar tiem, kā arī, lai nodrošinātos pret potenciālu ceļa seguma plaisāšanu (šobrīd tā gan nav problēma), ar hidrauliskajām saistvielām saistītiem reciklētiem maisījumiem lietderīgi definēt spiedes stiprības pieļaujamo augšējo robežu 10-12 MPa;
- hidrauliski saistītiem reciklētiem maisījumiem nepieciešams iekļaut prasības arī netiešās stiepes stiprībai (ITS), jo prasība tikai spiedes stiprībai nav pietiekams noturības rādītājs ilgtermiņā. Materiālam izpildot spiedes stiprības prasības, tāpat pastāv potenciāls risks, ka reciklētā konstrukcija relatīvi īsā laikā var sabojāties un sairt, kas iespējams ir noticis arī kādā no pētījuma gaitā apsekotajiem objektiem, piemēram, a/c A2 un A5 apsekotajos posmos. Tāpēc ir jāparedz arī ITS testēšana, lai nodrošinātos, ka ar cementu reciklētais materiāls ir pietiekami izturīgs, īpaši pret iespējamas karbonizācijas potenciāli postošajām sekām [25].
- ar hidrauliskajām saistvielām saistītu reciklēto maisījumu paraugu izgatavošanai, lai unificētu projektēšanas procesu gan ar hidrauliskām saistvielām saistītiem maisījumiem, gan maisījumiem ar bitumena saistvielām (arī ar neliela daudzuma cementa pievienošanu), kā arī, lai samazinātu risku iegūt pārāk stingas kārtas (jo tiks samazināta iespēja pārblīvēt maisījumu), tādējādi provocējot palielināta apjoma rukuma plaisu veidošanos reciklētajā kārtā un līdz ar to arī segumā, arī samazinot nepieciešamo saistvielu daudzumu, nodrošinot reciklētās kārtas līdzvērtīgas īpašības, paraugu sablīvēšanu lietderīgi

veikt ar Modificēto Proktoru, līdz ar to nosakot, ka sasniedzamais kārtas sablīvējums ir 100 % pret Modificētā Proktora blīvumu;

- par ar Modificēto Proktoru izgatavojamo paraugu izmēru noteikt d = 150 mm (B veidne), jo kā tika konstatēts pētījuma gaitā, tad lietotās veidnes izmērs vienādiem maisījumiem ar vienādu saistvielas saturu dod atšķirīgus rezultātus, tāpēc racionālāk un objektīvāk ir lietot viena izmēra veidni, lai optimizētu un padarītu skaidrākas un līdzvērtīgākas reciklēto maisījumu projektēšanas pamatnostādnes, kā arī, samazinātu domstarpību, interpretāciju un nevajadzīgu manipulāciju riskus.

Attiecībā uz ar bitumena saistvielām (arī ar neliela daudzuma cementa pievienošanu) saistītiem reciklētiem maisījumiem un kārtām:

- paraugu izgatavošanai, tāpat kā hidrauliski saistītiem maisījumiem, lietot Modificēto Proktoru, B veidni (d = 150 mm);
- lietot sekojošu paraugu kondicionēšanu: pēc izgatavošanas 1 dienu formā (ieteicams) 20±5 ℃, tad 72 h 40 ℃ ventilējamā krāsnī, pēc tam vienu daļu paraugus 24 h 25 ℃ gaisā un otru daļu paraugus 25 ℃ ūdenī;
- kā atbilstības kritēriju noteikt netiešo stiepes stiprību (ITS), testējot saskaņā ar LVS EN 12697-23.

Nākotnē jāturpina līdzsekošana ieviestajiem jauninājumiem specifikācijās, regulāri jāveic pārskati par būvobjektos veikto reciklēto sastāvu projektēšanu, testēšanu, būvdarbu izpildi, kā arī uzbūvēto kārtu funkcionalitāti ekspluatācijas periodā.

Reciklētajiem maisījumiem ar bitumena saistvielām:

- jāvērtē urbto paraugu no uzbūvētas kārtas testēšanas un datu interpretācijas iespējas, īpaši, ar bitumena saistvielām saistītām kārtām;
- uzkrājot būvdarbu veikšanas pieredzi ar bitumena saistvielu saistītu kārtu būvniecībā, paralēli jāvērtē iespējas reciklēto maisījumu projektēšanā kā atbilstības kritērijus noteikt netiešās stiprības un elastības moduļa kombināciju, vai arī trīsasu testa ieviešanu, arī veicot paraugu ņemšanu un testēšanu būvobjektos, kā arī jāvērtē laboratorijā lietotā paraugu kondicionēšanas režīma salāgotība vai interpretējamība ar reālajiem iespējamajiem uzbūvētas kārtas cietēšanas apstākļiem;

- lietderīgi turpināt elastības moduļu, nogurumizturības u.c. padziļinātas informācijas lietderīgu parametru testēšanu un iegūto rezultātu izvērtēšanu;
- uzbūvētu aukstās pārstrādes un arī nesaistītu ceļa segas pamatu kārtu kvalitātes kontrolei ieteicams pārbaudīt iespējas izmantot un ieviest vieglā svara deflektometru (LWD).

