



RĪGAS TEHNISKĀ  
UNIVERSITĀTE

TRANSPORTBŪVJU INSTITŪTS  
CEĻU UN TILTU KATEDRA

# PĒTĪJUMS

**ASFALTA MAISĪJUMA NOTURĪBA PRET  
PLASTISKĀM DEFORMĀCIJĀM.  
PLĀNKĀRTAS CEĻA SEGAS DILUMKĀRTAS  
SLĀŅU (BBTM) UN CITU BITUMINĒTO  
SEGUMU ATJAUNOŠANAS UN  
PĀRBŪVES TEHNOĻOĢIJU IZPĒTE  
(1. KĀRTA)**

**ATSKAITE**

Rīga, 2016. gads 9. decembris

Apstiprinu, 09. 12. 2016		
(vārds, uzvārds, paraksts)		
Pētniecības projekta nosaukums <b>Asfalta maisījuma noturība pret plastiskām deformācijām. Plānkārtas ceļa segas dilumkārtas slāņu (BBTM) un citu bituminēto segumu atjaunošanas un pārbūves tehnoloģiju izpēte (1. kārtā)</b>		
Līguma numurs	Līgums Nr. LVC2015/1.10/1/AC līg. RTU reģ. Nr. 03000-3.1.2/172	
Līguma slēgšanas datums	09. 07. 2015	
Pētniecības projekta stadija	4. stadija (100%)	
Starpziņojumu kopējais skaits	3 starpziņojumi un 1 gala atskaite	
Ziņojuma nodošanas datums	11. 12. 2016	
Pētniecības projekta izstrādes periods	09. 07. 2015 – 09. 12. 2016	
Lappušu skaits	88	
Disks vai cits datu nesējs (ir/nav)	ir	
Eksemplāru skaits	1	
JAUNU TEHNOLOĢIJU IZPĒTES PROGRAMMA 2014. - 2016. GADAM		
Pētniecības projekta izpildītāji	Vārds, Uzvārds	Paraksts
Pētniecības projekta vadītājs	Viktors Haritonovs	
Pētnieks	Jānis Tihonovs	
Pētnieks	Artūrs Riekstiņš	
Pētnieks	Rolands Īzaks	
Pētnieks	Edgars Eglītis	
Projektu finansē	VAS "Latvijas Valsts ceļi"	
<p>Īss apraksts</p> <p>Autoceļa dilumkārtā ir konstruktīvā kārtā, kas uzņem vislielāko transporta slodzi un ir pakļauta apkārtējās vides agresīvajai ietekmei. Šo faktoru ietekmē dilumkārtā ātrāk par pārējām asfaltbetona kārtām noveco un tajā rodas bojājumi (risas, plaisas, nodilums), kas ir potenciālais riska faktors, veicinot ceļa segas un pat konstrukcijas nestspējas samazināšanos. Viens no risinājumiem savlaicīgai ceļa konstrukcijas bojājumu novēršanai ir dilumkārtas atjaunošana un pārbūve ar plānkārtas asfaltbetona kārtu (BBTM).</p> <p>Pētījuma projekta 1. kārtā analizētā pasaules pieredze BBTM asfaltbetona lietošanā. Noteiktas vairākas BBTM asfaltbetona priekšrocības salīdzinājumā ar citām (tradicionālajām) ceļa seguma virsmas atjaunošanās tehnoloģijām. Konstatēts, ka vairākām Eiropas valstīm BBTM asfaltbetona specifiskācija atšķiras no LVS EN 13108-2 standarta (Bituminētie maisījumi. Materiāla specifiskācija. 2.daļa: Asfaltbetons ļoti plānām kārtām) prasībām. Līdz ar to izdalītas trīs pieejas BBTM asfaltbetona projektēšanā – Polijas, Dānijas, Holandes, Vācijas un ASV. Šajā etapā atbilstoši Polijas specifiskācijām izvēlēti atbilstoši izejmateriāli, noteiktas to īpašības un projektēti BBTM asfaltbetona sastāvi. Tā kā BBTM asfaltbetona SPENS (Sustainable Pavements for European New Member States) specifiskācija rekomendē izmantot kā dilumkārtas slāni virs HMAC (High Modulus Asphalt Concrete) asfaltbetona, veikts segas konstruktīvo slāņa ar HMAC aprēķins un dažādu variantu salīdzinājums.</p> <p>Pētījuma projekta 2. un 3. kārtā izgatavoti vairāki BBTM eksperimentāli maisījumi un noteiktas to pamatīpašības. Maisījumi izgatavoti, balstoties uz Polijas tehniskām prasībām, bet viens maisījums, izmantojot Holandes Novachip 11 tehnoloģiju. Atbilstoši „Nestingas ceļa segas projektēšanas metodika” izstrādāts ceļa segas projekts, kurā iekļauta BBTM asfaltbetona dilumkārtā, HMAC saistes kārtā un HMAC pamatkārtā. Šajā pētījuma etapā veikta starpslāņu bīdes izpēte Latvijas apstākļiem tradicionāliem asfaltbetona sastāviem, lai turpmāk to pielietotu BBTM asfaltbetona adhēzijas īpašību izpētei. Analizējot bīdes stiprības izmaiņas ar dažādām emulsijām (patēriņš 0,3 l/m<sup>2</sup>), konstatēts, ka visi iegūtie rezultāti atbilst Ceļus specifiskācija 2017 prasībām – pārsniedzot 2 - 2,5 reizes reglamentēto vērtību 8 kN. Kā arī šajā posmā analizēta segas aprēķinu (iekļaujot HMAC un BBTM) metodikas pēc nogurumizturības kritērijiem.</p> <p>Pētījuma projekta 4. kārtā turpināta bituminēto segumu atjaunošanas tehnoloģiju analīze. Definēti vairāki ceļa seguma bojājuma veidi, kuru novēršanai ir piemērots plānkārtas asfaltbetons. Šajā etapā pabeigta BBTM sastāvu projektēšana, balstoties uz Polijas specifiskāciju prasībām. Kopā bitumena daudzuma optimizācijai izgatavoti 9 maisījumi. Maisījumiem ar atbilstošu sablīvējumu noteikta risu noturība (WTSair0,12-0,18) un starpslāņu bīdes stiprība, kura no 1,5 līdz 2,0 reizēm pārsniedz reglamentēto vērtību 8 kN. Balstoties uz iegūtiem rezultātiem, izstrādātas BBTM asfaltbetona specifiskācija un definēts turpmākā pētījuma virziens un uzdevumi.</p>		
Pielietojums/pētījuma sfēra	Autoceļu būvniecība/Ceļu būvmateriāli	
Papildus izstrādātie materiāli	Zinātniskās publikācijas un rekomendācijas	

# SATURS

---

Termini un tulkojums.....	5
1. IEVADS.....	6
2. ANALĪTISKĀ DAĻA.....	11
2.1. Bitumenēto segumu atjaunošanas tehnoloģiju analīze.....	11
2.1.1. Seguma stāvokļa indekss (PCI).....	13
2.2. Bituminēto segumu bojājumu veidi.....	16
2.2.1. Noguruma plaisas.....	16
2.2.2. Blokveida plaisas.....	17
2.2.3. Seguma garenplaisas un šķērsplaisas.....	18
2.2.4. Bedres.....	19
2.2.5. Rises.....	20
2.2.6. Seguma viļņošanās un stumšanās.....	20
2.2.7. Seguma "svišana".....	21
2.2.8. Nodilums.....	22
2.2.9. Izdrupumi.....	22
2.3. Bituminēto segumu atjaunošanas tehnoloģijas.....	23
2.3.1. Bitumena emulsijas pārklājums ( <i>Fog Seal</i> ).....	24
2.3.2. Vienkārta virsmas apstrāde un tās paveidi ( <i>Chip Seal</i> ).....	26
2.3.3. Auksts emulsētu sīkšķembu maisījums plānam virskārta seguma slānim ( <i>Slurry Seal</i> ).....	30
2.3.4. Auksts polimērmofificēta emulsijas šķembu maisījums plānam virskārta slānim ( <i>Microsurfacing</i> ).....	33
2.3.5. Plānkārta asfaltbetons BBTM.....	36
2.3.6. Inovatīvās pašatjaunošanās tehnoloģijas " <i>Self healing</i> " izmantošanas analīze seguma atjaunošanai.....	43
2.3.7. Virsmas atjaunošanas tehnoloģiju pielietošana pie konkrētiem bojājumiem.....	52
2.4. Bituminēto segumu atjaunošanas tehnoloģiju salīdzinājums.....	53

3. CEĻA SEGAS KONSTRUKCIJAS PROJEKTA IZSTRĀDĀŠANA, IEKĻAUJOT ZEM BBTM ASFALTBETONA HMAC SAISTES KĀRTU UN SEGUMA APAKŠKĀRTU.....	57
3.1. Ceļa segas projektēšanas izejas dati.....	58
3.2. Normēto ass slodžu un evaj aprēķins.....	58
3.3. Segas konstruēšana.....	59
3.4. Stiepes noturības aprēķins.....	59
4. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA.....	61
4.1. Minerālmateriāla īpašības.....	61
4.1.1 Granulometrija.....	62
4.2. Bitumena īpašības.....	63
4.3. Plānkārtas asfaltbetona projektēšana.....	65
4.4. BBTM asfaltbetona rišu noturība.....	68
4.5. BBTM asfaltbetona urbto paragu fizikālo īpašību noteikšan.....	71
4.5. BBTM asfaltbetona novachip 11 projektēšana.....	73
4.6. STARPSLĀŅU BĪDES PRETESTĪBA.....	75
4.6.1 Bīdes pretestība starp tradicionāliem AC asfaltbetona maisījumiem.....	75
4.6.2 Bīdes pretestība starp BBTM asfaltbetonu un SMA asfaltbetona maisījumu	80
Secinājumi un rezultāti.....	81
Turpmākais iespējamais pētījuma plāns.....	83
Izmantotā literatūra.....	85



# TERMINI UN TULKOJUMS

---

*Crack sealing* – plaisu apstrāde;

*Fog seal* – bitumena emulsijas pārklājums;

*Slurry seal* – auksts emulsētu šķembu maisījums plānam virskārtas seguma slānim;

*Microsurfacing* – auksts polimērmodificētas emulsijas šķembu maisījums plānam virskārtas slānim;

*Chip seal* – virsmas apstrāde;

*Thin overlay* – plāns [asfalta] pārklājums;

*BBTM (Béton Bitumineux Très Mince)* – plānkārtas asfaltbetons;

*AC-TL (Asphalt Concrete for Thin Layers)* – asfaltbetons plānām kārtām;

*PCI (pavement condition index)* – seguma stāvokļa indekss;

*HMAC (High Modulus Asphalt Concrete)* – Augsta moduļa asfaltbetons;

*Fatigue (Alligator) Cracking* – noguruma plaisas;

*Block Cracking* – blokveida plaisas;

*Longitudinal Cracking* – garenplaisas;

*Transverse Cracking* – šķērsplaisas;

*Rutting* – rises;

*Ravelling* – virsmas izdrupumi;

*Corrugations and Shoving* – seguma stumšanās;

*Bleeding* – seguma "svīšana", izsvīdumi;

*Polished Aggregate* – virskārtas minerālmateriāla nodilums.

# 1. IEVADS

---

Autoceļa dilumkārtā ir konstruktīvā kārtā, kas uzņem vislielāko transporta slodzi un ir pakļauta apkārtējās vides agresīvajai ietekmei. Šo faktoru ietekmē dilumkārtā ātrāk par pārējām asfaltbetona kārtām noveco un tajā rodas bojājumi (rises, plaisas, nodilums), kas ir potenciālais riska faktors, veicinot ceļa seguma un visas segas konstrukcijas nestspējas samazināšanos.

Viens no risinājumiem savlaicīgai ceļa konstrukcijas bojājumu novērtēšanai ir dilumkārtas atjaunošana izmantojot plānkārtas asfaltbetonu. Plānkārtas asfaltbetoni AC-TL (Asphalt Concrete for Thin Layers) jeb BBTM (no franču valodas *Béton Bitumineux Très Mince*) tiek izmantoti vairākās Eiropas valstīs, kā arī ārpus Eiropas jau vairāk nekā 15 gadus ceļa seguma dilumkārtai. Tie ir ekonomiski izdevīgi, ātri būvējami un ar labām virsmas īpašībām. Pēdējos gados veiktie pētījumi liecina, ka BBTM kārtā var samazināt troksni, paaugstināt satiksmes drošību (uzlabojas saķere un ceļa pārredzamība lietus laikā), kā arī uzrāda augstas ekspluatācijas īpašības. BBTM biezums ir 20-30 mm, kuru ieklāj vienā slānī. Tas samazina nepieciešamo materiāla daudzumu dilumkārtai, kas valstīs, kur vietējos dabas resursos nav atrodamas augstas kvalitātes minerālmateriāli, ir ekonomiski izdevīgi. Svarīgi atzīmēt, ka BBTM dilumkārtu SPENS rekomendācijās<sup>1</sup> iesaka izmantot virs HMAC (High Modulus Asphalt Concrete) saistes kārtas. Līdz ar to bituminēto maisījumu plānkārtas seguma izpēte ir loģisks veiktā pētījuma par HMAC īpašībām turpinājums. Izmantojot plānkārtas dilumkārtu atsevišķi vai kopā ar HMAC, var ievērojami samazināt ceļa segas konstrukcijas izmaksas.

Īpašības un priekšrocības BBTM dilumkārtai:

1. Mazāks materiāla apjoms, tādējādi zemākas izmaksas, kā arī cieta un izturīga materiāla dabisko rezervju taupīšana. Pētījumi rāda, ka BBTM izmaksas ir līdz 45% zemākas nekā alternatīvajiem asfaltbetona veidiem. Līdz ar to, ja abos maisījumos tiek izmantots plānkārtas asfaltbetona segumam paredzētais polimēra modificētais bitumens, tad kvalitatīvā, bet dārgā minerālmateriālu daudzums samazinās par apmēram 40%. [1]
2. Nodrošina seguma virsmu ar ļoti labām virsmas īpašībām – ļoti laba tekstūra un saķere.
3. Nodrošina trokšņa samazināšanu – par 2-4 dB.
4. Nodrošina virsmu ar uzlabotu ūdens noteci.
5. BBTM ir laba risu noturība.
6. Ātrāka ieklāšana salīdzinājumā ar tradicionālo asfaltbetonu.
7. Bojātas dilumkārtas kārtas frēzēšana, lai neceltos seguma augstumu atzīmju līmenis, ne vienmēr ir nepieciešama (var klāt pa virsu esošai dilumkārtai).
8. Līdz noteiktam līmenim spēj uzlabot vecā seguma līdzenumu, nav nepieciešama papildus kārtas līmeņošana.
9. Virskārtas (dilumkārtas) uzturēšanas-atjaunošanas gadījumā tiek izmantots mazāks daudzums minerālmateriālu un bitumena.
10. Lai varētu ražot BBTM, nav nepieciešama asfaltbetona ražotnes modifikācija.
11. Samazināts ieguldītā darba apjoms. [1]

---

<sup>1</sup> SPENS (Sustainable Pavements for EU New Member States) – Ilgtspējīgi ceļa segumi jaunām ES valstīm

## BITUMINĒTO SEGUMU ATJAUNOŠANAS UN REHABILITĀCIJAS TEHNOLOĢIJU IZPĒTE

Pēc VAS "Latvijas Valsts ceļi" sniegtiem datiem [2], 2014.gadā kopējo ceļu tīklā veikto būvdarbu izmaksas sastādīja 107,5 milj. EUR un 81.6 milj. EUR – autoceļu ikdienas uzturēšanas darbiem.

BBTM ir veids, kā tiek uzlabota esošā seguma īpašības un to var uzklāt nepieciešamā biezumā, piemēram, vietās, kur ir lielāks rišu dziļums to var uzklāt biezākā kārtā. BBTM ir ceļa seguma kārtā ar mazāku minerālmateriālu frakciju un ar polimērmodificētu bitumena saistvielu, kas padara šo materiālu (segumu) izteikti elastīgu, ūdensnecaurlaidīgu un ar labu saķeri, kā arī tā ļauj saglabāt esošo ceļa segas konstrukciju, uzlabojot braukšanas komfortu. [1]

BBTM ir speciāli radīts, lai esošam segumam (arī ceļa segai) maksimāli ilgi nodrošinātu kalpotspēju, tādā veidā samazinot seguma uzturēšanas izdevumus. Profilaktiskas ceļu tīkla uzturēšanas stratēģijas pamatā, izmantojot BBTM, ir spēja nodrošināt seguma nepasliktināšanos līdz līmenim, kad nepieciešama seguma (arī ceļa segas) konstrukcijas pilnīga atjaunošana. 1.1. tabulā ir parādītas BBTM dilumkārtas priekšrocības salīdzinājumā ar mikro virsmas (*microsurfacing*) apstrādi un virsmas apstrādi (*chip seal*). 1.1. tabulas dati rāda, ka virsmas apstrādei ar šķembu un bitumena emulsiju ir vismazāk plusu. Mikro virsmas apstrādei atšķirībā no virsmas apstrādes nāk klāt svarīgāka ekspluatācijas īpašība - rišu noturība. Kopumā BBTM dilumkārtai ir daudz vairāk plusu, kā lētākajām alternatīvām. Svarīgi atzīmēt, ka bituminēto segumu atjaunošanas un pārbūves tehnoloģiju efektivitāti var noteikt, izmantojot dzīves cikla analīzi (LCA – life cycle analysis) un dzīves cikla izmaksu analīzes metodēm (LCCA – life cycle cost analysis). [1]

Tabula 1.1			
Ceļa virsmas apstrādes veidu salīdzinājums [2]			
Īpašības	Salīdzinājums		
	Plānas asfaltbetona pārklājums ( <i>Thin overlay</i> )	Auksts polimērmodificētas emulsijas šķembu maisījums plānam virskārtas slānim ( <i>Microsurfacing</i> )	Virsmas apstrāde ( <i>chip seal</i> )
Izlabo sīkus virsmas nelīdzenumus	✓	✓	✓
Uzlabo slīdes pretestību	✓	✓	✓
Samazina ielu apmaļu bojājumus	✓	✓	✓
Rišu noturīgs, kā arī efektīvs seguma rišu likvidācijai	✓	✓	
Palielina stiprību	✓		
Uzlabo ūdens novadi	✓		
Uzlabo braukšanas kvalitāti un drošību	✓		
Klusāks	✓		
Sabiedrības atbalsts	✓		
Ilgmūžīgāks	✓		

## MĒRĶIS

Mērķis ir izstrādāt BBTM sastāvus ar augstām ekspluatācijas īpašībām, lietojot Latvijas apstākļiem tradicionālus minerālmateriālus, kā arī ceļa segas projektā iekļaujot zem plānkārtas asfaltbetona kārtas konstruktīvās HMAC saistes kārtu un seguma apakškārtu, lai nodrošinātu piedāvātā risinājuma lietošanu augstas intensitātes ceļiem un piedāvāt priekšlikumus „*Ceļu specifikācijas 2017*” (vai citas – aktuālās specifikāciju versijas) papildināšanai ar Latvijas apstākļiem jaunu plānkārtas asfaltbetona tipu.

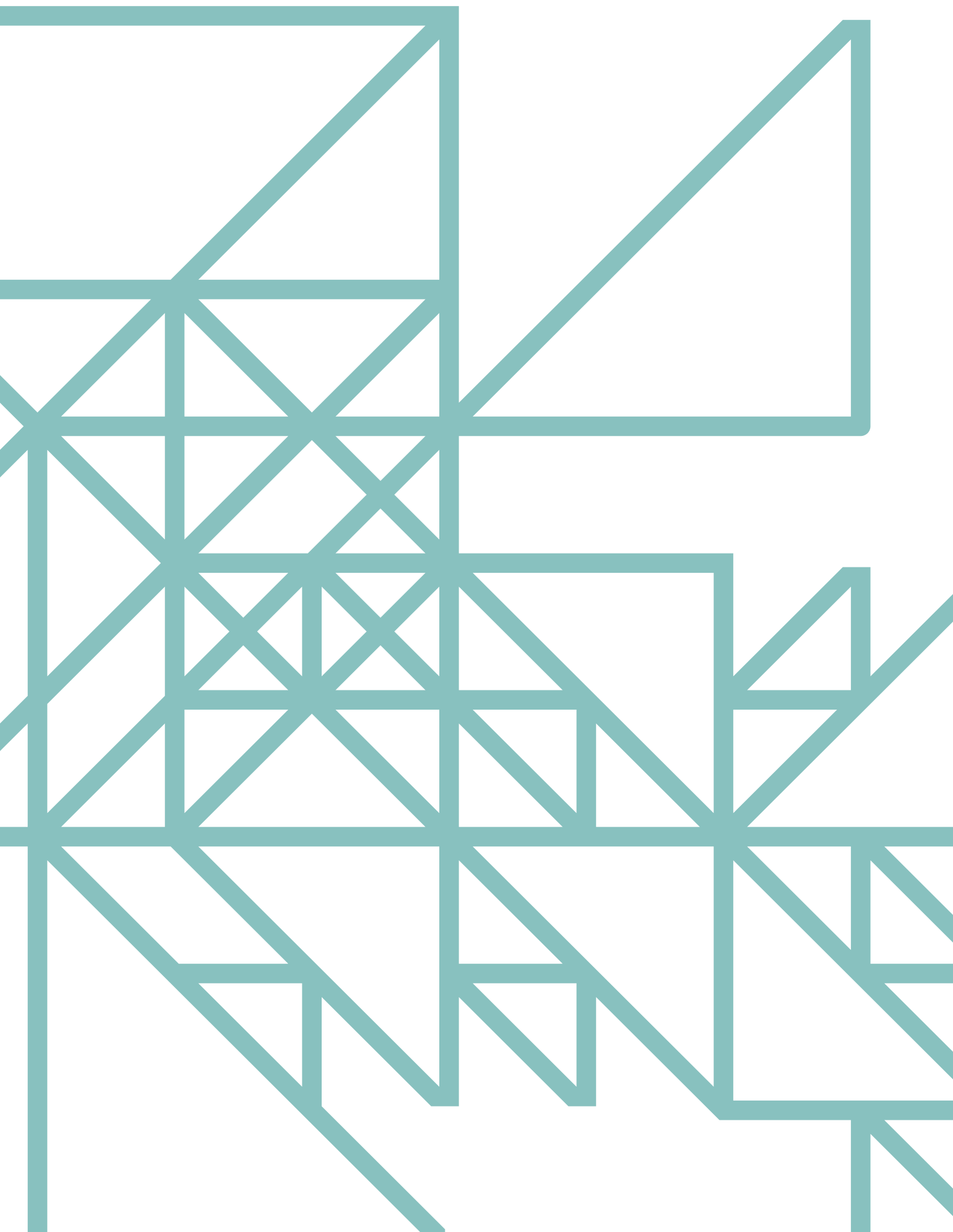
## DARBA UZDEVUMI

1. Izstrādāt pētījuma programmu, ietverot tajā informāciju par pētījuma kalendāro plānu, sadarbības partneriem, izejmateriālu piegādātājiem, asfaltbetona sastāvu projektiem un vienošanās dokumentāciju ar uzņēmējiem par izejmateriālu saņemšanu pētījuma vajadzībām.
2. Salīdzināt BBTM izejmateriāliem reglamentētās īpašības ar Latvijas apstākļiem tradicionālo izejmateriālu (importēto un vietējo) īpašībām.
3. Laboratorijā izgatavot BBTM maisījuma paraugus, izmantojot vietējo un importēto minerālmateriālu, un salīdzināt to īpašības ar tradicionālajiem asfaltbetona veidiem.
4. Veikt BBTM paraugu deformatīvo īpašību eksperimentālās pārbaudes, lietojot ekspluatācijas īpašību testēšanas metodes – riteņu sliežu veidošanās tests, stinguma un noguruma tests, kā arī nosakot ūdensjūtību.
5. Veikt starpslāņu (starp HMAC un BBTM dilumkārtu) bīdes pretestības izpēti. Piedāvāt efektīvāko risinājumu starpslāņu bīdes pretestības uzlabošanai.
6. Eksperimentālā posma ceļa segas konstrukcijas projekta izstrādāšana, iekļaujot zem BBTM kārtas HMAC saistes kārtu un seguma apakškārtu, un projekta iesniegšana apstiprināšanai Projekta komisijā.
7. Bituminēto segumu atjaunošanas tehnoloģiju izpēte. Salīdzināt pašreiz Latvijā izmantojamo segumu atjaunošanas tehnoloģiju ar inovatīvām pašatjaunojošām (selfhealing (SHA)) tehnoloģijām. Noteikt, izmantojot dzīves cikla analīzes (LCA – life cycle analysis) un dzīves cikla izmaksu analīzes (LCCA – life cycle cost analysis) metodes, Latvijas apstākļiem efektīvāku segumu atjaunošanas tehnoloģiju.
8. Publikāciju, plakātu un ziņojumu sagatavošana.
9. Sagatavot BBTM lietošanas ekonomisko novērtējumu, iesniedzot Pasūtītājam rekomendācijas, pie kādiem nosacījumiem (transportēšanas attālumi, ražošanas izmaksas) ir lietderīgi plānot šo materiālu lietošanu.
10. Sagatavot BBTM un tā izejmateriālu tehniskās prasības „*Ceļu specifikācijas 2017*” (vai citas – aktuālās specifikāciju versijas) papildināšanai.



## METODIKA

1. Asfalta sastāvu izstrādes pamatā ir standarta LVS EN 13108-1, LVS EN 13108-2 un LVS EN 13108-5 prasības;
2. Bitumena īpašību noteikšana atbilstoši LVS EN 12591 vai LVS EN 14043 prasībām;
3. Minerālmateriāla īpašību noteikšana atbilstoši LVS EN 13043 prasībām;
4. Eksperimentālās pārbaudes tiks veiktas saskaņā ar aktuālo LVS EN testēšanas metožu prasībām;
5. Asfaltbetona un izejmateriālu īpašības tiks izvērtētās saskaņā ar *"Ceļu specifikācijas 2017"* un LVS EN prasībām;
6. Detalizētu pētījuma programmu un darbu izpildes kalendāro plāno konsultants sagatavos 1.starpziņojumā un iesniegs izskatīšanai Projekta komisijā.



## 2. ANALĪTISKĀ DAĻA

### 2.1. BITUMENĒTO SEGUMU ATJAUNOŠANAS TEHNOLOĢIJU ANALĪZE

Ierobežota finansējuma apstākļos ceļu būvniecībā ir jāspēj izmantot esošie līdzekļi pēc iespējas efektīvāk un racionālāk. Tāpēc ļoti būtiski ir veikt bituminēto segumu atjaunošanu savlaicīgi.

Bieži, kā labākā ceļa segas saglabāšanas metode tiek izmantota virskārtas frēzēšana un atkārtota tradicionālās dilumkārtas ieklāšana (*mill and fill*). Šāds paņēmieni Latvijā tika un tiek izmantots par Eiropas fondu naudu būvētajiem ceļiem un to paredz Eiropas Komisija. Tomēr šī metode ir salīdzinoši dārga un ne vienmēr pamatoti pielietota.

Lai uzlabotu kopējo ceļa stāvokli būtu jāveic ceļu tīkla uzturēšana pēc principa - pareiza apstrāde (atbilstošā apstrādes vai atjaunošanas metode), pareizajam ceļam, pareizajā laikā (*The Right Treatment, for the Right Road, at the Right Time*). Šī principa ievērošanai nepieciešama ilgtermiņa domāšana un plānošana gan ceļu pareizai atjaunošanai, gan nepieciešamā budžeta piesaistei. Šī principa pamatā ir uzstādījums, ka primāri ir nepieciešams aizsargāt esošos ieguldījumus (nesen atjaunotos vai no jauna uzbūvētos ceļus) ar regulāru apstrādi, lai novērstu bojājumus [3].

Galvenie faktori, kas nosaka ceļu tīkla ilgtspēju ir [3]:

- Ceļu tīkla garums;
- Stāvoklis;
- Budžets;
- Laiks.

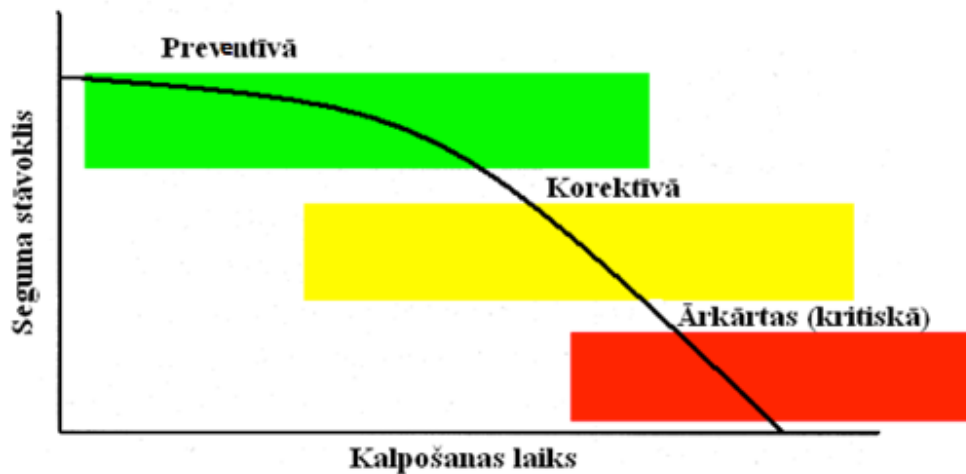
Seguma stāvoklis sāk pasliktināties tikko, kā tas ir atvērts satiksmei. Faktori, kas ietekmē seguma nolietojanās ātrumu ir:

- Satiksmes slodzes;
- Klimats;
- Izmantotie būvmateriāli;
- Ceļa Segas konstrukcijas kārtu biezumi;
- Būvniecības darbu kvalitāte;
- Seguma atjaunošanas un uzturēšanas efektivitāte [4].

Var izšķirt sekojošas seguma virsmas atjaunošanas kategorijas:

- Preventīvā;
- Korektīvā;
- Ārkārtas (kritiskā)

Atbilstoši katrai kategorijai ir jāizvērtē un jāveic attiecīgā seguma stāvokļa uzlabošanas pasākumi. Veicot preventīvos pasākumus ir iespējams uzlabot ceļa stāvokli par daudz zemākām izmaksām, nekā sagaidot ārkārtas stāvokli, kad jāveic lielus ieguldījumus pilnas ceļa segas rekonstrukcijas veikšanai. Attēlā 2.1. redzams seguma stāvokļa nolietojanās grafiks.



2.1.att. Autoceļa seguma stāvoklis atkarībā no laika [5].

Katram ceļam jāveic monitorings par to, kāds ir ceļa seguma stāvoklis katru gadu. Autoceļa seguma preventīvās tehniskās apkopes (uzturēšanas) pamatā ir koncepcija, ka periodiskā un salīdzinoši lētākā virskārtas apstrāde (atjaunošana) ir ekonomiskāka nekā reta (neregulārā) atjaunošana ar lielu finansiālu ieguldījumu. Autoceļa seguma uzturēšanu definē kā pasākumu, kuru jāveic, lai saglabātu vai/un pagarinātu seguma funkcionalitāti un ekspluatācijas laiku līdz būtiskai seguma rehabilitācijas vai pilnas rekonstrukcijas veikšanai.

