



RĪGAS TEHNISKĀ
UNIVERSITĀTE

TRANSPORTBŪVJU INSTITŪTS
CEĻU UN TILTU KATEDRA

P Ē T Ī J U M S

ASFALTA MAISĪJUMA NOTURĪBA PRET PLASTISKĀM DEFORMĀCIJĀM. PLĀNKĀRTAS CEĻA SEGAS DILUMKĀRTAS SLĀŅU (BBTM) UN CITU BITUMINĒTO SEGUMU ATJAUNOŠANAS UN PĀRBŪVES TEHNOLOĢIJU IZPĒTE (2. KĀRTA)

GALA ATSKAITE

Rīga, 2018. gada 10. decembris

Apstiprinu, 10. 12. 2018.		
(vārds, uzvārds, paraksts)		
Pētniecības projekta nosaukums Asfalta maisījuma noturība pret plastiskajām deformācijām. Plānkārtas ceļa segas dilumkārtas slāņu (BBTM) un citu bituminēto segumu atjaunošanas un pārbūves tehnoloģiju izpēte (2. kārtā)		
Līguma numurs	Līgums Nr. LVC2017/1.10/1/AC līg. RTU reģ. Nr. 03000-3.1.2/155	
Līguma slēgšanas datums	19.06.2017.	
Pētniecības projekta stadija	4. stadija (100%)	
Starppziņojumu kopējais skaits	Gala atskaite	
Ziņojuma nodošanas datums	12.12.2018.	
Pētniecības projekta izstrādes periods	19.06.2017. – 10.12.2018.	
Lappušu skaits	105	
Diski 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	Valters Āboliņš	
Pētnieks	Verners Straupe	
Pētnieks	Rolands Īzaks	
Projektu finansē	VAS "Latvijas Valsts ceļi"	
Īss apraksts Ierobežotā finansējuma dēļ Latvijā un visā pasaulē tiek meklēti jauni veidi, kā pēc iespējas lētāk un efektīvāk veikt esošo ceļu seguma atjaunošanu un aizsargāt apakšējos slāņus no bojāšanās, kā arī uzlabot ceļu seguma virsmas īpašības. It īpaši aktuāli tas ir ceļiem, kuru būvniecība veikta, izmantojot ES līdzekļus, jo tiem ik pēc 6 – 12 gadiem jāveic seguma virsmas atjaunošana. Viens no ilgtspējīgākajiem risinājumiem ir atjaunot ceļu dilumkārtu ar plānkārtas asfaltbetonu (BBTM). Šajā pētījumā veikta Ungārijas, Dānijas, Francijas, Polijas un Spānijas specifikāciju analīze, lai pielietotu šo valstu prasības BBTM sastāvu ar augstām ekspluatācijas īpašībām izstrādei, kā arī pētījuma 1. kārtā izstrādāto specifikāciju pilnveidošanai. Laboratorijas apstākļos veikta 11 eksperimentālu asfaltbetona sastāvu izgatavošana atbilstoši standarta LVS EN 13108-2 prasībām, 3 sastāvu – atbilstoši Polijas specifikāciju prasībām un 4 sastāvu – atbilstoši Ungārijas specifikāciju prasībām. Projektētajiem sastāviem palielināts poru saturs, kā arī granulometriskais sastāvs projektēts tā, lai precīzi izpildītu standarta LVS EN 13108-2 prasības, lai turpmāk varētu veikt šī asfaltbetona maisījumu tipa sertificēšanu (CE marķējuma piešķiršanu). Izstrādātas plānkārtas asfaltbetona specifikācijas. Šajā pētījumā izstrādāts ceļu segas dzīves cikla novērtēšanas modelis, kurš iekļauj divu uz MS Excel balstītu programmu izmantošanu: <i>PaLATE</i> (<i>The Pavement Life-cycle Assessment Tool for Environmental and Economic Effects</i>) – vides un ekonomiskās ietekmes novērtēšanas rīku, izmantojot dzīves cikla analīzi, un <i>Real Cost 2.5CA</i> – dzīves cikla izmaksu analīzes programmu. Abu programmu izmantošana dod iespēju veikt LCA un LCCA analīzi un iegūt determinētus rezultātus. Izvēlēta ceļa posma – Valsts reģionālā autoceļa P5 Ulbroka – Ogre km 20.54 – 25.00 rekonstrukcija, kurā tiks veikta LCA un LCCA analīze. Veikta šī posma galveno rādītāju apzināšana. Šim posmam piedāvāti alternatīvie risinājumi esošajai AC 11 virskārtai un AC 22 apakškārtai, kā arī izstrādāts ceļa segas dzīves cikla izbūves, uzturēšanas un atjaunošanas kalendārais plāns. Tāpat, balstoties uz <i>DurabRoads</i> projekta pieeju un rezultātiem, salīdzināti dažādi asfaltbetona tipi un seguma atjaunošanas tehnoloģijas, izmantojot dzīves cikla analīzes metodiku. Pētījumā piedāvāta tehnoloģija rišu, kas ir dziļākas par 13 mm, novēršanai, izmantojot BBTM ceļa seguma tipu. BBTM izmantošana dziļāko rišu novēršanai ir iespējama, ja ir izvērtēts rišu tips (iespieduma-izspieduma vai nodiluma) un to rašanās cēlonis (dilumkārtā, saistkārtā, apakškārtā vai segas pamatnē). "Seklo" nodiluma un iespieduma-izspieduma rišu (5 – 25 mm) novēršanai lietota mikrofrēzēšanas tehnoloģija ar turpmāku virsmas tīrīšanu, bitumena emulsijas uzklāšanu un BBTM ieklāšanu. Dziļāko iespieduma-izspieduma rišu (>25 mm) novēršanai ir piemērota standarta frēzēšana, kā arī kombinētā tehnoloģija – frēzēšana un izlīdzinošā slāņa ieklāšana. Pētījumā uzprojektēti un izgatavoti četri HMAC-16 asfaltbetona sastāvi, no kuriem viens – references (ar bitumenu B20/30), bet trīs sastāvi ar dažādu (26, 53 un 70%) frēzētā asfaltbetonu RAP 0/8 saturu. Noteiktas šo sastāvu fizikālās un mehāniskās pamatīpašības (tilpuma parametri: <i>V</i>, <i>VFA</i> un <i>VFB</i>, kā arī Maršala stabilitāte un plūstamība). Analizējot HMAC ar RAP pamatīpašību rezultātus, konstatēts, ka HMAC sastāvu ar RAP pamatīpašības atbilst SPENS specifikāciju prasībām. Noteiktas HMAC asfaltbetona maisījumu ekspluatācijas īpašības (rišu un termisko plaisu noturība). Saskaņā ar		

iegūtajiem rezultātiem mazāko rīses dziļumu (*RD*) un rīšu veidošanās ātrumu (*WTS*) uzrāda *HMAC-16 20/30* ar 25% *RAP*. Visu *HMAC* sastāvu rezultāti saskaņā standarta LVS EN 13108-1 prasībām atbilst augstākajām kvalitātes kategorijām pēc rīšu noturības rādītājiem. Tomēr visu *HMAC* sastāvu termisko plaisu noturības rezultāti neatbilst "Ceļu specifikāciju 2019" prasībām (attiecībā uz *AC* un *SMA* asfaltbetona tipiem). Iegūtie rezultāti rāda, ka, pieaugot *RAP* saturam, samazinās termisko plaisu noturība.

Pētījumā veikta automobiļu riepu un ceļa seguma radītā trokšņa un to ietekmējošo faktoru analīze. Apkopoti trokšni ietekmējošie faktori, tādi kā seguma struktūra (poraina vai blīva), tekstūra ("pozitīva" vai "negatīva"), frakcijas lielums (rupjā vai smalkā), kā arī stingums (elastīga vai stinga). Tā kā ceļa segumiem ar porainu asfaltbetonu ir zemāks trokšņa līmenis, tie tika analizēti, balstoties uz Beļģijas pieredzi. Porainu asfaltbetonu "vājākā" ekspluatācijas īpašība ir izdrupšana, tāpēc apkopota metodika izdrupšanas raksturošanai un specificēšanai.

Summary

Due to limited funding in Latvia and around the world, new ways are being sought to make the repairs of existing road pavements more economical and efficient and protect the lower layers from deterioration, as well as improving the surface properties of pavements. This is especially true for roads that have been constructed using EU funds, as these pavements have to be repaired every 6 to 12 years. One of the most sustainable solutions is to repair the wearing course of pavement using thin layer asphalt concrete (*BBTM*).

This study analyzes the specifications of Hungary, Denmark, France, Poland and Spain and applies the requirements of these countries for the development of *BBTM* specifications for Latvian conditions. In the laboratory, 11 experimental asphalt concrete mixtures according to the requirements of standard LVS EN 13108-2, three mixtures according to Polish specification requirements and four mixtures according to Hungarian specification requirements were developed. The porosity of the developed mixtures was increased while maintaining the granulometry requirements of standard LVS EN 13108-2 in order to be able to certify this type of asphalt mix (CE marking). *BBTM* specifications for Latvian conditions were developed.

In this study, road pavement lifecycle assessment model was developed that includes the use of two MS Excel based programs: *The PaLATE (The Pavement Life-Cycle Assessment Tool for Environmental and Economic Effects)* and *Real Cost 2.5CA - Lifecycle Cost Analysis Program*. The use of these both programs enables *LCA* and *LCCA* analysis to get determined results. A trial road section (reconstruction of State regional road P5 Ulbroka - Ogre km 20.54 - 25.00) was selected, for performing the *LCA* and *LCCA* analysis. The main indicators of this stage were identified. Alternative solutions for the existing *AC 11* top layer and *AC 22* binder/base layer are offered for this phase, as well as a calendar plan for the construction, maintenance and repave of the road pavement life cycle. In this study, based on *DurabRoads* project approach and results, different asphalt concrete types and pavement rehabilitation and maintenance technologies were compared using a life cycle analysis methodology.

This study offers a technology to remove ruts that are deeper than 13 mm using a *BBTM* asphalt concrete. The use of *BBTM* to prevent deeper ruts is possible if the type of ruts (depression in the wheelpath - uplift or wear) and their cause (the cause of the rut are asphalt concrete wearing course, binder course, base course or road subbase or base layers) are evaluated. Micromilling technology with further surface cleaning, bitumen emulsion application and *BBTM* installation is used to prevent "shallow" wear and imprint - come out ruts (5 - 25 mm). Standard milling as well as combined milling and leveling are suitable for the deeper imprint - come out ruts (> 25 mm).

Four *HMAC-16* asphalt concrete mixtures were designed and prepared in the study, one of which is a reference mix (with B20/30 bitumen), and the other three compositions are with different (26, 53 and 70%) reclaimed asphalt pavement (*RAP* 0/8) content. The physical and mechanical properties of these mixtures have been determined. It was found that the *HMAC* mixtures containing different percentages of *RAP* meets the physical properties requirements of the *SPENS* specification. The performance characteristics of *HMAC* asphalt concrete mixes have been determined (rutting and thermal crack resistance). Based on the obtained results, the *HMAC-16 20/30* with 25% *RAP* showed the smallest rut depth (*RD*) and the lowest wheel tracking slope (*WTS*). From results, all *HMAC* mixes meet the highest rut resistance category according to the requirements of standard LVS EN 13108-1. However, the resistance to thermal cracking of all *HMAC* mixtures does not meet the requirements of the "Road Specifications 2019" (for *AC* and *SMA* asphalt types). The results show that with increasing *RAP* content, the resistance to thermal cracking decreases.

The study carried out an analysis of the noise generated by car tires and road surfaces and their influencing factors. Noise influencing factors such as the structure of the pavement (porous or dense), texture ("positive" or "negative"), fraction size (rough or fine) as well as stiffness (elastic or stiff) are summarized. As the pavements with porous asphalt concrete structure shows lower noise levels, Belgian experience has been chosen for their analysis. The "weaker" performance property of porous asphalt concrete is ravelling, so the methodology for characterizing and specifying ravelling is summarized.

Pielietojums/pētījuma sfēra

Autoceļu būvniecība/Ceļu būvmateriāli

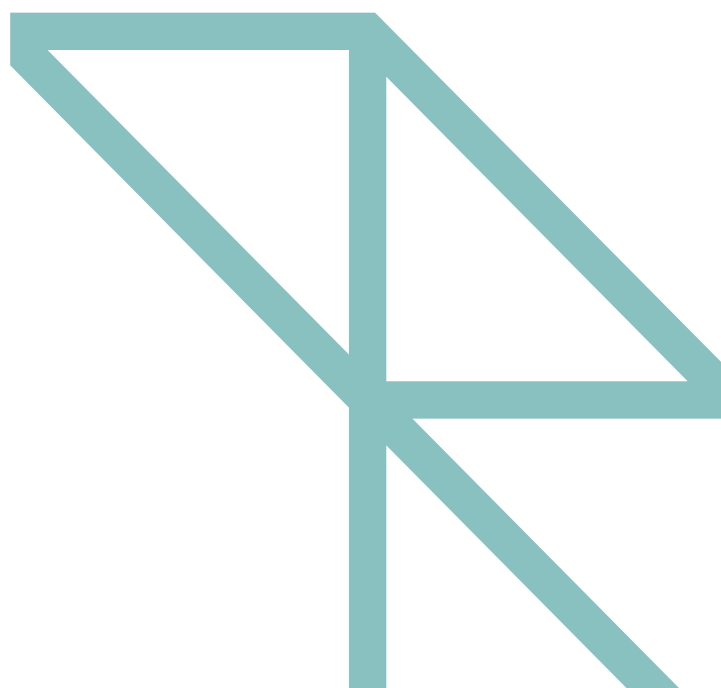
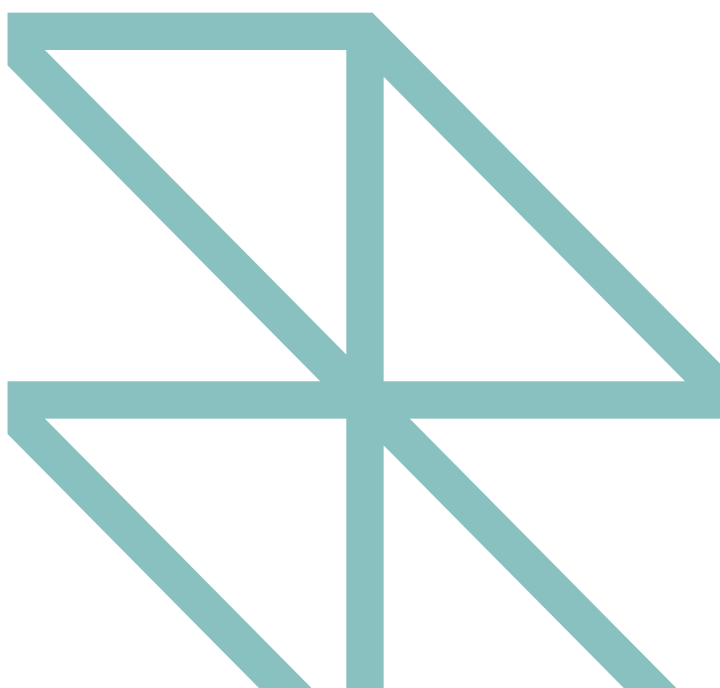
Papildus izstrādātie materiāli

Zinātniskās publikācijas un rekomendācijas

SATURS

Termini un tulkojums.....	6
Ievads.....	7
Mērķis.....	7
Darba uzdevumi.....	8
1. Analītiskā daļa.....	9
1.1. Ilgtspējības principi.....	9
1.1.1. Ilgtspējība.....	9
1.1.2. Ilgtspējas novērtēšana.....	9
1.2. Dzīves cikla analīze.....	10
1.2.1. LCA mērķis.....	11
1.2.2. Ceļa segas dzīves cikls.....	12
1.2.3. Dzīves cikla novērtēšanas process.....	14
1.3. DurabRoads pētījuma analīze.....	14
1.3.1. Ievads.....	14
1.3.2. Tipiskākie Eiropā izmantotie bituminētie maisījumi.....	15
1.3.3. Tipiskās ceļu uzturēšanas un atjaunošanas metodes.....	16
1.3.4. Dzīves cikla inženierijas principi.....	17
1.3.5. Dzīves laika inženierija ceļiem.....	18
1.3.6 Optimizācijas kritēriji.....	18
1.3.7. Tipiskāko Eiropas ceļu virskārtas novērtējums pēc tehniskajām, vides, ekonomiskajām un cilvēku prasībām.....	20
1.3.8. Tipiskāko Eiropas ceļu uzturēšanas un atjaunošanas tehnoloģiju novērtējums pēc tehniskajām, vides, ekonomiskajām un sociālajām prasībām.....	24
2. Autoceļa izvēle un ceļa seguma dzīves cikla novērtējums.....	28
2.1. Ceļa segas dzīves cikla analīzes modeļa veidošana.....	28
2.1.1. Ievads.....	28
2.1.2. Analīze ar programmu PaLATE-2.0.....	29
2.1.3. Analīze ar programmu RealCost-2.5.....	32
2.1.4. Analīzei izmantojamo programmu aprobācija.....	35
2.2. Ceļa posma analīze.....	36
2.2.1. Ceļa posma raksturojums.....	36
2.2.2. Projekta galvenie tehniskie rādītāji.....	36
2.2.3. Ceļa segas raksturojums.....	37
2.2.4. Perspektīvās satiksmes intensitātes prognoze.....	37
2.2.5. Ceļa normālprofils.....	37
2.3. Izejas datu noteikšana.....	37
2.3.1. Asfalta maisījumu alternatīvu sastāvi.....	37
2.3.2. Saistīto maisījumu kombinētie varianti.....	40
2.3.3. Ceļu segu veidi.....	41