10 Priekšlikumi labojumiem un precizējumiem Ceļu specifikācijās

Ceļu specifikācijā "Ar saistvielām saistīta minerālmateriālu pamata nesošās kārtas būvniecība aukstā veidā", balstoties uz veiktajiem pētniecības darbiem un testēšanu, ieteicams veikt šādus labojumus un precizējumus.

Specifikācijas nosaukumu mainīt uz "Ar hidrauliskajām un bitumena saistvielām saistīta minerālmateriālu pamata nesošās kārtas būvniecība aukstā veidā".

Ar hidrauliskajām saistvielām saistītām kārtām:

- maisījuma apzīmējums – CBGM (cement bound granular mixture);
- noteikt, ka minimālais cementa saturs ar hidrauliskajām saistvielām saistītos maisījumos ir 3 %;
- noteikt prasības netiešās stiepes stiprībai vai nu pēc 24 h cietēšanas 70-75 ℃ (paraugus kondicionējot 70-75 ℃ iesaiņotus ūdens necaurlaidīgā, cieši pieguļošā iesaiņojumā, pēc tam paraugus atdzesējot laboratorijas telpā, tad izsaiņojot un iegremdējot ūdenī uz 4 h), 3 dienu, vai 7 dienu (paraugus kondicionējot 90-100 % mitrumā, pirms testēšanas paraugus izsaiņojot un iegremdējot ūdenī uz 24 h) cietēšanas (pēc izvēles), testējot saskaņā ar LVS EN 13286-42, (piemēram, Boloņas universitātes pētījumā [26] minēts, ka Itālijas tehniskās specifikācijas ar cementu saistītiem reciklētajiem maisījumiem nosaka, ka pēc 3 dienu cietēšanas spiedes stiprībai jābūt ≥ 1,4 MPa un ITS ≥ 300 kPa, pēc 7 dienu cietēšanas spiedes stiprībai jābūt ≥ 2,5 MPa un ITS ≥ 320 kPa), attiecīgi ievērtējot arī šī pētījuma rezultātus ar vietējiem Latvijas materiāliem, priekšlikums ir noteikt šādas zemāk minētās ITS vērtības, vai arī sākotnēji paredzēt ITS vērtību deklarēšanu, bet prasību vērtības noteikt vēlāk pēc tehnoloģijas ieviešanas un adaptācijas praksē:
- ITS ≥ 200 kPa, ja $AADT_{j,kravas} \leq 500$;
- ITS ≥ 400 kPa, ja $AADT_{j,kravas} > 500$.
- hidrauliski saistītiem reciklētiem maisījumiem noteikt maksimālo spiedes stiprību pēc 28 dienu cietēšanas (paraugus kondicionējot 90-100 % mitrumā, pirms testēšanas paraugus izsaiņojot un iegremdējot ūdenī uz 24 h) ≤ 12,0 MPa;
- paraugu izgatavošanai lietot Modificēto Proktoru. Līdz ar to vairāk tiktu respektēts, ka objektā, lai droši izpildītu prasības, sablīvējums pārsvarā ir

jāsasniedz nedaudz lielāks, kā arī kādas tehnoloģiju specifiskas ietekmes, kas var izsaukt to, ka no uzbūvētas kārtas izurbto paraugu spiedes stiprība objektīvi var būt augstāka nekā projektēts laboratorijā;

- paraugu izgatavošanai lietot Proktora B veidni, ieteicams lietot vibroblieti;
- izurbtā parauga spiedes stiprības rezultātus koriģēt ar koeficientu, atbilstoši testēšanai sagatavotā parauga izmēriem, pret B veidnes izmēriem, t.i. B veidnei h/D = 120/150, sekojoši izurbtiem paraugiem jālieto koeficients (h+30)/d, kur h un d ir izurbtā spiedes stiprības testēšanas parauga izmēri milimetros (mm): h – parauga augstums, d – parauga diametrs;
- noteikt, ka spiedes stiprības testēšanai izurbtā parauga diametram jābūt 150±10 mm.
- precizēt svaiga reciklētā maisījuma paraugu ņemšanas procedūru, rīkošanos ar paraugu, kā arī nodrošināšanu pret mitruma zaudēšanu vai papildus mitruma neiekļūšanu paraugā pēc tā noņemšanas;
- prasību kārtas sablīvējumam noteikt 100 % pret Modificētā Proktora blīvumu.