Tabulā 2.1. ir redzamas kādas priekšrocības dod dažādu darbību izmantošana ceļa konstrukcijas atjaunošanā vai seguma dilumkārtas apstrādē un nomaiņā.

Tabula 2.1

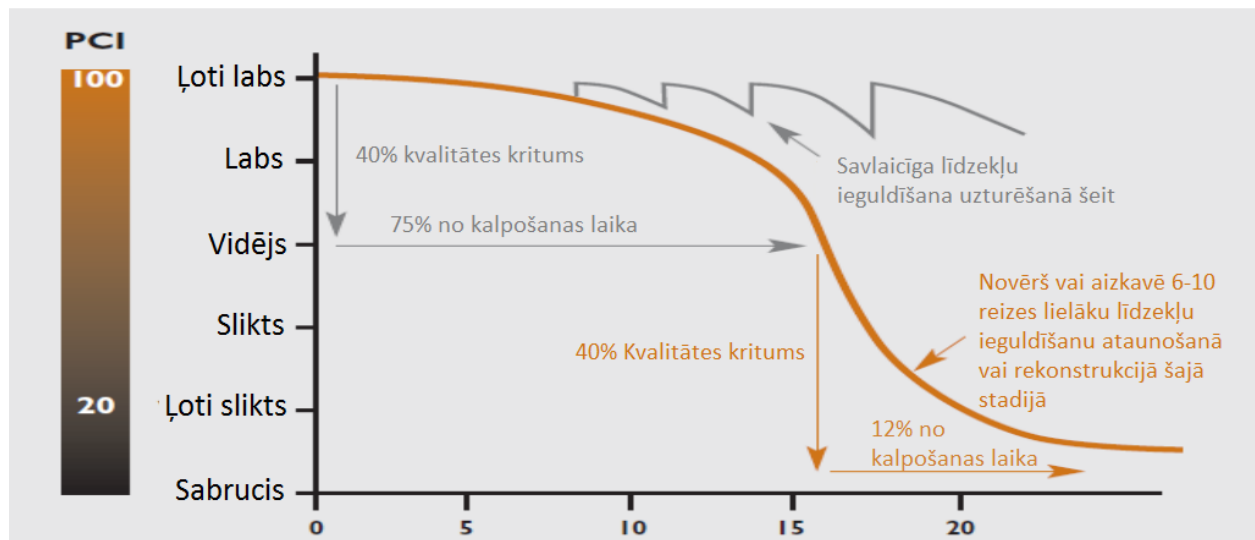
Seguma saglabāšanas vadlīnijas [6]

	Seguma saglabāšanas vadlīnijas				
	Darbības veids	Uzlabo kapacitāti	Uzlabo stiprību	Samazina novecošanos	Atjauno funkcionalitāti
	Jauna konstrukcija	✓	✓	✓	✓
	Rekonstrukcija	✓	✓	✓	✓
	Galvenā atjaunošana		✓	✓	✓
	Strukturāls pārklājums		✓	✓	✓
<b>Seguma saglabāšana</b>	Vieglā atjaunošana			✓	✓
	Preventīvā uzturēšana			✓	✓
	Periodiskā uzturēšana				✓
	Korektīvā uzturēšana				✓
	Ārkārtas uzturēšana				✓

Autoceļu seguma preventīvās uzturēšanas mērķis ir saglabāt (aizsargāt) esošā seguma (arī segas) kalpotspēju. Lai preventīvā uzturēšana būtu efektīva, to jāveic pirms parādās būtiski bojājumi (noguruma plaisas, bitumena oksidācija u.c.) lietojot tādas preventīvās uzturēšanas metodes, kā virsmas apstrāde (*chip seal*), BBTM segumus u.c. atjaunošanas veidus [7].

2.2. attēlā ir redzams, ka līdzekļu ieguldīšana preventīvajā uzturēšanā ceļa posmos, kuru seguma stāvoklis vērtējams no laba līdz ļoti labam, var aiztaupīt 6 – 10 reizes lielāku līdzekļu ieguldīšanu posma atjaunošanai nākotnē vai vēl vairāk, ja jāveic pilna ceļa rekonstrukcija [4].

Uz vertikālās ass ir atzīmēts seguma stāvokļa indekss (PCI - *pavement condition index*), to iespējams noteikt katram ceļa posmam.



2.2. att. Seguma pasliktināšanās likne [4].

### 2.1.1. SEGUMA STĀVOKĻA INDEKSS (PCI)

#### Pamatprincipi

Lai laikus prognozētu virskārtas atjaunošanas darbus, ir nepieciešams veikt seguma stāvokļa novērtēšanu. Kā vienu variantu var minēt - seguma stāvokļa indeksa (PCI) aprēķins.

PCI ir salīdzinoši vienkāršs veids, kā veikt ceļa segas virskārtas stāvokļa novērtēšanu. Šī metode ļauj identificēt nepieciešamos uzturēšanas un atjaunošanas darbus visā ceļu tīklā, kā arī nodrošināt, ka ceļu uzturēšanai paredzētie līdzekļi tiek izlietoti lietderīgi. Indekss ir robežās no 0-100, kur 0 ir iespējami sliktākais stāvoklis un 100 ir maksimāli labākais [7].

PCI indekss apraksta divus kritērijus:

- Seguma virsmas bojājumu veidu, apmēru, pakāpi (parasti plaisas, rīses);
- Līdzenumu un braukšanas komfortu.

PCI ir subjektīva ceļa seguma stāvokļa novērtēšanas metode, kas balstīta uz seguma stāvokļa inspekcijām un stāvokļa izmaiņu novērošanu. Šis indekss ļauj novērtēt pašreizējo ceļu tīkla stāvokli, kā arī tā izmaiņas laika gaitā. Ceļu tīklu apbraukā pieredzējuši speciālisti, kuri sistemātiski veic tā stāvokļa novērtēšanu. Rezultāti tiek apkopoti datu bāzē to novērtēšanai un tālākai izmantošanai. PCI ieteicams veikt katru gadu, lai būtu iespējams novērtēt ceļa stāvokļa pasliktināšanās tempus. (Latvijā tas būtu jāveic pavasara laikā, kad pēc ziemas ceļu stāvoklis pasliktinās visvairāk).

PCI var tikt izmantots lai [7]:

- Identificētu posmus, kuriem nepieciešami tūlītēji uzturēšanas darbi vai atjaunošana;
- Uzraudzītu seguma stāvokli laika gaitā;
- Izstrādātu ceļu tīkla preventīvu (profilaktisku) uzturēšanas stratēģiju;
- Izstrādātu ceļu uzturēšanas budžetu;
- Novērtētu seguma būvniecībā izmantotos materiālus un projektētos asfaltbetona maisījumus.

PCI ieviešanas soļi

Lai gan PCI balstās uz subjektīvu novērojumu un secinājumu izstrādi, tomēr iegūtajam rezultātam jāspēj objektīvi atspoguļot ceļa stāvokli [7]. PCI jābalstās uz:

- Sistemātiski sadalītiem autoceļa posmiem;
- Autoceļu inventarizāciju;
- Autoceļu defektu vienotu klasifikāciju un reitingu sistēmu.

*Autoceļu posmi:* Lai izstrādātu PCI, ceļu tīkls un ceļi ir jāsadala pārvaldāmos posmos ar nosacīti vienveidīgu seguma konstrukciju. Tiem jābūt ar līdzīgiem projektēšanas kritērijiem un satiksmes intensitāti. Pilsētvidē šie posmu garumi var būt tikai 150 m gari, tas atkarīgs no tā, cik ceļš/posms ir problemātisks. Ceļu posmi ārpus pilsētām var būt līdz pat 10 km gari, atkarībā no šī posma vienveidīguma [7].

*Autoceļu inventarizācija:* Par katru ceļa posmu ir jābūt zināmai šādai informācijai:

- Ceļa klase – galvenais, reģionālais, vietējas nozīmes ceļš;
- Garums, platums, ģeometrija;
- Satiksmes veids un intensitāte;
- Seguma tips – elastīgs, stings vai kompozītu;
- Oriģinālās būvniecības laiks;
- Uzturēšanas un atjaunošanas vēsture;
- Pašreizējais stāvoklis pamatojoties uz PCI [7].

Autoceļa seguma novērtēšanai virsmas bojājumus ieteikts sadalīt 3 grupās[7]:

*Seguma virsmas defekti*

- Defragmentācija (bedres);
- Seguma "svīšana" (izsvīdumi);
- Nodilums

*Seguma virsmas deformācijas*

- Seguma viļņošanās un stumšanās;
- Rises;

*Plaisas*

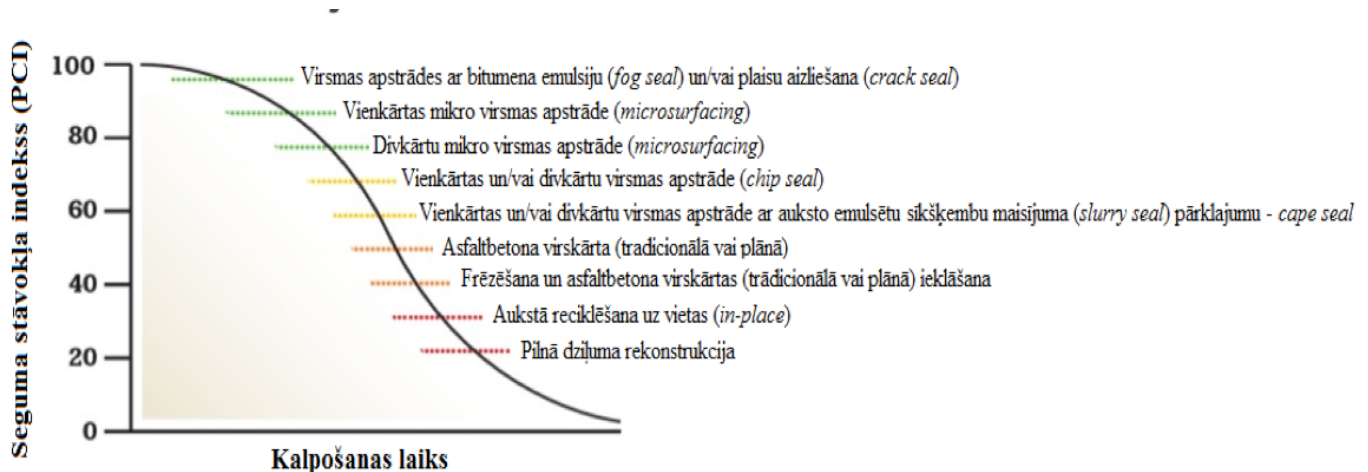
- Garenplaisas;
- Noguruma
- Garenšuves plaisāšana;
- Seguma malu plaisāšana;
- Šķērsplaisas.

Vēlams, lai PCI seguma stāvokļa novērtēšanu veic divi speciālisti. Zemāk ievietotajā 2.3. attēlā ir redzams uzskatāms piemērs par to, kāda veida autoceļu analīzes veidlapu izmanto Ontario, Kanādā.

2.4. attēlā parādīta piemērotā seguma atjaunošanas metode atkarībā no seguma stāvokļa indeksa (PCI) atbilstoši principam "*Right road, right treatment, right time*", kuru piedāvā *Asphalt Pavement Systems (APS)*. Attēls ir tikai ilustratīvs un nav piemērojams automātiski kādam noteiktam PCI indeksa rezultātam. Tā mērķis ir parādīt iespējamus atjaunošanas variantus.

		Svars seguma atjaunošanās stratēģijā	Bojājumu pakāpe (Si)					Bojāto vietu blīvums (Di)					
			Ļoti zema	Zema	Vidēja	Liela	Ļoti liela	Zems	Vidējs	Biežs	Plašs	Viscaur	
								< 10%	10 - 20	20 - 40	40 - 80	> 80%	
Seguma bojājumi		<b>W<sub>i</sub></b>	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Virsmas defekti	Izdrupšana ( <i>Ravelling</i> )	3.0		x					x				
	Svišana ( <i>Bleeding</i> )	1.5		x					x				
Virsmas deformācijas	Stumšanās ( <i>Shoving</i> )	1.0	x					x					
	Rises	3.0	x					x					
	Sagrozišanās ( <i>distortion</i> )	3.0		x					x				
Plaisas	Garenplaisa riteņa sliežu vietā	Viena vai vairākas	1.5	x					x				
		Tiklveida ( <i>Alligator</i> )	3.0	x					x				
	Garenass plaisa	Viena vai vairākas	0.5			x					x		
		Tiklveida	2.0	x					x				
	Apmalles plaisa	Viena vai vairākas	0.5			x					x		
		Tiklveida	1.5			x					x		
	Šķersplaisa	Puse garuma, pilna garuma, vairākas	1.0	x					x				
		Tiklveida	3.0	x					x				
	Likumainā garenplaisa		1.0		x					x			
	Haotiska		0,5										

2.3. att. Seguma virsmas novērtēšanas tabula Ontario, Kanādā [7]



2.4.att. Virsmas atjaunošana atbilstoši principam  
 “Right road, right treatment, right time” [8]

## 2.2. BITUMINĒTO SEGUMU BOJĀJUMU VEIDI

### 2.2.1 NOGURUMA PLAISAS

Transporta slodzes ietekmē asfaltbetona seguma dilumkārtas apakšējā joslā veidojas stiepes spriegumi un deformācijas, kuri veicina noguruma plaisu veidošanos (skat. 2.5. att.). Stiepes spriegumi un deformācija apakšējā asfaltbetona dilumkārtas joslā ir atkarīgi no:

- Temperatūras;
- Asfaltbetona slāņa biezuma;
- Ceļa segas apakšējo slāņu stiprības;
- Transporta slodzes;
- Automobiļu ātruma;
- Bitumena novecošanās;
- Asfaltbetona īpašībām (sablīvējums).

**Jebkurš virsmas atjaunošanas veids šī bojājuma novēršanai būs neefektīvs.**

Ceļa segai ar šo bojājumu veidu jāveic rekonstrukcija pilnā dziļumā.





2.5. att. Noguruma plaisas [9] Blokveida plaisas

### 2.2.2. BLOKVEIDA PLAISAS

Blokveida plaisas (skat. 2.6. att.) veidojas paātrinātā bitumena novecošanās rezultātā (vieglo frakciju izgarošana) vai izvēloties neatbilstošu bitumena klasi. Rezultātā samazinās saistvielas daudzums, palielinot seguma stingumu un trauslumu. Šī bojājuma veidošanās dēļ bitumens nespēj izplesties un sarauties cikliskās temperatūras iespaidā. Blokveida plaisas (rukuma plaisas) uz ceļa seguma veido taisnstūra fragmentus ar laukumu 0.1 līdz 10m<sup>2</sup>. Galvenie rašanās iemesli [9]:

- Vecs un izžuvis maisījums;
- Asfaltbetons ieklāts ar pārāk zemu bitumena saturu;
- Smalks minerālmateriāla maisījums ar zemas penetrācijas klases bitumenu un bitumenu absorbējošs minerālmateriāls.

Virsmas atjaunošanai var izmantot **plānkārtas asfaltbetonu BBTM**, vienkārtas vai vairakkārtu virsmas apstrādi, aukstu emulsētu šķembu maisījumu plānām dilumkārtām (*slurry seal*) vai mikro virsmas apstrādi (*microsurfacing*).



2.6. att. Blokveida plaisas [9]

### 2.2.3 SEGUMA GARENPLAISAS UN ŠĶĒRSPLAISAS

Seguma nomales plaisām, garenplaisām un šķērsplaisām ir izolēts un patvaļīgs raksturs (skat. 2.7.-2.9. att.). Tās veidojas neatbilstoši izveidotās šuvju vietās, nesaistītu pamatnes grunts slāņu nobīdes rezultātā, neatbilstošs nomales profils (garenplaisas), temperatūras svārstību rezultātā, tehnoloģiskais salaidums (šķērsplaisas) vai nepietiekošas apmales nestspējas dēļ (apmales plaisas). Preventīvā darbība šo bojājumu attīstības novēršanai ir plaisu aizpildīšana ar mastiku (*crack seal*).



2.7. att. Seguma nomales plaisas [9]



2.8. att. Seguma šķērsplaisa (termoplaisa) [9]



2.9. att. Seguma garenplaisas [9]

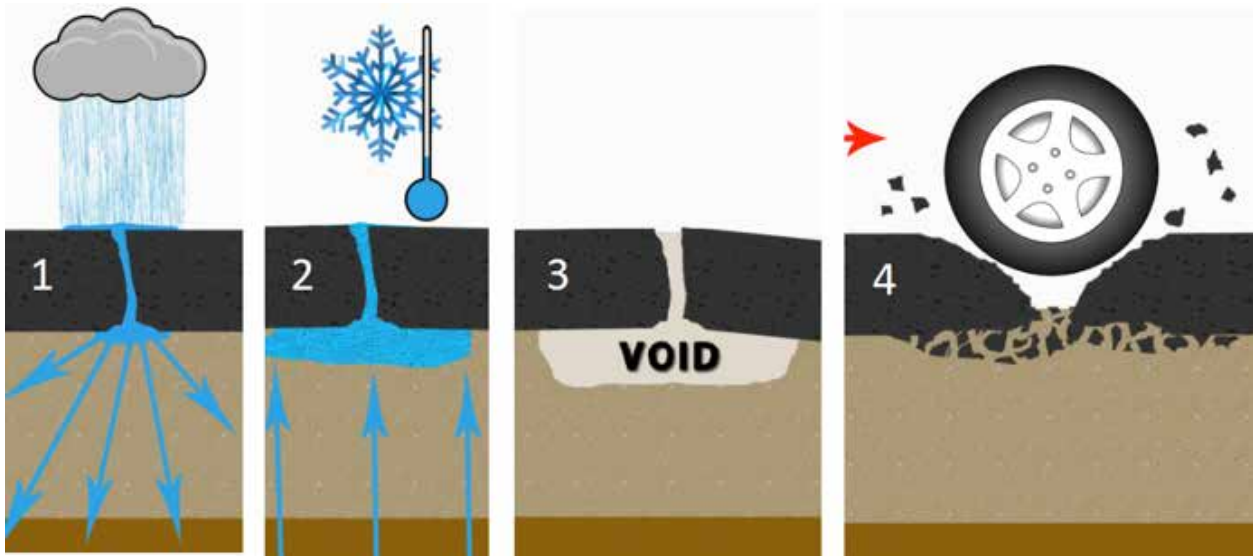
### 2.2.4 BEDRES

Bedres (skat. 2.10.att.) ceļa segumā parasti veidojas, turpinoties noguruma plaisu vai citu bojājumu attīstībai. Tas nozīmē, ka tajā momentā, kad izveidojas plaisas seguma virskārtā, tad konstrukcija nav pasargāta no ūdens ieplūšanas tajā. Ūdenim ieplūstot konstrukcijā veidojās izskalojumi un, pazeminoties āra temperatūrai, šis ūdens sasilst. Ūdens sasilstot izplešas, paceļot saistītās seguma kārtas augšup. Gaisa temperatūrai paaugstinoties, ledus izkūst un transportlīdzekļu pārvietošanās rezultātā tiek salauzts asfaltbetons, izveidojot bedres. Latvijā bedru izveidošanos visvairāk tiek novērota pavasarī, kad āra temperatūra palielinās, ledus izkūst, izveidojot tukšumu zem saistītajām kārtām (skat. 2.11. att.) .

Lai novērstu bedru veidošanos, ir preventīvi jāveic ceļa virskārtas bojājumu labošana. Jāveic plaisu aizpildīšana ar mastiku. Tomēr, ja tas ir nokavēts, tad bedru

aiztaisīšanai jāliek ielāpi - lokālo bojājuma vietu atjaunošana ar bituminēto materiālu

(skat. 2.12. att.). Ja šie bojājumi nav saistīti ar ceļas segas struktūru, tad **seguma virsmas atjaunošanu var veikt, izmantojot plānkārtas asfaltbetonu BBTM.**



2.10. att. Bedres veidošanās process [10]



2.11. att. Bedre [11]



2.12. att. Ielāpis [11]

### 2.2.5 RISES

Rises ir virsmas pazemināšanās riteņu sliežu vietās. Rises ir īpaši labi redzamas pēc lietus, kad tās ir piepildītas ar nokrišņu ūdeni. Risēm ir 2 galvenie veidošanas iemesli:

- Asfaltbetona plastiskums augstās ekspluatācijās temperatūrās un transporta slodzes ietekmē (iespieduma un izspieduma rise);
- Apakšējo slāņu – saistītā un nesaistītā minerālmateriāla nestspējas trūkums;

Ceļa segumu, kas bojāts ar risēm (skat. 2.13. att.) atjaunošana ar plānkārtas asfaltbetonu ir piemērota, ja rises izveidojas seguma sablīvēšanās rezultātā līdz tiek sasniegts materiāla stabils stāvoklis. Savukārt, ja rīšu veidošanās pamatā ir materiāla plastiskums (nestabils materiāls), kā arī apakšējo slāņu zema nestspēja, tad virsmas atjaunošana ne ar vienu no metodēm nav piemērota. Svarīgi norādīt, ka virsmas atjaunošanas tehnoloģija būs atkarīga no rises dziļuma.

Lietus laikā rises var izsaukt akvaplanēšanu, jo tām ir tendence "vilkt" transportlīdzekli iekšā tajās. Tādējādi vadītājs var zaudēt kontroli pār transportlīdzekli un izraisīt avāriju.



2.13. att. Rises [12]

### 2.2.6 SEGUMA VIĻŅOŠANĀS UN STUMŠANĀS

Ceļa seguma viļņošanās un stumšanās (skat. 2.14., 2.15. att.), sablīvējot asfaltbetonu vai smagā transporta slodzes ietekmē, veidojas, ja izvēlēts neatbilstošs asfaltbetona tips (maisījumā ir pārāk augsts bitumena saistvielas saturs, asfaltbetonā ir liels noapaļotu šķembu daudzums vai pārāk augsts smalkās pildvielas saturs.

Seguma viļņošanās un stumšanās veidojas perpendikulāri satiksmes virzienam. Galvenokārt veidojas vietās, kur satiksme apstājas un uzsāk braukšanu - vietās pie luksoforiem, autobusu pieturās (seguma viļņošanās), kā arī vietās kur HMA savienojas ar neelastīgu segumu (seguma stumšanās). Veicot urbumus ir jāizpēta, vai šie defekti notiek tikai virskārtā vai arī zemākās kārtās. Ja tā notiek virskārtas ietvaros, tad var piemērot virskārtas frēzēšanu un **plānkārtas asfaltbetonu BBTM ieklāšanu**.



2.14. att. Seguma viļņošanās [13]



2.15. att. Seguma stumšanās [13]

### 2.2.7 SEGUMA "SVIŠANA"

Saistvielas izplūšana (svīdums, migrācija) (skat. 2.16. att.) uz seguma virsmas saistītā ar pārāk augstu bitumena saturu vai neatbilstošu (pārāk zemu) porainību, vai, veicot plaisu aizpildīšanu, izmantots pārāk liels mastikas daudzums, kurš piesātinājis segumu ar brīvu bitumenu. Tāpat šis bojājums var veidoties, izmantojot pārāk lielu emulsijas daudzumu starp saistes kārtu un dilumkārtu. Seguma svišanas ietekmē lietus laikā var zust saķere ar ceļa virsmu.

Virsmas atjaunošanai var izmantot **plānkārtas asfaltbetonu BBTM**, vienkārtas vai vairākkārtu virsmas apstrādi, aukstu emulsētu šķembu maisījumu plānām dilumkārtām (*slurry seal*) vai mikro virsmas apstrādi (*microsurfacing*).



2.16. att. Seguma svišana (bleeding) [14]

### 2.2.8 NODILUMS

Ceļa seguma virsmas nodilums (skat. 2.17. att.) veidojas, izvēloties zemas nodilumizturības (Nordiskā vērtība, Losandželosas koeficients) minerālmateriālu. Būtisks iemesls, kāpēc granīta izmantošana ceļa dilumkārtā ir rekomendējama, jo Latvijā dolomīts ar augstu drupināšanas pretestību un nodiluma vērtību ir reti sastopams. Nodilumu pastiprina riteņu radžu izmantošana ziemas laikā. Šādas virsmas ar paaugstinātu nodilumu ir ar zemu saķeres koeficientu, tādējādi palielinot bremzēšanas ceļa garumu.

Virsmas atjaunošanai piemērots **plānkārtas asfaltbetons BBTM**, vienkārtas vai vairakkārtu virsmas apstrāde (*chip seal*), auksts emulsēts šķembu maisījums plānām dilumkārtām (*slurry seal*) vai mikro virsmas apstrādi (*microsurfacing*).



2.17. att. Noslīpētas šķembas (nodilums) [15]

### 2.2.9 IZDRUPUMI

Seguma virsmas daļiņu izdrupumi (skat. 2.18. att.) veidojas asfaltbetona šķembu pārvietojuma un nobīdes rezultātā. Šī bojājuma veidošanās iemesli ir rupjo šķembu daļiņu nepietiekošā saiste ar bitumenu (pārāk augsts putekļaino daļiņu saturs), segregācija, neatbilstošā sablīvēšana būvniecības laikā (pārāk zemā temperatūra) vai paātrinātā bitumena novecošanās. Kā būtisku iemeslu var arī minēt ceļu tīrīšanu ziemas laikā, kad sniega tīrītāju lāpsta ir piespiesta pie seguma, un, ja ceļa virsma ir nevienmērīga, tad var tikt izrauti robei dilumkārtā.

Virsmas atjaunošanai ir piemērotās vairākas metodes kā mikro virsmas apstrāde, auksts emulsētu šķembu maisījums plānām dilumkārtām, kā arī **plānkārtas asfaltbetons BBTM**.



2.18. att. Virsmas izdrupumi nepietiekama materiāla blīvuma dēļ [16]



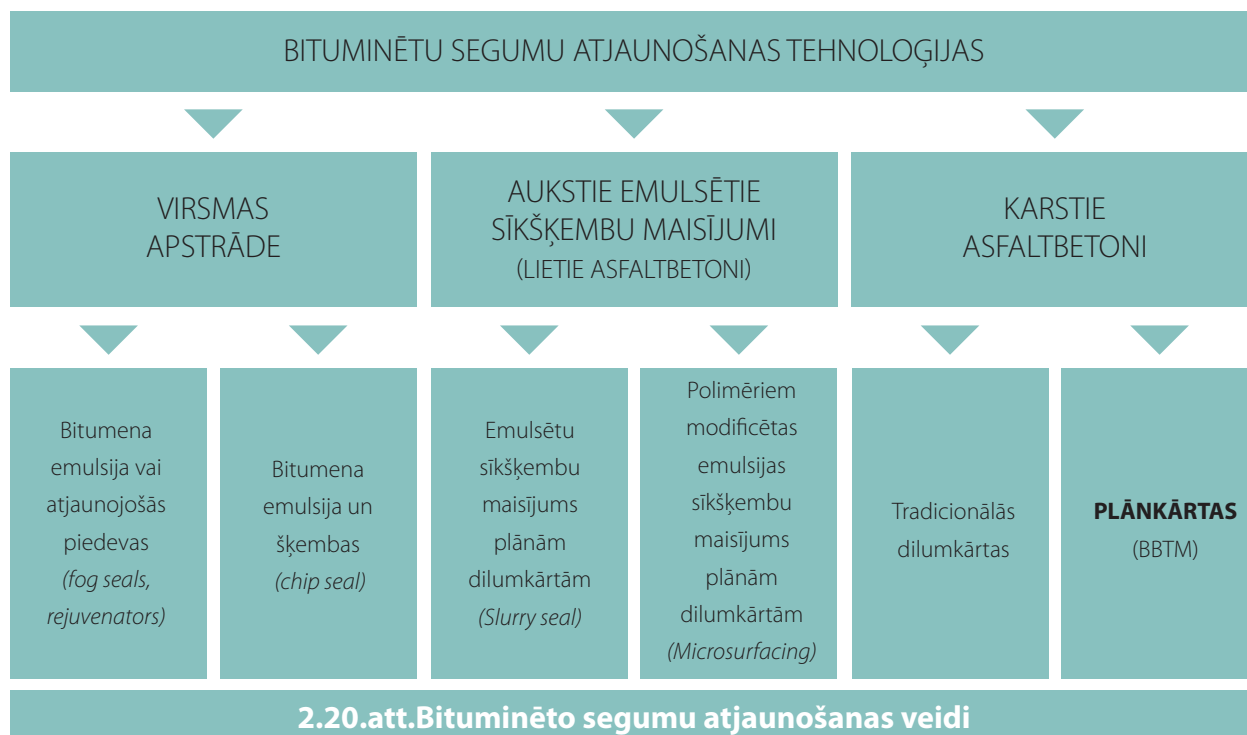
2.19. att. Virsmas izdrupumi radušies no sniega tīrīšanas [16]

## 2.3. BITUMINĒTO SEGUMU ATJAUNOŠANAS TEHNOLOĢIJAS

Vienu un to pašu uzturēšanas tehnoloģiju var pielietot dažādiem ceļa seguma stāvokļiem, tomēr šiem pasākumiem būs atšķirīga funkcija. Piemēram, uzturēšanu veicot labas kvalitātes segumam (preventīvs pasākums), tās funkcija būs pagarināt seguma ekspluatācijas laiku, uzlabojot seguma virsmas īpašības un aizkavējot bitumena cietaipšanu oksidācijas rezultātā. Savukārt, pielietojot virsmas apstrādi ceļa segumiem ar lieliem bojājumiem (ārkārtas jeb kritiskais stāvoklis), tās funkcija būs noturēt (salīmēt) seguma daļas, lai saglabātu vienotu struktūru līdz rehabilitācijai vai rekonstrukcijai.

Pastāv vairākas seguma virsmas atjaunošanas tehnoloģijas (skat. 2.20. att.):

- virsmas apstrāde ar bitumena emulsiju vai atjaunojošām piedevām (*fog seals, rejuvenator*);
- vienkārtas un divkārtu virsmas apstrāde un tās paveidi (*chip seal*);
- auksts emulsētu sīkšķembu maisījums plānām dilumkārtām – aukstie lietie asfaltbetoni (*slurry seal*);
- auksts polimērmodificētas emulsijas šķembu maisījums plānām dilumkārtām - mikro virsmas apstrāde ar polimēriem modificētu emulsiju (*microsurfacing*);
- plānkārtas asfaltbetons (*BBTM*);
- ļoti plānas kārtas asfaltbetons (*ultrathin friction course*);



### 2.3.1. BITUMENA EMULSIJAS PĀRKLĀJUMS (FOG SEAL)

#### Pielietojums

Emulsijas pārklājuma metode ir seguma virskārtas saglabāšanas veids, kas papildina esošo virsmu ar jaunu bitumenu vai atjaunojošām piedevām. Emulsijas pārklāšana ir lēts esošā seguma virskārtas atjaunošanas veids. Šī emulsija nesatur šķembas un ir atšķaidīta līdz 50% [17].

Paredzētais nolūks emulsijas pārklājuma izveidei ir tāds, ka izsmidzinot to uz virskārtas tas pārklāj to ar vienmērīgu pārklājumu un vietās, kurās ir notikusi liela bitumena oksidācija tas atjauno stabilitāti. Tajā pašā laikā aizsargā visu pārējo konstrukciju no ūdens ietekmes.