2.3.4. Atjaunošanas plāns.....	41
2.3.5. Pieņēmumi.....	42
2.3.6. Dzīves cikla izmaksu analīzes (LCCA) aprēķina piemērs.....	43
3. BBTM seguma standartprasības un ārvalstu specifikācijas.....	48
3.1. Standarta LVS EN 13108-2:2016 prasības.....	48
3.1.1. Prasības izejmateriāliem.....	48
3.1.2. Prasības BBTM maisījumam.....	48
3.2. Ārvalstu specifikāciju prasības un to salīdzinājums ar standartu LVS EN 13108-2.....	51
4. Eksperimentālā daļa: BBTM.....	62
4.1. Minerālmateriālu īpašības.....	62
4.1.1. Granulometrija.....	62
4.1.2. Minerālmateriālu fizikālās un mehāniskās īpašības.....	63
4.2. Bitumena īpašības.....	64
4.3. BBTM asfaltbetona projektēšana, fizikālo īpašību testēšanas rezultāti.....	64
4.3.1. BBTM pēc LVS EN 13108-2.....	64
4.3.2. BBTM pēc Polijas specifikācijām.....	67
4.3.3. BBTM pēc Ungārijas specifikācijām.....	68
4.3.4. BBTM rišu noturības un starpslāņu bīdes noteikšana.....	69
5. Eksperimentālā daļa: HMAC ar RAP.....	74
6. BBTM būvniecība uz seguma ar > 13 mm dziļām risēm (DU 5).....	84
6.1. Ievads.....	84
6.2. BBTM lietošana iespiešanas-izspiešanas un nodiluma rišu > 13 mm novēršanai.....	84
7. Konstrukcijas projektēšana, iekļaujot zem BBTM seguma kārtas HMAC saistkārtu un apakškārtu, kad EBBTM < EHMAC.....	88
7.1. BBTM kārtas pielietojums un segas konstrukcija.....	88
7.2. BBTM projektēšana iekļaujot zem tās HMAC saistkārtu.....	89
7.3. Segas aprēķins konstrukcijai ar BBTM un HMAC.....	89
8. Troksni samazinoši segumi.....	92
9. Izdrupumu veidošanās virskārtā.....	96
Secinājumi.....	101
Izmantotā literatūra.....	103



TERMINI UN TULKOJUMS

Performance Assessment – veikspējas novērtējums.

LCCA (life cycle cost analysis) – dzīves cikla izmaksu analīze.

LCA (life cycle analysis) – dzīves cikla analīze.

M&R (maintenance and rehabilitation) – uzturēšana un atjaunošana.

BBTM (Béton Bitumineux Très Mince) – plānkārtas asfaltbetons.

AC-TL (Asphalt Concrete for Thin Layers) – asfaltbetons ļoti plānām kārtām.

Lifetime engineering – dzīves laika inženierija.

DCS (Double chip seal) – dubultā virsmas apstrāde.

MS (Micro-surfacing) – polimērmodificētas emulsijas sīkšķembu maisījums plānām dilumkārtām.

THMA (Thin HMA overlay (<38 mm)) – plānkārtas asfaltbetona seguma kārtā (≤ 38 mm).

OV (HMA Overlay (50 mm)) – karstā asfaltbetona seguma kārtā (50 mm).

HIR (Hot in place recycling (including Thin HMA overlay)) – karstā reciklēšana uz vietas (ieskaitot plānkārtas asfaltbetona segumu).

MOV (Mill & Overlay (50 mm)) – frēzēšana & asfaltbetona seguma kārtā.

CIR (Cold in place recycling (including 50 mm HMA overlay)) – aukstā reciklēšana uz vietas.

FDR (Full depth reclamation (including 50 mm HMA overlay)) – rekonstrukcija pilnā dziļumā (ieskaitot 50 mm karsta asfaltbetona seguma kārtu).

IEVADS

Ierobežotā 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 aktuāli ceļiem, kuru būvniecība veikta, izmantojot ES līdzekļus, jo tiem ik pēc 6 – 12 gadiem jāveic seguma virsmas atjaunošana. Viens no ilgtspējīgākajiem risinājumiem ir atjaunot ceļa dilumkārtu ar plānkārtas asfaltbetonu (*BBTM*; iepriekšējā pētījuma kārtā apzīmēts ar *AC-TL*).

Pētījuma projekta 1. kārtā analizēta pasaules pieredze plānkārtas asfaltbetona lietošanā. Noteiktas vairākas plānkārtas asfaltbetona priekšrocības salīdzinājumā ar citām (tradicionālajām) ceļa seguma virsmas atjaunošanās tehnoloģijām. Definēti vairāki ceļa seguma bojājuma veidi, kuru novēršanai ir piemērots plānkārtas asfaltbetons. Konstatēts, ka vairākās Eiropas valstīs plānkārtas asfaltbetona specifiskācijas atšķiras no standarta LVS EN 13108-2 ("Bituminētie maisījumi. Materiāla specifiskācijas. 2. daļa: Asfaltbetons [oti plānām kārtām]") prasībām. Izdalītas vairākas pieejas plānkārtas asfaltbetona projektēšanā – Holandes, Dānijas, Polijas, Vācijas un ASV (*Novachip 11* tehnoloģija). Šajā kārtā atbilstoši 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 saistkārtu bīdes (starpstāņu adhēzijas) stiprība. Analizējot bīdes stiprības izmaiņas dažādu emulsiju gadījumā, konstatēts, ka visi iegūtie rezultāti 2 – 2,5 reizes pārsniedz "Ceļu specifiskācijās 2017" reglamentēto vērtību – 8 kN. Balstoties uz Polijas pieredzi un iegūtajiem rezultātiem, izstrādātas plānkārtas asfaltbetona specifiskācijas.

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 tos pilotprojekta ietvaros varētu izbūvēt eksperimentālā posmā un reālos ekspluatācijas apstākļos veiktu to monitoringu.

Turpmākajos pētījumos nepieciešams turpināt dažādās valstīs lietoto *BBTM* tehnoloģiju aprobēšanu ar mērķi izvēlēties Latvijas apstākļiem piemērotāko pieeju. Jāizstrādā vadlīnijas un rekomendācijas "Ceļu specifiskāciju 2017" (vai citas – aktuālās specifiskāciju versijas) pilnveidošanai attiecībā uz *BBTM* sastāvu izejmateriāliem, šo sastāvu projektēšanai un izgatavošanai, kā arī kvalitātes kritērijus un pārbaudes metodiku. Jāveic plānkārtas asfaltbetona seguma ekonomiskais novērtējums (izejmateriālu, ražošanas, iestrādes u.c. izmaksas) un jāsalīdzina tā izmaksas ar Latvijas apstākļiem tradicionālo dilumkārtas tipu izmaksām. Jāpiedāvā *BBTM* iestrādes tehnoloģija gadījumiem, kad rises dziļums > 13 mm, kā arī nepieciešams piedāvāt ceļa segas konstrukcijas projektēšanas metodoloģiju gadījumiem, kad zem plānkārtas asfaltbetona vai tradicionālās dilumkārtas iekļauts *HMAC* tipa asfaltbetons ar *EHMAC* > *EBBTM*.

MĒRĶIS

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

DARBA UZDEVUMI

1. Salīdzināt plānkārtas asfaltbetonu (projektētu, balstoties uz dažādām pieejām – Nīderlandes, Dānijas, Polijas, Vācijas un ASV) un to izejmateriālu reglamentētās īpašības ar Latvijas apstākļiem tradicionālo izejmateriālu (importēto un vietējo, lietotu augstas intensitātes ceļiem) īpašībām (1. kārtas turpinājums).
2. Laboratorijā, balstoties uz dažādu valstu pieejām un specifiskajām, izgatavot plānkārtas asfaltbetona maisījumus, izmantojot Latvijā augstas intensitātes ceļiem lietotos minerālmateriālus, un salīdzināt to īpašības ar tradicionālo asfaltbetona veidu īpašībām (1. kārtas turpinājums).
3. Veikt uzprojektēto plānkārtas asfaltbetona paraugu deformatīvo īpašību eksperimentālo pārbaudi, balstoties uz dažādu valstu pieejām un specifiskajām, lietojot ekspluatācijas īpašību testēšanas metodes – riteņu sliežu veidošanās testu, stinguma un noguruma testu, kā arī nosakot ūdensjutību (1. kārtas turpinājums).
4. Veikt plānkārtas asfaltbetona segumu ekonomisko novērtējumu (izejmateriālu, ražošanas, iestrādes u.c. izmaksas). Salīdzināt to izmaksas ar tradicionālo dilumkārtas tipu izmaksām. Sniegt rekomendācijas, ar kādiem nosacījumiem (transportēšanas attālumiem, ražošanas izmaksām) ir lietderīgi plānot šo materiālu lietošanu.
5. Piedāvāt *BBTM* iestrādes tehnoloģiju gadījumiem, kad rises dziļums > 13 mm.
6. Salīdzināt automobiļu radītā trokšņa līmeni uz tradicionālajiem un *BBTM* asfaltbetoniem.
7. *HMAC* sastāvu projektēšana un ekspluatācijas īpašību noteikšana, izmantojot jaunu dabisko materiālu un frēzēto asfaltbetonu.
 - 7.1. Veikt starpslāņu (starp *HMAC* un plānkārtas asfaltbetona dilumkārtu) bīdes pretestības izpēti (1. kārtas turpinājums).
 - 7.2. Noteikt *BBTM* dilumkārtas un *HMAC* saistkārtas (divslāņu sistēmas) ekspluatācijas īpašības (nogurumizturību, rišu noturību).
 - 7.3. Izmantojot dzīves cikla analīzes (*LCA – life cycle analysis*) un dzīves cikla izmaksu analīzes (*LCCA – life cycle cost analysis*) metodes, novērtēt Latvijas apstākļiem efektīvākās segumu atjaunošanas tehnoloģijas.
 - 7.4. Piedāvāt ceļa segas konstrukcijas projektēšanas metodoloģiju, iekļaujot zem plānkārtas asfaltbetona kārtas *HMAC* saistkārtu un seguma apakškārtu, kad *EBBTM* < *EHMAC* (1. kārtas turpinājums).
8. Publikāciju, plakātu un ziņojumu sagatavošana.
9. Sagatavot plānkārtas asfaltbetonu un tā izejmateriālu tehniskās prasības "Ceļu specifiskāciju 2017" (vai citas – aktuālās specifiskāciju versijas) papildināšanai.

1. ANALĪTISKĀ DAĻA

1.1. ILGTSPĒJĪBAS PRINCIPI

Arvien vairāk uzņēmumu, organizāciju, institūtu un vadības struktūru īsteno ilgtspējības principus. Šie principi ir vērsti uz visaptverošu mērķi, lai, pieņemot lēmumus, tiktu ņemti vērā vides, sociālie un ekonomiskie faktori. Ilgtspējības principi nav nekas jauns, tieši un netieši tie tikuši izmantoti pagātnē. Tomēr pēdējos gados ir ievērojami pieaugušas pūles, lai kvantitatīvi un sistemātiski tiktu novērtēta katra faktora nozīmīgums attiecībā uz ceļu būvniecību un tiktu pieņemti atbilstoši lēmumi, saistīti ar ceļu projektēšanu un izbūvi.

1.1.1. ILGTSPĒJĪBA

Ilgtspējīga attīstība ir tāda attīstība, kas apmierina pašreizējās vajadzības, neapdraudot nākamo paaudžu spēju apmierināt savas vajadzības.

Ilgtspējība tiek aprakstīta kā sociālo, ekonomisko un vides prasību apkopojums. Daudzus gadus galvenais, pēc kā vadījās, atjaunojot un būvējot ceļus, bija ekonomiskais faktors, taču pēdējos gados ievērojami pieaugusi vides un sociālo faktoru loma lēmumu pieņemšanā (lai gan pastāv dažādi ierobežojumi, kas saistīti ar to novērtēšanu). Ilgtspējību un tās faktorus var interpretēt dažādi, jo katra faktora nozīmīgums tiek pieņemts un ir atkarīgs no katra projekta mērķiem, vajadzībām un ierobežojumiem [13, 14].

Ilgtspējība ceļa segas kontekstā attiecas uz sistēmas īpašībām, kas ietver segas spējas:

- sasniegt izvirzītos inženierijas mērķus, kā dēļ tā būvēta;
- saglabāt un atjaunot (ideālais variants) apkārtējo ekosistēmu;
- ekonomiski izmantot finanšu, cilvēku un vides resursus;
- atbilst cilvēku pamatvajadzībām, piemēram, veselībai, drošībai, taisnīgumam, nodarbinātībai, komfortam un laimei.

1.1.2. ILGTSPĒJAS NOVĒRTĒŠANA

Ilgtspējas novērtēšana ir pirmais solis, lai noteiktu kritērijus un novērtētu progresu. Ir pieejamas dažādas novērtēšanas metodes, lai novērtētu un definētu ceļa segas ilgtspējību. Katrai no šīm metodēm ir stiprās un vājās puses, un tās var izmantot atsevišķi vai kopā. Tālāk aprakstītas četras galvenās, būtiskākās metodes, kas tiek izmantotas.

- Veiktspējas novērtējums (*Performance Assessment*)

Veiktspējas novērtējums nozīmē, ka tiek veikta ceļa segas veiktspējas analīze atbilstoši projektētajām prasībām. Piemēram, ja sagaidāms, ka pašreizējās standarta ceļa segas virskārtas kalpošanas laiks pārsniegs 15 gadus, tad alternatīvās segas virskārtas (*SMA*, *BBTM* u.c.) kalpošanas laiks tiek salīdzināts ar šo bāzes seguma kalpošanas laiku (šajā gadījumā – 15 gadiem). Visizplatītākais uzskats ir tāds, ka alternatīvai jābūt vienlīdzīgai vai labākai par pašreizējo standarta praksi (lai gan tas ir šaurs redzējums, jo netiek ņemti vērā citi faktori). Veiktspēju var salīdzināt arī konkrētajām īpašībām (piem., seguma nestspēju, materiālu īpašībām, seguma bojājumu apjomiem).

- Dzīves cikla izmaksu analīze (LCCA)

ir analīzes metode, kas izmanto ekonomisko analīzi, lai novērtētu izmaksas visā analīzes periodā pie nemainīgām cenām. Viens no LCCA pamatnosacījumiem ir tāds, ka netiek ņemtas vērā citas alternatīvo materiālu priekšrocības, kā tikai izmaksas. LCCA tieši neattiecas uz sabiedrības vai vides jautājumiem (piem., tīru gaisu un ūdeni), ja vien šādi jautājumi nav pārrēķināti kā izmaksas.

- Ilgtspējības novērtēšanas sistēma

Ilgtspējības novērtēšanas sistēmas pamatā ir prakšu un funkciju saraksts, kurš ietekmē ilgtspējību. Tas ir izteikts ar kopēju mērvienību (parasti – punktu sistēmu), kas kvantificē relatīvo ietekmi. Tādā veidā dažādu prakšu un funkciju ietekmi ir iespējams salīdzināt, izmantojot kopīgu vienību (reitinga punktus). Ilgtspējības vērtēšanas sistēmas vienkāršākajā formā var uzskatīt, ka katra labākā prakse tiek īstenota vienādi (piem., novērtējot to ar vienu), un tādā gadījumā vērtēšanas sistēma ir pielīdzināma labāko prakšu piemēru skaitam. Sarežģītākajās formās vērtēšanas sistēmas vērtē labāko praksi, kas var palīdzēt izvēlēties atbilstošāko paraugpraksi, ņemot vērā ierobežoto darbības jomu vai budžetu. Pašlaik ir pieejamas daudzas nacionālās un starptautiskās ceļa segas ilgtspējības vērtēšanas sistēmas (piem., *INVEST*, *Greenroads* un *Envision*).

- Dzīves cikla analīze (LCA)

LCA ir metode, ko var izmantot, analizējot un kvantificējot produkta, sistēmas vai procesa ietekmi uz vidi. LCA nodrošina visaptverošu pieeju, novērtējot kopējo produkta vai procesa ietekmi uz vidi un analizējot visus izejmateriālus un izejvielas visā dzīves ciklā (sākot ar izejvielu ražošanu un beidzot ar konstrukcijas kalpošanas laika beigām). Šī sistemātiskā pieeja nosaka, kam ir vislielākā ietekme un kur ir iespējami nozīmīgākie uzlabojumi. LCA veikšanas procesus un noteikumus nosaka ISO 14040. Šie standarti ir diezgan plaši, tādēļ, lai tos piemērotu konkrētam materiālam vai procesam, ir vajadzīgas precīzākas vadlīnijas.