Savukārt ar bitumena saistvielām saistītām kārtām, ieteicams noteikt šādas prasības:

- maisījuma apzīmējums – CBTM (cement bitumen treated base);
- lietojamās saistvielas – bitumena emulsija (ieteicams 3,0 – 5,0 %) vai putu bitumens (ieteicams 1,8 – 3,0 %);
- papildus lietojams arī cements (1,0 – 3,0 %);
- ieteicamā putu bitumena/cementa attiecība 2,5/1;
- ieteicamā bitumena emulsijas/cementa attiecība 2/1;
- vai arī – ieteicamā bitumena/cementa attiecība robežās no 2/1 līdz 3/1 (iespējams, ka jāizvērtē iespēja šo prasību noteikt kā obligātu, lai veicinātu maisījuma projekta izstrādi ar iespējami racionālāko saistvielu kombināciju un izlietojuma daudzumu);
- paraugu izgatavošana ar Modificēto Proktoru B veidnē, ieteicams lietot vibroblieti;
- projektēšanas kritēriji – netiešā stiepes stiprība, kondicionējot: 1 dienu veidnē (ieteicams) 20±5 ℃, tad 3 dienas 40 ℃ gaisā, tad 1 dienu 25 ℃ gaisā (ITS_{sauss}) un ūdenī (ITS_{mitrs}), atkarībā no satiksmes intensitātes:

- ◊ $AADT_{j,kravas} \leq 500$, $ITS_{sauss} \geq 175$ kPa un $ITS_{mitrs} \geq 100$ kPa;
- ◊ $AADT_{j,kravas}$ 500 – 2000, $ITS_{sauss} \geq 225$ kPa un $ITS_{mitrs} \geq 125$ kPa;
- ◊ $AADT_{j,kravas} > 2000$ vai gadījumos, ja reciklētajai kārtai jānodrošina paaugstināta nestspēja, vai kādu specifisku satiksmes slodžu vai apstākļu dēļ, piemēram, paredzot kā seguma apakškārtu, $ITS_{sauss} \geq 350$ kPa un $ITS_{mitrs} \geq 200$ kPa;

Ieteicams no specifikācijas izslēgt visu, kas attiecas uz reciklētiem maisījumiem bez saistvielām (vēsturiski ir palikušas norādes), jo tas var radīt pārpratumus specifikāciju lietojamībai un kvalitātes kritēriju definēšanai būvprojektos, ja maisījumos ar uz vietas pārstrādājamiem (atkārtoti izmantojamiem) materiāliem saistvielas netiek lietotas. Iespējams, šajā kontekstā, nepieciešami papildinājumi specifikācijā "5.2. Nesaistītu minerālmateriālu pamata nesošā kārtas vai seguma būvniecība", lai, piemēram, akcentētu objektā uz vietas atgūtu materiālu izmantošanas iespējas, pielietojot arī recikleri.

Detāli priekšlikumus labojumiem un precizējumiem Ceļu specifikācijās skatīt Pielikumā "Priekšlikumi grozījumiem Ceļu specifikācijās".

11 Izmantotā literatūra

[1] Kim, Y. R., Lee, Y. C., & Ranjithan, S. R. (1999). Flexible pavement condition evaluation using deflection basin parameters and dynamic finite element analysis implemented by artificial neural networks. *ASTM Special Technical Publication*. https://doi.org/10.1520/stp14788s

[2] Ullidtz, Per, "Pavement Analysis", Elsevier, 1987.g.

[3] Ott Talvik, Andrus Aavik, Determination of limit values for fwd deflection basin Parameters (sci, bdi, bci) for pavement condition assessment.

[4] Andrus Aavik, Priit Paabo, Tiit Kaal, Assessment of pavement structural strength by the falling weight deflectometer, The Baltic journal of road and bridge engineering, 2006, Vol I, No 4.

[5] Aavik, A., & Talvik, O. (2008). Use of Falling Weight Deflectometer (FWD) measurement data for pavement structural evaluation and repair design. In *7th International Conference on Environmental Engineering, ICEE 2008 - Conference Proceedings*.

[6] Byung J. L., Seong-Hoon K., Taekeun O., Yun-Yong K., Effect of Cylinder Size on the Modulus of Elasticity and Compressive Strength of Concrete from Static and Dynamic Tests, in: Advances in Materials Science and Engineering Volume 2015 (2015), http://dx.doi.org/10.1155/2015/580638

[7] B. Huang, X. Shu, E. G. Burdettem, Mechanical properties of concrete containing recycled asphalt pavements, Magazine of Concrete Research, 2006, 58, No. 5, June, 313–320

[8] Iuri S. Bessa, Ana L. Aranha, Kamilla L. Vasconcelos, Amanda H. M. Silva, Liedi L. B. Bernucci Laboratory and field evaluation of recycled unbound layers with cement for use in asphalt pavement rehabilitation, 2016, Materials and Structures, Springer.