Ja emulsijas pārklājums tiek nepareizi piemērots, tad var veidoties ļoti slidena ceļa virskārta. Tā ir piemērota ceļiem, kam virsmas tekstūra ir atvērta tipa (*open graded*) [17].

Emulsijas pārklājumu (bez šķembām un aizpildītāja) visbiežāk pielieto ceļiem ar zemu satiksmes intensitāti. *Ceļu specifikācijās 2017* nav norādījumu par šādu virsmas apstrādes veidu, līdz ar to piemēru par tehnoloģisko procesu un pielietotajiem materiāliem var ņemt no citu valstu pieredzes.

Bitumena emulsijas pārklājuma galvenie uzdevumi:

- sīku plaisu aizpildīšana;
- atjaunot novecojušo bitumenu segumā (skat. 2.21. att.);
- aizkavēt nodilumu;
- nodrošināt labāku kontrastu starp segumu un horizontālo marķējumu (lietojot uz vienkārtas vai divkārtu apstrādētajām virsmām);
- attālināt laiku citu dārgāku virsmas atjaunošanas (apstrādes) metožu izmantošanai.





**2.21.att. Ar bitumena emulsiju apstrādāts segums. [18]  
a) bitumena emulsijas izsmidzināšana; b) seguma virsma pirms un pēc apstrādes**

Bitumena emulsijas pārklājumam paredzētais **kalpošanas laiks ir 2-3 gadi**. [5] Pēc tam ir jāveic atkārtota bitumena emulsijas izsmidzināšana vai arī jāpielieto cita atjaunošanas metode. Aptuvenās izmaksas (2016. gada cenas) ir:

- 0,34-1.72 €/m<sup>2</sup> [5];
- 2210,0 – 11180,0 € par vienu divu joslu ceļa kilometru (joslas platums 3m).

#### Ierobežojumi

Emulsijas pārklājums nav paredzēts lielas intensitātes ceļiem, jo tā uzklāšanas tehnoloģiskais process aizņem daudz laika, kā arī augsta satiksmes intensitāte ievērojami ātrāk nodeldē uzklāto kārtu. **Šo virsmas atjaunošanas veidu nedrīkst izmantot blīvā asfaltbetona virskārtai, jo tiks samazināta saķere**. Šis atjaunošanas veids **piemērots šķembu mastikas asfaltbetoniem** ar noslāņotu (izjauktu) ceļa seguma virsmas struktūru (reveling), bet **nav piemērots, ja segumā ir rises, seguma stumšanās (*shoving*) un dziļas plaisas**.

#### Materiāli

Emulsijai tiek izmantota anjonu vai katjonu lēnas reakcijas emulsija. Emulsija parasti papildus tiek atšķaidīta ar ūdeni, lai būtu vieglāk uzklājama. Iespējama arī vidēji ātras reakcijas emulsijas lietošana, bet tai jābūt polimērmodificētai.

#### Iestrāde

Apstrāde tiek veikta ar specializētām ceļu būves mašīnām – virsmas tīrīšana ar mehānisku slotu (skat. 2.22. a att.) un bitumena emulsijas izsmidzinātāju (skat. 2.22. b att.). Satiksmes ierobežošana uz 2 - 3 stundām pēc virsmas apstrādes. Bitumena emulsijas patēriņš 0,45-0,7 l/m<sup>2</sup>. Seguma virsmai jābūt sausai un tās temperatūrai jābūt virs +16°C.



2.22.att. Mehāniskā slotā (a) un emulsijas izsmidzinātājs (b) [19]

### Bitumena emulsijas



2.23.att. Iestrādes shēma seguma apstrādei ar bitumena emulsiju [20].

## 2.3.2. VIENKĀRTAS VIRSMAS APSTRĀDE UN TĀS PAVEIDI (CHIP SEAL)

### Pielietojums

Vienkārta un divkārtu virsmas apstrādes metode ir aprakstīta *Ceļu specifikācijās 2017* p. 6.6. Šīs metodes pamatā ir bitumena emulsijas izsmidzināšana un tūlītējā vienas frakcijas (vienkārta virsmas apstrādei: 4/8; 8/11; 11/16) vai divu frakciju šķembu (divkārtas virsmas apstrādei: 8/11 un 2/4, 8/11 un 4/8, u.c.) ieklāšana. Virsmas apstrādes rezultātā veidojas jauna nodiluma virsma (skat. 2.24. att.).

Virsmas apstrādi galvenokārt izmanto:

- ūdens necaurlaidīgās virsmas izveidei;
- sīkplaisu aizpildīšanai;
- seguma saķeres koeficienta uzlabošanai;
- virskārta aizsardzībai no saules radiācijas.



2.24.att. Vienkārtas virsmas apstrāde [21]

Vienkārtas virsmas apstrāde paildzina seguma dzīves ciklu aptuveni par 5 līdz 6 gadiem, savukārt divkārtu virsmas apstrāde paildzina mūžu par 5 līdz 8 gadiem. Nosacījumi izpildās, ievērojot pareizu tehnoloģisko procesu, kā arī ievērojot pareizos laikus, kad nepieciešams veikt virsmas apstrādi. Aptuvenās izmaksas (2016. gada cenas) ir:

- 1,37– 1,72 €/m<sup>2</sup> [5] ;
- 8220,0 – 10320,0 € par vienu divu joslu ceļa kilometru. (joslas platums 3m)

### Ierobežojumi

Lai varētu pielietot virsmas apstrādes tehnoloģiju, segumam vajadzētu būt ar labi saglabājušos kopējo seguma struktūru, bez dziļām risām un lielām strukturālām plaisām (noguruma plaisas). Segumam pieļaujama maza nodiluma pakāpe, kā arī šķērsplaisas vai garenplaisas. Tā kā virsmas apstrāde atkārtoti oriģinālo profilu, tad pieļaujama rīses dziļums ir 10 – 15 mm. Ja uz remontējamās virsmas ir saistvielas svīdumi – saistvielas izplūšana (*bleeding*), tad jāsamazina bitumena emulsijas daudzumu.

**Virsmas apstrādi izmanto ceļiem ar satiksmes intensitāti AADT ≤ 5000**, jo pastāv bīstamība, ka pie lieliem ātrumiem var tikt atrautas minerālā materiāla daļiņas no uzklātā seguma. Problēmas, kas var rasties, pielietojot virsmas apstrādi ātrgaitas ceļiem:

- automašīnu bojājumi, kas rodas no seguma atrauto daļiņu dēļ;
- pārlietu liels putekļu daudzums;
- palielināts trokšņa līmenis rupja seguma dēļ;
- samazināts virsmas apstrādes dzīves ilgums, salīdzinot ar apstrādi uz zemas satiksmes intensitātes ceļiem.

Faktori, kas jāņem vērā, veicot virsmas apstrādi uz augstas satiksmes intensitātes ceļiem:

- minimālajam kārtas biezumam jābūt lielākās daļiņas izmērā, lai izvairītos no liekajām daļiņām, kas neieestrādājas virsmā;
- pirms minerālmateriālu izkaisīšanas apstrādāt to ar bitumenu, lai paaugstinātu adhēziju iekļāšanas laikā;
- lietot ar polimēriem modificētu bitumena emulsiju, lai paaugstinātu adhēziju;
- virsmas pārklāšana ar smalkāku minerālo materiālu, lai aizkavētu lielāko daļiņu izraušanu no seguma (notiek saķīlēšana);

- virsmas tīrīšana ar speciālām birstēm, lai atbrīvotos no liekām minerālā materiāla daļiņām;
- 1 – 3 stundas ievērot samazinātu satiksmes ātrumu, lai riteņu rotācijas ietekmē netiktu atrautas minerālā materiāla daļiņas.

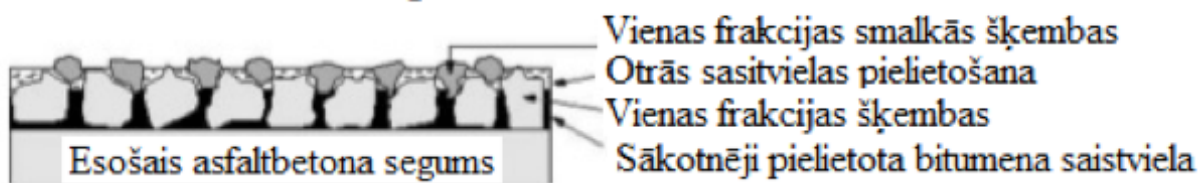
Virsmas apstrādes tehnoloģijām ir iespējami vairāki paveidi (skat. 2.25. att.):

- Vienkārtas virsmas apstrāde *Single Chip Seal* (Latvijā aprakstīta „Ceļu specifikācijās 2017”);
- Divkārtu virsmas apstrāde *Double Chip Seal* (Latvijā aprakstīta „Ceļu specifikācijās 2017”);
- Virsmas apstrāde, kur tiek lietots nedrupināts minerālmateriāls, visbiežāk smilts *Flush (Sand) Seal*;
- Virsmas apstrāde, kur bitumena emulsija tiek uzklāta uz lielākas frakcijas minerālmateriālu kārtas, to pēc tam pārklājot ar smalkāku frakciju *Sandwich Seal*;
- Vienkārtas virsmas apstrāde *Cape Seal*, kurai seko *slurry seal* virsma.

## Vienkārtas virsmas apstrāde



## Divkārtu virsmas apstrāde



2.25.att. Virsmas apstrādes tipi [21]

### Iestrāde

Pirms virsmas apstrādes segumu jāremontē – jāaizpilda dziļās un platās plaisas, kā arī jāveic lokālo bojājumu labošana. Pirms virsmas apstrādes jāveic seguma virsmas tīrīšanu. Iestrādes procesa secība:

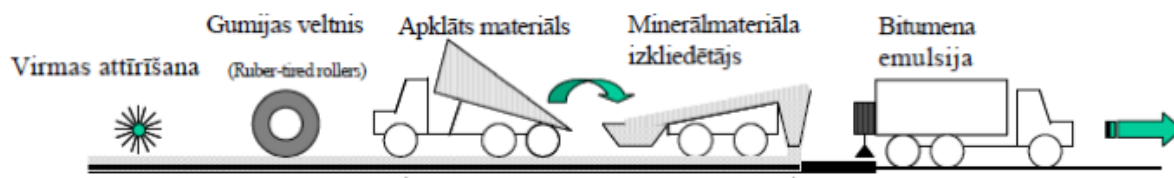
- Virsmas tīrīšana ar mehānisko slotu;
- Bitumena emulsijas izsmidzināšana ar kalibrētu izsmidzinātāju (izklīdētāju);
- Šķembu izklīdēšana (skat. 2.26. att.);
- Veltņošana ar pneimoveltni (skat. 2.27. att.);
- Virsmas tīrīšana ar mehānisko slotu no pārpalikušajām šķembām



2.26. att. Šķembu izklienētājs [22]



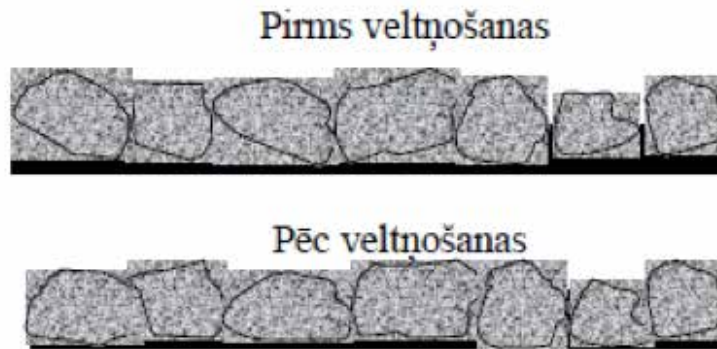
2.27. att. Veltņošana ar pneimoveltni [23]



2.28. att. Virsmas apstrādes iestrādes shēma. [20]

### Veltņošanas nozīme

Seguma materiāla virsmas veltņošanai ar pneimoveltni ir izšķiroša nozīme, lai iegūtu labus rezultātus. Veltņošana iespiež minerālmateriālu tā, ka tā garākā dimensija ir piespiesta horizontāli. Pneimatiskais veltnis arī pielāgojas ceļa šķērsprofilam tādā veidā rada vienādu spiedienu visā Veltņošanas platumā. Tas arī samazina apjomu vaļīgajām minerālmateriāla daļām. (skat. 2.29. att.)



2.29. att. Veltņošanas efekts [20]

### 2.3.3. AUKSTS EMULSĒTU ŠĶĒMBU MAISĪJUMS PLĀNAM VIRSKĀRTAS SEGUMA SLĀNIM (*SLURRY SEAL*)

#### Pielietojums

Auksts emulsētu šķēmbu maisījums plānam virskārtas seguma slānim (*slurry seal*) ir homogēns segums, kurš sastāv no lēni reaģējošas bitumena emulsijas, ūdens, smalka minerālā materiāla un aizpildītāja (skat. 2.30. att.). Visbiežāk par minerālo aizpildītāju tiek lietots portlandcements.



2.30. att. *Slurry seal* [24]

*Slurry seal* virsmu izmanto, lai:

- aizkavētu oksidēšanās procesu un seguma nodilšanu;
- uzlabot ūdens necaurlaidību;
- uzlabotu virsmas raupjumu;
- aizpildītu nelielas plaisas.

Atbilstoši *The International Slurry Surfacing Association* iedala trīs *slurry seal* virsmu tipus, kuri sastāv no atšķirīgiem materiālu daudzumiem un izmēriem un pielietojami dažādu kategoriju ceļiem:

- 3. tips paredzēts, lai labotu nelielus seguma iesēdumus, kontrolētu seguma nodilšanu un oksidēšanos

lielas noslodzes ceļiem, kā arī atjaunotu seguma virsmas saķeres īpašības. Maksimālais minerālā materiāla daļiņu izmērs ir 11,2 mm, un atlikušais bitumena daudzums emulsijā ir 6,5 – 12 %.

- 2. tips paredzēts, lai kontrolētu ceļa seguma nodilšanu un oksidēšanos uz vidējas un lielas satiksmes intensitātes ceļiem. Maksimālais minerālā materiāla daļiņu izmērs ir 5,6 - 8,0 mm, un atlikušais bitumena daudzums emulsijā ir 7,5 – 13,5 %.
- 1. tips paredzēts virsmas plaisu aizpildīšanai un virsmas pārklāšanai uz zemas satiksmes intensitātes ceļiem. Maksimālais minerālā materiāla daļiņu lielums ir 4 mm un atlikušais bitumena daudzums emulsijā ir 10 – 16 %.

Aptuvenas izmaksas (2016. gada cenas) ir:

- 1,24 – 2,09 €/m<sup>2</sup>; [5]
- 7440,0 – 12540,0 € par vienu divu joslu ceļa kilometru. (joslas platums 3m)

### **Ierobežojumi**

*Slurry seal* nav ieteicams lietot, kad segumam ir liela bojājumu pakāpe (liels plaisu daudzums, lieli rišu dziļums). Lai varētu pielietot virsmas apstrādes tehnoloģiju, segumam vajadzētu būt ar labi saglabājušos kopējo seguma struktūru, bez dziļām risām un lielām strukturālām plaisām (noguruma plaisas). Pa uzklāto segumu satiksme atjaunojama ne ātrāk kā pēc 2 stundām.

### **Materiāli**

Pielietotajam minerālajam materiālam jābūt ar pareizu granulometrisko sastāvu, izturīgam, vienvēdīgam, tīram, 100 % drupinātam. *Slurry seal* pielietojamas lēni sadalošas katjonu vai anjonu emulsijas.

Materiālam var pievienot minerālo aizpildītāju, lai uzlabotu sastāva īpašības un kontrolētu ķīmiskā procesa ātrumu. Kā minerālo aizpildītāju lieto portlandcementu, kaļķi vai alumīnija sulfātu.

### **Iestrāde**

Pirms *slurry seal* ieklāšanas segumu jāremontē – jāaizpilda dziļas un platas plaisas, kā arī jāveic lokālo bojājumu labošana. Virsmas apstrāde tiek veikta ar specializētām ceļu būves mašīnām:

- Mehāniskais virsmas tīrītājs;
- *Slurry seal* iekārta (skat. 2.31. – 2.32. att.)
- Pneimoveltnis.



2.31.att. *Slurry seal* ieklājējs [25]



2.32.att. *Slurry seal* ieklājēja shēma [25]

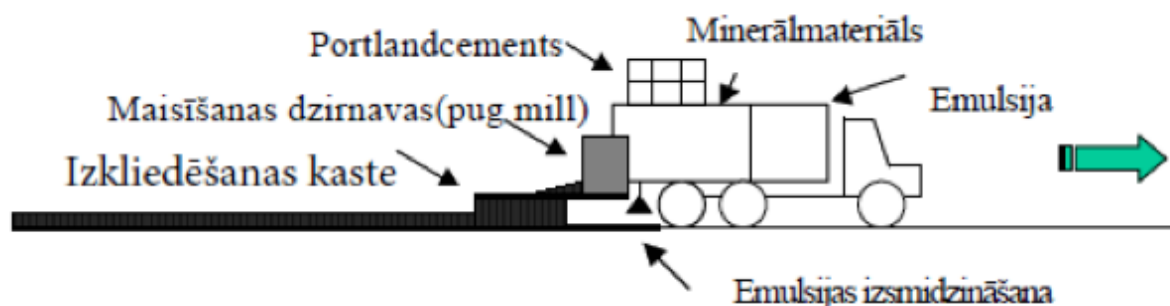


Iestrādes process iekļauj:

- Seguma virsmas sagatavošanu;
- Virsmas mitrināšanu;
- Ieklāšanu;
- Veltņošanu (ja nepieciešama);
- Saistīšanu.

Iestrādes ātrums 1,5 līdz 2 km/stundā.

Paredzamais seguma atjaunošanas veida kalpošanas laiks ir no 3 līdz 5 gadiem uz ceļiem ar vidēju un lielu satiksmes intensitāti.



2.33. att. Slurry seal iestrādes shēma [20]

### 2.3.4. AUKSTS POLIMĒRMODIFICĒTAS EMULSIJAS ŠĶEMBU MAISĪJUMS PLĀNAM VIRSKĀRTAS SLĀNIM (MICROSURFACING)

#### Pielietojums

*Microsurfacing* ir atvasinājums no *Slurry seal* virsmas apstrādes metodes. Šī virsmas apstrādes metode sākotnēji tika izgudrota Eiropā, kur tā tika pielietota ceļa profila korekcijām, rišu aizpildīšanai un saķeres koeficienta uzlabošanai uz lielas satiksmes intensitātes ceļiem (AADT no 10000 līdz 40000 automašīnas).

Apstrādes materiālā ietilpst ar polimēriem modificēta emulsija, ūdens, augstas kvalitātes un atbilstoša granulometriskā sastāva minerālais materiāls, minerālais aizpildītājs (Portlandcements) un ķīmiskās piedevas, kuras kontrolē reakcijas ātrumu. Svarīgi atzīmēt, ka *Slurry seal* ir ar nepārtrauktu bitumena fāzi, kurā izklieš minerālmateriāls, lai nodrošinātu ūdens necaurļaidīgu slāni, bet *Microsurfacing* ir ar nepārtrauktu minerālu karkasu, lai uzlabot adhēziju (saķeri).

Apstrādes tehnoloģija piemērota, lai:

- paaugstinātu seguma saķeres īpašības (saķeres koeficientu);
- samazinātu asfaltbetona oksidēšanās procesu;
- samazinātu nodilumu;
- aizpildītu risas.

Ieklātas *Microsurface* virsmas biezums svārstās no 10 līdz 20 mm. Šāda **virsmas apstrāde piemērota gan mazas, gan lielas satiksmes intensitātes ceļiem**. *Microsurface* metodes izmantošana nerada esošajam segumam papildus struktūru, kas strādātu kā pastiprinošs elements, bet gan vienkārši pārklāj virsmu. Līdz ar to, ja segumam izveidojušās jau strukturālas deformācijas (noguruma plaisas, garenvirziena plaisas), tad šāda virsmas apstrādes metode nav piemērota. ***Microsurface* ļoti labi piemērota rišu aizpildīšanai.**

**Iestrāde**

Pirms *microsurface* ieklāšanas segumu jāremontē – jāaizpilda dziļas un platas plaisas (virs 6 mm), kā arī jāveic lokālo bojājumu labošana. Apkārtējās vides temperatūrai jābūt ne zemākai par +10°C. Virsmas apstrāde tiek veikta ar specializētām ceļu būves mašīnām (skat. 2.34. – 2.36. att.).

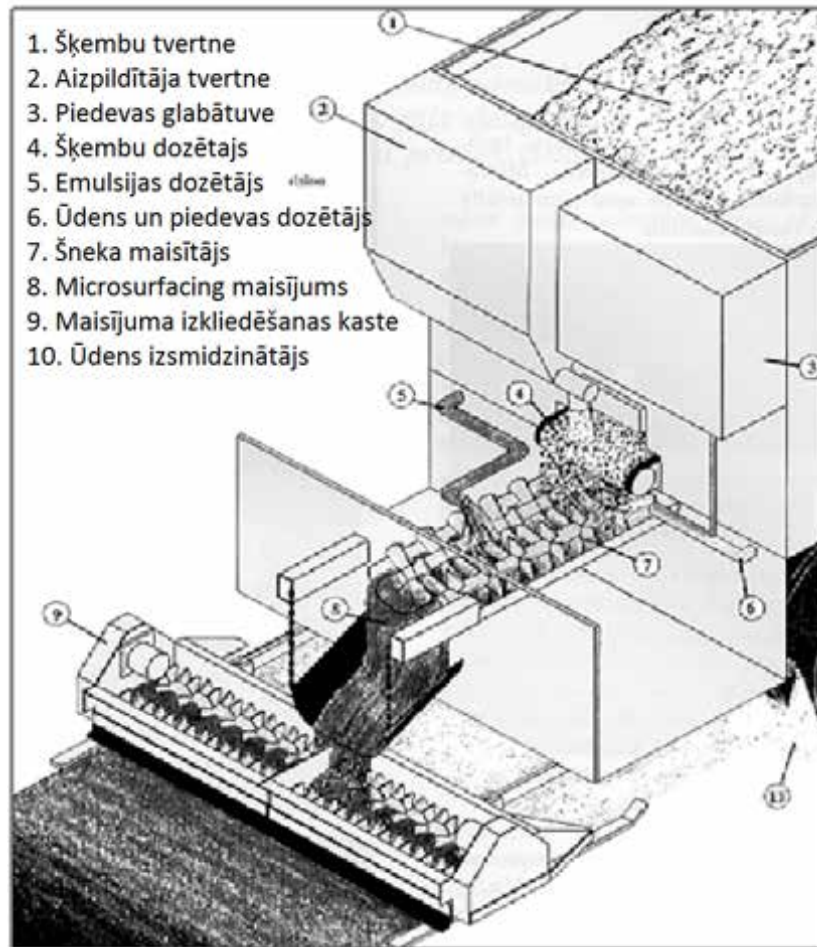


2.34.att. *Microsurfacing* ieklāšanas mašīna [26]



2.35.att. *Microsurfacing* ieklāšanas mašīnas maisījuma izkliešanas kaste [27]

Atšķirībā no vienkāršas virsmas apstrādes un *slurry seal* virsmas, kur ķīmiskais process starp saistvielām notiek apkārtējās vides faktoru (temperatūras, mitruma) dēļ, šajā procesā to kontrolē un nosaka pievienotās ķīmiskās piedevas.



2.36.att. Shematisks *microsurface* virsmas sagatavošanas process [28]

### Materiāli

Minerālmateriālam jābūt augstas kvalitātes, 100 % drupinātam. Lielākais daļiņu izmērs nedrīkst pārsniegt 8,0 mm. 4. tabulā parādīti divu raksturīgāko tipu minerālā materiāla granulometriskais sastāvs (sietu izmēri atbilstoši Amerikas Savienoto Valstu standartiem). Tips II piemērots zemākas noslodzes ceļiem, kā aizsargājošā kārtā, tips III paredzēts lielas noslodzes ceļiem, kur jāaizpilda risēs vai ir nepieciešamas labas saķeres īpašības. (skat. tab. 2.2.)

Tabula 2.2.

### Granulometriskais sastāvs II un III apstrādes tipam

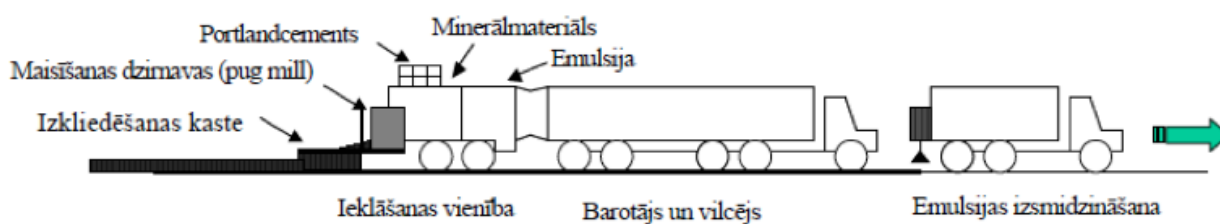
Sieta izmērs	Cauri izgājušo daļiņu daudzums	
	Tips II	Tips III
9,5 mm	100	100
4,75 mm	90-100	70-90
2,36 mm	65-90	45-70
1,18 mm	45-70	28-50
0,60 mm	30-50	19-34
0,33 mm	18-30	12-25
0,15 mm	10-21	7-18
0,075 mm	5-15	5-15

Kā emulsija visbiežāk tiek lietota katjonu ar polimēriem modificēta emulsija. Polimērs ir pievienots, lai radītu papildus elastību un stiprību materiālam, paaugstinātu tā kohēziju, adhēziju un temperatūras jutīgumu.

Kā minerālais aizpildītājs tiek lietots portlandcements vai kaļķis. Aizpildītāju lieto, lai mazinātu segregāciju, kā arī lai kontrolētu procesa ātrumu. Materiāla uzklāšana notiek ar līdzīgām specializētām mašīnām, kādas tiek lietotas *slurry seal* virsmu uzklāšanai, taču jābūt daudz spēcīgākam un ātrākam materiāla maisīšanas procesam. Paredzamais *microsurface* virsmas kalpošanas laiks ir no 4 līdz 7 gadiem.

Aptuvenas izmaksām (2016. gada cenas) ir:

- 1,58 – 2,53 €/m<sup>2</sup>;
- 11398,00 – 18258,00 € par vienu divu joslu ceļa kilometru. (joslas platumš 3m)



2.37. att. *Slurry seal* iestrādes shēma [20]

### 2.3.5. PLĀNKĀRTAS ASFALTBETONS BBTM

#### Izmantošana Eiropā

Plānkārtas asfaltbetons BBTM tiek izmantota vairākās Eiropas valstīs un valstīs ārpus Eiropas jau vairāk nekā 15 gadus ar daudzsoļiem rezultātiem. Šādi segumi ir ekonomiski izdevīgi, ātri būvējami un ar labām virsmas īpašībām. Pēdējo gadu pētījumi liecina, ka plānā asfaltbetona kārtā var samazināt troksni, paaugstināt satiksmes drošību (slīdes pretestību un ceļa pārredzamību lietus laikā), kā arī izturībā uzrāda labus rezultātus.

#### **Profesors** Nikolaides A.F. **definēja vairākas plānkārtas asfaltbetona priekšrocības [1]:**

1. Mazāks materiāla apjoms, tādējādi zemākas izmaksas, kā arī cieta un izturīga materiāla dabisko rezervju taupīšana. Plānkārtas asfaltbetona izmaksas ir līdz 45% zemākas nekā alternatīvajiem asfaltbetona veidiem. Līdz ar to, ja abos maisījumos tiek izmantots plānkārtas asfaltbetona segumam paredzētais, ar polimēriem modificētais, bitumens, tad kvalitatīvā, bet dārgā minerālmateriālu daudzums samazinās par apmēram 40%.
2. Nodrošina seguma virsmu ar ļoti labām virsmas īpašībām – ļoti labu tekstūras dziļumu un bremzēšanas pretestību.
3. Nodrošina trokšņa samazināšanu – par 2-4 dB.
4. Nodrošina virsmu ar noteiktu ūdens noteces spēju, tādējādi samazinot šļakatas.
5. Kārtai/maisījumam ir laba rīšu noturība.
6. Ātrāka iekļāšana salīdzinājumā ar tradicionālo asfaltbetonu.
7. Iepriekšējās kārtas frēzēšana, lai neceltos seguma līmenis, ne vienmēr ir nepieciešama (var klāt pa virsu iepriekšējai kārtai).
8. Līdz noteiktam līmenim spēj uzlabot vecā seguma līdzenumu, nav nepieciešama papildus kārtas līmeņošana.
9. Virsmas kārtas uzturēšanas-atjaunošanas gadījumā tiek izmantots mazāks daudzums minerālmateriālu un bitumena.
10. Lai varētu ražot plānkārtas asfaltbetonu, nav nepieciešamas nekādas izmaiņas attiecībā uz maisījuma sajaukšanas iekārtu.
11. Samazināts ieguldītā darba apjoms.

### **Tāpat ir definēti daži plānkārtas asfaltbetona trūkumi:**

1. Iebūvējams tikai labos apstākļos, jo plānā asfaltbetona kārtā strauji atdziest.
2. Manuāla ieklāšana nav iespējama.
3. Minerālmateriālu kvalitātei jābūt ļoti labai (vietējais materiāls var nederēt).
4. Trokšņa samazināšanas efektivitāte laika gaitā samazinās.

BBTM biežums ir 20-30 mm (EN 13108-2). Tā kā izcilas kvalitātes minerālmateriālu lielākajā daļā valstu ir deficīts vai nav vispār un, lai tos iegūtu, ir jāšķērso lielas distancas, kas sadārdzina izmaksas un rada CO<sub>2</sub>, tad plānkārtas asfaltbetona izmantošana samazina patērētos finanšu līdzekļus attiecībā uz transporta izdevumiem.

Rezultātā tiek samazinātas konstrukcijas izmaksas.

BBTM izmantošana ir jāizvērtē, jo tās biežums ļauj uzlabot jau esošās īpašības, tas ir, izbūvējot to uz esošās virskārtas bez tās nofrēzēšanas, tas uzlabotu tādas konstrukcijas seguma struktūras īpašības kā stiprību un deformācijas pretestību. Šādu konstrukcijas uzturēšanu ir iespējams veikt, kamēr kopējais biežums nepārsniedz 50 mm jeb divas BBTM kārtas. Balstoties uz Francijas standartu, BBTM ir 20-25 mm biezs. BBTM pagarina mūžu seguma struktūrai pret tādiem bojājumiem kā rīses, noguruma un termo plaisas. Tas veicina izturību un pretestību ūdens ietekmei, braukšanas komfortu un trokšņa samazināšanu.