LCA ir zinātnes joma, kas turpina attīstīties. Pēdējo divdesmit gadu laikā tā ir pierādījusi reālo vērtību, palīdzot ražotājiem, uzņēmumiem, valdībām un citām grupām noteikt vietas sistēmā, kur nepieciešams veikt uzlabojumus un pēc tam definēt nepieciešamās darbības, lai samazinātu ietekmi uz vidi. Pieaugošais nozaru skaits veido uz LCA balstītas vides produktu deklarācijas (EPD), lai apliecinātu, ka konkrētais produkts ir atbilstošs LCA prasībām.

1.2. DZĪVES CIKLA ANALĪZE

Viens no galvenajiem priekšnosacījumiem, lai varētu pieņemt labāko lēmumu ceļa konstrukcijas būvēšanā un uzturēšanā, ir izprast katra posma nozīmīgumu un ietekmes novērtēšanu. Jāsaprot, cik lielā mērā dažādas ilgtspējības stratēģijas reāli samazina ietekmi uz vidi. Svarīgi apzināt iespējamās neparedzētās sekas, kuru rezultātā var palielināties ietekme uz vidi.

Zemāk redzamajā attēlā redzami ceļa segas dzīves cikla posmi, sākot ar materiālu ieguvu un beidzot ar konstrukcijas kalpošanas beigām. LCA aplūko ietekmi uz vidi visā aprites ciklā (sk. 1.1. att.).



1.1. att. Konstruktijas dzīves cikla posmi [13]

- Materiālu ražošana. Materiālu ražošana ietver visus ieguves procesus (piem., karjeru izstrādi un jēlnaftas ieguvu) un apstrādes procesus (piem., drupināšanu, pārstrādi, ražošanu un sajaukšanu).
- Segas projektēšana. Projektēšanas posms attiecas uz ceļa segas strukturālo un funkcionālo prasību noteikšanas procesu konkrētās vietas apstākļiem (grunts izpēti, klimatu, satiksmi, esošās segas stāvokli utt.), kā arī segas aprēķinu.
- Izbūve. Būvniecības stadijā ietilpst visi procesi un iekārtas, kas ir saistītas ar segas izbūvi.
- Ekspluatācijas fāze. Izmantošanas/lietošanas fāze attiecas uz periodu, kura laikā ceļa sega atrodas ekspluatācijā un mijiedarbojas ar transportlīdzekļiem un vidi.
- Uzturēšana/atjaunošana. Tās ir dažādas darbības, kas visā ceļa segas ekspluatācijas laikā tiek izmantotas, lai saglabātu segas vispārīgās ekspluatācijas spējas.
- Kalpošanas beigas. Kalpošanas beigu posms attiecas uz ceļa segas kalpošanas beigu stāvokli un pēc tam sekojošu atkārtotu segas izmantošanu vai pārstrādi.

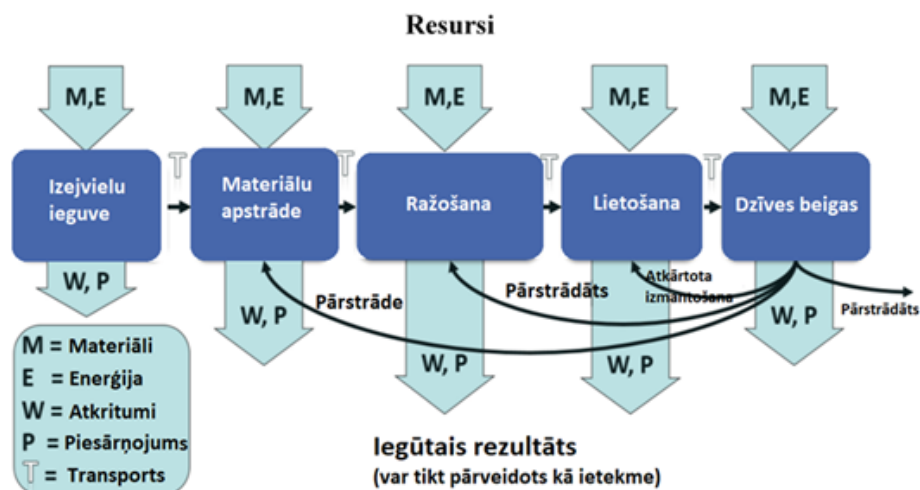
1.2.1. LCA MĒRĶIS

LCA sniedz visaptverošu pieeju, lai novērtētu konkrētā ražojuma (piem., minerālmateriālu tonnas) vai sarežģītas sistēmas (transporta objekta vai transporta sistēmas) ietekmi uz vidi. LCA ražošanas cikla vispārīgais modelis ir parādīts 1.2. att. Kā redzams, dzīves cikls sākas ar izejvielu ieguvu, turpinās ar materiālu apstrādi, ražošanu, lietošanu un, visbeidzot, dzīves/kalpošanas beigām.

LCA var izmantot dažādiem mērķiem, ieskaitot [15]:

- identificēt iespējas samazināt produkta ietekmi uz vidi dažādos dzīves cikla posmos;
- informēt un vadīt lēmumu pieņēmējus – rūpniecības, valsts un nevalstiskās organizācijās dažādiem mērķiem, kā, piemēram, stratēģiskai plānošanai, prioritāšu noteikšanai, produktu vai procesu projektēšanai;
- izvēlēties atbilstošus vides rādītāju indikatorus visas sistēmas mērogā;
- sniegt vispārīgu informāciju pircējiem par produkta vai sistēmas ekoloģiskajiem raksturojumiem (piem., ekomarķējuma sistēmu).

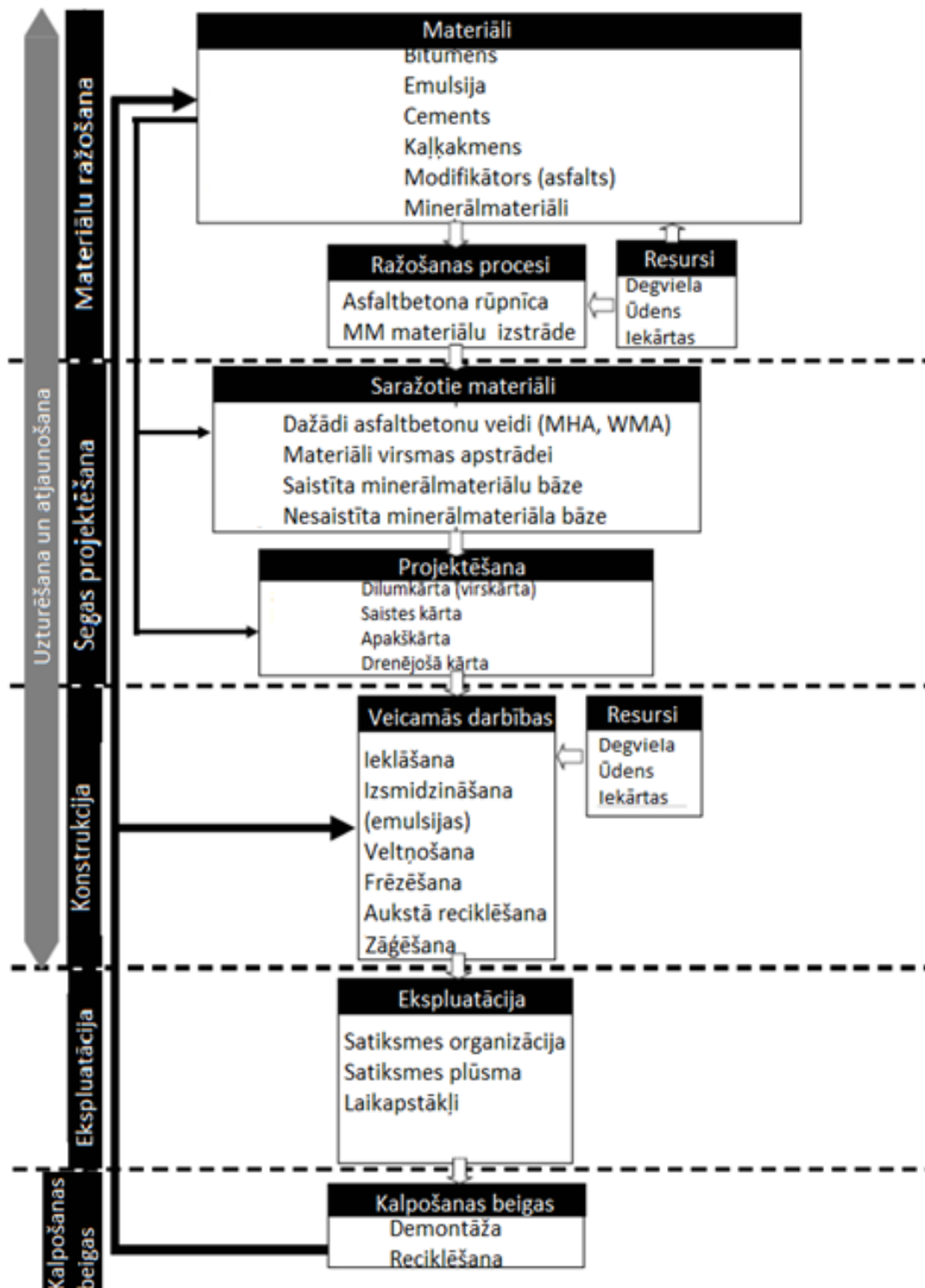
LCA rezultātu salīdzinājums var palīdzēt lēmumu pieņēmējiem izdarīt izvēli, kas samazina ietekmi uz vidi. Turklāt LCA var izmantot, lai identificētu kompromisus lēmumu pieņemšanā, atvieglojot dzīves cikla posmu un daudzu vides rādītāju novērtēšanu [15].



1.2. att. LCA ražošanas sistēmas vispārīgais dzīves cikls [15]

1.2.2. CEĻA SEGAS DZĪVES CIKLS

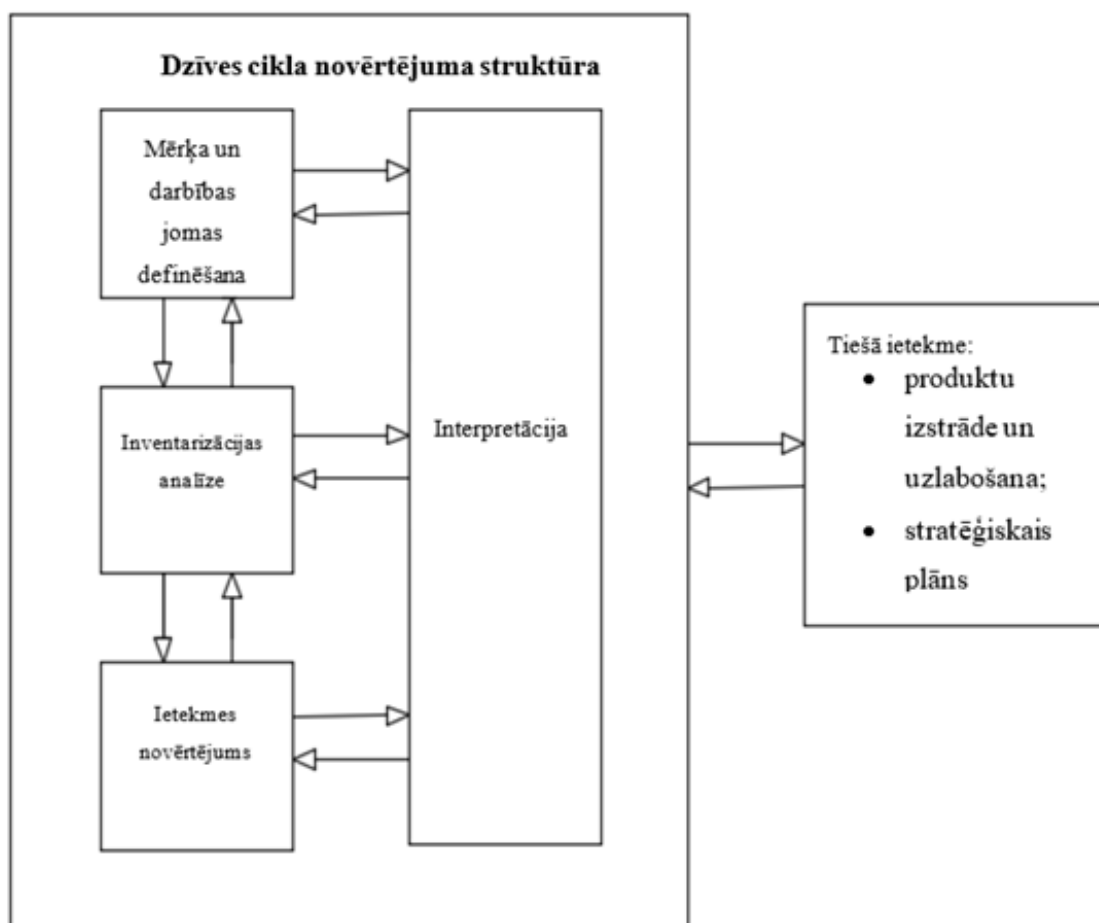
Ceļa seguma dzīves cikls ietver šādus posmus – materiālu ražošanu, projektēšanu, izbūvi, ekspluatāciju un projektētā kalpošanas laika beigas. Šie posmi un dažas raksturīgākās izejvielas un materiāli ceļa segas izbūvei parādīti 1.3. att.



1.3. att. Ceļa seguma dzīves cikls

1.2.3. DZĪVES CIKLA NOVĒRTĒŠANAS PROCESS

Ceļu segām parasti tiek definēts dzīves cikls, ietverot materiālu iegūvi un ražošanu, būvniecību, lietošanu, uzturēšanu un atjaunošanu (*M&R*), kā arī kalpošanas beigas. Katru no šiem posmiem ietekmē projektēšana, kā rezultātā tiek izvēlēti segas konstrukcijas slāņi un materiāli, kas kopā ar būvniecības kvalitāti nosaka ceļa atbilstību konkrētajai satiksmei, klimatam un gruntij (sk. 1.4. att.).



1.4. att. Ceļa segas dzīves cikla novērtējuma struktūra

1.3. DURABROADS PĒTĪJUMA ANALĪZE

1.3.1. IEVADS

Autotransporta nozarē katram kilometram jāpatērē liels daudzums materiālu un enerģijas ne tikai būvniecībā, bet arī uzturēšanā – gluži kā iegādājoties auto, kad pēc tā nopirkšanas nepieciešams gan pirkt degvielu, gan maksāt autoservisā par remontdarbiem. Pētījuma ietvaros tika analizēts *DurabRoads* pētījums: “Rentabli un ilgmūžīgi ceļi, izmantojot efektīvas un videi draudzīgas būvniecības metodes, konstrukcijas un atjaunošanu metodes”, kura viens no mērķiem ir izstrādāt daudzkritēriju metodoloģiju, lai identificētu optimālos asfaltbetona seguma veidus smagi noslogotiem tranzitceļiem 4 Eiropas reģionos (Ziemeļeiropā, Rietumeiropā, Dienvideiropā un Centrāleiropā), kā arī noteikt optimālos ceļu uzturēšanas un atjaunošanas paņēmienus jeb, citiem vārdiem, izveidot priekšlikumus būvniecības, uzturēšanas un atjaunošanas metodēm,

lai tās būtu pieejamākas, daudzveidīgākas un ilgtspējīgākas ceļu tīkla pārvaldīšanā.

DurabRoads pētījumā tika izmantota visaptveroša kvantitatīvās noteikšanas metodika, ko izmanto, lai raksturotu ar ceļiem saistītos materiālus (seguma virskārtas) un seguma atjaunošanas metodes. Divas procedūras, kur viena ir balstīta uz analītiskās hierarhijas procesu (*AHP*) un otra ir tehnika izvēles kārtībai pēc ideāla risinājuma līdzības (*TOPSIS*).

AHP novērtē tādu faktoru nozīmīgumu, kuri ietekmē virskārtas un atjaunošanas metožu izvēli, izmantojot hierarhisku struktūru, kur pirmais līmenis tiek veidots saskaņā ar tehniskajām, ekonomiskajām, vides un sociālajām prasībām; tās savukārt ir sadalītas konkrētākos kritērijos un rādītājos.

Ar *AHP* metodi apskatīto kritēriju nozīmīgumu iegūst no aptaujas anketām. Atbildes (atzinumi) no daudziem Eiropā atzītiem ekspertiem tika apkopotas nolūkā noteikt katra faktora nozīmi starp lēmumu pieņemšanas shēmas elementiem. Savukārt reitingi, kas atbilst skaitliskajiem kritērijiem (izmaksām, resursu izmantošanas, emisijas utt.), tika varbūtiski modelēti, izmantojot Montekarlo simulācijas, lai noteiktu nenoteiktību, kas raksturīga šiem mainīgajiem lielumiem.

TOPSIS metode novērtē katras iespējamās alternatīvas sniegumu attiecībā uz iepriekšminētajām prasībām, kritērijiem un rādītājiem, šim nolūkam izmantojot novērtējumu sērijas, kas iegūtas, apvienojot Eiropas mēroga (dažos gadījumos – visas pasaules) literatūras apskatus, kā arī ekspertu viedokļus.

Izmantojot abu veidu lielumus (nozīmīgumu un reitingus), *TOPSIS* metodi lieto, lai novērtētu alternatīvu kopumu abos gadījumos attiecībā uz elementiem, kas veido lēmumu pieņemšanas shēmu. Lai raksturotu īpašos nosacījumus, kas definē 4 noteiktos Eiropas reģionus, tika veikta jutīguma analīze, lai parādītu katra gadījuma specifiku modelī un salīdzinātu rezultātus.