[9] Dr. Charles W. Schwartz, Zahra Afsharikia, Dr. Sadaf Khosravifar, Standardizing lightweight deflectometer modulus measurements for compaction quality assurance, 2017, Maryland DoT , research report.

[10] Kazmee, H., Tutumluer, E., & Beshears, S. (2017). Using Accelerated Pavement Testing to Evaluate Reclaimed Asphalt Pavement Materials for Pavement Unbound Granular Layers. Journal of Materials in Civil Engineering, 29(2), 04016205. https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001729

[11] Zhang, Y., Vennapusa, P., & White, D. J. (2019). Assessment of designed and measured mechanistic parameters of concrete pavement foundation. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. https://doi.org/10.7250/bjrbe.2019-14.432

[12] Bertulienė, L., Juknevičiūtė-žilinskienė, L., Sivilevičius, H., & Laurinavičius, A. (2018). Interaction of physical parameters and the strength of frost blanket course in road pavement structure. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. https://doi.org/10.7250/bjrbe.2018-13.426

[13] Bertulienė, L. (2018). *Assessment, research and use of methods for determining the strength of base courses of road pavement structure. Assessment, research and use of methods for determining the strength of base courses of road pavement structure*. https://doi.org/10.20334/1928-m

CEDR Transnational Road Research Programme Call 2012: Recycling: Road construction in a post-fossil fuel society (CEDR starptautiskās ceļu izpētes programmas uzaicinājums 2012: Pārstrāde: ceļu būve bez-fosila sabiedrībā:

- [14] Report on available test and mix design procedures for cold-recycled bitumen stabilised materials, Deliverable D1.1, June 2014.
- [15] Report on Durability of cold-recycled mixes: Test procedures for stiffness determination
  Final report, Deliverable D2.1, September 2014.
- [16] COREPASOL, Activity of RA bitumen in cold-recycled mixes, Report D4.1, 04/2014.
- [17] Report on recyclability and multiple recyclability of cold-recycled asphalt mixes in cold and hot recycling, Deliverable D4.2, September 2014.
- [18] Environmental Evaluation of Materials Used for Cold Recycled Mixes, Final report, Deliverable 5.1, 30.01.2015.

[19] METODINIAI NURODYMAI ATLIEKANT REGENERAVIMĄ KELYJE ŠALTUOJU BŪDU MN ŠRK 18 – Metodiskie norādījumi aukstajai reģenerācijai uz ceļa,

apstiprināti Lietuvas Ceļu pārvaldes direkcijā pie Transporta un sakaru ministrijas, 2018.

[20] METODINIAI NURODYMAI ATLIEKANT REGENERAVIMĄ MAIŠYKLĖJE ŠALTUOJU BŪDU MN ŠRM 18 – Metodiskie norādījumi aukstajai reģenerācijai ar maisītāju, apstiprināti Lietuvas Ceļu pārvaldes direkcijā pie Transporta un sakaru ministrijas, 2018.

[21] Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau M KRC, 2005 – Brošūra aukstajai pārstrādei uz vietas objektā ceļu būvē, Vācija.

[22] *A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilised Materials* TG2 Third Edition August 2020, Published by Southern African Bitumen Association (Sabita)

[23] Wirtgen BSM Cold Recycling Laboratory Handbook, 2017

[24] FOAMED BITUMEN STABILISED MATERIAL (BSM) GUIDELINES FOR CARRYING OUT LABORATORY TEST PROCEDURES USING WIRTGEN LABORATORY EQUIPMENT, 2020

[25] Wirtge Cold Recycling Technology, 2012

[26] A laboratory and field study on 100% Recycled Cement Bound Mixture for base layers, Piergiorgio Tataranni, Cesare Sangiorgi, Andrea Simone, Valeria Vignali, Claudio Lantieri, Giulio Dondi, DICAM-Roads, Dept. of Civil, Chemical, Environmental and Materials Engineering, University of Bologna, V.le Risorgimento 2, 40136 Bologna, Italy, 2017

[27] FHWA-NJ-2017-008, Environmental Impacts of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), U. S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2017

12 Pielikumi (elektroniski)

1. Testēšanas pārskati 61 lapa
2. Testēšanas rezultātu apkopojumi – elektroniskā formā
3. A/c A2 dokumentācijas kopijas
4. A/c A5 dokumentācijas kopijas
5. Fotomateriāls – elektroniskā formā
6. Priekšlikumi grozījumiem Ceļu specifikācijās
7. Priekšlikumi grozījumiem Rokasgrāmatā