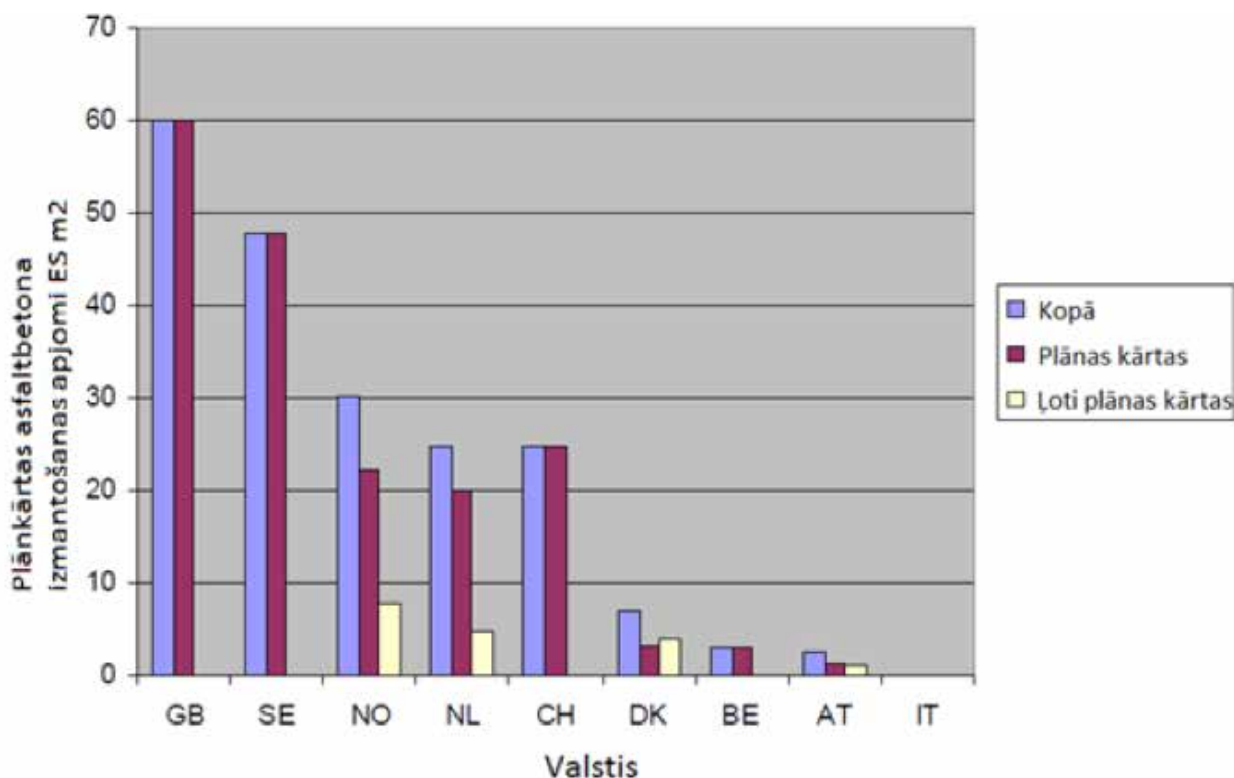
Ir noteiktas prasības, kas jāizpilda, lai šī kārtā būtu efektīva un tā pildītu paredzētās funkcijas. Pamata seguma struktūrai jānodrošina pietiekama nestspēja un atbilstošs biežums, garenprofils un šķērsprofils. Ar BBTM iespējams veikt biežuma korekcijas, neapdraudot kārtas izturību. Bitumena emulsija ir jāuzklāj uz asfaltbetona kārtas virspuses, uz kuras tiek būvēts plānkārtas asfaltbetons. Šī emulsija tiek piemērota, lai nodrošinātu labāku sasaisti starp kārtām.

Franču zinātnieki nonākuši pie secinājuma, ka BBTM ir lieliska slīdes pretestība. Tā ir labāka kā parastam blīvam asfaltbetonam. To var izskaidrot ar to, ka mazākas frakcijas minerālmateriālu izmantošanas gadījumā rīpai ar virsmu ir lielāks kontakta laukums, tādēļ asfaltbetonam ar lielāku frakciju 6 mm ir labāka slīdes pretestība nekā 10 mm. Tomēr mazāk šļakatas veidojas lielāku frakciju materiālam.

BBTM priekšrocība, to izmantojot sausā un mitrā klimatā, ir neizbēgami saistīta ar virsmas faktūru izvēlētajam segumam. Lai nodrošinātu drošu braukšanu mitros laika apstākļos, tam jābūt ar atvērtu virsmas faktūru.

Minerālmateriālu maisījums veido 95% no kopējā asfaltbetona maisījuma svara, un ļoti svarīgi, lai frakcijas būtu pareizi izsijātas. Ne mazāk svarīga ir šo materiālu forma un tekstūra. Pētījumi liecina, ka izmērs, forma un grauda kvalitāte ietekmē karstā asfaltbetona maisījumu kvalitāti.

2.38. attēlā apkopota informācija par plānas (BBTM) un ļoti plānas asfaltbetona kārtas izmantošanas apjomiem Eiropā.



2.38. att. Plānas un ļoti plānas asfaltbetona dilumkārtas izmantošana Eiropas Savienībā miljonos m<sup>2</sup> [29].

Apskatot grafiku, varam secināt, ka Lielbritānijā apjoma ziņā tiek izmantots visvairāk plānkārtas asfaltbetons. Jāpiezīmē, ka par ļoti plānas kārtas asfaltbetona izmantošanu Lielbritānijā nav informācijas. Ļoti plānas kārtas izmantošanas apjoma ziņā Norvēģija ir visaugstāk starp Eiropas valstīm. Grafikā redzami dati ir apkopoti no šajās valstīs strādājošo speciālistu pieejamās informācijas [29].

GB-Lielbritānija, SE-Zviedrija, NO-Norvēģija, NL-Nīderlande, CH-Šveice, DK-Dānija, BE-Belģija, AT-Austrija, IT-Itālija.

Asfaltbetona dilumkārtā ir dārgākā ceļa segas konstruktīvā kārtā, tādēļ, samazinot dilumkārtas biezumu, ir iespējama līdzekļu ekonomija. Grieķijā veidotajā pētījumā tika salīdzinātas autoceļa dilumkārtas pilnas dzīves cikla izmaksas. Plānotais kalpošanas ilgums tika balstīts uz esošo pieredzi. 2.3. tabulā ir redzami asfaltbetona veidi un to izmaksas. Uzrādītas arī vidējās emulsijas un seguma frēzēšanas izmaksas, lai var aprēķināt, kurš seguma virskārtas veids visas segas kalpošanas laikā ir izdevīgākais.

Vislētākais dilumkārtas veids ir mikro virsmas apstrāde, pēc tam attiecīgi seko BBTM asfaltbetoni.

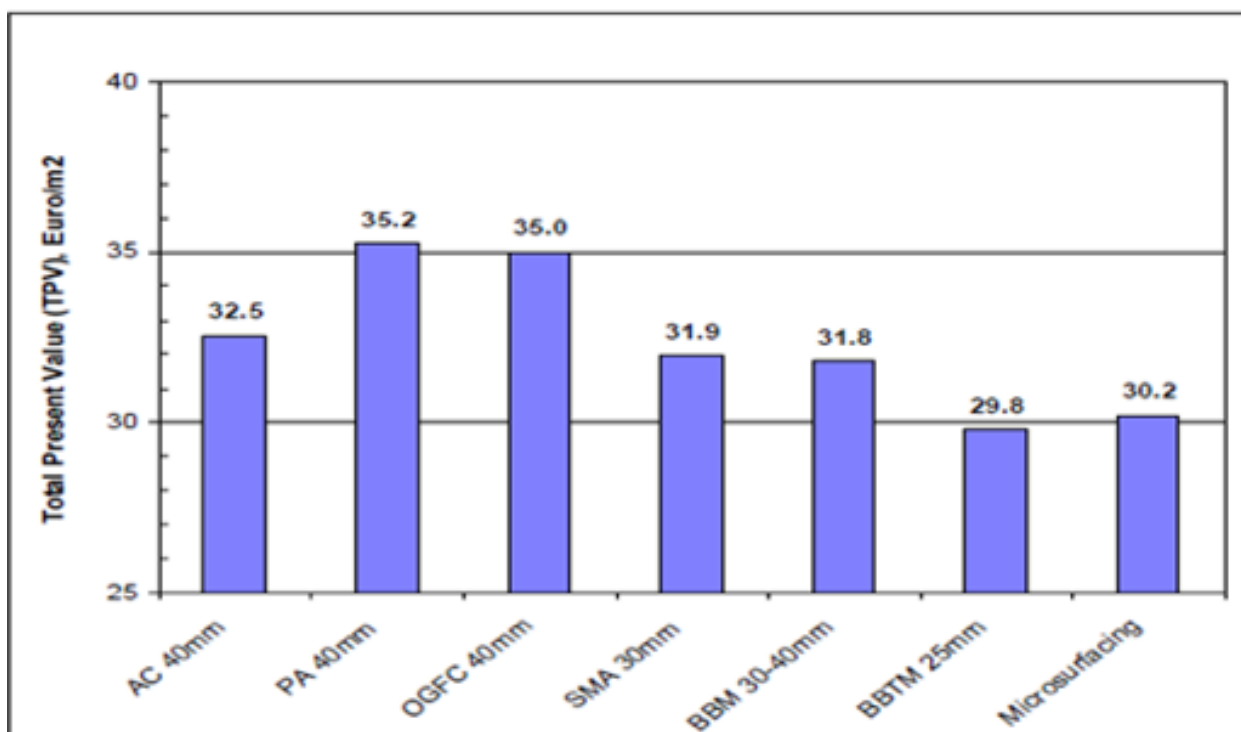
Tabula 2.3.

**Plānkārtas asfaltbetona izmaksu  
(2016. gada cenas) salīdzinājums ar tradicionāliem asfaltbetona tipiem [1]**

N.p.k.	Dilumkārtas veids	Plānotais kalpošanas ilgums	Izmaksas (Eiro/m <sup>2</sup> )
1.	Asfaltbetons (AC), 40 mm	6	3,40
2.	Poru asfalts (PA), 40 mm (tukšumi >20 %)	7	4,40
3.	Atvērtas tekstūras (OGFC) 40 mm (tukšumi <18 %)	6	3,85
4.	SMA, 30mm	9	4,40
5.	BBTM, 30 mm – 40 mm	7 (līdz 15)	3,40

Tabula 2.3.			
N.p.k.	Dilumkārtas veids	Plānotais kalpošanas ilgums	Izmaksas (Eiro/m <sup>2</sup> )
6.	BBTM, 25 mm	8 (līdz 12)	2,85
7.	Mikro virsmas apstrāde, 10 mm	5	2,35
8.	Asfaltbetons saistes kārtai, 50 mm	–	3,15
9.	Asfaltbetona apakškārta, 50 mm	–	3,10
10.	Emulsijas uzklāšana	–	0,30
11.	Frēzēšana 30 mm-50 mm	–	0,90

2.39. att. ir salīdzinātas dažādu dilumkārtas veidu pilnas dzīves cikla kalpošanas izmaksas. Balstoties uz Grieķijā aktuālām cenām, var secināt, ka porasfalts izmaksā vidēji visdārgāk, bet vislētāk BBTM asfaltbetons. Jāuzsver, ka BBTM kārtas biezums šajā publikācijā ir definēts kā 25 mm. [1]



2.39. att. Dažādu ceļa seguma dilumkārtu cenas (2016. gada cenas) par kvadrātmetru salīdzinājums [1]

### Esošās virskārtas stāvokļa novērtējums un sagatavošana

Plānkārtas asfaltbetona pārklājums ir piemērots, lai labotu rīses, nodilumu, virskārtas segregāciju u.c. bojājumus. Garenplaisām ir jāizvērtē novietojums, ja tās atrodas riteņu sliežu vietās, tad plāna pārklājuma izmantošana nav ieteicama. Garenvirziena un šķērsvirziena plaisu gadījumā būtu jāveic urbums, lai noteiktu plaisu dziļumu. Savukārt garenvirziena un tīklveida plaisu gadījumā būtu jāveic urbums, lai saprastu kādā virzienā notiek plaisu izplešanās un cik lielā apjomā. [30]

Pēc urbumu veikšanas jākonstatē, cik dziļi un plaši ir izplatīts plaisu tīkls. Lielu bojājumu gadījumā ir jāizvērtē BBTM seguma izmantošanas piemērotība. Iespējama arī atsevišķu posmu pilnīga atjaunošana un pārējā ceļa virskārtas atjaunošana ar BBTM asfaltbetonu (skat. 2.40. att.). Plašāka informācija zemāk esošajā 2.4. tabulā [30]



2.40. att. Bojāto posmu labošana pirms BBTM dilumkārtas ieklāšanas [31]

Tabula 2.4.

Ieteicamā pieeja virskārtas sagatavošanai pirms plānkārtas  
asfaltbetona dilumkārtas būvniecības [30]

Bojājuma veids	Apsekošanas veids	Apjoms	Virsmas sagatavošana pirms uzklāšanas
<b>Izdrupumi</b>	Vizuāla apsekošana	Līdz 100% no segas zonas	Notīrīt un uzklāt emulsiju
<b>Garenplaisas (ārpus riteņu trajektorijām)</b>	Vizuāla apsekošana Urbumu veidošana	Plaisu dziļumu apsekošana viršējā slānī	Nofrēzēt plaisu dziļumā, notīrīt un uzklāt emulsiju
<b>Garenplaisas (riteņu trajektorijās)</b>	Vizuāla apsekošana Urbumu veidošana	Plaisu dziļumu apsekošana viršējā slānī	Nofrēzēt plaisu dziļumā, notīrīt un uzklāt emulsiju
<b>Šķērsplaisas</b>	Vizuāla apsekošana Urbumu veidošana	Plaisu dziļumu apsekošana arī zemākos slāņos	Virskārtas nofrēzēšana, notīrīšana, plaisu aizpildīšana, emulsijas uzklāšana
<b>Aligatora vai noguruma plaisas</b>	Vizuāla apsekošana Urbumu veidošana	Plaisu dziļumu apsekošana arī zemākos slāņos	Nofrēzēt plaisu dziļumā, notīrīt un uzklāt emulsiju
<b>Rises</b>	Vizuāla apsekošana Urbumu veidošana Šķērsvirziena tranšeja	Novērtēt virskārtas bojājuma apjomu	Nofrēzēt virskārtu, notīrīt un uzklāt emulsiju

2.41. attēlā parādīti seguma bojājumu piemēri. Ja plaisas tiek atbilstoši apstrādātas, tad iespējams izmantot plānkārtas asfaltbetona dilumkārtu.





2.41. att. Vizuālie piemēri [32]

2.5. tabulā norādītas plānkārtas asfaltbetona lietošanas rekomendācijas, kad to plānots izmantot esošās dilumkārtas rekonstrukcijai.

Tabula 2.5.

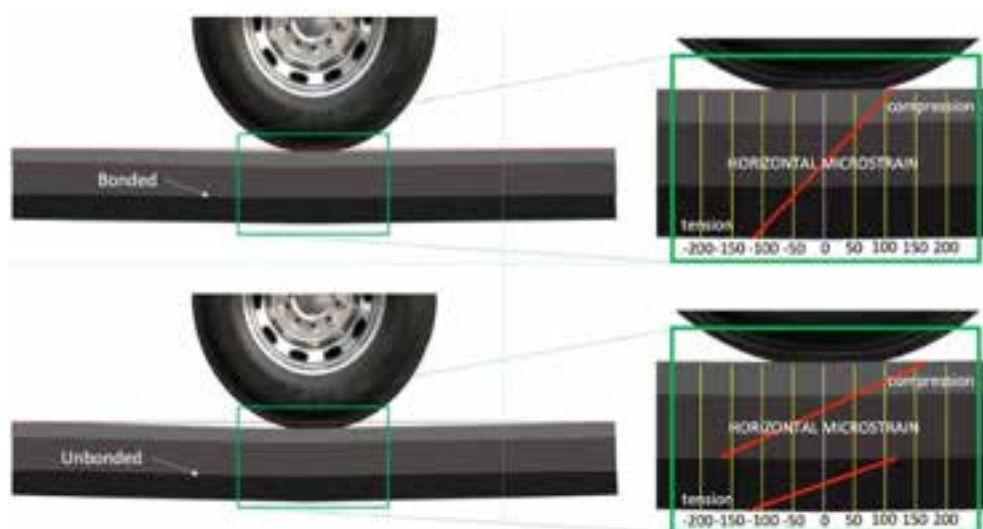
## Plānkārtas asfaltbetona lietošanas rekomendācijas [32]

Kad lietot BBTM asfaltbetonu	Kad nelietot BBTM asfaltbetonu
Vietās, kur saglabāt esošo seguma līmeni ir ļoti būtiski (notekas, zem tiltiem, pie dzelzceļa objektiem).	Virsmām, kur esošajam segumam ir augsts poru saturs (ūdens caurlaidīgu virsmu gadījumos un rupja seguma un augsta bitumena satura apstākļos) (ja vien pirms tam nav veikti frēzēšanas darbi)
Vietās, kur iespēja lietot virsmas apstrādi, tomēr ir nepieciešamība pēc trokšņa samazināšanas un braukšanas kvalitātes uzlabošanas.	Uz nepilnīgas virsmas segumiem (daudz lāpījumu)
Uz zemas intensitātes ceļiem, kur virskārtai ir nepieciešams pārklājums, bet seguma nomalēm nav.	Uz neapstrādātas virsmas (šķembām) (ja vien pirms tam nav veikta virsmas apstrāde)
Kā galīgo virsmu jaunai konstrukcijai, lai samazinātu turpmākās uzturēšanas izmaksas.	Uz pārmērīgi raupjām virsmām (ja vien pirms tam netiek uzklāts izlīdzinošais slānis).
Uz betona virsmām/tiltu klājumiem.	Ja ir nepieciešams veikt lūzuma vietas izlīdzināšanu (ja vien pirms tam netiek uzklāts izlīdzinošais slānis).
Vizuāli novērtējami bojājumi	
Seklas rīses ≤ 1,27 cm (0,5 collas)	Plašas rīses ar dziļumu >1,27 (0,5 collas) tā ir puse no 1 collas biezā asfaltbetona pārklājuma, kuru iesaka izmantot ceļa segas saglabāšanai ASV, Teksasā.
Lejupejoša plaisāšana (veicot urbumus)	Virsmas plaisas lielākas par 1 cm
Blokveida plaisas	Apgabali ar izplatītām dziļām seguma lāpīšanas pazīmēm (>20% no laukuma)
Mazāk kā 20% noguruma plaisu daudzums uz ceļa virsmas (pieņemot, ka šīs vietas tiek salabotas)	Apgabals ar blokveida plaisām (>20% no laukuma)
Garenplaisas riteņu sliežu vietās	Apgabalos, kur aizdomas par slāņu nobīdi vai nesaistīto kārtu sabrukšanu (nepieciešama ekspertīze ar radaru un urbumu veidošana)
Virskārtas labojumi dažos posmos	Konstrukcijas bojājumi, kā attēlos e un f
Šķērsvirziena plaisāšana (jāveic virsmas apstrāde pirms tam)	
Izdrupumi	
Virskārtā redzamas bitumena oksidēšanās pazīmes	

Frēzēšana ir rekomendējama šādos gadījumos:

- Virsmā redzamas oksidēšanās pazīmes, zudusi elastība, kas ir pamats jaunu plaisu veidošanās procesiem;
- Nepieciešama garenprofila lūzuma punktu koriģēšana;
- Nelielas vietas, kas bojā braukšanas kvalitāti;
- Plaša termiskā plaisāšana vai plaisas, kas orientētas lejupejoši. Vairāk kā 40% no laukuma.

Ja BBTM slikti saistās ar esošo virsmu, tad samazinās šīs kārtas kalpotspēja. Ja BBTM ir uzklāts tieši virsū bojātai dilumkārtai (neveicot frēzēšanas darbus), tad ir rekomendēta nepārtrauktas emulsijas starpslāņa izsmidzināšana. 2.42. attēlā attēlota ceļa segas kārtas darbība ar un bez emulsijas starpslāņa (gruntējuma).



2.42. att. Seguma konstrukcijas darbība ar emulsijas starpslāni un bez emulsijas starpslāņa [33].

### Materiāli

Vairākos gadījumos BBTM struktūra ir līdzīga šķembu mastikas asfalta (SMA) *gap-graded* struktūrai. Šai struktūrai ir raksturīga lauztā granulometriskā līkne. Maisījuma izgatavošanai jālieto modificēts vai augsti modificēts bitumens (polimēra saturs 6-8%), kā arī magmatiskās izcelsmes drupinātas šķembas. Maršala metode ir piemērota bitumena daudzuma optimizācijai.

### Iestrāde

BBTM ražošanas un ieklāšanas process ir līdzīgs tradicionālo asfaltbetonu ražošanai un ieklāšanai. Maisījums tiek ražots asfaltbetona rūpnīcā (pārtrauktas vai nepārtrauktas darbības tips), tad to transportē uz būvobjektu un, izmantojot ieklājējus un veltņus, veic to iestrādi. To transportējot, jāņem vērā attālums līdz būvobjektam un gaisa temperatūra, lai aizsargāt maisījumu no straujās atdzišanas. Tā kā ieklāts BBTM atdziest ļoti strauji, ir ierobežots veltņošanas laiks. Atkarībā no gaisa temperatūras blīvēšanu jāpabeidz 3-5 min pēc ieklāšanas. Ieklāta maisījuma minimālai temperatūrai pirms blīvēšanas jābūt +120°C. Blīvēšanu jāveic ar metāla valču veltņi (9 - 10,8 t). Var izmantot vibroblīvēšanu. Segumu jāsablvē vismaz par 94% no maksimālā blīvuma ar porainību ne vairāk par 6%. Blīvēšanu jāpabeidz līdz segums sasniedz temperatūru + 95°C. Satiksmi var atjaunot kad segums atdzisis līdz + 95°C.

### 2.3.6. INOVATĪVĀS PAŠATJAUNOŠANĀS TEHNOLOĢIJAS "SELF HEALING" IZMANTOŠANAS ANALĪZE SEGUMA ATJAUNOŠANAI

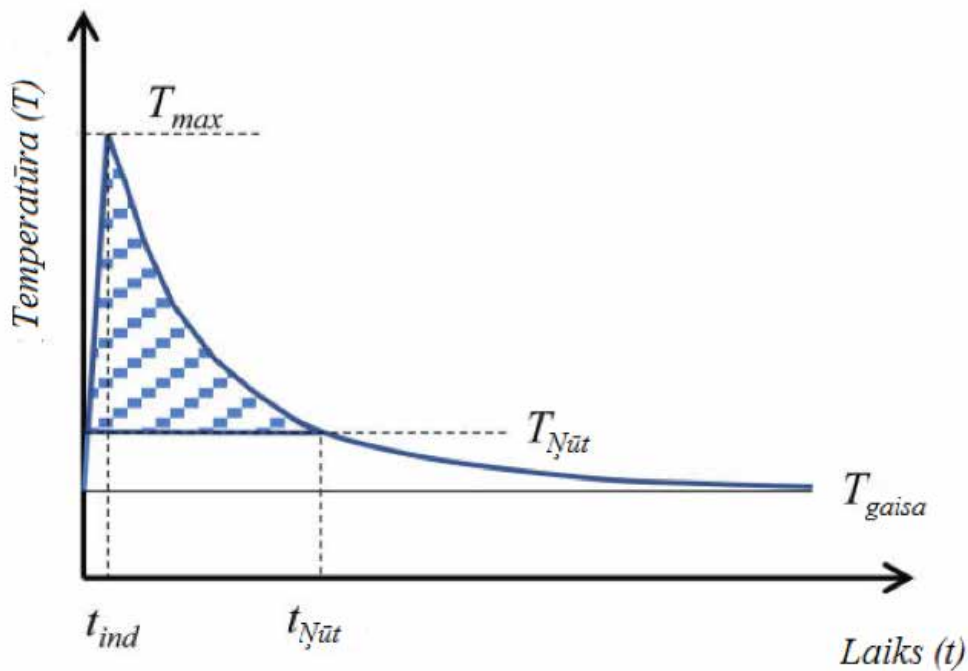
Tradicionālās virsmas atjaunošanas metodes (*fog-seal* vai *chip seal*) (skat. 2.3.1. un 2.3.2. nodaļas), kad atjaunojošās vielas tiek smidzinātas uz seguma virsmu, atjauno tikai vienu līdz diviem centimetriem no seguma virsmas. Inovatīvs paņemiens seguma īpašību atjaunošanai visā dziļuma ir pašatjaunojošo tehnoloģiju tādu kā, piemēram, induktīvā sildīšanas izmantošana vai/un kapsulu ar atjaunojošo vielu iestrāde asfaltbetona segumā.

#### Induktīvā sildīšana

Temperatūras intervālā (T<sub>Ņūt</sub>) no 30°C līdz 70°C (atkarībā no bitumena tipa) bitumena īpašības sāk līdzināties Ņūtona šķidrūmam (šķidrūmi, kuriem dinamiskā viskozitāte nav atkarīga no šķidrūmu starpslāņu bīdes ātrumiem) [34-36]. Virs šīm temperatūrām bitumens var sākt plūst caur segumā atvērtajām plaisām kapilārās plūsmas veidā [37]. Šī parādība var notikt dabiskā veidā augstās gaisa temperatūrās, kā arī to mākslīgi var veicināt ar induktīvu sildīšanu [38-40]. Induktīvā sildīšana ir metode, kuras pamatā ir daļiņu spēja

vadīt elektrisku strāvu (konduktīvās daļiņas), piemērām, sildot tērauda stiegras, kas ir iestrādātas asfaltbetona maisījumā.

Pašatjaunošanās notiek ne tikai induktīvās sildīšanas laikā, bet arī atdzišanas laikā, un turpinās tik ilgi, kamēr asfaltbetona temperatūra ir virs  $T_{Nūt}$  (skat. 2.43. att.). 2.43. attēlā iekrāsotais laukums ir parametrs  $\tau$  (tau) ar mērvienību K·s (Kelvins reiz sekunde) un izsaka kopējo siltuma daudzumu, kurš tiek patērēts asfaltbetona atjaunošanās procesā.



2.43. att. Temperatūras izmaiņa asfaltbetonā induktīvās sildīšanas ietekmē [41]

Kapilārās parādības pašatjaunošanās laikā var noteikt izmantojot Lukasa-Vašburna formulu (Lukas-Vashburn) (skat. 2.44. att.):

$$F_t = 2\pi r \gamma \cos(\theta), \quad (1)$$

kur:

$F_t$  – plaisu veidojošais (attīstošais) spēks, kurš darbojas plaisā virsmas spraiguma ietekmē;

$r$  – kapilāra rādiuss – puse no plaisas biezuma;

$\gamma$  – bitumena virsmas spraigums;

$\theta$  – slapināšanas leņķis starp divām fāzēm – bitumenu un minerālmateriālu;

Šajā vienādojumā slapināšanas leņķis nav konstants un ir atkarīgs no temperatūras un asfaltbetona komponentu īpašībām. Modeļa vienkāršošanai pieņem, ka slapināšanas leņķis ir konstants, bet  $\cos(\theta)=1$ . Gravitātes spēks ( $F_g$ ) šajā modelī ir vienāds ar hidrostatisku spēku (bitumens plūst plaisā) ( $F_p$ ) ↑ mīnus atjaunojamā materiāla svārs ( $F_n$ ) ↓:

$$F_g = F_f - F_n = \rho g \pi r^2 (h_p - h(\tau)), \quad (2)$$

kur:

$\rho g \pi r^2 h_p$  – pozitīvs hidrostatiskais spēks;

$\rho g \pi r^2 h(\tau)$  – atjaunojamā materiāla svars;

$\rho$  – bitumena blīvums;

$g$  – gravitāte;

$h_p$  – attālums no parauga (seguma) virsmas līdz atjaunojamās zonas apakšai;

$h(\tau)$  – atjaunojamās zonas augstums.

Lai novērtētu enerģijas izkliedi pašatjaunošanās procesā, piemēram, berzi, kura veidojas bitumenam pārvietojoties plaisā var ieviest berzes koeficientu  $\beta$ , lai aprēķinātu berzes spēku:

$$F_d = 2\pi r \beta \frac{dh(\tau)}{d\tau} \quad (3)$$

Novērtējot visu trīs spēku ( $F_v$ ,  $F_g$  un  $F_d$ ) iedarbību plaisā iegūst:

$$2\pi r \left( \gamma - \beta \frac{dh(\tau)}{d\tau} \right) = \rho g \pi r^2 (h(\tau) - h_p) \quad (4)$$

No šī vienādojuma var aprēķināt atjaunojamās zonas augstumu  $h(\tau)$  un laukumu  $A(\tau)$ :

$$h(\tau) = \left( h_p + \frac{2\gamma}{\rho g r} \right) \left( 1 - e^{-\frac{\rho g r \tau}{2\beta}} \right) \quad (5)$$

$$A(\tau) = C \cdot e^{-D\tau} \left( -1 + e^{\frac{D\tau}{2}} \right)^2, \quad (6)$$

kur:

$$C = \pi n \left( h_p + \frac{2\gamma}{\rho g r} \right)^2$$

un

$$D = \frac{\rho g r}{\beta}$$

**Šie vienādojumi (asfaltbetona pašatjaunošanās atkarībā no temperatūras) parāda, ka kapilārā plūsma ir galvenais parametrs, kurš ietekmē asfaltbetona atjaunošanu augstā temperatūrā.**

Pašatjaunošanās sākumā plaisas abas virsmas nav kontaktā, tikai dažos punktos (saskarsmes punkti), kuri vienmērīgi izkliedēti plaisā. Tas nozīmē, ka pilnīgai "atveseļošanai" bitumenam jāplūst caur tukšumiem plaisā un jāatjauno visas tukšās vietas starp saskarsmes punktiem.

Lai novērtētu atjaunošanās efektivitāti, zinātnieki piedāvā ieviest atjaunošanās pakāpes lielumu  $S(\tau)$  [42]:

$$S(\tau) = \frac{F_b(\tau)}{F_0}, \quad (7)$$

kur:

$F_0$  – asfaltbetona paraugu (trīs punktu lieces tests) sākotnējā stiprība;

$F_b(\tau)$  – asfaltbetona paraugu stiprība pēc atjaunošanās.