1.3.2. TIPISKĀKIE EIROPĀ IZMANTOTIE BITUMINĒTIE MAISIJUMI

DurabRoads pētījuma “Rentabli un ilgmūžīgi ceļi, izmantojot efektīvas un videi draudzīgas būvniecības metodes, konstrukcijas un atjaunošanas metodes” ietvaros tika apkopota informācija no 17 valstīm par biežāk izmantotajiem bituminētajiem maisījumiem katrā no šīm valstīm. Eiropas standarts EN 13108 (“Bituminētie maisījumi”) definē dažādus asfalta veidus, kas plaši tiek izmantoti Eiropā [10]:

- asfaltbetonu (AC);
- asfaltbetonu ļoti plānām kārtām (*BBTM*);
- karsti veltņoto asfaltu (*HRA*);
- šķembu mastikas asfaltu (*SMA*);
- mastikas asfaltu (*MA*);
- porasfaltu (*PA*).

1.1. tabulā redzami tipiskākie asfaltbetona veidi ceļu virskārtai, kuri galvenokārt tiek izmantoti dažādos Eiropas reģionos augstas intensitātes ceļiem [10].

Tipiskās virskārtas četros Eiropas reģionos		Tabula 1.1
Eiropas reģions	Tipiskais virskārtas veids	
Ziemeļeiropa	AC/SMA	
Rietumeiropa	AC/SMA/PA/HRA	
Dienvideiropa	AC/SMA/BBTM	
Centrāleiropa	AC/SMA	

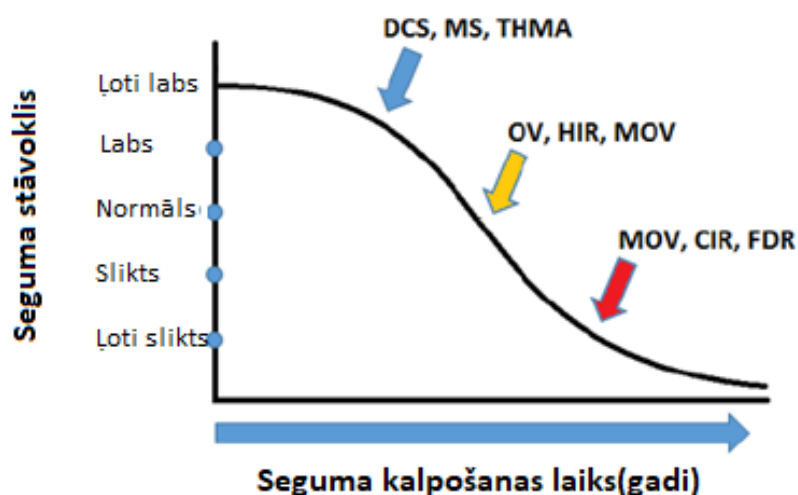
Galvenās īpašības, kas būtu jānodrošina virskārtai, ir:

- slīdes pretestība, kas ietekmē satiksmes drošību, riepu nodilumu un degvielas patēriņu;
- šķērsvirziena un garenvirziena līdzenums, kas ietekmē lietotāju komfortu;
- samazināts troksnis transportlīdzekļos un ārpus tiem;
- samazināta gaismas atstarošanās no seguma virsmas, tā palielinot satiksmes drošību nakts laikā un slapja seguma apstākļos;
- ūdens novadīšana no brauktuves, lai samazinātu akvaplanēšanas risku;
- mazākas ūdens šļakatas un šaltis.

1.3.3. TIPISKĀS CEĻU UZTURĒŠANAS UN ATJAUNOŠANAS METODES

Tipiskās ceļu uzturēšanas un atjaunošanas metodes lielas intensitātes ceļiem ir mazāk specifiskas dažādām Eiropas daļām. Tomēr šo metožu kvalitāte ir atkarīga no satiksmes un klimatisko laikapstākļu sinerģiskās ietekmes. Vienlaikus šādi galvenie virskārtas atjaunošanas paņēmieni tiek izmantoti Eiropā (sk. 1.2. tab.). Ir arī citas virskārtas uzturēšanas un atjaunošanas metodes, bet tās šeit netiek iekļautas, jo netiek izmantotas visai ceļa virsmai (piem., veicot plaisu aizpildīšanu), vai arī netiek lietotas augstas intensitātes satiksmes ceļiem.

Katras uzturēšanas un atjaunošanas metodes izmantošana ir būtiski atkarīga no seguma stāvokļa tā atjaunošanas brīdī (sk. 1.5. att.). Piemēram, virsmas apstrāde – **plāns karsta asfalta maisījuma pārklājums – ir piemērota tikai tad, kad seguma virskārta ir labā stāvoklī.**



1.5. att. Optimālais laiks preventīvajai, korektīvajai un kritiskajai ceļa seguma atjaunošanai

Tabula 1.2

Tipiskās uzturēšanas un atjaunošanas metodes augstas intensitātes ceļiem [10]

Uzturēšanas un atjaunošanas metodes	Angliski	Saīsinājums (angliski)
Aukstā pārstrāde uz vietas (ieskaitot 50 mm karsta asfaltbetona maisījuma kārtu)	Cold in place recycling (including 50 mm HMA overlay)	CIR
Dubultā virsmas apstrāde	Double chip seal	DCS
Pilna dziļuma rekonstrukcija (ieskaitot 50 mm karsta asfaltbetona maisījuma kārtu)	Full depth reclamation (including 50 mm HMA overlay)	FDR

Tabula 1.2

Karstā pārstrāde uz vietas (ieskaitot plānkārtas asfaltbetona maisījuma kārtu)	<i>Hot in place recycling (including Thin HMA overlay)</i>	<i>HIR</i>
Frēzēšana un jaunā dilumkārtā (virskārtā)	<i>Mill & Overlay (50 mm)</i>	<i>MOV</i>
Ar polimēriem modificētas emulsijas un sīkšķembu maisījums plānām dilumkārtām	<i>Micro-surfacing</i>	<i>MS</i>
Karsta asfaltbetona maisījuma dilumkārtā (50 mm)	<i>HMA Overlay (50 mm)</i>	<i>OV</i>
Plānkārtas asfaltbetona maisījuma virskārtā (< 38 mm)	<i>Thin HMA overlay (< 38 mm)</i>	<i>THMA (BBTM)</i>

No tehniskā viedokļa virsmas atjaunošanas stratēģijas izvēle ir atkarīga no seguma bojājuma veidiem. Ne visi atjaunošanas (apstrādes) veidi ir piemēroti visiem seguma (segas) bojājuma veidiem. Ceļu administrācijas izmanto dažādus instrumentus, lai izvēlētos piemērotāko atjaunošanas metodi. Lēmumi tiek pieņemti galvenokārt balstoties uz iepriekšējiem katras atjaunošanas metodes izmantošanas rezultātiem.

1.3.4. DZĪVES CIKLA INŽENIERIJAS PRINCIPI

Dzīves cikla inženierija ir inovatīvu ideju konkretizēšana, lai risinātu dilemmu, kas šobrīd pastāv starp infrastruktūrām kā ilgtermiņa produktiem un šo produktu īstermiņa projektēšanas, vadības un tehniskās apkopes plānošanu. Kalpošanas laika inženierijas galvenie elementi ir:

- investīciju plānošana un lēmumu pieņemšana visa kalpošanas laika garumā;
- detalizēts kalpošanas laika projekts;
- kompleksa kalpošanas laika pārvaldība un uzturēšanas plānošana;
- modernizācija, atkārtota izmantošana, pārstrāde un likvidēšana;
- komplekss ilgtermiņa ietekmes uz vidi novērtējums un tās samazināšanas plāns.

Integrēta kalpošanas laika inženierijas metodoloģija attiecas uz tehnisko parametru izstrādi un izmantošanu. Ar mērķi nodrošināt, ka būves visā dzīves ciklā atbilst cilvēku prasībām, kā arī ekonomikas, kultūras, sociālajiem un ekoloģiskajiem apsvērumiem. Tādējādi cilvēka prasības (drošības, veselības, un komforta), monetāro (finanšu) ekonomiku, kā arī dabas (ekoloģisko) ekonomiku var kontrolēt, izmantojot vismodernākās tehnoloģijas un optimizējot tās, ņemot vērā kultūras un sociālās vajadzības.

Dzīves cikla projektēšanai faktiskā analīze un dizains tiek paplašināts arī pēc monetārās ekonomikas un ekoloģijas līmeņa. Dzīves cikla izmaksas tiek aprēķinātas pēc pašreizējās vērtības vai gada izmaksām, samazinot ražošanas, būvniecības, apkopes, atjaunošanas, atkārtotas izmantošanas, pārstrādes u.c. izmaksas.

No matemātikas, fizikas, sistēmas un vides inženierijas zinātņu skata punkta jāizveido jauna metodoloģija un aprēķinu metodes. Tomēr jāpatur prātā nepieciešamība pēc sistemātiskas pārredzamības un vienkāršības projektēšanas procesā, lai varētu kontrolēt vairākus kritērijus un izvairītos no liekām projektēšanas darbībām.

Veiksmīgai jaunu metožu apgūšanai nepieciešams atjaunot atbildīgo personu izglītību un veikt apmācību pēc vienotas pieejas dažādu faktoru novērtēšanai, apstiprināšanai un izmantošanai, ņemot vērā vispārīgās prasības, kas izklāstītas 1.3. tabulā.

Ilgspējīga attīstība ir pašreizējo paaudžu vajadzību apmierināšana, neapdraudot nākamo paaudžu spēju apmierināt arī savas vajadzības. Ilgtspējīga attīstība nozīmē attīstību ne tikai ekoloģiski (videi draudzīgi) un ekonomiski, bet arī sociāli un kulturāli.

Dzīves laika inženierija oriģināli ir attīstīta ēkām un tiltiem, tomēr tās principus iespējams viegli izmantot arī ceļu būves sektorā.

Tabula 1.3

Vispārējās klasificētās prasības konstrukcijai [11]

Cilvēku prasības	Ekonomiskās prasības
• izmantošanas funkcionalitāte • drošība • veselība • komforts	• investīciju ekonomija • būvniecības ekonomija • kalpošanas ilguma ekonomija • ekspluatācija • uzturēšana • labošana • rekonstrukcija • atjaunošana • nojaukšana • atgūšana un atkārtota izmantošana • likvidēšana
Kultūras prasības	Ekoloģiskās prasības
• būvniecības tradīcijas • dzīvesveids • biznesa kultūra • estētika • arhitektūras stili un tendences	• izejvielu ekonomika • enerģijas ekonomika • videi draudzīga ekonomika • atkritumu ekonomika • bioloģiskā daudzveidība

1.3.5. DZĪVES LAIKA INŽENIERIJA CEĻIEM

Somijas pētnieki izstrādājuši uz dzīves kalpošanas laiku orientētu ceļu pārvaldību. Parasti vispirms tiek veikts būtisks ieguldījums pētījumos, lai attīstītu un dažādotu ilgtermiņa seguma risinājumus. Ilgtermiņa veiktspējas modeļi nekad nav pabeigti (tie laika gaitā, uzlabojot vecās un ieviešot jaunas tehnoloģijas, tiek nepārtraukti attīstīti). Parasti ceļu uzturēšanas atbildība pēc ieguldījumu veikšanas ir iekļauta līgumā. Tāpēc ikdienas uzturēšanas līgumi tiek piemēroti lielākām ģeogrāfiskajām teritorijām un tiem ir garāks līguma termiņš. Būvfirmām un to algotajiem konsultantiem jāapgūst, kā novērtēt ceļu dzīves ciklu un dzīves cikla izmaksas. Laba rezultāta pamatā ir empīriskās zināšanas un rūpīga esošo konstrukciju apsekošana.

Būvniecības izmaksas parasti ir diezgan augstas salīdzinājumā ar dzīves cikla uzturēšanas izmaksām. Izmaksas iespējams maksimāli samazināt, izmantojot atkārtotai lietošanai paredzētos materiālus un līdz minimumam samazinot pievienoto materiālu apjomu.

Līguma perioda beigās nav vispārpieņemtas metodoloģijas ceļa konstrukcijas atlikušās vērtības aprēķināšanai. Viens no iespējamiem veidiem ir ņemt vērā būvniecības izmaksas plānošanas periodā kā pieaugošu (pozitīvu) faktoru un struktūru pasliktināšanos (nodilumu) kā vērtību samazinošu faktoru. Virskārtas atjaunošana, protams, maina atlikušo konstrukcijas vērtību. Ceļa konstrukcijas atlikusī vērtība var būt augstāka par tās vērtību līguma darbības sākumā [10].

1.3.6. OPTIMIZĀCIJAS KRITĒRIJI

Dzīves cikla inženierija sniedz ievērojamu atbalstu optimizācijas metodoloģijas izstrādē. Atbilstoši jāveic izpēte četriem galvenajiem pētīšanas virzieniem, kas aptver visu ceļa segas dzīves ciklu. Šajā gadījumā piekto, "kultūras" kalpošanas inženierijas novērtējuma aspektu nevar uzskatīt par atbilstošu.

a) Funkcionālā (tehniskā) veiktspēja

Valstī atbildīgā institūcija par transporta nozari izstrādā un pieprasa nepieciešamos veiktspējas rādītājus un vēlamu rezultātu, kāds jāsasniedz uzbūvētajam vai atjaunotajam ceļam.

Daži no galvenajiem veiktspējas rādītājiem ir saistīti ar seguma konstrukcijām (šajā gadījumā – elastīgām un pusstingām seguma konstrukcijām, galvenokārt dilumkārtas), kas atrodami jauno un rekonstruēto segumu projektēšanas metodēs, kā arī seguma darbības monitoringa metodēs. Šie veiktspējas rādītāji ir cieši saistīti ar šādiem bojājumu veidiem (faktiski – stāvokļa parametriem):

- ar defragmentāciju jeb sadalīšanos saistīti (augšupejošas noguruma plaisas, no virsmas uz leju ejošas noguruma plaisas un termiskās plaisas);
- ar deformācijām saistīti (garenvirziena pastāvīgās deformācijas, šķērsvirziena pastāvīgās deformācijas – rises).

Veiktspējas kritēriji katram izvēlētajam stāvokļa parametram jānosaka kā intervences līmeņi. Ja tiek sasniegts kāds no šiem nosacījumu līmeņiem, turpmākā ceļa posmu darbību veikšana vairs nav ekonomiska.

Lēmumu pieņemšanas modeļa tehniskajā daļā tiek ņemti vērā 1.4. tabulā minētie kritēriji.

Tehniskie kritēriji, kas jāņem vērā lēmumu pieņemšanas modelī		Tabula 1.4
Ceļu būvmateriāli	Uzturēšanas un atjaunošanas metodes	
Izturība pret plaisu (noguruma, termisko u.c.) veidošanos		
Izturība pret deformāciju (rišu) veidošanos		

b) Ekonomiskie parametri

Lai noteiktu ceļu materiālu vai procedūru ekonomiskos rādītājus, papildus sākotnējām būvniecības izmaksām būtu nepieciešams novērtēt katra iespējamā varianta dzīves cikla izmaksas. Tā kā specifiskās būvniecības, uzturēšanas, ekspluatācijas un ceļu lietotāju izmaksas analīzei izvēlēto Eiropas reģionu valstīs nav identiskas, tad, aprēķinot dzīves cikla izmaksas, jāņem vērā minēto izmaksu vidējās vērtības. Šo aptuveno pieeju var pieņemt, jo galvenais mērķis ir salīdzināt dažādus materiālus un projektēšanas variantus, kā arī uzturēšanas un rekonstrukcijas metodes, izmantojot identisku aprēķinu metodiku.

Lēmumu pieņemšanas modeļi ekonomiskā ziņā tiek ņemti vērā 1.5. tabulā minētie kritēriji.

Ekonomiskie kritēriji, kas jāņem vērā lēmumu pieņemšanas modelī		Tabula 1.5
Ceļu būvmateriāli	Uzturēšanas un atjaunošanas metodes	
Sākotnējie ieguldījumi		
Dzīves cikla izmaksas		
Būvniecības elastīgums (sezonālais)		

c) Vides aspekti

Novērtējot ceļa seguma ietekmi uz vidi, jāveic šādi uzdevumi:

- datu apkopošana visas konstrukcijas kalpošanas laikā (ražošanas, būvniecības, ekspluatācijas un uzturēšanas laikā). Tas ietver enerģijas patēriņu, gaisa un citus piesārņojuma veidus, pārstrādājamību, atkārtotu izmantošanu, ietekmes uz vidi novērtējumu utt.;
- vēlama datu izteikšana naudas vienībās vai vismaz kvantitatīvi;
- kompleksa vides ietekmes rādītāja noteikšana katram variantam.

Viens no veidiem, kā novērtēt ceļu segas ietekmi uz vidi, ir to izteikt kvantitatīvi. To iespējams veikt, aprēķinot, kāds neatjaunojamo resursu (naftas un minerālmateriālu) apjoms patērēts un cik siltumnīcas

efektu izraisošo gāzu saražots līdz ceļa segas izveidei. Šie rādītāji cieši korelē ar saražoto CO₂ apjomu. Tādēļ lēmumu pieņemšanas modelī un no vides viedokļa tiek ņemti vērā 1.6. tabulā minētie kritēriji.

Tabula 1.6

Vides aspekti, kas jāņem vērā lēmumu pieņemšanas modelī

Ceļu būvmateriāli	Uzturēšanas un atjaunošanas metodes
CO ₂ emisija	
Enerģijas patēriņš	
Minerālmateriālu patēriņš	
Bitumena patēriņš	

d) Sociālie (cilvēka) aspekti

Ceļu būvniecības galvenie sociālie aspekti ir: lietotāju un darbu drošība, lietotāju komforts un iespējamais veselības apdraudējums atkarībā no katra seguma veida visā tā kalpošanas laikā. Optimizācijas procedūrai no ceļu būvmateriālu puses tiek apskatīta lietotāju drošība un komforts, uzturēšanas un rekonstrukcijas apstrādei – lietošanas riski un kavēšanās/sastrēgumi (sk. 1.7. tab.).

Tabula 1.7

Sociālie aspekti, kas jāņem vērā lēmumu pieņemšanas modelī

Ceļu būvmateriāli	Uzturēšanas un atjaunošanas metodes
Braukšanas kvalitāte	Kavēšanās un sastrēgumi
Troksnis	Lietošanas riski
Slīdes pretestība	
Šļakatas, hidroplanēšana	

1.3.7. TIPISKĀKO EIROPAS CEĻU VIRSKĀRTU NOVĒRTĒJUMS PĒC TEHNISKAJĀM, VIDES, EKONOMISKAJĀM UN CILVĒKU PRASĪBĀM

Tehniskais novērtējums

Autoceļu nozares ceļu eksperti no tehniskā skata punkta sniedza savu viedokli *DurabRoads* pētniekiem par dažāda veida asfalta maisījumu sniegumu. Respondentu iesniegtie novērtējumi tika apkopoti, lai panāktu vienprātīgu risinājumu. 1.8. tabulā ir parādīti iegūtie rezultāti. No ekspertiem iegūtajiem rezultātiem, kā arī balstoties uz veikto literatūras avotu analīzi gūts apstiprinājums tam, ka no tehniskā viedokļa SMA tipa asfaltbetons ir pārāks.

Tabula 1.8

Ceļu materiālu tehniskais novērtējums, pamatojoties uz ekspertu vērtējumu un literatūras avotiem*

A/B tips	Ekspertu vērtējums			Literatūras analīze	
	Izturība pret plaisu veidošanos		Deformācijas pretestība	Izturība pret plaisu veidošanos	Deformācijas pretestība
	Noguruma plaisas	Termiskās plaisas			
AC	3,6	3,4	3,8	3	3/4
SMA	4,2	3,7	4,7	5	5
PA	2,7	2,6	3,2	2	5
HRA	3,9	3,7	3,9	4	3
BBTM	3,2	3,1	3,1	2/3	4

*) Vērtējums izteikts 5 ballu skalā, kur 1 ir viszemākais rezultāts, bet 5 – visaugstākais.

Sociālais novērtējums

Autoceļu nozares ceļu eksperti no sociālā skata punkta sniedza savu viedokli *DurabRoads* pētniekiem par dažāda veida asfalta maisījumu sniegumu. Rezultāti no ekspertu puses apstiprina, ka no sociālā viedokļa PA asfaltbetons ir pārāks (sk. 1.9. tab.). Tam seko SMA tipa asfaltbetons. Kā redzams, tad arī literatūrā vislabāk tiek novērtēts PA virskārtas tips, bet otro vietu daļa SMA un BBTM tipa asfaltbetons.

Tabula 1.9

Sociālais novērtējums*

A/B tips	Ekspertu vērtējums				Literatūras analīze			
	Komforts		Drošība		Komforts		Drošība	
	Braukšanas kvalitāte	Troksnis	Slīdes pretestība	Hidro-planēšana	Braukšanas kvalitāte	Troksnis	Slīdes pretestība	Hidro-planēšana
AC	3,9	3,3	3,4	3,1	4	3	3	2
SMA	4,5	3,7	4,2	3,4	4/5	3/4	4/5	4
PA	3,9	4,3	4,6	4,8	4/5	5	5	5
HRA	3,7	2,7	3,8	3,2	4	2	4	2
BBTM	3,8	3,8	3,8	3,2	4	4	4	4

*) Vērtējums izteikts 5 ballu skalā, kur 1 ir viszemākais rezultāts, bet 5 – visaugstākais.

Ekonomiskais novērtējums/izmaksu efektivitāte

Katra ceļu virskārtas veida kalpošanas laiks ir iegūts, apkopojot zinātniskās un tehniskās literatūras datus. Kalpošanas laiks ir viens no galvenajiem nosacījumiem ceļu virskārtas dzīves cikla izmaksu efektivitātei. Apkopotie dati ir ļoti mainīgi, tādēļ LCA analīzei ļoti ieteicams izmantot lokālos datus un vietējo ceļu ekspertu pieredzi attiecībā uz katra virskārtas veida kalpošanas laiku. Kalpošanas ilgums dažādās valstīs ļoti atšķiras. Piemēram, ziemeļvalstīs šis kalpošanas laiks ir 5 – 9 gadi, Centrāleiropas valstīs – 7–10 gadi un Rietumeiropas valstīs – 9 – 15 gadi [OECD, 2005].

DurabRoads pētījumā iegūto datu ticamība attiecībā uz kalpošanas laiku ir jāvērtē ļoti skeptiski, jo katram

no ceļu virskārtas veidiem izmantoti atšķirīgi, dažāda daudzuma literatūras avoti, kā arī amplitūda starp gadiem ir pārāk liela (sk. 1.10. tab.).

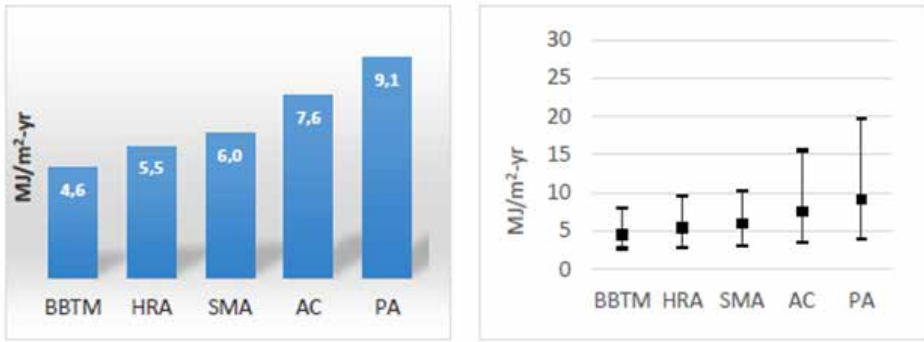
Tabula 1.10

Asfaltbetona virskārtu vidējais kalpošanas laiks

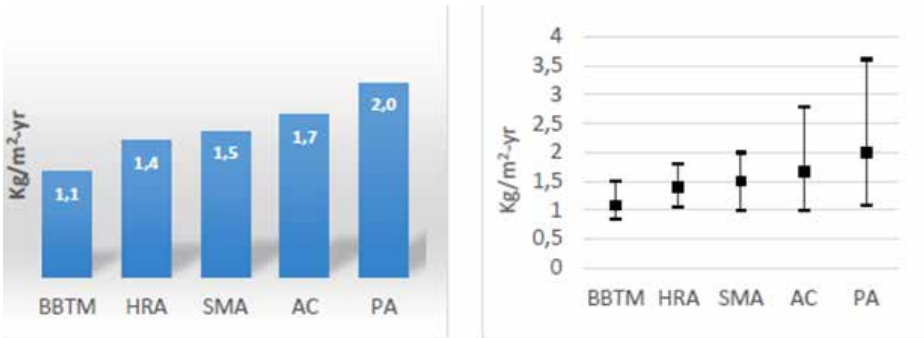
A/B tips	Kalpošanas laiks, gadi	Atsauces	Vidējais, gadi
AC	15–25	<i>Nicholls, 2012</i>	12±7
	12	<i>CEDR, 2012</i>	
	5,5	<i>Aksnes, 2009</i>	
	7–18	<i>EAPA, 2007</i>	
	5–9	<i>Nikolaides, 2008</i>	
HRA	14–24	<i>Nicholls, 2012</i>	18±4,5
	20	<i>AsPECT</i>	
	16–25	<i>EAPA, 2007</i>	
	14–20	<i>Atkins, 2013</i>	
	10–20	<i>UK Roads</i>	
SMA	10–16	<i>Nicholls, 2012</i>	14±5,9
	11–16	<i>CEDR, 2012</i>	
	14–25	<i>EAPA, 2007</i>	
	13	<i>Atkins, 2013</i>	
	5–15	<i>Kim, 2014</i>	
BBTM	11–15	<i>Nicholls, 2012</i>	18±4,5
	14–19	<i>Nicholls et al., 2012</i>	
	7–9	<i>Nikolaides, 2008</i>	
PA	7–10	<i>Nicholls, 2012</i>	9±3,4
	10	<i>CEDR, 2012</i>	
	4	<i>Aksnes, 2009</i>	
	7–14	<i>EAPA, 2007</i>	
		<i>Nikolaides, 2008</i>	

Vides novērtējums

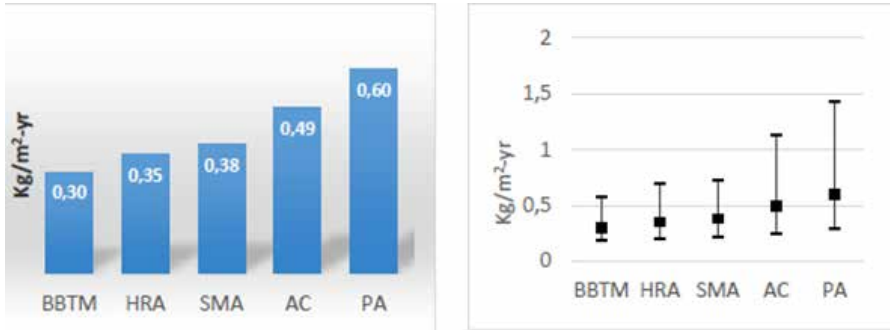
Rezultātu apkopojums, kas veikts *DurabRoads* pētījumā, parāda, kurš no virskārtas materiālu veidiem ir videi viskaitīgākais un kurš – vismazāk kaitīgais. Tiek analizēts enerģijas patēriņš, CO₂ izmešu daudzums, minerālmateriālu un bitumena patēriņš. Visi rezultāti tiek izteikti 1 gada periodam. Kā redzams, tad visvairāk enerģijas tiek patērēts *PA* asfaltbetonam, bet vismazāk – *BBTM*. Enerģijas patēriņš cieši korelē ar CO₂ izmešu daudzumu. Kas attiecas uz izejmateriālu patēriņu, tad rezultāti ir analogiski. Vislielākais bitumena un minerālmateriālu patēriņš ir *PA* asfaltbetonam, bet vismazākais – *BBTM* (sk. 1.6. – 1.9. att.) [10].



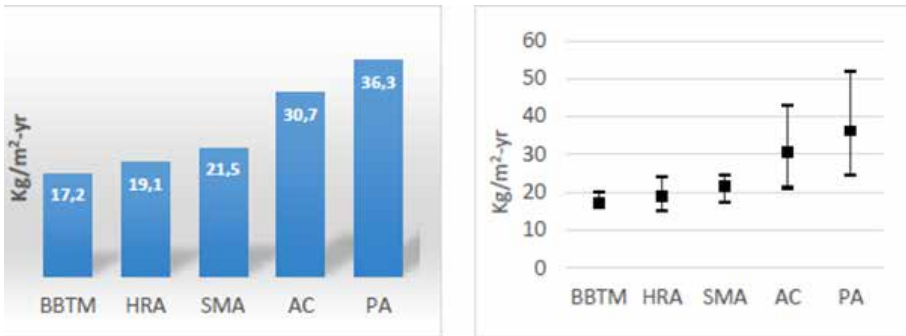
1.6. att. Vidējais enerģijas patēriņš dzīves cikla laikā (MJ/m²-gadā)



1.7. att. Vidējais CO₂ izmešu daudzums dzīves cikla laikā (Kg/m²-gadā)



1.8. att. Vidējais minerālmateriālu patērētais daudzums dzīves cikla laikā (Kg/m²-gadā)



1.9. att. Vidējais bitumena patērētais daudzums dzīves cikla laikā (Kg/m²-gadā)

1.3.8. TIPISKĀKO EIROPAS CEĻU UZTURĒŠANAS UN ATJAUNOŠANAS TEHNOLOĢIJU NOVĒRTĒJUMS PĒC TEHNISKAJĀM, VIDES, EKONOMISKAJĀM UN SOCIĀLAJĀM PRASĪBĀM

Tehniskais novērtējums

DurabRoads pētījuma ietvaros tika analizētas dažādas dilumkārtas atjaunošanas metodes. Kā redzams 1.11. tabulā, tad eksperti vislabāk pēc noguruma un termisko plaisu pretestības novērtējuši *HIR* atjaunošanas veidu, bet literatūras analīzes rezultāti rāda, ka vislabākā sabrukšanas (defragmentācijas) pretestība no atjaunošanas veidiem ir karstajai reciklēšanai uz vietas (*CIR*) un rekonstrukcijai pilnā dziļumā (*FDR*). Visaugstākā pretestība pret rišu veidošanos atbilstoši ekspertu viedoklim ir *CIR* atjaunošanas veidam, bet atbilstoši literatūras analīzei – karstajai reciklēšanai uz vietas (*HIR*) un frēzēšanai ar jaunu dilumkārtu (*MOV*).

Tabula 1.11

Ceļu uzturēšanas un atjaunošanas tehnoloģiju tehniskais novērtējums*

Atjaunošanas tehnoloģija	Ekspertu vērtējums			Literatūras analīze	
	Izturība pret plaisu veidošanos		Deformācijas pretestība	Izturība pret plaisu veidošanos	Deformācijas pretestība
	Noguruma plaisas	Termiskās plaisas			
<i>DCS</i>	1,6	1,7	1,6	1/2	1/2
<i>MS</i>	2,2	2,4	1,8	1/2	2
<i>THMA (BBTM)</i>	2,9	2,8	2,9	2/3	2/3
<i>OV</i>	–	–	–	3/4	4
<i>HIR</i>	4,0	4,0	4,0	3/4	4/5
<i>MOV</i>	3,9	3,9	4,0	4	4/5
<i>CIR</i>	3,3	3,6	4,5	5	3/4
<i>FDR</i>	–	–	–	5	4

*) Vērtējums izteikts 5 ballu skalā, kur 1 ir viszemākais rezultāts, bet 5 – visaugstākais.

Sociālais novērtējums

Šajā kategorijā no veiktajiem literatūras apkopojumiem ir grūti kādu no atjaunošanas veidiem izcelt. Tomēr *MS* uzrāda vislabāko rezultātu gan pēc literatūras datiem, gan no ekspertu vērtējuma (sk. 1.12. tab.).

Tabula 1.12

Ceļu uzturēšanas un atjaunošanas tehnoloģiju sociālais novērtējums*

Atjaunošanas tehnoloģija	Ekspertu vērtējums		Literatūras analīze	
	Komforts	Drošība	Komforts	Drošība
	Kavēšanās un sastrēgumi	Darba risks	Kavēšanās un sastrēgumi	Darba risks
<i>DCS</i>	3,5	3,1	4/5	4
<i>MS</i>	3,7	3,6	5	4/5
<i>THMA (BBTM)</i>	3,5	3,6	4/5	3/4

Tabula 1.12

OV	–	–	4/5	3/4
HIR	2,7	2,7	4	3
MOV	2,7	2,9	4	3/4
CIR	2,5	2,8	4	3/4
FDR	–	–	4	3/4

*) Vērtējums izteikts 5 ballu skalā, kur 1 ir viszemākais rezultāts, bet 5 – visaugstākais.

Ekonomiskais novērtējums

Virskārtas atjaunošanas tehnoloģijas var pagarināt ceļu seguma kalpošanas laiku par vairākiem gadiem. Ilgāks kalpošanas laiks samazina atjaunošanas tehnoloģijas vidējās izmaksas par vienu gadu. Šo tehnoloģiju kalpošanas laiks galvenokārt būs atkarīgs no laikapstākļiem ieklāšanas brīdī un seguma stāvokļa pirms tehnoloģijas izmantošanas. Dati ir mainīgi un atkarīgi no reģiona, tāpēc optimizācijas procesā būtu jāizmanto vietējie dati.

DurabRoads pētījumā tika apkopots vidējais rezultāts no tehniskajā literatūrā iegūtajiem datiem. Ilgākais kalpošanas laiks ir CIR tehnoloģijas gadījumā, bet tas vēl nenozīmē, ka šī tehnoloģija ir efektīvākā. Lai saprastu, kas būtu labākais risinājums no tehniskā, ekonomiskā un vides skata punkta, nepieciešams veikt pilnu dzīves cikla analīzi (sk. 1.13. tab.). Tabulā dotie gadi parāda, cik ilgi esošā virskārta spētu vēl kalpot.