Maksimālo momentu ar trīs punktu lieces testu pēc atjaunošanās sijas viduspunktā nosaka pēc formulas:

$$M_F(\tau) = \frac{F_b(\tau) \cdot L}{4}, \quad (8)$$

kur:

L – sijas laidums;

Maksimālus stiepes spriegumus  $\sigma_u$  aprēķina pēc formulas:

$$\sigma_u = \frac{M(\tau) H}{2I(\tau)}, \quad (9)$$

kur:

H – paraugu augstums;

I(τ) – inerces moments laukumam A(τ), atbilstoši vienādojumam (6)

$$I(\tau) = C \cdot e^{-D\tau} \left(-1 + e^{\frac{D\tau}{2}}\right)^2 \quad (10)$$

Asfaltbetona paraugu stiprība pēc atjaunošanās nosaka ievietojot vienādojumā (10) vienādojumus (8) un (9):

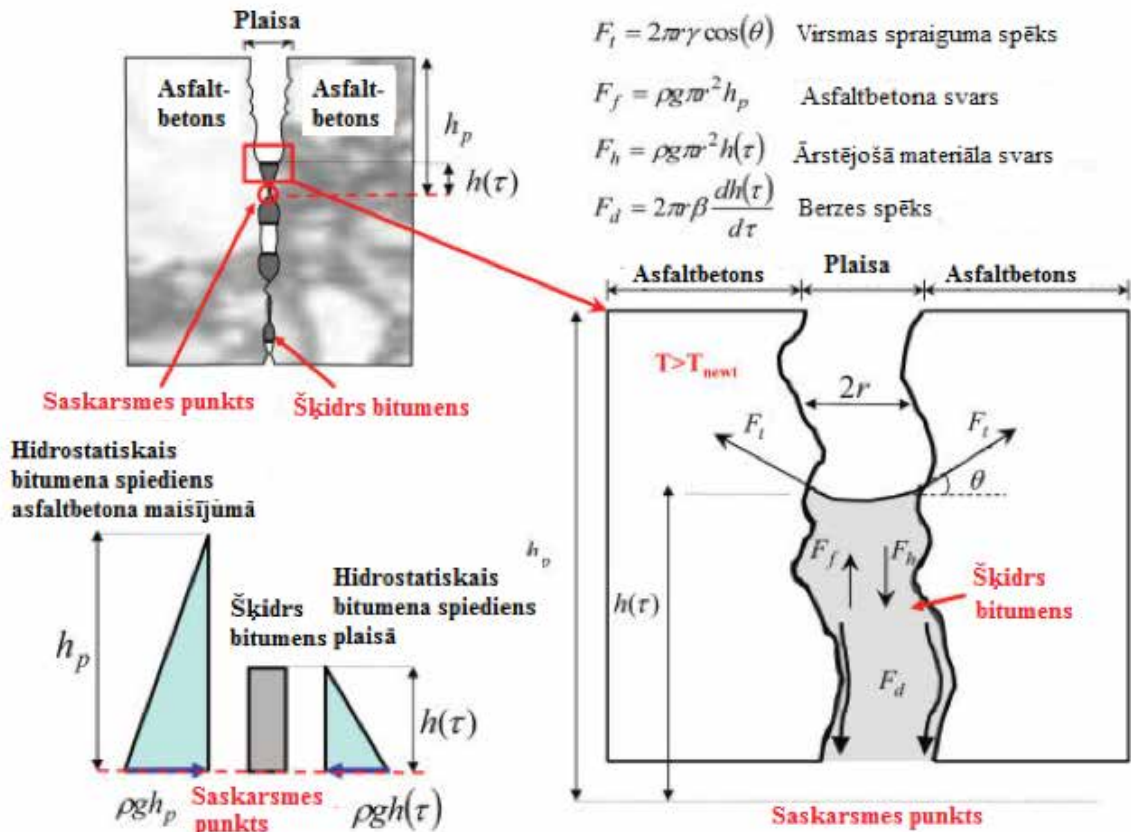
$$F_b(\tau) = C_1 \cdot e^{-D\tau} \left(-1 + e^{\frac{D\tau}{2}}\right)^2, \quad (11)$$

kur:

$$C_1 = 8 \frac{\sigma_u C}{L \cdot H},$$

Iekļaujot vienādojumu (11) vienādojumā (7) aprēķina atjaunošanās pakāpes lielumu pēc formulas:

$$S(\tau) = \frac{C_1}{F_0} \cdot e^{-D\tau} \left(-1 + e^{\frac{D\tau}{2}}\right)^2 \quad (12)$$

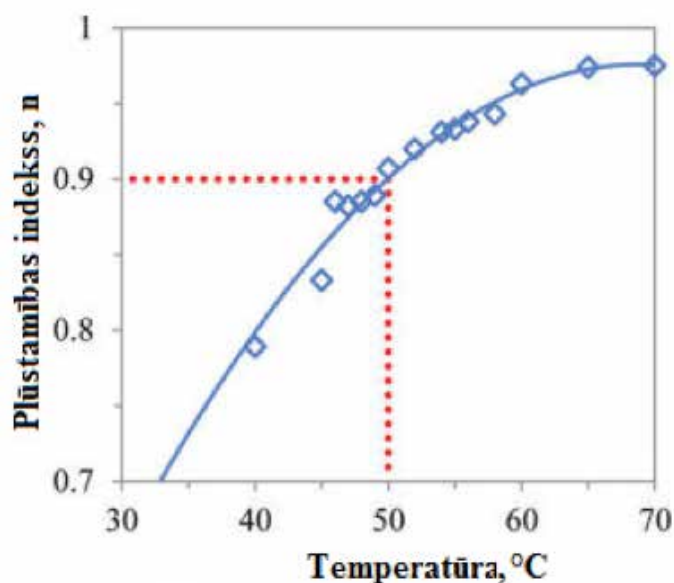


2.44. att. Spēki, kuri darbojas asfaltbetonā tā atjaunošanās laikā [41]

Lai pielietotu kapilārās plūsmas teoriju, bitumenam jāuzvedas tuvināti Ņūtona šķidrumam. Atbilstoši formulai (13) bitumens uzvedas kā Ņūtona šķidrumam, ja plūstamības indekss  $n=1$  un tuvināti Ņūtona šķidrumam, ja  $0,9 \leq n < 1$ .

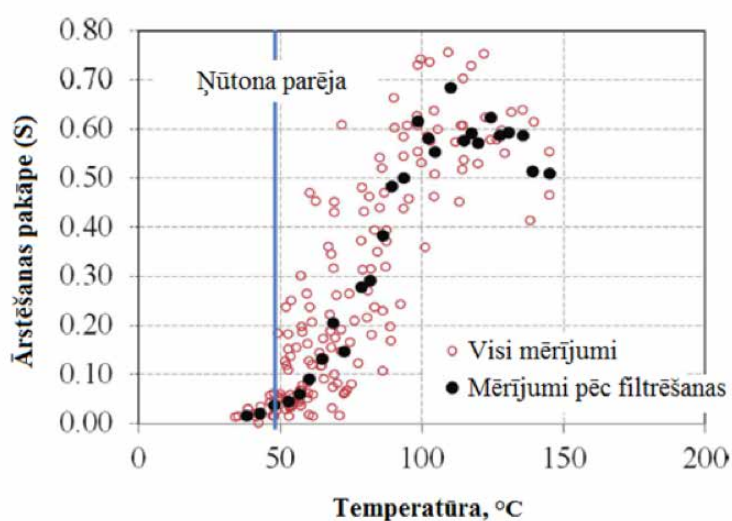
$$\eta^* = m \cdot |\omega|^{n-1} \quad (13)$$

A. Garcia savos pētījumos konstatēja, ka bitumens B70/100 uzvedas tuvināti Ņūtona šķidrumam pie 50°C (skat. 2.45. att.) [41,42]. Palielinoties temperatūrai plūstamības indekss  $n$  tuvojas vērtībai 1 (ideāls Ņūtona šķidrumam).



2.45. att. Plūstamības indekss dažādās temperatūrās [42]

Profesora Alvaro Garsia (Notingemas universitāte) pētījumos testēti blīvā asfaltbetona sastāvi ar drupinātā bazalta un kaļķakmens miltiem un nemodificētu bitumenu B70/100. Šiem sastāviem pievienotas metāliskas fibras dažādos daudzumos. Rezultāti rāda, ka pieaugot temperatūrai no 50°C (Ņūtona parēja) līdz 100 grādiem atjaunošanās pakāpē pieaug no 0,05 līdz 0,75, tomēr nesasniedz sākotnējo stiprību  $S(\tau)=1$  [41,42] (skat. 2.46. att.). Tas izskaidrojams ar to, ka pētījumā [41 un 42] pašatjaunošana (paraugu sildīšana) veikta paraugiem izņemtiem no veidnes un to forma mainījās pieaugot temperatūrai. Savukārt pētījumā [37] paraugu pašatjaunošana (paraugu sildīšana) veikta slēgtās veidnēs, kuros paraugi tika izgatavoti. Šiem paraugiem pašatjaunošanās pakāpe  $S(\tau)$  sasniedz 1, kas nozīmē, ka laboratorijas apstākļos atjaunotiem asfaltbetona sastāviem sasniegta sākotnējā stiprība.



2.46. att. Ārstēšanas atjaunošanās pakāpes izmaiņa atkarībā no temperatūras [42]

Lai veiktu asfaltbetona materiālu pašatjaunošanos ir nepieciešama induktīvās sildīšanas iekārta, kuras darbības princips ir elektromagnētiskā indukcija (sildīšana balstīta uz Džoula likumu) (skat. 2.47. att.). Balstoties



uz Faradeja elektromagnētiskās indukcijas likumu, elektrodzinējspēks var izveidoties slēgtā kontūrā mainīgā magnētiskā laukā, un tas ir proporcionāls magnētiskas plūsmas izmaiņai [44]. Praksē tas nozīmē, ka šķidrās veidojas elektriskā strāva, kad uz tām iedarbojas magnētiskais lauks. Elektriskā strāva ražo siltumu, kad tā plūst caur elektrovadošām šķiedrām. Tas ir Džoula siltums  $Q$ , kuru izskaidro Džoula pirmais likums:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t, \quad (14)$$

kur:

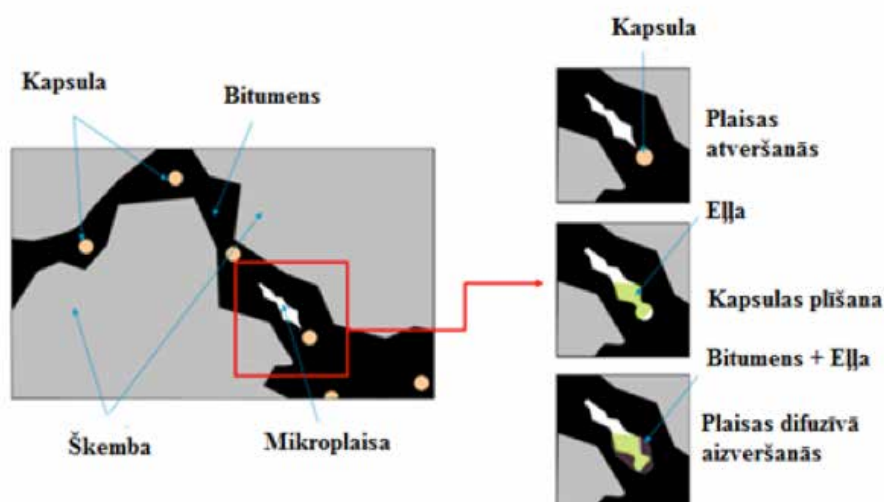
$Q$  – ražotais siltums laika vienībā pie konstanta strāvas stipruma  $I$ ,  $R$  – pretestība,  $t$  – laiks.



2.47. att. Induktīvā sildīšanas ierīce.

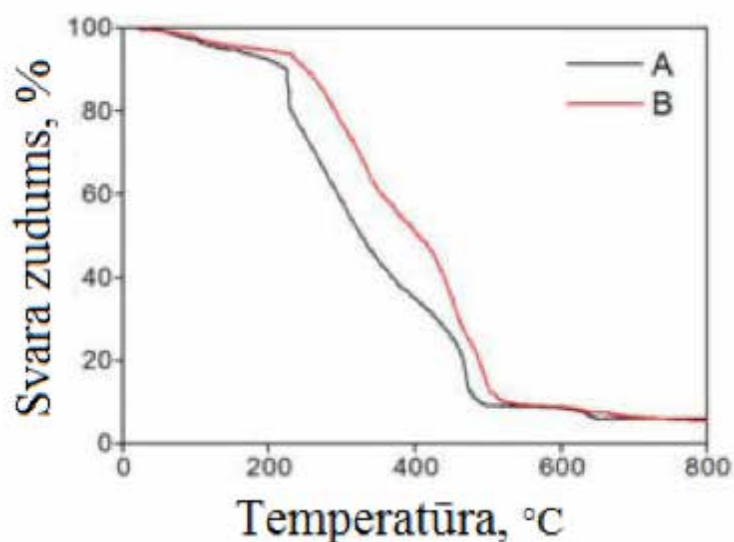
### Kapsulu metode

Bitumenu var uzskatīt par divu fāžu materiālu ar šķidru fāzi – maltēniem, un cietu fāzi – asfaltēniem. Ar laiku šķidrā fāze oksidējas, kas veicina to, ka asfalts paliek stings un trausls. Induktīvā metode neatjauno bitumena īpašības, bet atjauno asfaltbetona īpašības. Kapsulu metode atjauno gan bitumena, gan asfaltbetona īpašības, jo kapsulas satur vielas (vieglo frakciju ogļūdeņraži), kuras bitumens zaudē novecošanās rezultātā. Inovatīvs risinājums, lai atjaunot bitumena saistvielas un līdz ar to seguma īpašības visā dziļumā ir iekapsulētu atjaunojošo vielu izmantošana asfaltbetona maisījumos. 2.48. attēlā ir parādīts šīs metodes darbības princips. Kad blakus maltenu kapsulai veidojas plaisa, kapsula sabrūk un maltēni nonāk kontaktā ar apkārtējo bitumenu. Maltēni tiek iemaisīti bitumenā savstarpējas difūzijas rezultātā. Bitumens tiek atjaunots un plaisa tiek aizpildīta.

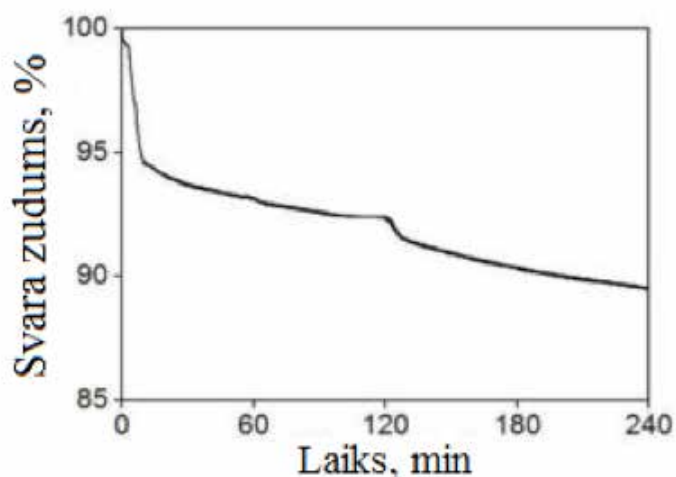


2.48. att. Kapsulu metode [44]

Kapsulas var būt ar polimēra čaulā ieslēgtu atjaunojošo vielu vai porainā pildviela piesātināta ar atjaunojošo vielu. Par iekapsulēšanas vielu var kalpot celuloze (CE) vai polimērs (C) ar augstu noārdīšanas temperatūru (200 - 220°C), trieciena stiprību, elastību, kā arī tam jābūt nešķīstošam ūdenī un alifātiskajos ogļūdeņražos. Atjaunojošai vielai jāsaturs augsts maltenu (eļļu) daudzums. Polimēra čaulu mikrokapsulu un atjaunojošo vielu sintezē (metodes pamatā ir emulsifikatora un šķīdinātāja izmantošana). Lai novērtētu polimēra kapsulu īpašības asfaltbetona ražošanas laikā pētījumā [43] ar masas zuduma metodi novērtētas mikrokapsulu īpašības (skat. 2.49. un 2.50. att.). Svarīgi atzīmēt, ka mikrokapsulas spēj izturēt līdz 15t lielu spiedes spēku [43].

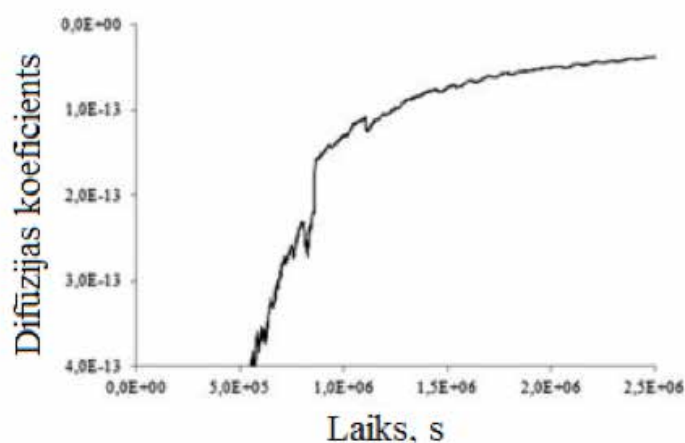


2.49. att. Svara zudums atkarībā no temperatūras [43]  
A-tukšā; B - ar atjaunojošo vielu



2.50. att. Svara zudums 180°C temperatūrā atkarībā no laika [43]

Lai novērtētu pašatjaunošanās spēju, parasti veic difūzijas (atjaunojošās vielas izspiešana caur polimēra čaulu) un novecošanas testus (novecojušā bitumena funkcionālo grupu izmaiņa). Pētījuma [43] rezultāti rāda, ka notiek atjaunojošās vielas difūzija caur polimēra čaulu (skat. 2.51. att.).



2.51. att. Difūzijas koeficienta izmaiņa laikā [43]

Novecošanas izpēte veikta izmantojot īslaicīgu novecošanas metodi (RTFOT atbilstoši LVS EN 12607-1) un ilglaicīgu novecošanas metodi (PAV atbilstoši LVS EN 14769). Pētījumā [43] noteikts bitumena funkcionālo grupu sastāvs pirms novecošanas un pēc novecošanas (skat. 2.6. tab.). Rezultāti rāda, ka izmantojot kapsulu metodi, novecojušā bitumena asfaltēnu/maltēnu attiecība daļēji atjaunojas [43].

Tabula 2.6.

Bitumena funkcionālo grupu sastāvs [43]									
Paraugs	Asfaltēni			Piesātinātie ogļūdeņraži			Aromātiskie ogļūdeņraži		
	UA	STA	LTA	UA	STA	LTA	UA	STA	LTA
B50/70	16,8	18,9	21,8	7,3	7,9	9,3	41,1	39,4	35,4
B50/70 + 20% mikrokapsulas	15,3	17,1	17,5	8,9	9,0	13,4	39,4	43,2	42,9
UA – novecināts bitumens; STA – novecināts ar RTFOT; LTA – novecināts ar PAV									

### 2.3.7. VIRSMAS ATJAUNOŠANAS TEHNOLOĢIJU PIELIETOŠANA PIE KONKRĒTIEM BOJĀJUMIEM

Preventīvā virsmas atjaunošanas tehnoloģija ir atkarīga no ceļa seguma stāvokļa, laika apstākļiem, transporta slodzes un satiksmes intensitātes. 2.7. tabulā parādītas piemērotas seguma virsmas atjaunošanas tehnoloģijas atkarībā no bojājumu veidiem.

Tabula 2.7.

Virsmas atjaunošanas tehnoloģiju piemērotība atkarībā no segumu bojājumu veidiem.		
Bojājuma kategorija	Bojājuma tips	Virsmas atjaunošanas pasākums
Plaisāšana	Noguruma plaisa	Tā kā seguma struktūras bojājums virsmas atjaunošana nav piemērota
	Blokveida plaisas (vid. pakāpe)	<b>BBTM</b> , vienkārtas vai vairākkārtu virsmas apstrāde, auksts emulsētu šķembu maisījums plānām dilumkārtām, mikro virsmas apstrāde
	Segas apmales plaisas	Plaisu aizpildīšana
	Garenplaisas	
	Šķērsplaisa (termoplaisa)	
Bedres un ielāpi	Bedres	Ja šie bojājumi skar lielu laukumu, kā arī to veidošanās ir saistīta ar apakšējo slāņu zemo nestspēju, tad virsmas atjaunošana nav piemērota
	Ielāpi	
Virsmas defekti	Rišu veidošanās <ul style="list-style-type: none"> <li>sablīvējums</li> <li>nestabils asfaltbetona segums</li> </ul>	<b>BBTM</b> , mikro virsmas apstrāde, vienkārtas vai vairākkārtu virsmas apstrāde, auksts emulsētu šķembu maisījums plānām dilumkārtām
	Seguma slāņu stumšanās (shoving)	Strukturāls bojājums, virsmas atjaunošana nav piemērota
	Seguma atjaunošana nav piemērota	Virsmas atjaunošana nav piemērota
	Saistvielas izplūšana (bleeding)	<b>BBTM</b> , mikro virsmas apstrāde, vienkārtas vai vairākkārtu virsmas apstrāde, auksts emulsētu šķembu maisījums plānām dilumkārtām
	Noslīpētas šķembas (nodilums)	<b>BBTM</b> , vienkārtas vai vairākkārtu virsmas apstrāde, auksts emulsētu šķembu maisījums plānām dilumkārtām, mikro virsmas apstrāde
Seguma paātrināta novecošanās izdrupumi (raveling)	<b>BBTM</b> , mikro virsmas apstrāde, vienkārtas vai vairākkārtu virsmas apstrāde, auksts emulsētu šķembu maisījums plānām dilumkārtām	

## 2.4. BITUMINĒTO SEGUMU ATJAUNOŠANAS TEHNOLOĢIJU SALĪDZINĀJUMS

Tabulā 2.8. redzams dažādu virsmas apstrādes veidu cenu salīdzinājums. Šis ir 2014. gada cenas ASV, Minesotas štatā. Cenas norādītas salīdzinoši un, lai uzrādītu aptuvenās tendences un līdzības starp dažādām ceļa virskārtas uzturēšanas tehnoloģijām. Kā redzam tabulā, tad vislētākā īstermiņa seguma uzturēšanas tehnoloģija ir plaisu apstrāde. Šī metode ir lēta, tomēr ar visīsāko kalpošanas ilgumu un ir pielietojam līdz brīdim, kad neparādās cita veida seguma virsmas bojājumi. Maksimāli visilgākais iespējamais kalpošanas laiks 12 gadi ir plānajam asfaltbetonam, tomēr tā izmaksas arī ir visaugstākās par 1 m<sup>2</sup>.

<b>Tabula 2.8.</b>					
<b>Tipiskās vienības izmaksas un paredzamais kalpošanas ilgums [45]</b>					
Virsmas apstrādes tehnoloģijas	eiro/ m <sup>2*</sup>	eiro/ m <sup>2**</sup>	Paredzamais kalpošanas ilgums		
			Min	Vidēji	Max
Plaisu apstrāde	2.6	0,60	2	3	5
Bitumena emulsijas pārklājums ( <i>fog seal</i> ) <sup>b</sup>	-	0,54	2	5	4
Auksts emulsētu šķembu maisījums ( <i>Slurry Seal</i> ) <sup>c</sup>	-	1,08	3	5	7
Auksts polimērmodificētas emulsijas šķembu maisījums ( <i>Microsurfacing</i> ) <sup>d</sup>	-	1,50	3	7	9
Virsmas apstrāde ( <i>chip seal</i> ) <sup>e</sup>	1.8	1,02	3	5	7
BBTM karstais asfaltbetona segums <sup>f</sup>	5.6	2,09	2	7	12
BBTM aukstais asfaltbetona segums <sup>f</sup>	-	1,50	2	5	10

Piezīmes:

<sup>a</sup> Pie plaisu blīvuma 0.28 m/m<sup>2</sup>

<sup>b</sup> 0.2 l/m<sup>2</sup> atšķaidīta CSS emulsija ar ūdeni 1:1

<sup>c</sup> 7 kg/m<sup>2</sup> (ISSA tipa II slurry)

<sup>d</sup> 14 kg/m<sup>2</sup> (ISSA tipa II *microsurfacing*)

<sup>e</sup> 15 kg/m<sup>2</sup>

<sup>f</sup> 30 līdz 44 mm/m<sup>2</sup>

\* Vidējās 2016. gada vienības cenas Latvijā

\*\* Vidējās 2014. gada vienības cenas ASV

Vienības cenas ir orientējošas, tās var mainīties atkarībā no pielietoto izejmateriālu piegādes cenām, ražošanas procesa izmaksām un būvniecības apjoma.

Tabulā 2.9. redzams dažādu virsmas atjaunošanas tehnoloģiju tipiskais makrotekstūras dziļums. Kā redzams no tabulas, tad visdziļākais makrotekstūras dziļums ir virsmas apstrādei (*chip seal*).

Tabula 2.9.

**Tekstūras dziļums dažādām virsmas atjaunošanas tehnoloģijām [46]**

Auksts emulsētu šķembu maisījums ( <i>Slurry Seal</i> )	0,3-0,6 mm
Auksts polimērmodificētas emulsijas šķembu maisījums ( <i>Microsurfacing</i> )	0,5-1,0 mm
Virsmas apstrāde ( <i>chip seal</i> )	>1,0 mm
Plānas asfaltbetona pārklājums ( <i>Thin overlay</i> )	0,4-0,6 ( <i>Dense graded</i> ) >1,0 mm ( <i>Stone Matrix Asphalt</i> )

Dažādām virsmas uzturēšanas tehnoloģijām atšķiras ieguvumi un plusi to izmantošanai, kā piemēram trokšņa absorbēšana, seguma raupjums, saķere, kalpošanas laiks un mitruma novade. Katra no šīm īpašībām ir ļoti būtiska drošai, komfortablai ceļa izmantošanai. Būtiski, lai izmantotā tehnoloģija ir arī ekonomiski pamatota un ilgtspējīga. Zemāk redzamajā tabulā ir redzama dažādu virsmas uzturēšanas tehnoloģiju salīdzinājums. Kā redzams no tabulas 2.10., tad visvairāk priekšrocības sniedz BBTM asfaltbetona segums. Tādēļ, lai gan tabulā 2.8. norādītajās izmaksās BBTM ir visdārgākais, tomēr dažādās situācijās tas var būt saimnieciski vispamatotākais.

Tabula 2.10.

**Galvenās priekšrocības dažādām atjaunošanas tehnoloģijām [47]**

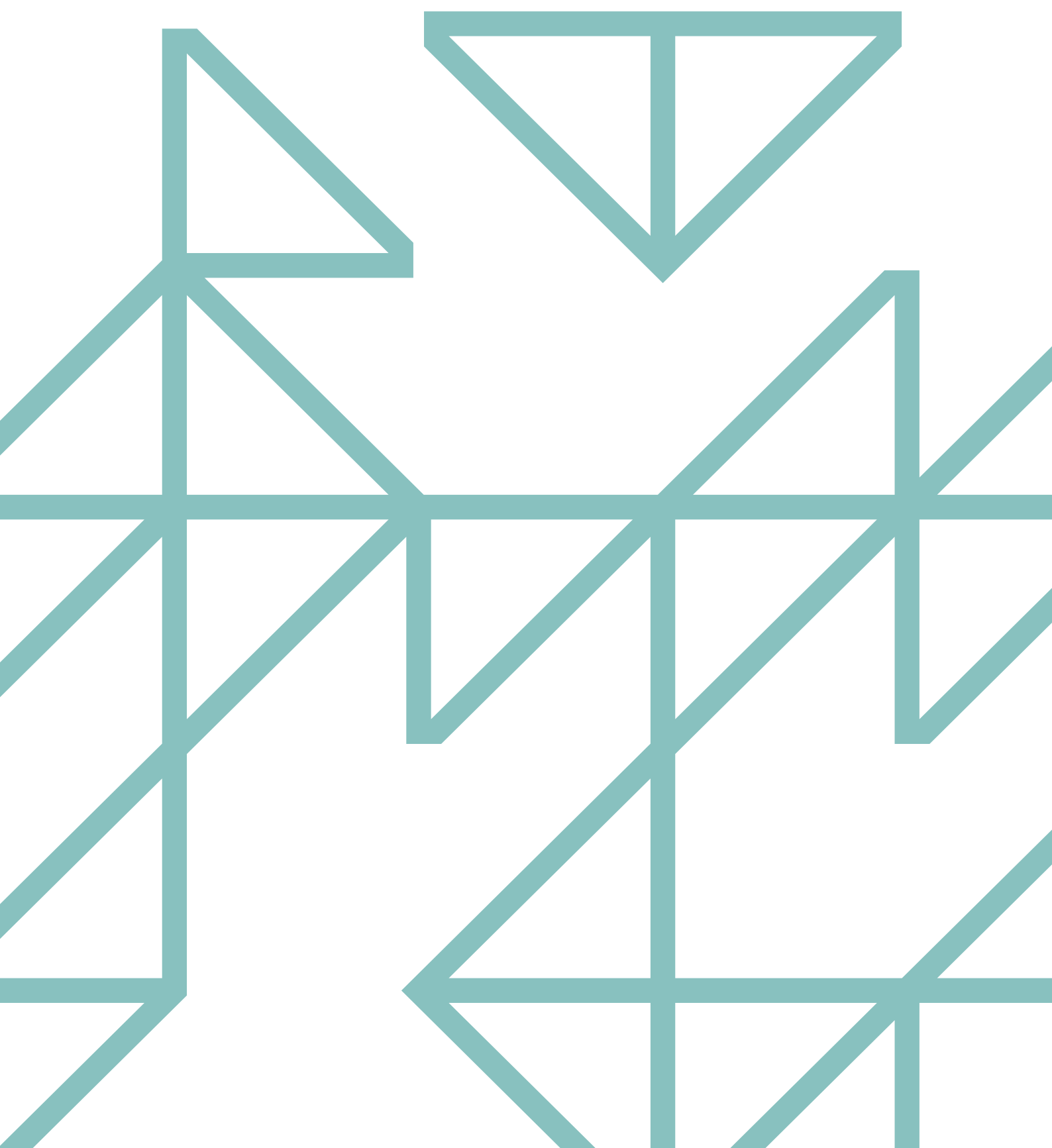
Virsmas uzturēšanas tehnoloģijas	Raupjums	Saķere	Troksnis	Kalpošanas laika pagarināšana	Mitruma samazinājums
Plaisu apstrāde				x	✓
Bitumena emulsijas pārklājums ( <i>Fog seal</i> )				x	✓
Auksts emulsētu šķembu maisījums ( <i>Slurry Seal</i> )	✓	✓	✓	✓	x
Auksts polimērmodificētas emulsijas šķembu maisījums ( <i>Microsurfacing</i> )	✓	✓	✓	✓	x
Virsmas apstrāde ( <i>Chip seal</i> )	✓	✓		✓	x
BBTM	✓	✓	✓	✓	✓

✓ = Būtisks efekts

x = Neliels efekts

Pēc seguma stāvokļa novērtēšanas nākamais solis ir noteikt iespējamo atjaunošanas tehnoloģiju, pamatojoties uz tā bojājuma veidiem. Tabulā 2.11. uzrāda iespējamās virsmas atjaunošanas iespējas, pamatojoties uz bojājumu veidu. Iespējams nenozīmē, kā pamatotākais un labākais, jo šajā izvēles posmā ir nepieciešams izvērtēt labāko iespējamo risinājumu balstoties uz ceļa seguma stāvokli. Kad pamatotākie varianti ir izvēlēti, tad noteikti jāņem vērā tādi faktori kā klimats, ģeogrāfija, satiksmes specifika (intensitāte un smago transportu īpatsvars), lai pieņemtu racionālāko variantu.