Tabula 1.13

Vidējais kalpošanas laiks dažādiem seguma atjaunošanas veidiem

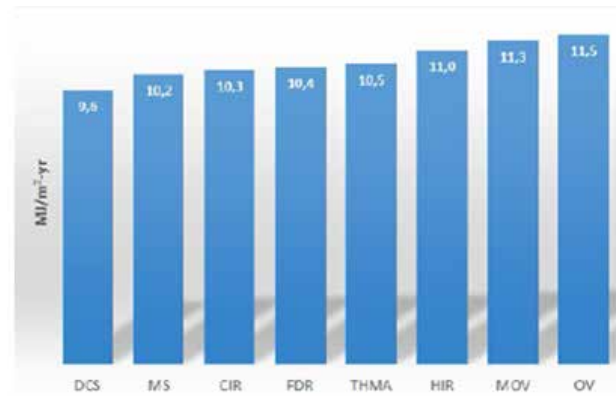
Atjaunošanas tehnoloģija	Kalpošanas laika ilgums, gadi	Atsauces	Vidējais kalpošanas laiks, gadi
DSC	3–5	Wang, 2013	6±3
	9–10	Cuelho, 2006	
	3–5	Wang, 2013	
	8–10	Peshkin, 2011	
	5–7	Ohmpa, 2004	
	2–6	Chehovits, 2010	
MS	4,5–6,2	Wang, 2013	5±2
	4–7	Wang, 2013	
	4–6	Cuelho, 2006	
	4–6	Peshkin, 2011	
	5–8	Cerea, 2010	
	5–7	Ohmpa, 2004	
	2–5	Chehovits, 2010	
THMA (BBTM)	7–8,5	Wang, 2013	7±3
	(BBTM)	Lurh, 2010	
	7–8	Cuelho, 2006	
	4–8,5	Wang, 2013	

Tabula 1.13

OV	5–10	<i>Chehovits, 2010</i>	9±3
	5–8	<i>New York DoT, 2005</i>	
	10–15	<i>Cerea, 2010</i>	
	8–14	<i>Ohmpa, 2004</i>	
	12	<i>Pan Chan, 2010</i>	
	10	<i>Croteau, 1997</i>	
	8–10	<i>Nicholls, 2004</i>	
HIR	10–12	<i>Chan, 2010</i>	10±3
	6–15	<i>Peshkin, 2011</i>	
	12	<i>Pan Chan, 2010</i>	
	10	<i>Faghih-Imani, 2012</i>	
	5–12	<i>Ohmpa, 2004</i>	
	8	<i>Horvath, 2013</i>	
MOV	10	<i>Patenaude, 2013</i>	11±4
	5–9	<i>Shuler, 2010</i>	
	11	<i>BASF, 2010</i>	
	5–12	<i>Peshkin, 2011</i>	
	11–17	<i>Bergeron, 2005</i>	
	10	<i>Chan, 2010</i>	
	14	<i>Pan Chan, 2010</i>	
CIR	12–18	<i>Bergeron, 2005</i>	12±4
	15	<i>Patenaude, 2013</i>	
	15	<i>Pan Chan, 2010</i>	
	10,6	<i>Cuelho, 2006</i>	
	10	<i>Shuler, 2010</i>	
	10	<i>Horvath, 2013</i>	
	14	<i>Croteau, 1997</i>	
	11	<i>New York, 2010</i>	
	10–15	<i>Johnson, 2000</i>	
	10–12	<i>Ohmpa, 2004</i>	
	7–15	<i>Peshkin, 2011</i>	
FDR	20	<i>Patenaude, 2013</i>	16±5
	12–15	<i>Dessouky, 2011</i>	
	15–20	<i>Bergeron, 2005</i>	
	15–20	<i>CFLH, 2005</i>	
	16	<i>Symons, 2001</i>	
		<i>Pan Chan, 2010</i>	

Vides novērtējums

Rezultāti, kas iegūti no katrā variantā veiktā dzīves cikla novērtējuma, parādīti 1.10. un 1.11. attēlos. Visi rezultāti izteikti 1 gada periodam. Vislielāko enerģijas patēriņu uzrāda atjaunošanas metode OV, vismazāko – DCS. Attiecībā uz CO₂ izmešu daudzumu vislielāko apjomu uzrāda atjaunošanas metode FDR, vismazāko – DCS.



1.10. att. Vidējais enerģijas patēriņš dzīves cikla laikā (MJ/m²-gadā)



1.11. att. Vidējais CO₂ izmešu daudzums dzīves cikla laikā (Kg/m²-gadā) [10]

2. AUTOCEĻA IZVĒLE UN CEĻA SEGUMA DZĪVES CIKLA NOVĒRTĒJUMS

2.1. CEĻA SEGAS DZĪVES CIKLA ANALĪZES MODEĻA VEIDOŠANA

2.1.1. IEVADS

Pētījuma mērķis ir novērtēt dažādu ceļa konstrukciju ietekmi uz vidi un kopējās izmaksas visā to paredzamajā kalpošanas laikā līdz nākamajai pilnīgai rekonstrukcijai. Izšķir divas novērtējuma metodes: *LCA* un *LCCA*.

- a) *LCA* (Life Cycle Assessment) veic ekoloģiskās ietekmes novērtējumu, rēķinot izmērāmus parametrus:
 - kopējo enerģijas patēriņu (MJ);
 - ūdens patēriņu (m^3);
 - CO_2 , NO_2 , SO_2 , CO u.c. izmešus (kg) utt.
- b) *LCCA* (Life Cycle Cost Assessment) veic ekonomisko novērtējumu, rēķinot kopējos izdevumus visu dzīves ciklu laikā.

Abas metodes visās dzīves cikla stadijās var attiecināt uz būves īpašnieku vai pasūtītāju (piem., būvniecības un remontdarbu tiešā ietekme) un lietotāju (piem., zaudējumi un izmeši, kas rodas no stāvēšanas sastrēgumos laikā, kad objektā notiek būvdarbi vai remontdarbi).

Būves kalpošanas laiks tiek iedalīts vairākās dzīves cikla stadijās:

- a) būves plānošana, projektēšana;
- b) izejmateriālu un iekārtu ražošana;
- c) būvniecība (vecās konstrukcijas nojaukšana un aizvešana, jauno būvmateriālu transportēšana uz objektu un iestrādāšana);
- d) būves uzturēšana ekspluatācijas laikā, kārtējie atjaunošanas darbi un remontdarbi;
- e) būves nojaukšana vai pilnīga rekonstrukcija.

LCA un *LCCA* analīzes matemātiskajā algoritmā ir izdalāmas divas novērtējuma pakāpes:

- a) determinētā analīze, kurā visi izejas dati ir pieņemti kā konstanti lielumi un līdz ar to arī tiek iegūts pseidoprecīzs rezultāts par kopējā dzīves laikā sakrātajiem izdevumiem un pārējiem apskatītajiem parametriem;
- b) izklaidētā (jeb varbūtiskā) analīze, kurā tos izejas datus, kurus nav iespējams droši prognozēt (tradicionāli – satiksmes intensitātes pieaugumu, smago auto daļu kopējā satiksmē, būvmateriālu

cenu pieaugumu, būvdarbu ilgumu utt.), apraksta ar kādu no pētījuma autoru izvēlētajiem varbūtības teorētiskajiem sadalījumiem; analīzes matemātiskais algoritms kļūst ievērojami komplicētāks un tiek izmantotas tuvinātās aprēķina metodes (piem., Montekarlo simulācijas vai citas iteratīvās metodes); iegūtais rezultāts vairs nav precīzs, bet gan ir kā jauns varbūtības sadalījums, kurš pārsvarā ir specifisks un individuāls katram konkrētajam piemēram; tiek iegūta visvarbūtīgākā dzīves cikla analīzes parametra vērtība un arī tās sagaidāmā izkliede.

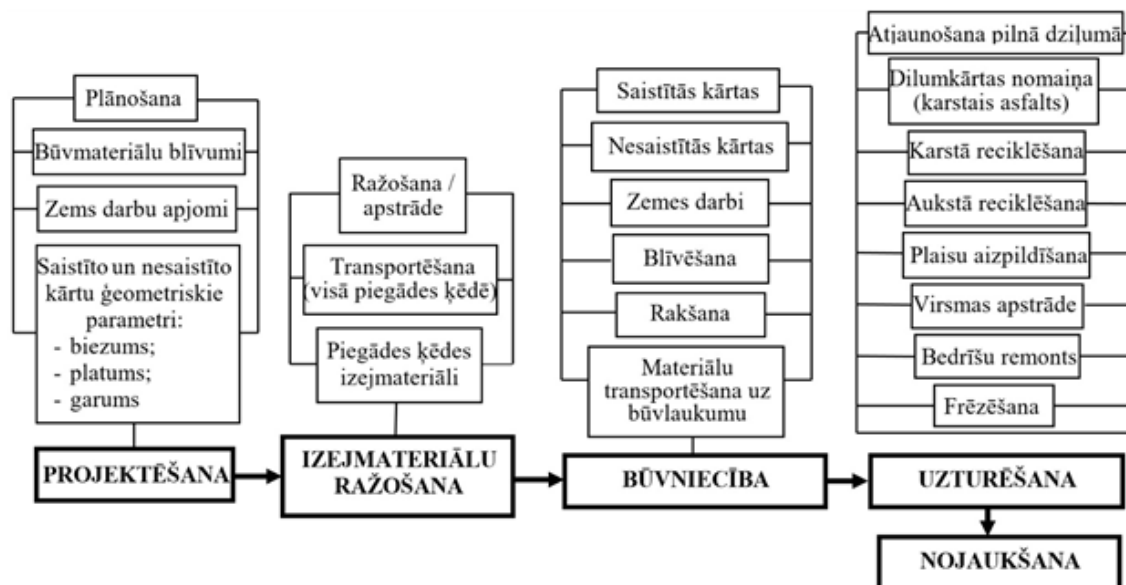
Šī pētījuma sākumstadijā tiks izmantotas divas autoceļu *LCA* un *LCCA* analīzei pieejamas datorprogrammas: *PaLATE-2.0* un *RealCost-2.5*, kas abas sastādītas uz Microsoft EXCEL pamata. Nākamajās nodaļās dots modeļa veidošanas apraksts šajās programmās. Sekojošajā tabulā parādīts šo programmu pielietojums iepriekš aprakstītajās novērtējuma stadijās. Kā redzams, viss spektrs nav nosepts. Pētījuma attīstības laikā tiks pieņemts lēmums par šo stadiju nozīmīgumu un tās tiks vai nu ignorētas, vai arī tiks veidots jauns algoritms.

Tabula 2.1				
LCA un LCCA analīzē izmantojamo datorprogrammu pielietojums				
IETEKME UZ	ANALĪZES VEIDS			
	LCA		LCCA	
	Determinētā	Izkliedētā	Determinētā	Izkliedētā
Īpašnieku	<i>PaLATE-2.0</i>		<i>PaLATE-2.0</i> <i>RealCost-2.5</i>	<i>RealCost-2.5</i>
Lietotāju			<i>RealCost-2.5</i>	<i>RealCost-2.5</i>

2.1.2. ANALĪZE AR PROGRAMMU *PALATE-2.0*

Vispārīgas piezīmes par programmu

1. Vides un ekonomiskās ietekmes novērtēšanas rīks, izmantojot dzīves cikla analīzi.
2. Programma izstrādāta Kalifornijas universitātē, Bērklī (*University of California, Berkeley*), balstoties uz ASV praksi, un tā lieto angļu mērvienību sistēmu. Lietotājam rekomendējams programmu (MS EXCEL formulas) pārveidot metriskajā mērvienību sistēmā (SI).
3. Programmā ir iestrādāta apjomīga būvmateriālu fizikālo parametru (blīvuma) un būvmašīnu tehnisko rādītāju (ražības, degvielas patēriņa, izmešu u.c.) datubāze. Šos datus iespējams izmantot tiešā veidā vai arī datubāzi papildināt ar lietotājam aktuāliem izejas datiem. Šim rīkam ir 3 veidu darba lapas: ievade, izvade, dati. No lietotāja tiek prasīts ievadīt datus ievades darba lapās. Katras darba lapas augšpusē ir dzīves cikla diagramma. Posmi, kuros lietotājs strādā, ir izcelti ar sarkanu krāsu. Lietotājam vajadzētu ievadīt datus tajos dzīves cikla posmos, kuri tiks analizēti. Dotās noklusējuma vērtības un šo vērtību diapazoni ir paredzēti lietotāju ērtībai.
4. Izejas dati ir konstantas vērtības, kas nozīmē, ka iespējama tikai determinētā analīze.
5. Programma aprēķina nevis materiāla ražotāja, bet materiāla lietotāja izmaksas un darbības radīto ietekmi uz vidi. Tas nozīmē, ka visi aprēķini tiek veikti uz ģenerāluzņēmēja rēķina.
6. Programma paredzēta gan asfalta, gan betona segumu analīzei. Šajā projektā izmantots tikai asfalta seguma novērtējums.



2.1. att. Būves dzīves cikla stadijas programmā PaLATE-2.0

Analīzes modeļa sastādīšana (sk. blokshēmu; 2.1. att.)

1. Projektēšanas stadija (PS)

Jāievada informācija par segas kārtu biezumiem, platumiem un garumiem. Katras kārtas apjomi tiek aprēķināti un var tikt izmantoti citās MS Excel darba lapās. Lietotājs arī ievada analīzei nepieciešamo uzbēruma un nomaļu materiālu apjomu. Analīzes periods tiek ierakstīts, lai apzīmētu to gadu skaitu, kuru laikā tiks veikta uzturēšana, lai aprēķinātu dzīves cikla izmaksas. Materiālu blīvumus ievada lietotājs, tomēr cilnēs ir ievadīti blīvumi pēc noklusējuma. Pieņemtā ceļa dizaina grafika krāsa ir šifrēta, lai nodrošinātu veiksmīgāku darba lapu lietošanu. Tālāk jāaizpilda informācija par kārtām, kuru analīze ir nepieciešama.

PS izejas datu ievadīšana paredzēta lapā "Des". Ievadāmie dati:

- saistīto kārtu biezums/platums/ceļa posma garums (paredzētas 3 kārtas, bet var papildināt; sk. 2.2. att.);
- nesaistīto kārtu biezums/platums/ceļa posma garums (paredzētas 4 kārtas, bet var papildināt; sk. 2.2. att.);
- zemes darbu apjoms (tilpums);
- aprēķina periods – laiks līdz ceļa pilnīgai rekonstrukcijai (maksim. 40 gadi).

Aprēķina rezultāts ir materiālu patēriņš (tilpums, masa).

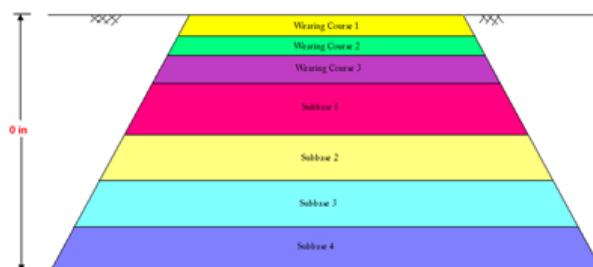
Tiek pieņemts, ka PS izmaksas nerodas, bet šajā stadijā ceļam izmantoto konstruktīvo kārtu fizikālie un ģeometriskie parametri tālāk tiešā veidā ietekmē būvniecības un uzturēšanas izmaksas.

2. Izejmateriālu ražošanas un būvniecības stadija (IRBS)

IRBS tiek raksturota ar materiālu transportēšanu uz būvlaukumu un būvniecībā izmantoto būvmašīnu definēšanu. Ja paredzēta esošā ceļa pārbūve, tad papildus jāievada arī esošo materiālu transportēšana prom uz atbērtni. Izejas datu ievadīšana paredzēt lapās "Init Const" (transportēšana), "Eqmt" (būvmašīnas) un "\$" (materiālu izmaksas). Atsevišķi apskatāms katrs saistīto un nesaistīto materiālu slānis, kā arī zemes darbi, t. i., visi atšķirīgie materiāli. Katram slānim ievadāmie dati:

- blīvums un patēriņš (tilpums); iespējams veidot saiti no PS aprēķinātajiem parametriem;
- transportēšanas attālums;
- transporta veids;
- iestrādāšanā izmantojamās būvmašīnas;
- būvmateriālu vienības cenas.

Aprēķina rezultāts ir transportēšanas un iebūves izmaksas (degvielas patēriņš), enerģijas patēriņš un izmešu daudzums.



**2.2. att. Ceļa konstrukcija programmā PaLATE-2.0:
trīs saistīto materiālu un četras nesaistīto materiālu kārtas**

3. Uzturēšanas stadija (US)

US ir vienkāršota līdz seguma atjaunošanai. Šajā darba lapā tiek piedāvātas dažādas segas uzturēšanas iespējas: virskārtas rekonstrukcija, pilna dziļuma rekonstrukcija, karstā pārstrāde uz vietas, aukstā pārstrāde uz vietas, lāpīšana, aukstais emulsijas šķembu maisījums, virsmas apstrāde un citas. Katras uzturēšanas metodes pamatā ir tās sadalīšana pamatmateriālos, lai ņemtu vērā transporta emisijas piegādes ķēdē. Katrai kārtai jāievada/jāatlasa dati par materiālu izmantošanas apjomiem un to transportēšanas attālumiem, kā arī transportēšanas veidu. Katras kārtas izbūvei, ja materiāls tiek piegādāts ar dažādiem transporta veidiem, aprēķinos jāizmanto visvairāk dominējošais. Ja vecais segums netiek izmantots, tad jānorāda apjoms un attālums līdz uzglabāšanas vietai. Izejas datu ievadīšana paredzēta lapā "Maint", kura pēc uzbūves ir gandrīz analoģiska US (materiālu transportēšanai), bet papildināta ar atjaunošanai izmantojamiem materiāliem trim saistīto materiālu slāņiem un augšējam nesaistītā materiāla slānim. Pieņemts, ka atjaunošanā tiek izmantotas tās pašas materiālu iebūves būvmašīnas, kas sākotnējā būvniecībā. Attiecībā uz būvmateriālu cenu izmaiņām, ir iespējams uzrādīt prognozēto ikgadējo pieaugumu.