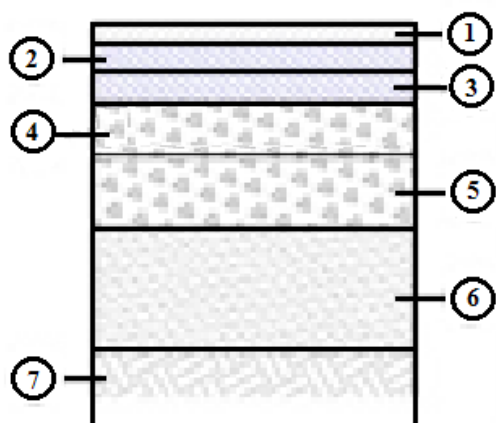
Bojājumu veidi		Tabula 2.10. Galvenās priekšrocības dažādām atjaunošanas tehnoloģijām [47]					
		BBTM	Nofrēzēt un ieklāt (Milling & overlay)	Auksts polimēr-modificētas emulsijas šķembu maisījums (Microsurfacing)	Virsmas apstrāde (Chip seal)	Bitumena emulsijas pārklājums (Fog seal)	Auksts emulsētu šķembu maisījums (Slurry seal)
Raupjums	Nestabili saistīts (Nonstability related)	✓	✓	✓			
	Stabili saistīts (Stability related)	✓					
Rises		✓	✓	✓			
Plaisas		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Seguma svišana			✓	✓	✓		
Izdrupumi un nodilums				✓	✓	✓	✓





### 3. CEĻA SEGAS KONSTRUKCIJAS PROJEKTA IZSTRĀDĀŠANA, IEKĻAUJOT ZEM BBTM ASFALTBETONA HMAC SAISTES KĀRTU UN SEGUMA APAKŠKĀRTU

Šajā nodaļā tiek parādīts izvērsts ceļa segas aprēķins, virskārtā paredzot BBTM asfaltbetonu. Ir pieņemts, ka BBTM aprēķina moduļi un nepieciešamās aprēķina vērtības ir vienādas ar ACsurf 70/100 asfaltbetona vērtībām atbilstoši „*Nestingas ceļa segas projektēšanas metodika*” (turpmāk tekstā CPN). Par pamatu aprēķinam tiek ņemts segas aprēķina variants ar SMA 3,5 cm virskārtu, kura tiek aizstāta ar 2cm plānkārtas asfaltu (skat. 3.1. att.). Veicot segas pārbaudi pēc pieļaujamās elastīgās ielieces konstatēts, ka pārbaude neizpildās, lai pārbaude izpildītos, tiek paredzēta biezāka - 12cm HMAC kārtā.



1. SMA 11, h=3,5 cm aizvieto ar BBTM, h=2cm
2. HMAC, h=6cm
3. HMAC, h=6cm
4. Frakcionētas šķembas (noķīlētas), h=15cm
5. Šķembu maisījums (0/63), h=33cm
6. Drenējošā smilts, h=40cm
7. Esošā vai uzbēruma grunts

3.1. att. Segas aprēķinu variants

### 3.1. CEĻA SEGAS PROJEKTĒŠANAS IZEJAS DATI

3.1. tabulā apkopoti pieņemti izejas dati.

Tabula 3.1.				
Satiksmes intensitātes dati				
Transportlīdzekļa tips	Asu skaits	Intensitāte abos kustības virzienos (A/dnn)	Ass slodžu reduc. koef. Sn	Reducētā intensitāte Nm·Sn, (A/24h)
Vieglie transportlīdzekļi	2	4000	0,005	20
Kravas transportlīdzeklis < 3,5 T	2	260	0,07	18,2
Kravas transportlīdzeklis > 3,5 T	2	235	0,07	237,35
Vilcēji ar puspiekabēm	4	470	1,73	813,1
Vilcēji ar piekabēm	4	470	2,35	1104,5
Autobusi	3	150	1,33	199,5
KOPĀ:		5585		2392,65

- ceļa segas kalpošanas laiks – T = 20 gadi;
- AADTj, pievestā = 3379 A/dnn;
- AADTj, smagie = 729 SmA/dnn (3.ceļa segas kategorija);
- Aprēķina ass gada vidējā diennakts pārbraucienu skaits vienas satiksmes joslas robežās segas pirmajā kalpošanas gadā  $N_a = 1315.9 \text{ NAS}/24\text{h}$ ,
- satiksmes intensitātes izmaiņu koeficients  $q = 1,02$ ;
- vidējā diennakts satiksmes intensitāte segas pēdējā aprēķina kalpošanas gadā –  $7819\text{A}/24\text{h}$
- zemes klātne – vieglais mālsmilts;
- apvidus mitrumtips - 1;
- drenējošās kārtas pamatnes šķērsslīpums – 5%
- nepieciešamā drenējošā un salizturīgā kārtā – 40cm;
- asfalta seguma platums B = 6,5m

### 3.2. NORMĒTO ASS SLODŽU UN EVAJ APRĒĶINS

Aprēķina ass pārbraucienu skaits vienas satiksmes joslas robežās visā aprēķina kalpošanas periodā  $\sum N_a \text{ (NAS/T)}$ :

$$\sum N_a = 102 \cdot N_a \cdot K_T \cdot k_n = 102 \cdot 1315,9 \cdot 24,30 \cdot 1,38 = 4500703,3 \text{ (NAS/T)}$$

Segas konstrukcijas vajadzīgais elastības modulis:

$$E_{vaj} = 98,65 [\lg(\sum N_a) - 3,55] = 98,65 [\lg(4500703,3) - 3,55] = 306,14 \text{ MPa}$$

### 3.3. SEGAS KONSTRUĒŠANA

Sega tiek konstruēta tā, lai segas konstrukcija atbilst pieļaujamās elastīgās ielieces stiprības nosacījumam un stiprības rezerve nepārsniedz 2%. Drošības koeficienti 3. ceļa segas kategorijai elastīgās ielieces pārbaudē  $K_{n,st} = 1,17$ , stiepes stiprības pārbaudē  $K_{n,st} = 1,0$ .

3.2. tabulā doti segas konstruktīvo slāņu elastības moduli

Tabula 3.2.					
Elastības moduli ceļas segas konstrukcijai ar BBTM un HMAC					
Materiāls	E MPa 10	h cm	E <sub>ekv</sub> MPa		Evaj · Kn,st
Plānkārtas asfalts (aprēķinā netiek iekļauts)	–	2	358.9	≥	358,2
HMAC 20/30	3700	6	358.9		
HMAC 20/30	3700	6	284.9		
Frakcionētas šķembas šķembas (noķīlētas)	400	17	223.6		
Šķembu maisījums	260	33	161.5		
Drenējošā smiltis	130	40	86,8		
Zemes klātne (viegla mālsmits)	45		45		

### 3.4. STIEPES NOTURĪBAS APRĒĶINS

Aprēķina modeļa augšējās kārtas vidējais elastības modulis aprēķināts pēc formulas:

$$E_{vid} = \frac{\sum E_i \cdot h_i}{\sum h_i} = \frac{(5300 \cdot 6 + 5300 \cdot 6)}{12} = 5300 \text{ MPa}$$

Pēc attiecības

$$\frac{E_{vid}}{E_{ekv}} = \frac{5300}{223.6} = 23,7 \text{ un } \frac{h}{D} = \frac{12}{37} = 0,324$$

no nomogrammas tiek noteikts  $\sigma_{r,1} = 2,78$ .

Liekākais stiepes spriegums liecē ostp noteikts atbilstoši formulai:

$$\sigma_{st} = 0,8 \cdot \sigma_{r,1} = 0,8 \cdot 2,78 = 2.23 \text{ MPa.}$$

Pieļaujamo stiepes spriegumu bituminētā materiāla kārtā  $R_{st,p}$  vairākkārtējas ielieces ietekmē tiek aprēķināts pēc formulas:

$$R_{st,p} = R_{st,v} \cdot k_{nog} \cdot k_m(1 - 0,1 \cdot t)$$

Koeficientu  $k_{nog}$ , kas raksturo seguma stiepes stiprību atkarībā no noguruma procesiem tiek noteikts pēc sakarības:

$$k_{nog} = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_a}},$$

$$\sum N_a = 4500703,3; \quad m = 5,7; \quad \alpha = 5,2;$$

$$k_{nog} = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_a}} = 0,35$$

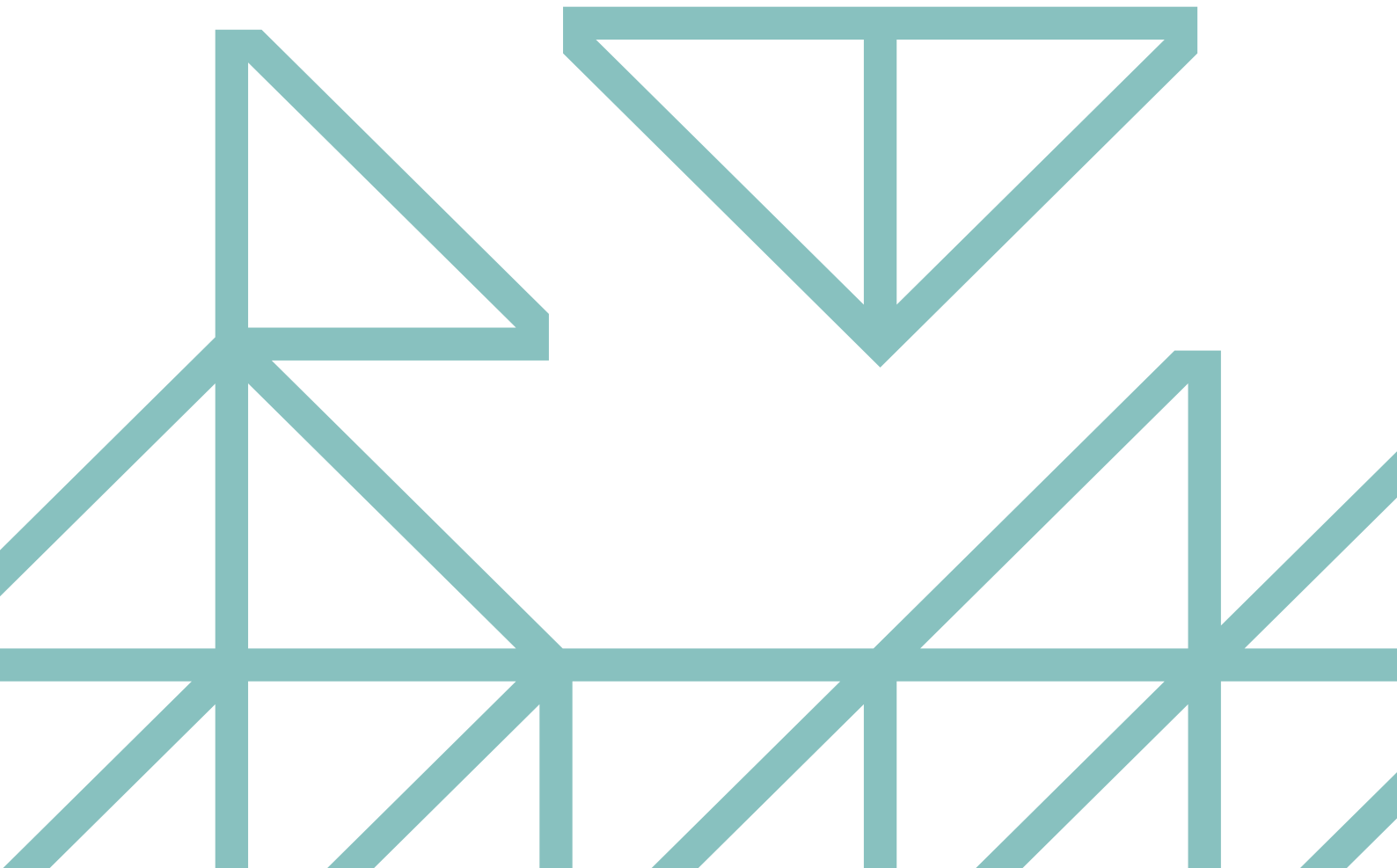
$$k_m = 0,80$$

$$R_{st,p} = R_{st,v} \cdot k_{nog} \cdot k_m (1 - 0,1 \cdot t) = 9,8 \cdot 0,80 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,1 \cdot 1,32) = 2,41 \text{ MPa}$$

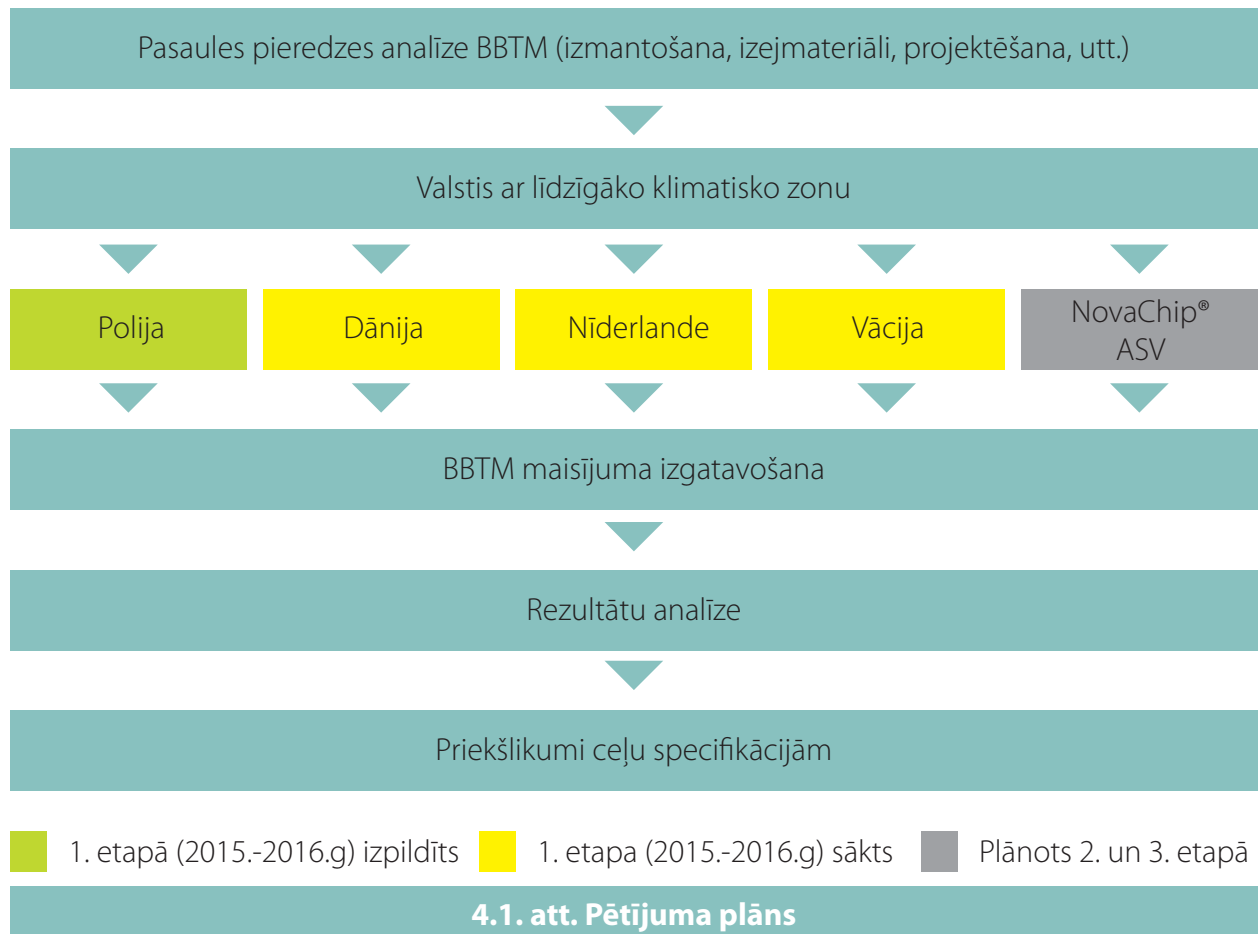
Nosaka pieļaujamo stiepes spriegumu pārbaudāmajā kārtā atbilstoši (2.20) formulai:

$$\frac{R_{st,p}}{\sigma_{stp}} \geq K_{n.st} \quad \frac{R_{st,p}}{\sigma_{stp}} = \frac{2,41}{2,23} = 1,08 \geq 1$$

Pārbaude izpildās, izvēlēta segas konstrukcija atbilst pieļaujamajam stiepes spriegumam monolitajos slāņos.



## 4. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA



### 4.1. MINERĀLMATERIĀLA ĪPAŠĪBAS

BBTM asfaltbetona projektēšanai izvēlēts magmatiskās izcelsmes kvarcdiorīta šķembas. Izvēlētajam minerālmateriālam noteiktas galvenās īpašības un veikts rezultātu novērtējums atbilstoši *Ceļu specifikācijas 2017* (attiecībā uz stiprības klasi S-I) prasībām (skat. 11. - 12. tab.).

#### 4.1.1 GRANULOMETRIJA

Tabula 4.1.													
Granulometriskais sastāvs													
Materiāls un frakcija, d/D	Caur sietiem izgājusī masas procentuālā daļa												Kat. LVS EN 13043
	22,4	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	
Kvarca diorīta šķembas 8/11	100	100	88,3	4,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	GC85/15
Kvarca diorīta šķembas 5/8	100	100	100	84,0	21,5	1,9	1,2	1,4	1,1	1,3	1,0	0,7	GC85/15
Kvarca diorīta šķembas 2/5	100	100	100	100	99,1	73,2	15,7	2,4	2,4	2,2	1,2	1,1	GC90/15
Kvarca diorīta šķembas 0/2	100	100	100	100	99,9	99,1	91,1	64,1	42,8	33,2	17,8	4,2	GF85

#### 4.1.2 MINERĀLMATERIĀLA FIZIKĀLĀS UN MEHĀNISKĀS ĪPAŠĪBAS

Noteikts, ka minerālmateriāla fizikālās un mehāniskās īpašības atbilstoši *Ceļu specifikācijas 2017* atbilst S-I (augstākai) kategorijai (skat. 4.2. tab.). Konstatēts, ka izvēlētam šķembā ir augsta salizturība (MS - 8%), augsta drupināšanas izturība (LA – 11) un zems plakano daļiņu daudzums (FI – 5%).

Tabula 4.2.					
Minerālmateriālu fizikālās un mehāniskās īpašības					
Nosākamais parametrs	Standarts	Rezultāts	„Ceļu specifikācijas 2017”		
			Prasība		Atbilstoši
			S-I	S-II	
Los Angeles koeficients (LA), %	LVS EN 1097-2	11	LA20	LA25	6.2-7 tabula
Smilts ekvivalents (SE), %	LVS EN 933-8	88	-	-	-
Nordiskā abrazīvā vērtība (AN), %	LVS EN 1097-9	8	≤10	≤14	6.2-7 tabula
Plūšanas koeficients (Ecs), sek	LVS EN 933-6	35	≥ 30		6.2-6 tabula
Ūdens absorbcija (WA), %	LVS EN 1097-6	0,2	≤ 1		6.2-7 tabula
Plākšņainības indekss (FI), %		5	≤ 20		
Magnija sulfāta rādītājs (MS), %	LVS EN 1367-2	8	≤18	≤25	6.2-7 tabula
Metilēnzilā vērtība (MB), g/kg	LVS EN 933-9	0,5	≤10		6.2-5 tabula

## 4.2. BITUMENA ĪPAŠĪBAS

BBTM sastāvu projektēšanai, balstoties uz Polijas (WT-2, 2014) un Dānijas (*Denmark road specifications*) specififikācijām un *Lotosasphalt* ([www.lotosasphalt.pl](http://www.lotosasphalt.pl)) rekomendācijām, izvēlēti trīs polimērmodificēti bitumēni PMB 45/80-55, PMB 45/80-65 un PMB 45/80-80 [38]. Izvēlētiem bitumēniem noteiktas īpašības un novērtēta atbilstība Polijas specififikācijām (skat. 4.3-4.5. tab.). Svarīgi atzīmēt, ka izvēlētam bitumēnam ir ļoti augsta elastība, kuru raksturo elastīgas atjaunošanas rādītājs +25°C (PMB 45/80-55 – 85%, PMB 45/80-65 – 89% un PMB 45/80-80 – 93%).

<b>Tabula 4.3.</b>					
<b>PMB 45/80-55 bitumena īpašības un atbilstības novērtējums</b>					
<b>Rādītājs</b>	<b>Standarts</b>	<b>Rezultāts</b>	<b>Prasības WT-2:2014 [48]</b>	<b>Novērtējums</b>	
Penetrācija 25 °C	LVS EN 1426	57,0	45-80	atbilst	
Mikstēšanas temperatūra, °C	LVS EN 1427	70,2	≥ 65	atbilst	
Frasa trausluma temperatūra, °C	LVS EN 12593	-20,0	≤ -15	atbilst	
Spēka duktilitāte (J/cm <sup>2</sup> )	LVS EN 13589 LVS EN 13703	7,78	≥ 2 (10 °C)	atbilst	
Elastīgā atjaunošanās +25°C, %	LVS EN 13398	89,0	≥ 80	atbilst	
Cietējumpretestība LVS EN 12607-1	Masas izmaiņa, %	LVS EN 12607-1	0,04	≤ 0,5	atbilst
	Paliekošā penetrācija, %	LVS EN 12607-1 LVS EN 1426	70,5	≥ 60	atbilst
	Mikstēšanas temperatūras palielinājums, °C	LVS EN 12607-1 LVS EN 1427	5,8	≤ 8	atbilst
Homogēniskums pēc noslāņošanās	Mikstēšanas temperatūras atšķirība, °C	LVS EN 13399 LVS EN 1427	1,2	≤ 5	atbilst
	Penetrācijas 25 °C t-rā atšķirība, 0,1 mm	LVS EN 13399 LVS EN 1426	11,0	-	atbilst

Tabula 4.4.

## PMB 45/80-65 bitumena īpašības un atbilstības novērtējums

Rādītājs	Standarts	Rezultāts	Prasības WT-2:2014 [48]	Novērtējums	
Penetrācija 25 °C	LVS EN 1426	60,0	45-80	atbilst	
Mīkstēšanas temperatūra, °C	LVS EN 1427	58,8	≥ 65	atbilst	
Frasa trausluma temperatūra, °C	LVS EN 12593	-19,0	≤ -15	atbilst	
Spēka duktilitāte (J/cm <sup>2</sup> )	LVS EN 13589 LVS EN 13703	6,33	≥ 2 (10 °C)	atbilst	
Elastīgā atjaunošanās +25°C, %	LVS EN 13398	85,0	≥ 80	atbilst	
Cietējumpretestība LVS EN 12607-1	Masas izmaiņa, %	LVS EN 12607-1	0,0	≤ 0,5	atbilst
	Paliekošā penetrācija, %	LVS EN 12607-1 LVS EN 1426	67,0	≥ 60	atbilst
	Mīkstēšanas temperatūras palielinājums, °C	LVS EN 12607-1 LVS EN 1427	6,0	≤ 8	atbilst
Homogēniskums pēc noslāņošanās	Mīkstēšanas temperatūras atšķirība, °C	LVS EN 13399 LVS EN 1427	1,2	≤ 5	atbilst
	Penetrācijas 25 °C t-rā atšķirība, 0,1 mm	LVS EN 13399 LVS EN 1426	3,2	-	atbilst

Tabula 4.5.

## PMB 45/80-80 bitumena īpašības un atbilstības novērtējums

Rādītājs	Standarts	Rezultāts	Prasības WT-2:2014 [48]	Novērtējums	
Penetrācija 25 °C	LVS EN 1426	49,0	45-80	atbilst	
Mīkstēšanas temperatūra, °C	LVS EN 1427	79,0	≥ 65	atbilst	
Frasa trausluma temperatūra, °C	LVS EN 12593	-16,0	≤ -15	atbilst	
Spēka duktilitāte (J/cm <sup>2</sup> )	LVS EN 13589 LVS EN 13703	6,55	≥ 2 (10 °C)	atbilst	
Elastīgā atjaunošanās +25°C, %	LVS EN 13398	93,0	≥ 80	atbilst	
Cietējumpretestība LVS EN 12607-1	Masas izmaiņa, %	LVS EN 12607-1	0,03	≤ 0,5	atbilst
	Paliekošā penetrācija, %	LVS EN 12607-1 LVS EN 1426	80,0	≥ 60	atbilst
	Mīkstēšanas temperatūras palielinājums, °C	LVS EN 12607-1 LVS EN 1427	1,8	≤ 8	atbilst
Homogēniskums pēc noslāņošanās	Mīkstēšanas temperatūras atšķirība, °C	LVS EN 13399 LVS EN 1427	2,0	≤ 5	atbilst
	Penetrācijas 25 °C t-rā atšķirība, 0,1 mm	LVS EN 13399 LVS EN 1426	11,0	-	atbilst

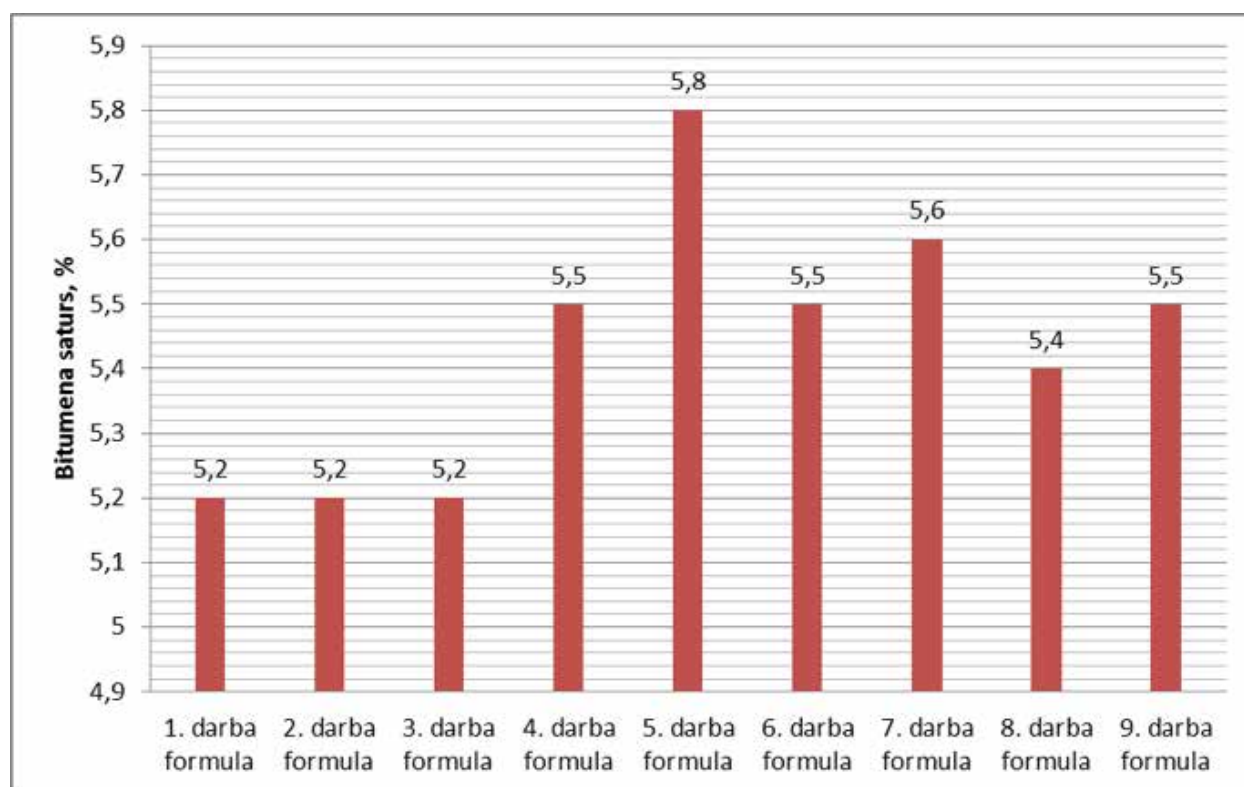


### 4.3. PLĀNKĀRTAS ASFALTBETONA PROJEKTĒŠANA

4.6. tabulā apkopoti eksperimentālo BBTM asfaltbetona sastāvu minerālmateriālu frakciju daudzumi. Frakcijas 8/11 daudzums, atkarībā no eksperimentālā sastāva, ir robežās no 35 līdz 48%, frakcija 5/8 no 10 līdz 15%, frakcija 0/5 no 35 līdz 53% un aizpildītājs no 2 līdz 7%. Eksperimentālo sastāvu granulometriskās liknes dotas 4.5. attēlā. Kopumā tika izprojektēti 9 maisījumi sastāvi līdz pēdējā tika sasniegti izvirzītie kritēriji.

Tabula 4.6.									
Minerālmateriālu frakciju daudzumi BBTM asfaltbetona sastāvos									
Minerāl- materiāls	Daudzums, %								
	1. sastāvs	2. sastāvs	3. sastāvs	4. sastāvs	5. sastāvs	6. sastāvs	7. sastāvs	8. sastāvs	9. sastāvs
Kvarca diorīta šķembas 8/11	48	38	32	35	35	35	35	35	35
Kvarca diorīta šķembas 5/8	12	15	15	10	10	10	10	10	10
Kvarca diorīta šķembas 0/5	35	41	46	48	48	48	48	53	53
Aizpildītājs	5	6	7	7	7	7	7	2	2

4.3. attēlā apkopoti eksperimentālo BBTM asfaltbetona sastāvu izgatavošanai izmantotu PMB 45/80-55 bitumenu daudzumi.

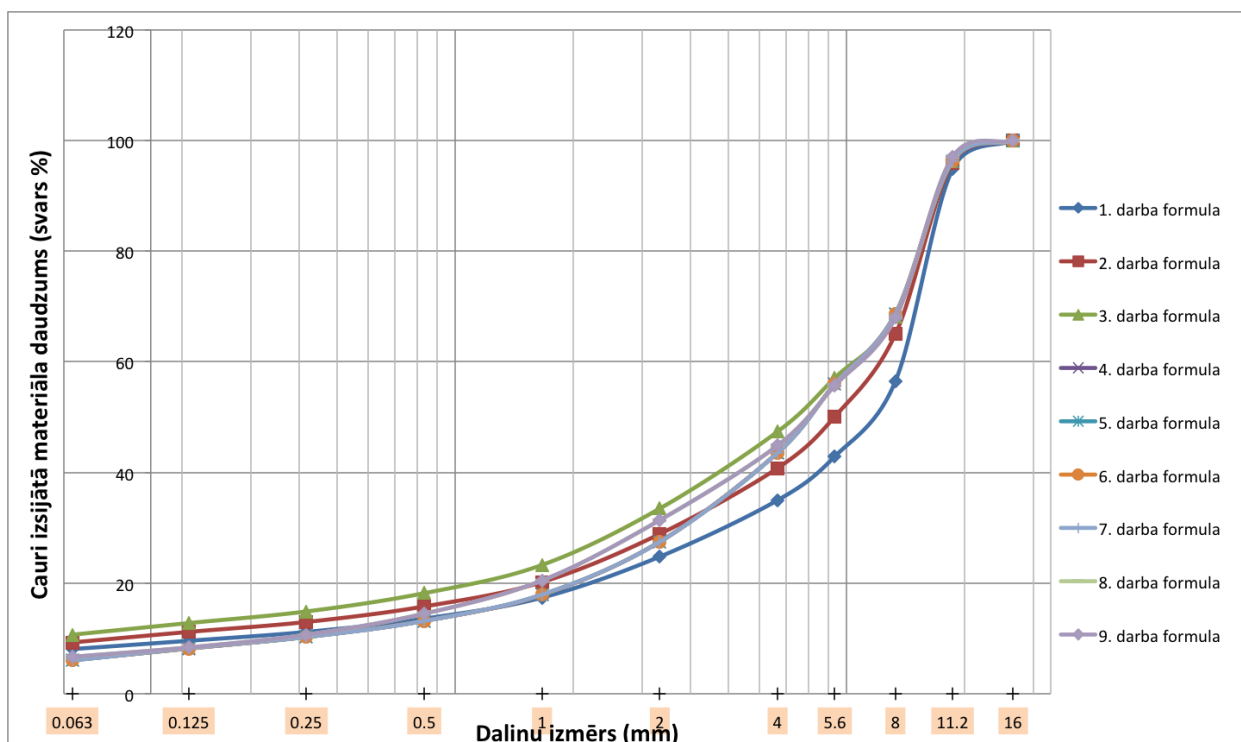


4.3. att. Eksperimentālo BBTM asfaltbetona sastāvu bitumenu daudzumi

Asfaltbetona maisījumi izgatavoti, izmantojot maisīšanas iekārtu BM 20 (skat. 4.4. att.).



4.4. att. Asfaltbetona maisīšanas iekārta BM 20



4.5. att. Eksperimentālo BBTM asfaltbetona sastāvu granulometriskās līknes

4.7. tabulā dots granulometriskā sastāva atbilstības novērtējums plānkārtas asfaltbetona BBTM 11 atbilstoši Poļu specifikācijām WT-2:2014.

Tabula 4.7.

**Darba formulu salīdzinājums ar plānkārtas asfaltbetona  
BBTM 11 atbilstoši Poļu specifikācijām WT-2:2014**

Siets, mm	Eksperimentālie sastāvi									Plānkārtas asfaltbetona tipi atbilstoši WT-2:2014					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	BBTM 11A	BBTM 11B	BBTM 11C			
16,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100	100	100	100	100	100
11,2	94,8	95,9	96,2	96,3	96,3	96,3	96,3	97,0	97,0	90	100	90	100	90	100
8	56,5	65,0	68,2	68,7	68,7	68,7	68,7	68,0	68,0	-	-	-	-	-	-
5,6	42,9	50,1	57,1	56,0	56,0	56,0	56,0	55,7	55,7	-	-	-	-	-	-
4	35	40,8	47,4	43,6	43,6	43,6	43,6	44,9	44,9	-	-	-	-	-	-
2	24,8	28,9	33,5	27,5	27,5	27,5	27,5	31,4	31,4	25	35	15	25	25	35
1	17,4	20,2	23,3	17,9	17,9	17,9	17,9	20,5	20,5	-	-	-	-	-	-
0,5	13,6	15,8	18,2	13,2	13,2	13,2	13,2	14,5	14,5	-	-	-	-	-	-
0,25	11,2	13	14,9	10,3	10,3	10,3	10,3	10,7	10,7	-	-	-	-	-	-
0,125	9,6	11,2	12,8	8,2	8,2	8,2	8,2	8,4	8,4	-	-	-	-	-	-
0,063	8,1	9,3	10,7	6,1	6,1	6,1	6,1	7	7	7	9	4	6	10	12
	Atbilst BBTM 11A			Neatbilsts											

Laboratorijas apstākļos bitumena daudzuma optimizācijai atbilstoši darba formulai izgatavoti BBTM maisījumi. Pieņemts, ka sākotnējais (teorētiskais) bitumena daudzums ir 5,2%.

Fizikālo īpašību analīzei atbilstoši LVS EN 12697-30 standarta metodei izgatavoti cilindriski Maršala paraugi (skat. 4.6. att.). Paraugu izgatavošana veikta 150°C temperatūrā ar 50 triecieniem no katras puses. Reglamentētais Maršala paraugu augstums ir  $63,5 \pm 2,5$  mm.

Maršala paraugiem atbilstoši LVS EN 12697-6 standartam noteikts tilpumblīvums (blīvums kopā ar porām), kura vērtība ir svarīga poru satura (sablīvējuma) noteikšanai. Asfaltbetona maisījumam atbilstoši LVS EN 12697-5 standartam noteikts maksimālais blīvums (blīvums bez porām).

Paliekošā porainība ( $V_m$ ), minerālā karkasa porainība ( $VMA$ ) un ar bitumenu aizpildīto poru saturs ( $VFB$ ) noteikts atbilstoši LVS EN 12697 - 8 standarta metodei.

4.8. tabulā apkopoti izgatavotu paraugu fizikālo īpašību rezultāti.



4.6. att. Maršala paraugi bitumena satura optimizācijai

Tabula 4.8.

BBTM fizikālās īpašības													
Nosakāmais parametrs	Standarts	Rezultāts											
		1. sastāvs	2. sastāvs	3. sastāvs	4. sastāvs	5. sastāvs	6. sastāvs	7. sastāvs			8. sastāvs	9. sastāvs	
								Tests					
								Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3			
Tilpumblīvums, Mg/m <sup>3</sup>	LVS EN 12697-6	2,313	2,371	2,390	2,396	2,422	2,388	2,409	2,399	2,386	2,394	2,396	
Maksimālais blīvums, Mg/m <sup>3</sup>	LVS EN 12697-5	2,566	2,569	2,550	2,557	2,529	2,535	2,544	2,539	2,538	2,539	2,531	
Paliekošā porainība, %	LVS EN 12697-8	9,9	7,7	6,3	6,3	4,2	5,8	5,3	5,5	6,0	5,7	5,3	
Minerālā karkasa porainība, %		22,1	18,8	18,5	19,2	18,0	18,9	18,0	18,4	18,8	17,7	17,6	
Ar bitumenu aizpildīto poru saturs, %		55,2	59,3	65,9	67,1	76,6	69,1	70,4	70,3	68,3	68,0	70,1	
Maršala paraugu augstums, mm	LVS EN 12697-30	65,9	62,6	64,2	63,0	61,8	64,4	62,9	62,7	63,3	63,8	63,5	
Atbilst												Neatbilst	

## 4.4. BBTM ASFALTBETONA RIŠU NOTURĪBA

Turpmākam pētījuma izvēlēts 9. sastāvs ar Poļu specifikācijām WT-2 atbilstošām īpašībām. Asfaltbetona maisījums (9. sastāva) rišu noturības un bīdes testiem, lai iegūtu pietiekamu maisījuma daudzumu, izgatavots 4 reizes. Pirmais maisījums izgatavots, lai noteikt rišu noturību (WTS<sub>air</sub>) tika izgatavota viena plātne. 2., 3. un 4. maisījums izgatavots ar daudzumu (ap 20 kg), lai pietiktu izgatavot no katra maisījuma divas plātnes. Pirmā plātne domāta riteņu sliežu testam. Otrā plātne domāta divu 100 mm urbumu un viena 150 mm diametra urbumu izurbšanai (skat. 4.9. tab.).

Tabula 4.9.

BBTM un izvēlētas apakškārtas īpašības				
Maisījums Nr.	1.	2.	3.	4.
Parametri				
Darba formula	9			
Apakškārtas tips	SMA	SMA	SMA	SMA
Apakškārtas individuālā WTS <sub>air</sub> vērtība [mm/1000]	0,11	0,05	0,06	0,06
Apakškārtas biezums	45mm	45mm	45mm	45mm
Virskārtas paliekošā porainība *	-	4,35	4,35	4,4

Tabula 4.9.				
Maksimālais blīvums virskārtai (Mg/m <sup>3</sup> ) *	-	2,516	2,507	2,514
Bitumena saturs virskārtā pēc atgūšanas **	-	5,15	5,15	5,15
Virskārtas biezums	25mm	25mm	25mm	25mm
WTS <sub>air</sub> [mm/1000]	0,18	0,12	0,12	0,16
Rišu dziļums	4,7	3,7	2,9	4,1
Prop. rišu dziļums [%]	6,7	5,3	4,2	5,8

\* vidējais starp 100mm un 150mm vērtību.

\*\* ņemts no asfaltbetona masas testēšanas rezultātiem- 9. sastāvs

4.10.. tabulā dots rišu noturības un bīdes stiprības noteikšanas plāns

Tabula 4.10.							
Plāns rišu noturības un bīdes stiprības noteikšanai							
Nr.	Darba formula	Izgatavoto plākšņu skaits	Riteņu sliežu tests	Nobīdes testēšana	Urbumu testēšana	Emulsijas tips	Apakškārtas tips
1.	9	1	+	-	-	65+3%	SMA
2.		2	+	+	+	65+3%	
3.		2	+	+	+	65+0%	
4.		2	+	+	+	60+3%	

Tabula 4.11.			
BBTM maisījuma Nr. 1. un izvēlētas apakškārtas rišu noturība			
	Biezums	Emulsija starp kārtām	wt% [mm/1000]
<b>Apakškārtas biezums</b>	45	C65BP (mod. 3%)	0,11
<b>Virskārtas biezums</b>	25		0,18



4.7. att. Rises dziļums BBTM maisījumā Nr. 1.

Tabula 4.12.

## BBTM maisījuma Nr. 2. un izvēlētas apakškārtas rišu noturība

	Biezums	Emulsija starp kārtām	wt% [mm/1000]
Apakškārtas biezums	45	C65BP (mod. 3%)	0,05
Virskārtas biezums	25		0,12



4.8. att. Rises dziļums BBTM maisījumā Nr. 2.

Tabula 4.13.

## BBTM maisījuma Nr. 3. un izvēlētas apakškārtas rišu noturība

	Biezums	Emulsija starp kārtām	wt% [mm/1000]
Apakškārtas biezums	45	C65B	0,06
Virskārtas biezums	25		0,12



4.9. att. Rises dziļums BBTM maisījumā Nr. 3.

Tabula 4.14.			
BBTM maisījuma Nr. 4. un izvēlētas apakškārtas rišu noturība			
	Biezums	Emulsija starp kārtām	wts [mm/1000]
<b>Apakškārtas biezums</b>	45	C60BP (mod 3%)	0,05
<b>Virskārtas biezums</b>	25		0,16



4.9. att. Rises dziļums BBTM maisījumā Nr. 3.

## 4.5. BBTM ASFALTBETONA URBTO PARAGU FIZIKĀLO ĪPAŠĪBU NOTEIKŠANA

Tika veikti asfaltbetona plātņu urbumi. Urbumu veikšanai tika izmantota Autoceļu kompetences centra Ceļu laboratorijas asfaltbetona urbumu veikšanas iekārta. (skat. 4.11. att.). Galvenais uzdevums, lai veiksmīgi varētu noņemt urbumus ir nostiprināt izgatavo asfaltbetona plātņi, tā, lai urbšanas laikā nenotiktu tās kustība.

Procesa rezultātā tika iegūti kopumā 3x150 mm urbumi un 6x100 mm urbumi.



4.11. att. 100 mm un 150 mm urbumu veikšana

Tā kā veltņa blīvētājs izgatavo paraugus tuvināti reāliem apstākļiem plānkārtas asfaltbetona sastāvu projektēšanas procesā sablīvējums noteikts Maršala paraugiem, tāpēc no asfaltbetona plātnes izurbtiem paraugiem tika noteikts sablīvējums. 4.15. tabulā doti urbto paraugu (diametrs 100 mm un 150 mm) sablīvējuma rezultāti, kuri iekļaujas plānkārtas asfaltbetona reglamentētājās sablīvējuma robežās (3-6%).

<b>Tabula 4.15.</b>		
<b>BBTM asfaltbetona urbto paraugu sablīvējums</b>		
<b>Maisījums Nr. 2</b>	<b>100mm*</b>	<b>150mm**</b>
Tilpumblīvums (Mg/m <sup>3</sup> )	2.394	2.420
Maksimālais blīvums (Mg/m <sup>3</sup> )	2.524	2.507
Paliekošā porainība, %	5.2	3.5
<b>Maisījums Nr. 3</b>	100mm*	150mm**
Tilpumblīvums (Mg/m <sup>3</sup> )	2.384	2.413
Maksimālais blīvums (Mg/m <sup>3</sup> )	2.506	2.508
Paliekošā porainība, %	4.9	3.8
<b>Maisījums Nr. 4</b>	100mm*	150mm**
Tilpumblīvums (Mg/m <sup>3</sup> )	2.412	2.394
Maksimālais blīvums (Mg/m <sup>3</sup> )	2.506	2.521
Paliekošā porainība, %	3.8	5.0

\* iegūtie rezultāti ir vidējais rezultāts no diviem 100 mm urbumiem.

\*\* rezultāts ir iegūts no viena 150 mm urbuma



4.12. att. BBTM parauga svēršana sablīvējuma noteikšanai



## 4.5. BBTM ASFALTBETONA NOVACHIP 11 PROJEKTĒŠANA

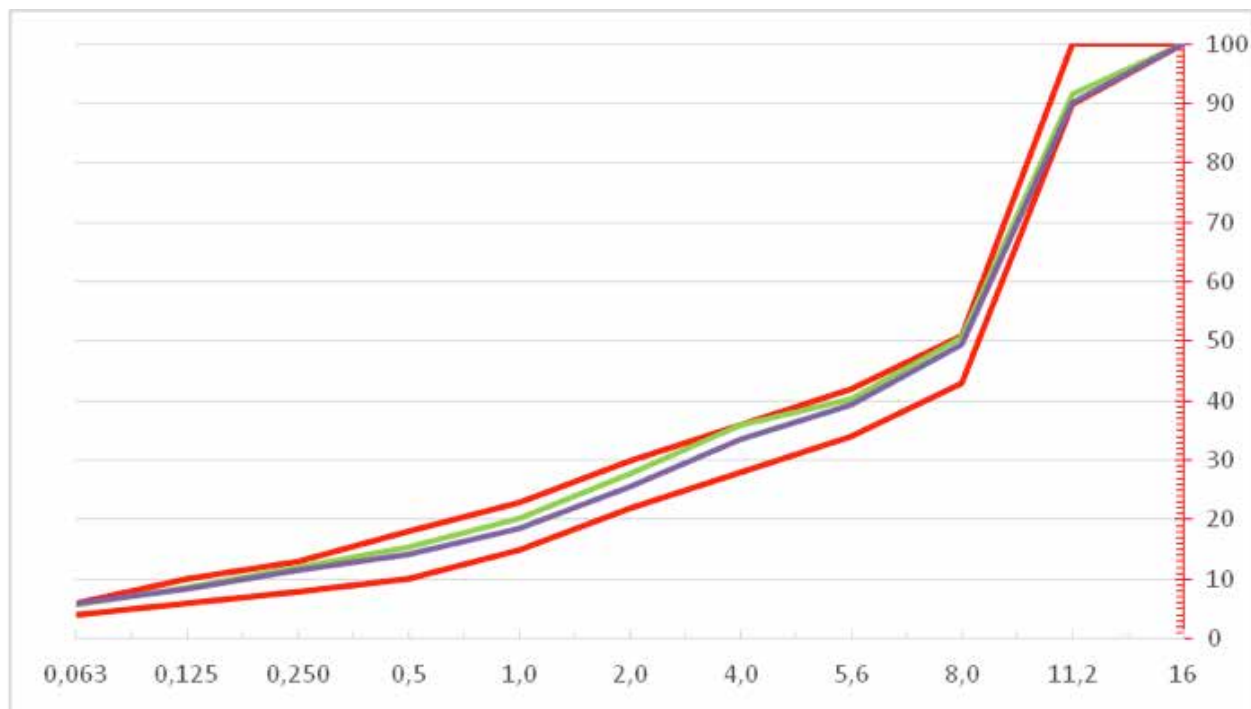
Novachip 11 izstrādāta, balstoties uz Holandes pieredzi un tehnoloģiju 4.16. tabulā dotas prasības asfaltbetona plānkārtas maisījuma granulometriskajam sastāvam un saistvielas saturam.

<b>Tabula 4.16.</b>		
<b>Prasības maisījuma granulometriskajam sastāvam un saistvielas saturam % pēc masas</b>		
<b>sieta izmērs, mm</b>	<b>min vērtība, %</b>	<b>max vērtība, %</b>
11,2		
8,0	43,0	51,0
5,6	34,0	42,0
4,0		
2,0	22,0	30,0
1,0		
0,5		
0,250		
0,125		
0,063	4,0	6,0
<b>Bitumens, %</b>	4,94	5,66

4.17. tabulā un 4.13. attēlā ir parādīts plānkārtas asfaltbetona Novachip 11 granulometriskais sastāvs (darba formula.). Novachip 11 darba formulas granulometriskais sastāvs projektēts, izmantojot sekojošus minerālmateriālus – 55,9% frakcijas 8/11 granīta šķembas, 21,8% frakcija 0/5 granīta izsijas, 2,8% frakcija 5/8 granīta šķembas, 2,8 % frakcijas 0/2 mazgāta un drupināta smilts, 11,36% dolomīta aizpildītājs (Saulkalne) un 5,3% bitumens PMB 45/80-55.

4.18. tabulā apkopotas Novachip 11 maisījuma pamatīpašības. iegūtais porainības rezultāts - 4% iekļaujas rekomendējamo porainības vērtību robežās 3 – 6%.

<b>Tabula 4.17.</b>				
<b>Prasības maisījuma granulometriskajam sastāvam un saistvielas saturam % pēc masas</b>				
<b>Sieta izmērs, mm</b>	<b>min vērtība, %</b>	<b>max vērtība, %</b>	<b>Cauršijāto daļiņu % pēc projekta</b>	<b>Darba formula</b>
16	100	100	100	100
11,2	90,0	100,0	91,6	90,1
8,0	43,0	51,0	50,7	49,5
5,6	34,0	42,0	40,4	39,4
4,0	28,0	36,0	36,0	33,6
2,0	22,0	30,0	27,8	25,5
1,0	15,0	23,0	20,2	18,6
0,5	10,0	18,0	15,4	14,3
0,250	8,0	13,0	12,0	11,5
0,125	6,0	10,0	8,6	8,4
0,063	4,0	6,0	5,6	5,9
<b>Bitumens, %</b>	4,94	5,66	5,3	5,19



4.13. att. Asfaltbetona plānkārtas Novachip 11 granulometriskais sastāvs

Tabula 4.18.

## Novachip 11 sastāva pamatīpašības

Bituminētā maisījuma marka	NovaChip 11			
Testēšanas datums	28/04/2016			
<b>Tilpumbļivums LVS EN 12697-6 (B metode), LVS EN 12697 - 30</b>				
Parauga Nr.	1	2	3	4
Sausa parauga masa, $m_1$ , g	1196	1202,6	1221,7	1145,7
Parauga masa ūdenī, $m_2$ , g	710,3	713,8	722,1	677,9
Piesūcināta parauga masa, $m_3$ , g	1198,8	1204,9	1223,9	1148,1
Ūdens blīvums, $\rho_w$ , Mg/m <sup>3</sup>	25,0	<b>0,9971</b>		
Paraugu biezumi, mm	62,35	62,7	64,3	60
Tilpumbļivums, Pssd, Mg/m <sup>3</sup>	2,441	2,442	2,428	2,430
Atkārtamība $(17+0.3*A)*0.001$ , Mg/m <sup>3</sup>	-0,006	-0,007	0,007	0,005
Tilpumbļivums, $\rho_{ssd}$ , Mg/m <sup>3</sup>	<b>2,435</b>			
<b>Maksimālais blīvums LVS EN 12697-5 (A metode)</b>				
Piknometra Nr.	2		4	
Piknometra tilpums, $V_p$ , m <sup>3</sup>	1314,7*10 <sup>-6</sup>		1321,6*10 <sup>-6</sup>	
Piknometra masa, $m_1$ , g	685,5		690,1	
Piknometra + parauga masa, $m_2$ , g	1593,3		1604,1	
Piknometra + parauga + šķīdināt./ūdens masa, $m_3$ , g	2547,3		2563,1	
Ūdens blīvums, $\rho_w$ , Mg/m <sup>3</sup>	25,0	0,9971		
Maksimālais blīvums, $\rho_{mv}$ , Mg/m <sup>3</sup>	2,536		2,540	
Atkārtamība, Mg/m <sup>3</sup>	0,002		-0,002	
Maksimālais blīvums, $\rho_{mv}$ , Mg/m <sup>3</sup>	<b>2,538</b>			

Tabula 4.18.

Poru saturs LVS EN 12697-8		Granulom. sastāvs LVS EN 12697- 2				
<b>4,1</b>		Sieti, mm	Masa, g	Daudz.%	daļiņas %	Cauršij. %
Saistvielas saturs LVS EN 12697-1 B.1.2.		31,5	145,7	0,0	0,0	100,0
Sieta svars, g	2633,9	22,4		0,0	0,0	100,0
Parauga masa, g	1545,1	16,0		0,0	0,0	100,0
Čaula + filtrs, g	539,8	11,2		9,9	9,9	90,1
Sieta svars/ parauga masa pēc ekstrakcijas, g	1376,3	8,0		38,8	48,7	51,3
Čaula + filtrs + puteklis, g	628,6	5,6		9,1	57,8	42,2
Parauga masa pēc ekstrakc., g	1375,90	4,0		6,8	64,6	35,4
Putekļa masa pēc ekstrakc., g	88,80	2,0		9,3	73,9	26,1
Bitumena saturs, g	80,40	1,0		7,4	81,3	18,7
<b>Bitumena saturs, %</b>	<b>5,20</b>	0,5		64,2	4,4	85,7
Ar bitumenu aizpild. Poras LVS EN 12697-8	<b>75,4</b>	0,25	40,9	2,8	88,5	11,5
Minerālā karkasa poras LVS EN 12697-8	<b>16,6</b>	0,125	43,5	3,0	91,5	8,5
Bitumena q.	1019	0,063	35,2	2,4	93,9	6,1
		<0,063	89,9	6,1	100,0	0,0
			1464,7			

## 4.6. STARPSLĀŅU BĪDES PRETESTĪBA

### 4.6.1 BĪDES PRETESTĪBA STARP TRADICIONĀLIEM AC ASFALTBETONA MAISĪJUMIEM

Efektīvai ceļa segu virskārtas slāņu bojājumu novērtēšanai ar BBTM ir svarīgi nodrošināt augstas starpslāņu adhēzijas īpašības.

Tika pētīta dažādu bitumena emulsijas marku, kā arī dažādu emulsijas uzklāšanas normu ietekme uz starpslāņu bīdes noturību. Sadarbībā ar SIA "Ceļu emulsija-HL" tika sagatavotas trīs dažādas bitumena emulsijas: C60B, C50B un C50BP. Šīs emulsijas salīdzinoši plaši tiek pielietotas ceļu būvniecībā Latvijā. Specifisku objektu, kā arī paaugstinātu prasību gadījumā tiek lietotas bitumena emulsijas ar dažādām modificējošām piedevām, piemēram, emulsija C50BP.

*Ceļu specifikācijās 2017* minēts, ka emulsijas izsmidzināšanas norma bituminētu kārtu gruntēšanai ir 0.3-0.5 l/m<sup>2</sup>. Citos pētījumos par starpslāņu adhēziju minēts, ka emulsijas normu nedrīkst pārmērīgi palielināt, jo var sākties pretējs efekts. Bīdes noturība var pazemināties, jo pārāk liels emulsijas daudzums starp asfaltbetona slāņiem nenodrošina to pienācīgu salīšanu, bet gan ļauj slāņiem pārvietoties jeb "peldēt". Tāpat bitumena emulsija ir dārgs produkts. Tādēļ ceļu būvniecībā iesaistītās puses ir ieinteresētas optimālā emulsijas izlietojumā un korektu un atbilstošu izsmidzināšanas normu noteikšanā. Pētījuma gaitā tika mainīts arī uzklātās emulsijas daudzums uz izgatavotajiem paraugiem. Tādējādi tika mēģināts novērot brīdi, kad pie palielinātas emulsijas uzklāšanas normas starpslāņu adhēzijas saite kļūs vājāka.

Šajā etapā starpslāņu bīdes izpēte veikta, izmantojot Latvijas apstākļiem tradicionālus asfaltbetona tipus - apakškārtas AC-16base un virskārtas AC-11 surf un SMA 11. Visi asfaltbetona masas paraugi tika

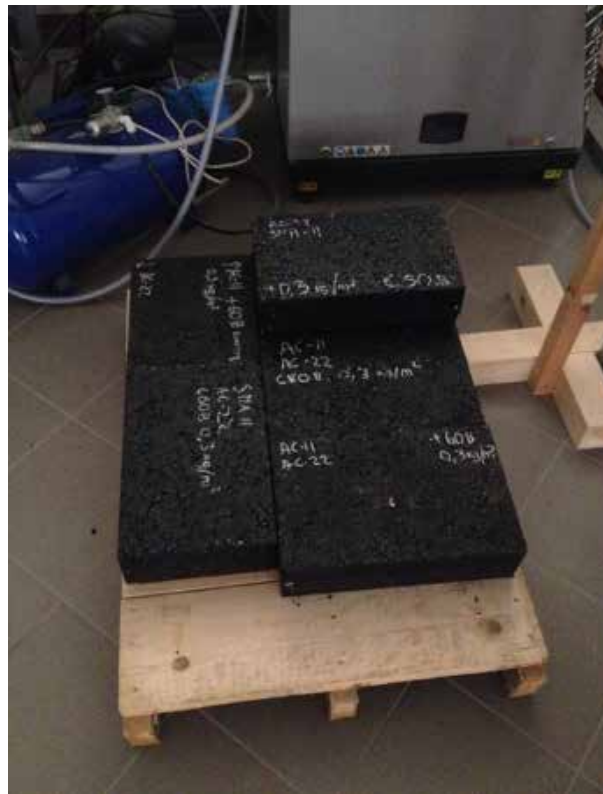
izgatavoti rūpnieciski, tādējādi novēršot nevienmērīgu granulometrisku sastāvu un nevienmērīgi izkliedētu bitumenu pa asfaltbetona masu.

Paraugu izgatavošana tika veikta ar veltņa blīvētāja palīdzību (skat. 4.14. att.).



4.14. att. Paraugu izgatavošana veltņa blīvētājā

Vispirms tika izgatavota plātne no apakškārtas maisījuma AC 16base, pēc tam uz plātnes ar izvēlētu normu tika uzklāta izvēlētā bitumena emulsija. Sagaidot pilnīgu bitumena emulsijas sadalīšanos, uz izgatavotās apakškārtas plātnes ar veltņa blīvētāju tika uzklāta virskārta (skat. 4.15. att.). Pēc izgatavotā parauga atdzišanas tas tika novietots noliktavā, istabas temperatūrā, kamēr tika izgatavoti pārējie paraugi.



4.15. att. Izgatavoto paraugu plātnes

Pēc paraugu izgatavošanas tie tika apstrādāti tieši tāpat, kā tas būtu gadījumā, ja tiktu veikta pārbaude izbūvētā ceļa posmā. No izgatavotajām plātnēm tika izurbti divi paraugi (skat. 4.16.- 4.17. att.). Pēc tam urbumiem tika veikts tests, lai noteiktu starpslāņu bīdes pretestības vērtību (skat. 4.18.-4.19. att.).



4.16. att. Plātnes pēc urbumu veikšanas



4.17. att. Paraugu urbumi



4.18. att. Bīdes pretestības noteikšanas iekārta



4.19. att. Sagrauts paraugs

Izvēlētās asfaltbetona masas, emulsiju normas un veidu kombinācijas redzamas 4.19. tabulā.

<b>Tabula 4.19.</b>				
<b>Emulsijas patēriņš atkarībā no asfaltbetona tiptiem un emulsijas veida</b>				
<b>Nr.p.k.</b>	<b>Apakškārta</b>	<b>Virskārta</b>	<b>Bitumena emulsija</b>	<b>Emulsijas norma</b>
1	AC-16 base	AC-11 surf	C60B	0.3 l/m <sup>2</sup>
2	AC-16 base	AC-11 surf	C60B	0.45 l/m <sup>2</sup>
3	AC-16 base	AC-11 surf	C60B	0.6 l/m <sup>2</sup>
4	AC-16 base	AC-11 surf	C60B	0.9 l/m <sup>2</sup>
5	AC-16 base	AC-11 surf	C50B	0.3 l/m <sup>2</sup>
6	AC-16 base	AC-11 surf	C50BP	0.3 l/m <sup>2</sup>
7	AC-16 base	SMA 11	C60B	0.3 l/m <sup>2</sup>
8	AC-16 base	SMA 11	C50B	0.3 l/m <sup>2</sup>
9	AC-16 base	SMA 11	C50BP	0.3 l/m <sup>2</sup>

Iegūtie bīdes stiprība ar dažādām emulsijas uzklāšanas normām rezultāti doti 4.20. – 4.21. tabulās.

<b>Tabula 4.20.</b>						
<b>Bīdes stiprība ar dažādām emulsijas uzklāšanas normām</b>						
<b>Nr.p.k.</b>	<b>Virskārta</b>	<b>Emulsija</b>	<b>Emuls.uzkl. norma</b>	<b>Bīdes stiprība</b>		
				<b>1.paraugs</b>	<b>2.paraugs</b>	<b>Vidēji (kN)</b>
1	AC-11 surf	C60B	0.3 l/m <sup>2</sup>	16.08	20.46	18.27
2	AC-11 surf	C60B	0.45 l/m <sup>2</sup>	23.94	20.25	22.09
3	AC-11 surf	C60B	0.6 l/m <sup>2</sup>	21.29	16.17	18.73
4	AC-11 surf	C60B	0.9 l/m <sup>2</sup>	20.53	20.70	20.61

<b>Tabula 4.21.</b>						
<b>Bīdes stiprība ar dažādām emulsijas uzklāšanas normām</b>						
<b>Nr.p.k.</b>	<b>Virskārta</b>	<b>Emulsija</b>	<b>Emuls.uzkl. norma</b>	<b>Bīdes stiprība</b>		
				<b>1.paraugs</b>	<b>2.paraugs</b>	<b>Vidēji (kN)</b>
1	AC-11 surf	C60B	0.3 l/m <sup>2</sup>	16.08	20.46	18.27
2	AC-11 surf	C50B	0.3 l/m <sup>2</sup>	19.43	26.08	22.75
3	AC-11 surf	C50BP	0.3 l/m <sup>2</sup>	13.46	17.51	15.48
4	SMA 11	C60B	0.3 l/m <sup>2</sup>	14.61	16.95	15.78
5	SMA 11	C50B	0.3 l/m <sup>2</sup>	20.49	24.38	22.43
6	SMA 11	C50BP	0.3 l/m <sup>2</sup>	17.51	24.2	20.85

Analizējot iegūtos rezultātus, ir novērojama neliela atšķirība starp vienas un tās pašas plātnes urbumu bīdes stiprību. Eksperimentāli noteikts, ka augstākā bīdes stiprība tiek sasniegta, ja emulsijas C60B patēriņš ir 0,45 l/m<sup>2</sup> (skat. 4.20. tab.). Savukārt *Ceļu specifikācijas 2017* reglamentētā bīdes stiprība – 8 kN sasniegta ar emulsijas C60B patēriņu ir 0,3 l/m<sup>2</sup>. Analizējot bīdes stiprības izmaiņas ar dažādām emulsijām (patēriņš 0,3 l/m<sup>2</sup>), konstatēts, ka visi iegūtie rezultāti atbilst *Ceļu specifikācijas 2017* prasībām – pārsniedzot 2 - 2,5 reizes reglamentēto vērtību 8 kN. 3.6.2 nodaļā šī pieeja tiks izmantota plānkārtas asfaltbetona bīdes stiprības (adhēzijas īpašību) novērtējumam.