Lietotājam tiek piedāvāti noklusējuma iekārtu veidi. Pēc nepieciešamības ir iespējams mainīt iekārtas, kā arī atspējot iekārtu ņemšanu aprēķinos, ja nav nepieciešams. Ja nepieciešams cits iekārtas modelis, tad sadaļā "other" ir iespējams ievadīt iekārtas tipu, zirkspēkus, produktivitāti, degvielas patēriņu un veidu.

Aprēķina rezultāts ir transportēšanas un iebūves izmaksas (degvielas patēriņa, materiālu izmaksas), enerģijas patēriņš un izmešu daudzums.

4. Nojaukšanas stadija (NS)

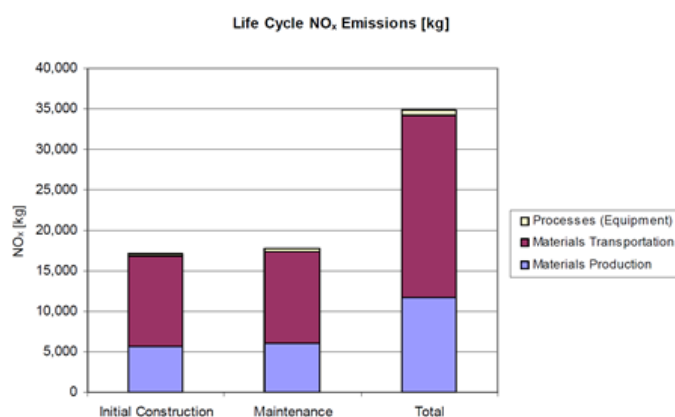
Nojaukšanas stadija netiek iekļauta būves dzīves ciklā. Ja apskatāmais ceļa posms tiek būvēts esošā ceļa vietā, tad tā nojaukšana ir iekļauta sākotnējās izmaksās (IRBS stadija).

Rezultāts

1. LCA analīze

Rezultāts attēlojas lapā "Env Results" grafiku veidā kā enerģijas un dažādu izmešu daudzums būves dzīves

laikā. Grafikā izdalītas būvniecības un uzturēšanas stadijas, kā arī materiālu ražošanas, transportēšanas un iestrādāšanas īpatsvars (sk. 2.3. att.).

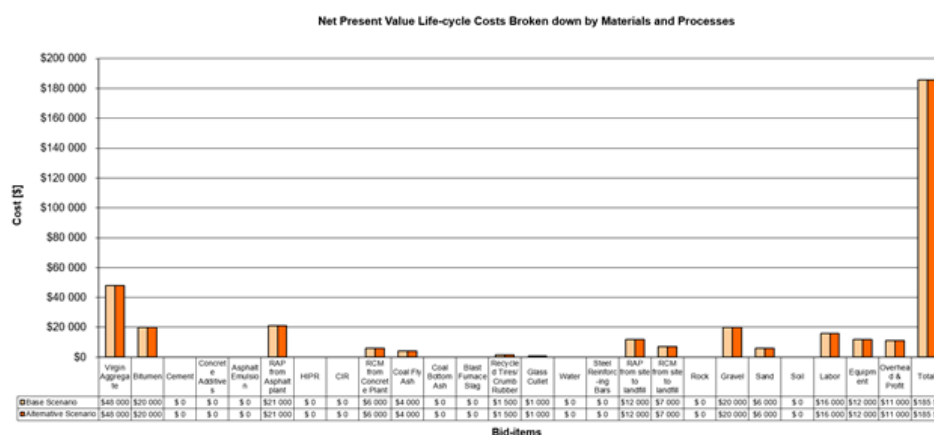


2.3. att. LCA analīzes piemērs programmā PaLATE-2.0

2. LCCA analīze

Izmaksu darba lapā tiek aprēķinātas sākotnējās būvniecības un uzturēšanas izmaksas, kā arī izmaksas visā analīzes periodā. Diskonta likme jāievada zilajā tabulā un jāaizpilda zaļā vai oranžā bāzes scenārija tabula. Ja lietotājs vēlas salīdzināt izmaksu scenārijus, jāaizpilda gan bāzes scenārija, gan alternatīvo scenāriju tabulas. Zaļā tabula jāizmanto, lai gada laikā analizē iekļautu gatavo materiālu kopējās izmaksas (izmantoto materiālu, iekārtu, darbaspēka, pieskaitāmās izmaksas un peļņa). Oranžā tabula jāizmanto, lai iekļautu katra materiāla izmaksas, kas ietver gatavo maisījumu pa gadiem izmaksas analīzes periodā.

Rezultāts attēlojas lapā “\$ Results” grafika veidā kā izmaksas būves dzīves laikā. Grafikā izdalītas būvniecības un uzturēšanas stadiju, arī materiālu ražošanas, transportēšanas un iestrādāšanas izmaksas, kā arī uzturēšanas veida ietekmes īpatsvars (sk. 2.4. att.).



2.4. att. LCCA analīzes piemērs programmā PaLATE-2.0

2.1.3. ANALĪZE, IZMANTOJOT PROGRAMMU REALCOST-2.5

Vispārīgas piezīmes par programmu

1. RealCost 2.5 ir dzīves cikla izmaksu analīzes programma, kuru izstrādājis Kalifornijas Transporta departaments. Programma izstrādāta, balstoties uz ASV praksi un lieto angļu mērvienību sistēmu.

Lietotājam rekomendējams modeļa sastādīšanas sākumā pāriet uz metrisko mērvienību sistēmu (SI).

2. Programma pamatā ir sastādīta MS EXCEL vidē, izmantojot macros programmēšanu.
3. Izejas datus var uzdot:
 - kā konstantas vērtības (determinētā pieeja);
 - kā kādam no iebūvētajiem teorētiskajiem varbūtību sadalījumiem atbilstošu nenoteiktību (varbūtiskā analīze), kam nepieciešami papildu izejas dati, piemēram, vidējā vērtība un standartnovirze;
 - var kombinēt abus analīzes veidus.
4. Programma aprēķina gan autoceļa īpašnieka (pasūtītāja) izmaksas, gan lietotāja zaudējumus būvniecības un atjaunošanas laika satiksmes ierobežojumu dēļ; tiek veikta tikai *LCCA* analīze.
5. Izejas dati tiek ievadīti dialoglogā vai ielādēti no iepriekš sagatavotiem izejas datu failiem.

Lai veiktu *LCCA* analīzi, nepieciešams liels datu apjoms, kuri jāapstrādā un programmā jāievada šāda informācija.

1. Projekta informācija:
 - o esošais seguma veids;
 - o projekta darbības sfēra;
 - o projekta lokācija
 - klimata reģions;
 - o paredzamais būvniecības gads;
 - o satiksmes informācija
 - *AADT* būvniecības gadā (kopā abos virzienos);
 - vienass smago mašīnu īpatsvars;
 - kombinēto smago mašīnu īpatsvars;
 - satiksmes intensitātes pieaugums;
 - satiksmes kustības ātrums;
 - joslu skaits (katrā virzienā);
 - sastrēgumstundas (ja ir pieejama informācija);
 - joslu slēgšanu laiks;
 - o esošā seguma ekspluatācijas laiks;
 - o tehniskās apkopes kvalitāte.
2. Izvēlētās ceļa segas/seguma alternatīvas.
Ceļa segas alternatīvas jāizvēlas atbilstoši to projektēšanas metodikai.
3. Analīzes periods.
4. Satiksmes intensitātes vērtības:
 - o *AADT* maksimālā vērtība;
 - o caurplūde pie brīvas plūsmas;
 - o sastrēguma rindas izkliedes kapacitāte darba zonā;
 - o gaidāmais sastrēguma garums.
5. Dažādu seguma alternatīvu uzturēšanas un atjaunošanas plāns.
6. Konstruktijas izbūves izmaksas.
7. Turpmākās uzturēšanas un atjaunošanas izmaksas.
8. Būvniecības zonas ilgums, izmantojot uzturēšanas un atjaunošanas tehnoloģijas. Plānotais laiks joslu vai brauktuves slēgšanai.

Analīzes modeļa sastādīšana

1. Projektēšanas, izejmateriālu ražošanas un būvniecības stadija (*PS* un *IRBS*)

Būves īpašnieka (vai pasūtītāja) izdevumi par izejmateriālu ražošanu, transportēšanu un iebūvi tiek uzrādīti kā gatavi izejas dati, kurus var aprēķināt atsevišķi (piem., no būvprojekta tāmes) vai iegūt ar citu *LCCA* analīzes programmu (piem., *PaLATE*).

Programma galvenokārt simulē būvdarbu ilguma ietekmi uz lietotājiem – zaudējumus slēgtas vai ierobežotas satiksmes dēļ. Šī aprēķina veikšanai nepieciešams ievadīt detalizētu informāciju par satiksmes intensitāti un sastāvu dažādās diennakts stundās, satiksmes ierobežojumus (joslu skaitu būvdarbu laikā), zaudējumus, kas radušies dažāda veida transportlīdzekļu stāvēšanas dēļ.

Vienā aprēķinā iespējams salīdzināt vairākas būvdarbu alternatīvas.

2. Uzturēšanas stadija (*US*)

Būves īpašnieka (vai pasūtītāja) izdevumi par seguma atjaunošanu, ražošanu, transportēšanu un iebūvi arī tiek uzrādīti kā gatavi izejas dati (no atjaunošanas būvprojekta tāmes vai no atsevišķas *LCCA* analīzes).

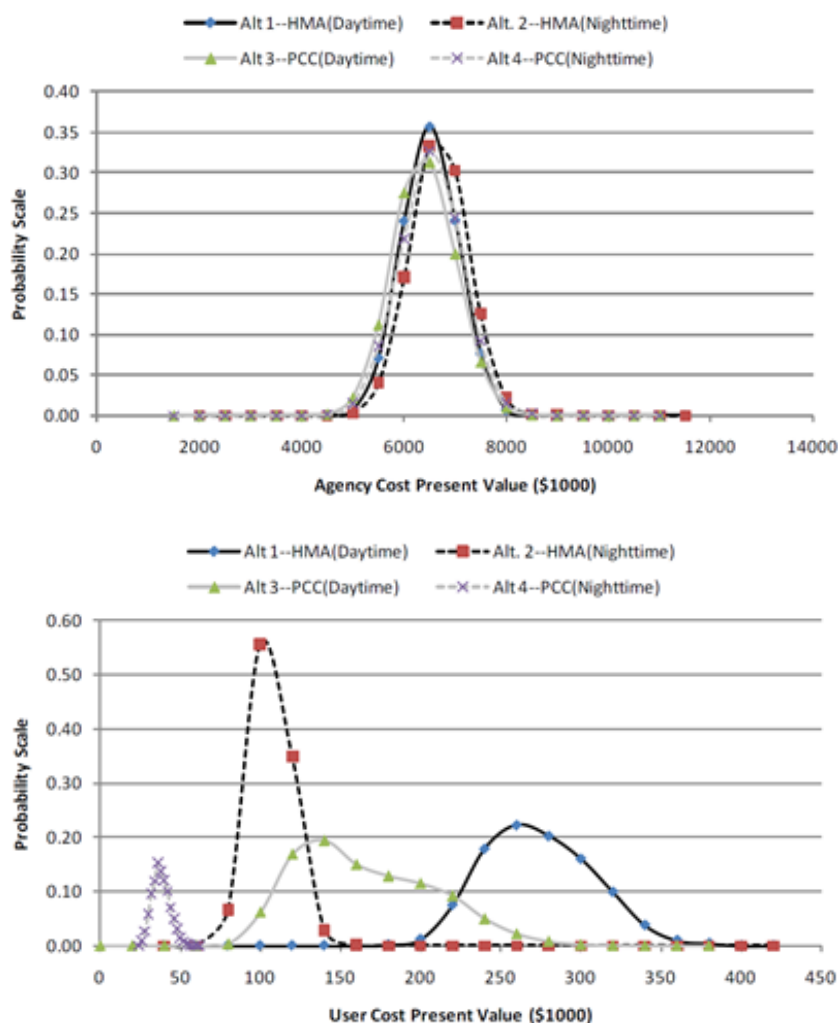
Atjaunošanas darbu ilguma ietekmei uz lietotājiem nepieciešams ievadīt analoģiskus izejas datus par būvdarbu laiku, bet papildus – satiksmes intensitātes izmaiņu prognozi, zaudējumu ikgadējā pieauguma prognozi, bet, kā būtiskāko papildu izejas lielumu – prognozēto laiku līdz kārtējiem atjaunošanas darbiem.

3. Nojaukšanas stadija (*NS*)

Analoģiski kā *PaLATE* programmā, nojaukšanas stadija netiek iekļauta būves dzīves ciklā. Ja apskatāmais ceļa posms tiek būvēts esoša ceļa vietā, tad tā nojaukšana ir iekļauta sākotnējās izmaksās (*IRBS* stadija).

Rezultāts

LCCA determinētās analīzes rezultāts ir būves dzīves cikla laikā prognozētie īpašnieka un lietotāja izdevumi. Izklaidētās analīzes rezultāts ir sagaidāmo izmaksu varbūtību sadalījums, kuru var raksturot ar varbūtību blīvuma vai kumulatīvā sadalījuma grafiku (piemērs parādīts 2.5. att.). Izklaidētā analīze var parādīt kādas no alternatīvu priekšrocībām mazākas sagaidāmo izmaksu izkliedes dēļ.



2.5. att. LCCA varbūtiskās analīzes piemērs programmā *RealCost-2.5* (augšējā attēlā – īpašnieka izmaksas, apakšējā attēlā – lietotāja izmaksas)

2.1.4. ANALĪZEI IZMANTOJAMO PROGRAMMU APROBĀCIJA

Programmu aprobācijas Latvijas apstākļiem un būvniecības prakses nākamie soļi ir:

- izejas datu apzināšana un atlase, kompetenti izvērtējot būtiskākos un mazāk būtiskos, kurus pieļaujams ignorēt. Īpašs akcents liekams uz tiem izejas datiem, kuri būtiski atšķiras apskatāmajām ceļa konstrukcijām un dod iespēju izveidot to savstarpējo salīdzinājumu;
- kritēriju definēšana, kas nosaka laiku līdz kārtējai atjaunošanai un līdz pilnai rekonstrukcijai (piem., rīses dziļuma, nodiluma, plaisu, izdrupumu, bedru veidošanās prognozes vai arī subjektīvi uz pieredzi balstīts kalpošanas laika pieņēmums);
- references objekta izvēle, uz kuru testēt dažādu ceļa konstrukciju LCA un LCCA analīzi.

2.2. CEĻA POSMA ANALĪZE

2.2.1. CEĻA POSMA RAKSTUROJUMS

Būvprojekts "Valsts reģionālā autoceļa P5 Ulbroka – Ogre km 20.54 – 25.00 rekonstrukcija" (sk. 2.6. att.) tika izstrādāts, pamatojoties uz līgumu, kas tika noslēgts starp VAS "Latvijas Valsts ceļi" un SIA "A-Vide", un pasūtītāja izsniegto projektēšanas uzdevumu.



2.6. att. Ceļa posma atrašanās vieta

2.2.2. PROJEKTA GALVENIE TEHNISKIE RĀDĪTĀJI

Tabula 2.2

Projekta galvenie tehniskie rādītāji

Objekta nosaukums	Valsts reģionālā autoceļa P5 Ulbroka – Ogre km 20.54 – 25.00 rekonstrukcija
Objekta atrašanās vieta	Ikšķiles novads, Tinūžu pagasts
Ceļa kategorija	AII
Nozīme	Reģionālais savienojums
Funkcija	Savieno reģiona un vietējos centrus
Ceļa veids	Vispārīgas lietošanas
Rekonstruējamā posma garums	4,353 km
Ceļa normālprofils	NP 10,5
Brauktuves platums	7,50 m
Braukšanas joslas	2 × 3,50 m
Brauktuves malas joslas	2 × 0,25 m
Nomales platums	2 × 1,50 m
Projektētais ātrums	90 km/h (atsevišķos posmos – 70 km/h)
Aprēķina transportlīdzeklis pamatbrauktuvei	Kravas automobilis ar piekabi

2.2.3. CEĻA SEGAS RAKSTUROJUMS

Urbumos, kas veikti uz autoceļa braucamās daļas, konstatēts, ka ceļa virskārtu sedz vidēji 0,13 m biezs sadēdējuša asfaltbetona, kā arī dažviet bitumizētas grants slānis. Vismazākais asfaltbetona kārtas biezums konstatēts autoceļa 21,6 km (*Urb-6*), kur tas ir 0,06 m, savukārt maksimālais asfaltbetona kārtas biezums – 22,7 km (*Urb-13*), kur tas ir 0,25 m. Kopumā asfaltbetona sega uzskatāma par nekvalitatīvu, jo asfalts ir stipri sadēdējis.