#### 4.6.2 BĪDES PRETESTĪBA STARP BBTM ASFALTBETONU UN SMA ASFALTBETONA MAISIJUMU

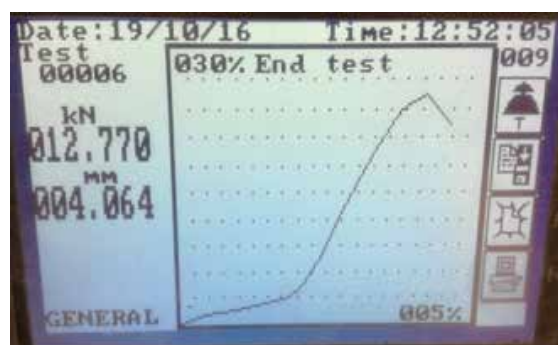
Uzprojektētajām BBTM 9. sastāvam 2.- 4. maisījumiem (skat. 4.9.- 4.10. tab.) noteikta starpslāņu bīde, izmantojot dažādas emulsijas (nemodificētu un polimērmodificētu). Emulsijas patēriņš 0,3 l/m<sup>2</sup>. 31. tabulā un 55. attēlā ir dots rezultātu apkopojums. Iegūtie rezultāti 1,5-2 reizes pārsniedz *Ceļu specifikācijas 2017* reglamentēto vērtību 8 kN. (skat. 4.21. tab.)

Tabula 4.22.						
Bīdes stiprības izmaiņas ar dažādām emulsijām un a/b virskārtām:						
Parametri	Maisījums Nr.2.		Maisījums Nr.3.		Maisījums Nr.4.	
Izmantotā emulsija	C65BP (mod. 3%)		C65B		C60BP (mod 3%)	
Parauga diametrs (mm)	149		149		149	
Parauga kārtas biezumi (mm)	25	45	25	45	25	45
Nobīdes spēks (kN)	17,919		12,770		17,300	
Nobīdes garums (mm)	5,157		2,447		3,114	
Atbilst <i>Ceļu specifikācijas 2017</i>						

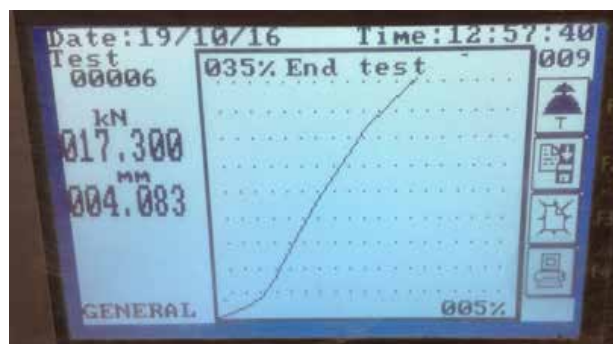
a)



b)



c)

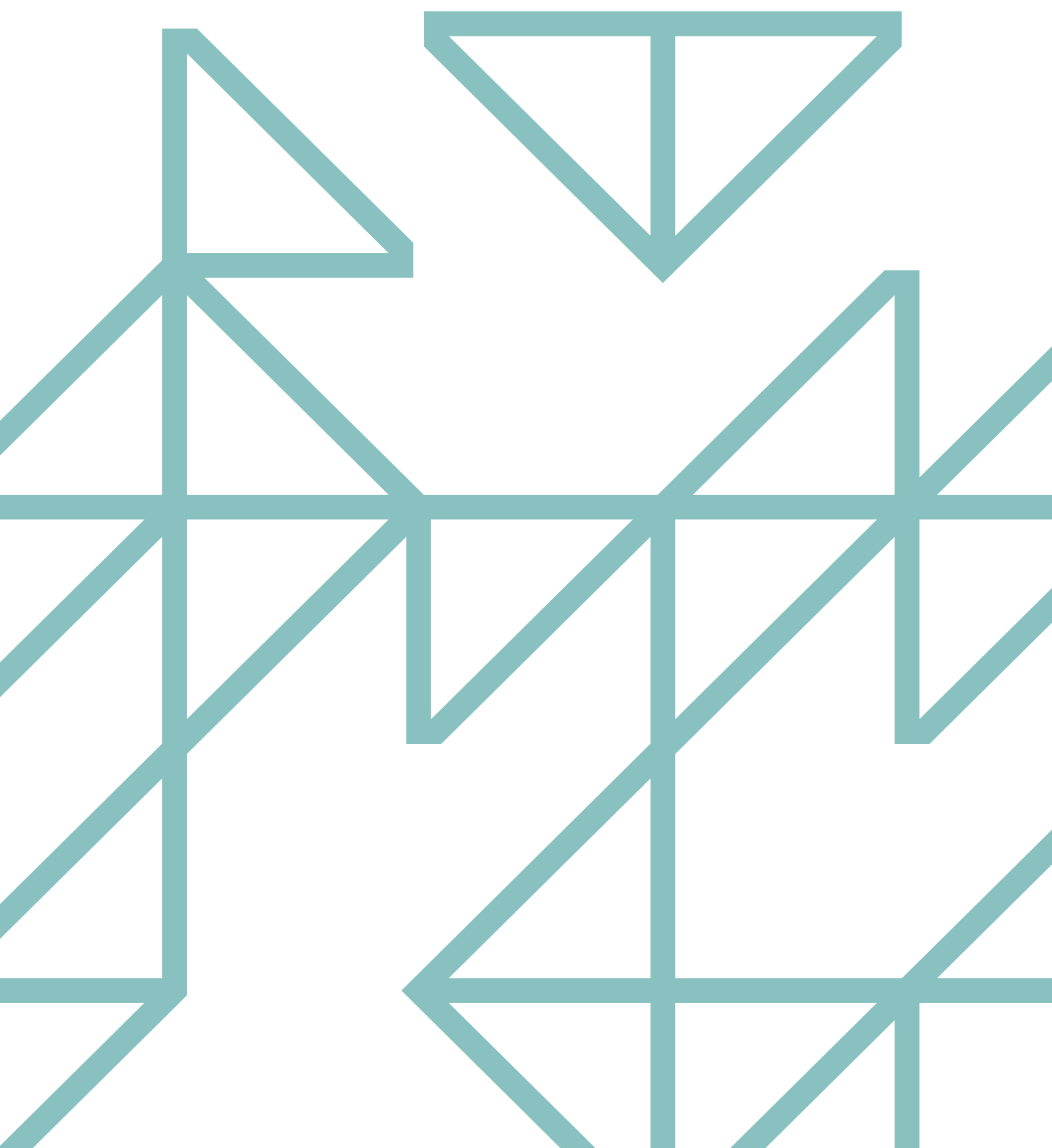


4.20. att. BBTM paraugu bīdes stiprības rezultāti



# SECINĀJUMI UN REZULTĀTI

1. Apkopojot atjaunošanas tehnoloģiju pielietojuma un ilgmūžības datus, secināts, ka BBTM asfaltbetons, līdzīgi kā tradicionālais asfaltbetona segums, dod vislielāko seguma (arī segas) kalpošanas laika pieaugumu – 8-12gadi.
2. BBTM izmantošanas pieredze Eiropā rāda, ka šis ceļa seguma tips ir ekonomiski izdevīgs, jo tā izmaksas ir līdz 45% zemākas nekā alternatīvajiem asfaltbetona veidiem.
3. Pētījumā atzīmēti daži BBTM trūkumi tādi, kā, piemēram, iebūvējams tikai labos apstākļos, jo plānā asfaltbetona kārtā strauji atdziest; manuāla ieklāšana nav iespējama; minerālmateriālu kvalitātei jābūt ļoti labai (var būt grūtības to atrast); trokšņa samazināšanas efektivitāte samazinās laika gaitā.
4. Pētījumā apkopotas BBTM lietošanas rekomendācijas un gadījumi, kad plānkārtas lietošana nav rekomendējama: autoceļu posmi ar noguruma, blokveida plaisām un lāpījumiem virs 20% no seguma laukuma; risēs dziļums virs 13 mm; plaisu platums virs 10 mm, apgabalos, kur aizdomas par slāņu nobīdi vai nesaistīto kārtu sabrukšanu.
5. BBTM un tradicionāls asfaltbetons, salīdzinājumā ar citām seguma virsmas atjaunošanas tehnoloģijām, piemērots virsmas atjaunošanai ceļiem ar augstu satiksmes intensitāti - AADTj, pievestā  $\geq 3500$ .
6. BBTM sastāvu izstrādei jāizmanto ļoti augstas kvalitātes magmatiskās izcelsmes minerālmateriāls. Atbilstoši "Ceļu specifiskācijas 2017" 6.2-7 tabulai minerālmateriālu stiprības klasei jābūt S-I. Līdz ar to augsto LA (Losandželosas koeficients) un AN (Nordiskā abrazīvā vērtība) vērtību dēļ vietējais materiāls (dolomīts, grants) nav piemērots BBTM asfaltbetonam.
7. Šajā pētījumā BBTM projektēšanai izvēlētas magmatiskās izcelsmes kvarcdiorīta šķembas (S-I klase), kuras Latvijā izmanto šķembu mastikas asfalta (SMA) un blīvā asfaltbetona (AC) sastāvu izstrādei ceļiem ar AADT j, pievestā  $> 3500$ .
8. BBTM sastāvu izstrādei jāizmanto ar elastomēriem polimērmodificēti bitumēni ar augstu elastīgās atjaunošanas rādītāju ( $\geq 70\%$ ). Atbilstoši LVS EN 14023 var lietot sekojošas PMB klases: PMB 45/80-55, PMB 45/80-65 un PMB 45/80-80. Svarīgi atzīmēt, ka tradicionāliem PMB bitumēniem, paredzētiem tradicionālo SMA un AC asfaltbetona sastāvu izstrādei, elastīgas atjaunošanas rādītāji var būt zemāki ( $\geq 50\%$ ).
9. Pētījumā atbilstoši „Nestingas ceļa segas projektēšanas metodika” izstrādāts ceļa segas projekts, kurā iekļauta BBTM dilumkārtā un HMAC dilumkārtā un pamatkārtā.
10. Pētījumā, balstoties uz Polijas specifiskācijām WT-2, izstrādāti, izmantojot kvarcdiorīta šķembas (LA-11, AN-8) un polimērmodificētu bitumēnu PMB 45/80-55, asfaltbetona sastāvi ar augstām ekspluatācijas īpašībām (WTSair 0,12 - 0,18).
11. Analizējot tradicionālā un BBTM bīdes stiprības izmaiņas ar dažādām emulsijām (patēriņš  $0,3l/m^2$ ), konstatēts, ka visi iegūtie rezultāti atbilst "Ceļu specifiskācijas 2017" prasībām – 1,5 - 2,5 reizes pārsniedzot tajās noteikto vērtību 8 kN.
12. Sagatavota publikācija ziņošanai The 29th International Baltic Road Conference, kura notiks no 27. līdz 30. augustam Tālinā. A. Riekstiņš, V. Haritonovs, J. Tihonovs Resistance of Asphalt Mix to Plastic Deformations. Research on Restoration and Reconstruction Technologies of Asphalt Concrete for Very Thin Layers (BBTM).
13. Balstoties uz iegūtiem rezultātiem, izstrādātas BBTM specifiskāciju projekts (skat., atskaites pielikumu) un definēts turpmākā pētījuma virziens un uzdevumi.



# TURPMĀKAIS IESPĒJAMĀIS PĒTĪJUMA PLĀNS

---

Ierobežota finansējuma dēļ Latvijā un visā pasaulē tiek meklēti jauni veidi kā pēc iespējas lētāk un efektīvāk veikt esošo ceļu segumu atjaunošanu un aizsargāt apakšējos slāņus no bojāšanās, kā arī uzlabot ceļa seguma virsmas īpašības. It īpaši tas ir aktuāls ceļiem, kuru būvniecība veikta, izmantojot ES līdzekļus, jo tiem ik pēc 6-12 gadiem jāveic seguma virsmas atjaunošana. Viens no ilgtspējīgiem risinājumiem ir atjaunot ceļa dilumkārtu ar plānkārtas asfaltbetonu (AC-TL jeb BBTM).

Pētījuma projekta 1. kārtā analizēta pasaules pieredze plānkārtas asfaltbetona lietošanā. Noteiktas vairākas plānkārtas asfaltbetona priekšrocības salīdzinājumā ar citām (tradicionālajām) ceļa seguma virsmas atjaunošanās tehnoloģijām. Konstatēts, ka vairākām Eiropas valstīm plānkārtas asfaltbetona specifiskācijas atšķiras no LVS EN 13108-2 standarta (Bituminētie maisījumi. Materiāla specifiskācijas. 2.daļa: Asfaltbetons ļoti plānām kārtām) prasībām. Izdalītas vairākas pieejas plānkārtas asfaltbetona projektēšanā – Holandes, Dānijas, Polijas, Vācijas un ASV. Šajā etapā atbilstoši Holandes, Dānijas un Polijas specifiskāciju prasībām izvēlēts un testēts atbilstošs izejmateriāls, projektēti plānkārtas asfaltbetona sastāvi un noteiktas to ekspluatācijas īpašības. Izmantojot dažādas Latvijā ražotas bitumena emulsijas, noteikta BBTM un asfaltbetona saistes kārtas AC<sub>bin</sub> 16 paraugu bīdes (starpslāņu adhēzijas) stiprība. Analizējot bīdes stiprības izmaiņas ar dažādām emulsijām, konstatēts, ka visi iegūtie rezultāti 2 - 2,5 reizes pārsniedz *Ceļu specifiskācijās 2017* reglamentēto vērtību 8 kN.

Pētījuma projekta 1. kārtā pēc nogurumizturības kritērijiem, izmantojot ceļa segu projektēšanas programmu *"The Michigan Flexible Pavement Design System (MFPDS)"*, veikts ceļa segas konstrukcijas variantu aprēķins (iekļaujot HMAC un plānkārtas asfaltbetonu (BBTM)), lai to pilotprojekta ietvaros varētu izbūvēt eksperimentālā posmā un reālos ekspluatācijas apstākļos veikt tā monitoringu. Tika modelēti trīs ceļa segas varianti, lai iegūtu teorētisko asfaltbetona kārtas stiepes pārvietojumu, kas rastos riteņu slodzes iedarbībā. Izmantojot *Asphalt Institute* (AI) metodi, veikts nogurumizturības novērtējums un konstatēts, ka ceļa sega ar HMAC konstruktīvo slāni uzrāda augstāku noguruma izturību.

Turpmākajos pētījumos nepieciešams turpināt plānkārtas asfaltbetonu (BBTM) dažādu valstu pielietoto tehnoloģiju aprobēšanu ar mērķi izvēlēties Latvijas apstākļiem piemērotāko pieeju. Jāizstrādā vadlīnijas un rekomendācijas *„Ceļu specifiskācijas 2017”* (vai citas – aktuālās specifiskāciju versijas) pilnveidošanai attiecībā uz plānkārtas asfaltbetonu (BBTM) sastāvu izejmateriāliem, sastāvu projektēšanu un izgatavošanu, kā arī kvalitātes kritērijiem un pārbažu metodiku.

## **Mērķis**

Mērķis ir izstrādāt, izmantojot dažādu valstu pieejas, plānkārtas asfaltbetonus (BBTM) sastāvus ar augstām ekspluatācijas īpašībām un piedāvāt priekšlikumus *„Ceļu specifiskācijas 2017”* (vai citas – aktuālās specifiskāciju versijas) papildināšanai ar Latvijas apstākļiem jaunu plānkārtas asfaltbetona tipu, lai nodrošinātu piedāvātā risinājuma lietošanu augstas intensitātes ceļiem. Izstrādāt vadlīnijas šī asfaltbetona tipa projektēšanai, izgatavošanai un kvalitātes novērtējumam.

### Darba uzdevumi

1. Salīdzināt plānkārtas asfaltbetonu (projektētu balstoties uz dažādām pieejām- Holandes, Dānijas, Polijas, Vācijas un ASV) un to izejmateriālu reglamentētās īpašības ar Latvijas apstākļiem tradicionālo izejmateriālu (importēto un vietējo, lietoto augstas intensitātes ceļiem) īpašībām (1. kārtas turpinājums).
2. Laboratorijā, balstoties uz dažādu valstu pieeju un specifikācijām, izgatavot plānkārtas asfaltbetona maisījumus, izmantojot Latvijā augstas intensitātes ceļiem lietotos minerālmateriālus, un salīdzināt to īpašības ar tradicionālajiem asfaltbetona veidiem (1. kārtas turpinājums).
3. Veikt projektēto plānkārtas asfaltbetona paraugu deformatīvo īpašību eksperimentālās pārbaudes, balstoties uz dažādu valstu pieeju un specifikācijām, lietojot ekspluatācijas īpašību testēšanas metodes – riteņu sliežu veidošanās tests, stinguma un noguruma tests, kā arī nosakot ūdensjūtību (1. kārtas turpinājums).
4. HMAC sastāvu projektēšana un ekspluatācijas īpašību noteikšana, izmantojot jaunu dabīgu materiālu un frēzēto asfaltbetonu.
  - 4.1. Veikt starpslāņu (starp HMAC un plānkārtas asfaltbetona dilumkārtu) bīdes pretestības izpēti (1. kārtas turpinājums).
  - 4.2. Noteikt AC\_TL dilumkārtas un HMAC saistes kārtas (divslāņu sistēmas) ekspluatācijas īpašības (nogurumizturība, rišu noturība).
  - 4.3. Novērtēt, izmantojot dzīves cikla analīzes (LCA – life cycle analysis) un dzīves cikla izmaksu analīzes (LCCA – life cycle cost analysis) metodes, Latvijas apstākļiem efektīvāku segumu atjaunošanas tehnoloģiju.
  - 4.4. Ceļa segas konstrukcijas projekta izstrādāšana, iekļaujot zem plānkārtas asfaltbetona kārtas HMAC saistes kārtu un seguma apakškārtu (1. kārtas turpinājums).
5. Publikāciju, plakātu un ziņojumu sagatavošana.
6. Veikt plānkārtas asfaltbetona seguma ekonomisku novērtējumu (izejmateriāli, ražošana, iestrāde u.c. izmaksas). Salīdzināt izmaksas ar tradicionālajiem dilumkārtas tipiem.
7. Piedāvāt plānkārtas asfaltbetona (BBTM) iestrādes tehnoloģiju, gadījumam, kad rīses dziļums ir > 13mm.
8. Salīdzināt automobiļu radīto trokšņu līmeni tradicionālajiem un plānkārtas asfaltbetoniem (BBTM).
9. Sagatavot plānkārtas asfaltbetonu un tā izejmateriālu tehniskās prasības „*Ceļu specifikācijas 2017*” (vai citas – aktuālās specifikāciju versijas) papildināšanai.

### Metodika

1. Asfalta sastāvu izstrādes pamatā ir standarta LVS EN 13108-1, LVS EN 13108-2 un LVS EN 13108-5 prasības;
2. Bitumena īpašību noteikšana atbilstoši LVS EN 12591 vai LVS EN 13043 prasībām;
3. Minerālmateriāla īpašību noteikšana atbilstoši LVS EN 13043 prasībām;
4. Eksperimentālās pārbaudes tiks veiktas saskaņā ar aktuālo LVS EN testēšanas metožu prasībām;
5. Asfaltbetona un izejmateriālu īpašības tiks izvērtētās saskaņā ar “*Ceļu specifikācijas 2017*” un LVS EN prasībām;

# IZMANTOTĀ LITERATŪRA

---

1. Nikolaides, A.F, Very thin surfacing: a beneficial and cost effective alternative to traditional surfacing materiāls for flexible pavements [tiešsaiste]. Grieķija, 2008 [skatīts 2015.g. 3.marts.]. Pieejams: <http://www.civil.uminho.pt/ismarti/08ICTI/papers/P131.pdf>
2. Asphalt pavement asociation of Oregon, Thinlay Asphalt for Pavement Preservation, ASV [skatīts 2015.g. 19. mart.] Pieejams: <http://www.apao.org/presentations/ThinlayforPres13.pdf>
3. SOTER USA, Pavement preservation [tiešsaiste], ASV, 2016 [skatīts 2017. g. 28. febr.] Pieejams: <http://www.soterusa.com/pavement-preservation.html>
4. Hossain, M.H., Manepalli, V.S.M., Rahman, S.R., Musty, H.Y.M., Extending Pavement Life Using Thin Surfacing To Counter the Effect of Increased Truck Traffic Due to Freight Movements on Highways [tiešsaiste]. ASV, 2010 [skatīts 2016. g. 7. okt.] Pieejams: <http://digitalcommons.unl.edu/matcreports/73/>
5. Braun Intertec Corporation, Alternatives to Seal Coats [tiešsaiste], ASV, 2016 [skatīts 2016. g. 1 okt.]. Pieejams: <http://www.dot.state.mn.us/research/TRS/2016/TRS1602.pdf>
6. Minnesota Department of Transportation Cost-Effective Pavement Preservation Solutions for the Real World [tiešsaiste], ASV 2014 [skatīts 2016. 28. nov.]. Pieejams: <https://www.lrrb.org/PDF/201433.pdf>
7. Denso North America Inc, Pavement condition index [tiešsaiste]. ASV, 2009 [skatīts 2017. g. 27. febr.] Pieejams: <http://hawaiiasphalt.org/wp/wp-content/uploads/PCI-101.pdf>
8. US Department of Transportation, Ranking of Pavement Preservation Practices and Methods [tiešsaiste]. ASV [skatīts 2015. 20. maij.]. Pieejams: <http://www.scdot.scltap.org/wp-content/uploads/2017/02/SPR-695-FINAL-REPORT-Ranking-of-Pavement-Preservation-Practices-and-Methods.pdf>
9. Asphalt Institute, Asphalt Pavement Distress [tiešsaiste]. ASV [skatīts 2015. 5. mart.]. Pieejams: <http://www.asphaltinstitute.org/asphalt-pavement-distress-summary/>
10. The National Center for Pavement Preservation, Pothole Prevention [tiešsaiste]. Michigan [skatīts 2017. g. 28. febr.]. Pieejams: <https://www.pavementpreservation.org/pothole-prevention>
11. North Shore asphalt contractors. [tiešsaiste]. ASV [skatīts 2017. g. 1. mart.] Pieejams: <http://www.asphaltimprovements.co.nz/asphalt-repairs-north>
12. Pavement interactive, Rutting [tiešsaiste]. ASV [skatīts 2016. 18. mar.]. Pieejams: <http://www.pavementinteractive.org/rutting/>
13. Pavement interactive, Corrugation and shoving [tiešsaiste]. ASV [skatīts 2016. 18. mar.]. Pieejams: <http://www.pavementinteractive.org/corrugation-and-shoving/>
14. Pavement interactive, Bleeding [tiešsaiste]. ASV [skatīts 2016. 18. mar.]. Pieejams: <http://www.pavementinteractive.org/bleeding-2/>
15. Pavement interactive, Polished aggregate [tiešsaiste]. ASV [skatīts 2016. 18. mar.]. Pieejams: <http://www.pavementinteractive.org/polished-aggregate/>
16. Pavement interactive, Raveling [tiešsaiste]. ASV [skatīts 2016. 18. mar.]. Pieejams: <http://www.pavementinteractive.org/raveling/>
17. Asbley Benson, Pavement Preservation: Right Treatment, Right Road, Right Time [tiešsaiste]. ASV, 2010 [ skatīts 2017. g. 1. mar.]. Pieejams: [https://t2.unh.edu/sites/t2.unh.edu/files/documents/newsletters/2010/Pavement\\_Preservation\\_Tech\\_Note.pdf](https://t2.unh.edu/sites/t2.unh.edu/files/documents/newsletters/2010/Pavement_Preservation_Tech_Note.pdf)

18. MEIGS, Fog seal [tiešsaiste]. ASV [skatīts 2016. 17. nov.]. Pieejams: [http://www.hgmeigs.com/products\\_fog-seal.asp](http://www.hgmeigs.com/products_fog-seal.asp)
19. ALL States Materials Group, Surface treatment [tiešsaiste]. ASV Pieejams: <http://asmg.com/services.html>
20. Government of Nashville and Davidson County, RESURFACING AND PAVEMENT PRESERVATION TREATMENTS [tiešsaiste]. ASV, 2017 [skatīts 2017.g. 2. mar.] Pieejams: [http://mpw.nashville.gov/IMS/Paving/Documents/Appendix\\_C.pdf](http://mpw.nashville.gov/IMS/Paving/Documents/Appendix_C.pdf)
21. REED&GRAHAM, Chip seal oil [tiešsaiste]. ASV [skatīts 2017. g. 2. mar.] Pieejams: [http://www.rginc.com/rg/prod\\_em\\_chipseal.htm](http://www.rginc.com/rg/prod_em_chipseal.htm)
22. LL PELLING CO., Chip seal [tiešsaiste]. ASV [skatīts 2017. g. 2. mar.] Pieejams: <http://www.llpelling.com/divisions/chip-seal/>
23. Pavement Interactive, Sealing the Deal on Pavement Preservation [tiešsaiste]. ASV, 2012 [skatīts 2016. g. 6 okt.] Pieejams: <http://www.pavementinteractive.org/2012/07/09/sealing-the-deal-on-pavement-preservation-2/>
24. IPR, Residential communities [tiešsaiste]. ASV [skatīts 2017. g. 2. mar.] Pieejams: <http://iprslurryseal.com/about-us/residential-communities>
25. Quality, Slurry seal [tiešsaiste] ASV, [skatīts 2016. g. 5. aug.] Pieejams: <http://newqualityemulsions.homestead.com/Slurry-Seal.html>
26. BREINING FAYAT GROUP, Micro surfacing [tiešsaiste]. ASV [skatīts 2016.g. 5. aug.] Pieejams: <http://en.breining.fayat.com/PRODUCTS/SLURRY-MICRO-SURFACING>
27. WORLD HIGHWAYS, Expandable microsurfacing unit aids road resurfacing [tiešsaiste]. ASV [skatīts 2016.g. 5. aug.] Pieejams: <http://www.worldhighways.com/categories/materials-production-supply/features/expandable-microsurfacing-unit-aids-road-resurfacing/>
28. American Pavements, Micro-surfacing [tiešsaiste]. ASV [skatīts 2016.g. 5. aug.] Pieejams: [http://www.americanpavements.com/SupplementPages/more\\_micro.html](http://www.americanpavements.com/SupplementPages/more_micro.html)
29. Kragh, J., Nielsen, E., Olesen, E., Goubert, L., et al., Optimization of Thin Asphalt Layers [tiešsaiste]. Dānija, 2011 [skatīts 2015.g. 23.mar.]. Pieejams: <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:674028/FULLTEXT02.pdf>
30. Newcomb, D.E. Thin Asphalt Overlays for Pavement Preservation [tiešsaiste]. ASV, 2009 [skatīts 2015.g. 31.okt.]. Pieejams: <http://hawaiiasphalt.org/wp/wp-content/uploads/IS-135-Thin-Asphalt-Overlays-for-Pavement-Preservation.pdf>
31. Pavement interactive, Existing Surface Preparation for Overlays [tiešsaiste]. ASV [skatīts 2015. 18. mar.]. Pieejams: <http://www.pavementinteractive.org/existing-surface-preparation-for-overlays/>
32. Wilson, B., Scullion, T., Estakhri, C., Arellano, M., et al., Thin Overlay Guidelines [tiešsaiste]. ASV, 2015 [skatīts 2015.g. 23.okt.]. Pieejams: <http://d2dtl5nnpfr0.cloudfront.net/tti.tamu.edu/documents/0-6742-P1.pdf>
33. NCAT at AUBURN UNIVERSITY Pieejams: <http://ncat.us/info-pubs/newsletters/spring-2015/bonding.html>.
34. Ukwuoma O, Ademodi B. The effects of temperature and shear rate on the apparent viscosity of Nigerian oil sand bitumen. *Fuel Process Technol*, 60, pp. 95–101. 1999.
35. Zhao Y, Machel HG. Determination of the viscosities of Grosmond Reservoir Bitumen, Alberta, Canada. CSP CSEG CWLS Convention. Calgary, Canada. 2009.
36. Sybilski D. Non-Newtonian viscosity of polymer-modified bitumens. *Mater Struct*, 26, pp. 15–23. 1993.
37. Garcia A. Self-Healing of open cracks in asphalt mastic. *FUEL*, 93, pp. 264–272. 2011.
38. Liu Q, Garcia A, Schlangen E, van de Ven M. Induction healing of asphalt mastic and porous asphalt concrete. *Const Build Mat*; 25, pp. 3746–3752. 2011.
39. Liu Q, Schlangen E, Garcia A, van de Ven M. Induction heating of electrically conductive porous asphalt concrete. *Const Build Mat*; 24(7), pp. 1207–1213. 2009.
40. Garcia A, Schlangen E, van de Ven M. Induction heating of mastic containing conductive fibers and fillers. *Mat Struct*; 44(2), pp. 499–508. 2010.

41. Garcia A., Bueno M, Norambuena-Contreras J, Partl M. Induction healing of dense asphalt concrete, *Construction and Building Materials*, 49, pp. 1–7. 2013.
42. Garcia A., Bueno M, Liu Q., Partl M. The model for induction-healing asphalt concrete. *Asphalt Pavements*. ISBN 978-1-138-02693-3. pp. 1431-1440.
43. R. Casado Barrasa, V. Blanco Lopez and C. Martin-Portugues Montoliu. Addressing durability of asphalt concrete by self-healing mechanism. *Bitumen Mixtures and Pavements IV*, Taylor and Francis Group, ISBN 978-1-138-02866-1. pp. 453-461.
44. Tabakovic, A., Schlangen, E., *Self-Healing Technology for Asphalt Pavements* [tiešsaiste]. Switzerland, 2015 [skatīts 2016. g. 13. mar.]. Pieejams: [https://www.researchgate.net/publication/292986082\\_Self-Healing\\_Technology\\_for\\_Aspphalt\\_Pavements](https://www.researchgate.net/publication/292986082_Self-Healing_Technology_for_Aspphalt_Pavements)
45. Hicks, R.G., S.B. Seeds, and D.G. Peshkin, *Selecting a Preventive Maintenance Treatment for Flexible Pavements*, Foundation for Pavement Preservation [tiešsaiste]. Washington DC, 2000 [skatīts 2016. g. 17. nov.]. Pieejams: <https://www.wsdot.wa.gov/NR/rdonlyres/F27BCD0A-793C-48EF-A795-6C57136C4437/0/PavementPreservation.pdf>
46. Federal Highway Administration, *Evaluation of Pavement Safety Performance Chapter 3. Pavement treatment types* [tiešsaiste]. ASV, 2015 [skatīts 2016. g. 6. dec.] Pieejams: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/14065/004.cfm>
47. Morian, D. A., 2011. *Cost Benefit Analysis of Including Microsurfacing in Pavement Treatment Strategies & Cycle Maintenance* [tiešsaiste]. ASV, 2011 [skatīts 2017. g. 1. mart.]. Pieejams: [http://www.dot7.state.pa.us/BPR\\_PDF\\_FILES/Documents/Research/Complete%20Projects/Maintenance/080503%20Microsurfacing%20Final%20Report.pdf](http://www.dot7.state.pa.us/BPR_PDF_FILES/Documents/Research/Complete%20Projects/Maintenance/080503%20Microsurfacing%20Final%20Report.pdf)
48. WT-2:2014 *Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania techniczne*. Warszawa 2014.