2.2.4. PERSPEKTĪVĀS SATIKSMES INTENSITĀTES PROGNOZE

Satiksmes intensitātes izvērtēšanai izmantota skiču projektā apkopotā informācija. Veikta datu aktualizācija atbilstoši VAS "Latvijas Valsts ceļi" rīcībā esošajiem aktuālajiem statistikas datiem. 2015. gada jūnijā projektētājs veicis arī satiksmes kontrolskaitīšanu rīta un vakara maksimumstundās. Faktiskie iegūtie dati salīdzināti ar LVC apkopoto informāciju.

Gada diennakts vidējā satiksmes intensitāte autoceļa P5 Ulbroka – Ogre posmā km 19,87 – 25,00 2014. gadā ir noteikta **3692 a/24 h**, kravas automašīnu īpatsvars – **3%**.

Kontrolskaitīšanas rezultāti 2015. gada jūnijā apliecina LVC datu atbilstību faktiskajai situācijai.

Maksimumstundu intensitāte (plkst. 8–9 un 17–18) ir 359 automašīnas (KT – 3,3%). Pieņemot, ka maksimumstundu intensitāte veido nosacīti 10% no diennakts vidējās satiksmes intensitātes, tad kopējā diennakts vidējā intensitāte ir 3590 a/dnn. Turpmākiem aprēķiniem un parametru izvēlei pieņemts lielākais no secinājumu rezultātiem. Kontrolskaitīšanas darbu gaitā veikta kravas transporta skaitīšana, fiksējot transportlīdzekļu asu skaitu. Šie dati turpmāk izmantoti segas konstrukcijas aprēķinā.

Tālākai satiksmes intensitātes prognozei izmantotas LVC stratēģijas daļas sniegtās prognozes vērtības (%).

Atbilstoši LVC stratēģijas daļas sniegtajām prognozēm, **aprēķina satiksmes intensitāte 20 gadu kalpošanas periodā (2035. gadā) būs 5536 a/24 h**, kuras sastāvā smago transportlīdzekļu īpatsvars būs 3 – 3,5%.

2.2.5. CEĻA NORMĀLPROFILS

Rekonstruējamā autoceļa normālprofila izvēle balstās uz saskaņotā skiču projekta risinājumiem. Pamatā autoceļa P5 rekonstruējamais posms, atbilstoši prognozētajai satiksmes intensitātei un smago transportlīdzekļu īpatsvaram, projektēts ar normālprofilu NP 10,5 ar asfalta seguma platumu 7,5 m un nomaļu platumu 1,5 m ar vaļēju ūdens atvadi ceļa sāngrāvjos.

Rekonstruējamā ceļa posma trases beigās (pie Ogres) – no Pk 248+00 labā pusē līdz trases beigām un no Pk 248+35 kreisā pusē līdz trases beigām – brauktuve projektēta ar asfalta seguma platumu 8 m un izceltiem bortakmeņiem malās. Šajā posmā (jau Ogres pilsētas robežās) paredzēta slēgtā ūdens atvade ar gūlijām. Normālprofila izvēlē ievērtēta sānu drošības rezerve līdz bortakmeņiem (+0,25 m uz katru pusi papildus standarta normālprofilam).

2.3. IZEJAS DATU NOTEIKŠANA

2.3.1. ASFALTA MAISĪJUMU ALTERNATĪVIE SASTĀVI

Valsts reģionālā autoceļa P5 Ulbroka – Ogre km 20.54 – 25.00 rekonstrukcijas projektā tika izvēlēts izmantot AC 11 tipa virskārtu un AC 22 tipa apakškārtu. Lai varētu spriest par šī bāzes varianta ietekmi uz vidi un ekonomisko pamatotību, nepieciešami virskārtas un apakškārtas alternatīvie varianti. Tādēļ virskārtai tiek piedāvāta alternatīva ar SMA asfaltbetonu un alternatīva ar BBTM asfaltbetonu, bet apakškārtai – alternatīva ar HMAC apakškārtu (sk. 2.3. – 2.6. tab.).

Asfaltbetonu cenas, lai iegūtu būtu veikta dzīves cikla analīze, tiek fiksētas ar izmaksu koeficientiem.

Virskārta nr. 1 – AC 11 (izmantota esošajā objektā)

Tabula 2.3

Virskārtas AC 11 darba formula

	AC 11
Granīts 8/11	18,9%
Granīts 5/8	17,1%
Granīts 0/5	53,0%
Minerālais aizpildītājs	5,7%
Bitumens 50/70 Orlen	5,3%
Adhēzijas piedeva UAB Binčis	0,5% no bitumena daudzuma
Cena, tonna	46,73 €*
Izmaksu koeficients	1.00

*) legūtā cena ir mainīga un ir bez peļņas procenta.

Virskārta nr. 2 – SMA 11 (alternatīva)

Tabula 2.4

Virskārtas SMA 11 darba formula

	SMA 11
Granīts 8/11	56,5%
Granīts 5/8	14,1%
Granīts 0/5	16,0%
Kaļķakmens milti	7,5%
Bitumens 50/70 Orlen	5,9%
Adhēzijas piedeva Wetfix BE (var ko līdzīgu)	0,2% no bitumena daudzuma
Celulozes šķiedra	0,4% virs asfalta masas
Cena, tonna	53,29 €*
Izmaksu koeficients	1.14

*) legūtā cena ir mainīga un ir bez peļņas procenta.

Virskārta nr. 3 (alternatīva) BBTM 11

Tabula 2.5

Virskārtas BBTM 11 darba formula

	BBTM 11
Granīts 8/11	30,2%
Granīts 5/8	11,3%
Granīts 0/5	50,0%
Minerālais aizpildītājs	2,8%
Bitumens 45/80-55	5,7%
Cena, tonna	54,63 €*
Izmaksu koeficients	1.17
Cena, tonna	53,29 €*

Tabula 2.5

Izmaksu koeficients	1.14
---------------------	------

*) legūtā cena ir mainīga un ir bez peļņas procenta.

Apakškārta nr. 1 AC 22 (izmantota esošajā objektā)

Tabula 2.6

Apakškārtas AC 22 darba formula

	AC22
Dolomīts 16/32	15,3%
Dolomīts 11/16	19,2%
Dolomīts 8/11	11,5%
Dolomīts 5/8	5,8%
Dolomīts 2/5	17,2%
Mazgāta drup. smilts	22,0%
Aizpildītājs	4,8%
Bitumens 50/70	4,2%
Adhēzijas piedeva Adhezin Antrocelbond	0,3 no bitumena satura
Cena, tonna	39,41 €*
Izmaksu koeficients	1.00

*) legūtā cena ir mainīga un ir bez peļņas procenta.

Apakškārta nr. 2 (alternatīva) HMAC 16

Tabula 2.7

Apakškārtas HMAC 22 darba formula

	HMAC
Dolomīts 11/16	23,6%
Dolomīts 8/11	7,5%
Dolomīts 5/8	12,8%
Dolomīts 2/5	22,2%
Dolomīts 0/2	28,3%
Bitumens 20/30	5,6%
Cena, tonna	47,73 €*
Izmaksu koeficients	1.21

*) legūtā cena ir mainīga un ir bez peļņas procenta.

Bāzes variantam ar AC 11 virskārtu un AC 22 apakškārtu tiek piedāvātas 5 dažādas alternatīvas, dažādojot virskārtu un apakškārtu veidus. Kārtu biezumi vēl var mainīties (sk. 2.7. – 2.12 .tab.).

2.3.2 SAISTĪTO MAISĪJUMU KOMBINĒTIE VARIANTI

Tabula 2.8

Valsts reģionālā autoceļa P5 posma saistīto materiālu izbūves bāzes variants A

Variants A (bāzes var.)		AC 11+AC 22
Kārta	Biezums	Materiāls
Virskārta	40 mm	CB 50/70, adhēzijas piedeva UAB Binčis kvarca diorīta šķ., fr. 8/11,2, kvarca diorīta šķ., fr. 5/8, 0/5, minerālais aizpildītājs
Apakškārta	60 mm	CB 50/70, adhēzijas piedeva Adhezin Antrocelbond, dolomīta šķ., 16/32, 11/16, 8/11, 5/8, 2/5, mazgāta drup. smilts 0/4, minerālais aizpildītājs

Tabula 2.9

Valsts reģionālā autoceļa P5 posma saistīto materiālu izbūves variants B

Variants B		SMA11+AC22
Kārta	Biezums	Materiāls
Virskārta	35 mm	CB 70/100, granīts fr. 8/11,2, 5/8, 0/5, kaļķakmens milti, adhēzijas piedeva Wetfix BE, celulozes šķiedra TOPCEL
Apakškārta	60 mm	CB 50/70, adhēzijas piedeva Adhezin Antrocelbond, dolomīta šķ., 16/32, 11/16, 8/11, 5/8, 2/5, mazgāta drup. smilts 0/4, minerālais aizpildītājs

Tabula 2.10

Valsts reģionālā autoceļa P5 posma saistīto materiālu izbūves variants C

Variants C		BBTM11+AC22
Kārta	Biezums	Materiāls
Virskārta	25 mm	PMB 45/80-55, granīts fr. 8/11,2, 5/8, 0/5, minerālais aizpildītājs
Apakškārta	60 mm	CB 50/70, adhēzijas piedeva Adhezin Antrocelbond, dolomīta šķ., 16/32, 11/16, 8/11, 5/8, 2/5, mazgāta drup. smilts 0/4, minerālais aizpildītājs

Tabula 2.11

Valsts reģionālā autoceļa P5 posma saistīto materiālu izbūves variants D

Variants D		AC 11+HMAC 16
Kārta	Biezums	Materiāls
Virskārta	40 mm	CB 50/70, adhēzijas piedeva UAB Binčis, kvarca diorīta šķ., fr. 8/11,2, kvarca diorīta šķ., fr. 5/8, 0/5, minerālais aizpildītājs
Apakškārta	50 mm	CB 20/30, dolomīta šķ., 11/16, 8/11, 5/8, 2/5, smilts 0/2

Tabula 2.12

Valsts reģionālā autoceļa P5 posma saistīto materiālu izbūves variants E

Variants E		SMA11+HMAC16
Kārta	Biezums	Materiāls
Virskārta	35 mm	CB 70/100, granīts fr. 8/11,2, 5/8, 0/5, kaļķakmens milti, adhēzijas piedeva Wetfix BE, celulozes šķiedra TOPCEL
Apakškārta	50 mm	CB 20/30, dolomīta šķ., 11/16, 8/11, 5/8, 2/5, smilts 0/2

Tabula 2.13

Valsts reģionālā autoceļa P5 posma saistīto materiālu izbūves variants F

Variants F		BBTM11+HMAC16
Kārta	Biezums	Materiāls
Virskārta	25 mm	PMB 45/80-55, granīts fr. 8/11, 2, 5/8, 0/5, minerālais aizpildītājs
Apakškārta	60 mm	CB 20/30, dolomīta šķ., 11/16, 8/11, 5/8, 2/5, smilts 0/2

2.3.3 CEĻU SEGU VEIDI

Zemāk esošajā 2.14. tabulā redzami 6 dažādi ceļa segu konstrukciju varianti.

Tabula 2.14

6 dažādi ceļa segu konstrukciju varianti ceļa P5 posmam

Variants A	h, cm	Variants B	h, cm	Variants C	h, cm	Variants D	h, cm	Variants E	h, cm	Variants F	h, cm
AC11 surf	4	SMA11 surf	3.5	BBTM11 surf	2.5	AC11 surf	4	SMA11 surf	3.5	BBTM11 surf	2.5
AC22 bin	6	AC22 bin	6	AC22 bin	6	HMAC16 bin	5	HMAC16 bin	5	HMAC16 bin	6
Šķembu maisījums (pamata virskārta 0/45)	16	Šķembu maisījums (pamata virskārta 0/45)	16	Šķembu maisījums (pamata virskārta 0/45)	16	Šķembu maisījums (pamata virskārta 0/45)	16	Šķembu maisījums (pamata virskārta 0/45)	16	Šķembu maisījums (pamata virskārta 0/45)	16
Šķembu maisījums (pamata apakškārta 0/56)	20	Šķembu maisījums (pamata apakškārta 0/56)	20	Šķembu maisījums (pamata apakškārta 0/56)	20	Šķembu maisījums (pamata apakškārta 0/56)	20	Šķembu maisījums (pamata apakškārta 0/56)	20	Šķembu maisījums (pamata apakškārta 0/56)	20
Vidēji rupja smilts	55	Vidēji rupja smilts	55	Vidēji rupja smilts	55	Vidēji rupja smilts	55	Vidēji rupja smilts	55	Vidēji rupja smilts	55
Esošās ceļa klātnes pamats		Esošās ceļa klātnes pamats		Esošās ceļa klātnes pamats		Esošās ceļa klātnes pamats		Esošās ceļa klātnes pamats		Esošās ceļa klātnes pamats	

2.3.4. ATJAUNOŠANAS PLĀNS

Izbūvētajai AC 11 virskārtai un AC 22 apakškārtai tika izveidotas 5 dažādas saistīto maisījumu alternatīvas. Šīm kombinācijām tika izveidots izbūves, uzturēšanas un atjaunošanas kalendārais plāns pa gadiem. Tas, cik ilgi katra konkrētā virskārta un apakškārta varētu kalpot, ir noteicošais faktors dzīves cikla analizē. Tabulā piedāvātie skaitļi ir aptuveni un nav iekļaujami aprēķinos, veicot LCA un LCCA analīzes (sk. 2.14. tab.).

Šajā pētījumā asfaltbetona ilgizturību bija paredzēts pārbaudīt uz nogurumu un rīšu veidošanos, attiecīgi izmantojot 4 punktu lieci un rīteņu sliežu veidošanās testu. Veicot šos testus katram no asfaltbetona maisījumiem, tika plānots iegūt datus, kas tiktu izmantoti kalpošanas laika aprēķinam. Tomēr to neizdevās veikt laika trūkuma dēļ.

Par ceļa segas konstrukcijas kalpošanas laiku no tās izbūves līdz nākamajai pilnajai rekonstrukcijai pieņemti 40 gadi. Šo gadu laikā tiek veikti dilumkārtas uzturēšanas pasākumi, tās nomaiņa un saistīto maisījumu kārtu nomaiņa. Pēc tam procedūras atkārtojas. 2.15. tabulā ir redzams ceļa segas izbūves, uzturēšanas un atjaunošanas plāns. Tabulā atspoguļotās vērtības un atjaunošanas plāns tiks precizēti, attīstot LCCA analīzi.

Tabula 2.15

Ceļa segas dzīves cikla izbūves, uzturēšanas un atjaunošanas plāns

AC11+ AC22		SMA11+ AC22		BBTM11+ AC22		AC11+ HMAC16		SMA11+ HMAC16		BBTM11+ HMAC16	
SB	0	SB	0	SB	0	SB	0	SB	0	SB – 0	0
G	0–5	G	0–5	G	0–5	G	0–5	G	0–5	G	0–5
U	5–10	U	5–12	U – 8	8	U	5–11	U	5–13	U – 9	5–12
V	10	V	12	V – 11	11	V	11	V	13	V – 12	12
G	10–13	G	12–15	G	11–14	G	11–14	G	13–16		12–15
U	13–20	U	15–24	U	14–22	U	14–22	U	16–26	U – 21	15–24
SMN	20	SMN	24	SMN	22	SMN	22	SMN	26		24
G	20–23	G	24–27	G	22–25	G	22–25	G	26–29		24–27
U	23–30	U	27–36	U	25–33	U	25–33	U	29–39	SMN – 24	27–36
V	30	V	36	V	33	V – 30	33	V	39		36
G	30–33	G	36–39	G	33–36	G – 33	33–36	G	39–40	U – 33	36–39
U	33–40	U	39–40	U	36–40	U	36–40			V – 36	39–40
Kalpošanas laika beigas – 40 gadi		Kalpošanas laika beigas – 40 gadi		Kalpošanas laika beigas – 40 gadi		Kalpošanas laika beigas – 40 gadi		Kalpošanas laika beigas – 40 gadi		Kalpošanas laika beigas – 40 gadi	

SB – sākotnējā būvniecība;

G – garantijas laiks;

U – uzturēšana;

V – virskārtas nomaiņošana;

SMN – saistīto maisījumu nomaiņošana.

2.3.5 PIENĒMUMI

- Ceļa būves dzīves cikla novērtējuma analīzē periodam jābūt pietiekami ilgam, lai tajā iekļautu tā kalpošanas laika ietekmi. Šī iemesla dēļ par analīzes periodu tika izvēlēti 40 gadi, kas ir plaši izmantots periods, veicot *LCCA* analīzi.
- Tā kā mērķis ir salīdzināt *LCA* un *LCCA* atšķirības dažādiem saistītajiem maisījumiem, tad nekādas iepriekš veiktās darbības segas izbūvē un materiālu izmantošanā netiek ņemtas vērā.
- Veicot *LCA* un *LCCA* analīzi, bāzes variants tiek salīdzināts ar alternatīviem variantiem. Iegūtie izmaksu un vides dati neatspoguļo reālos datus, kādi tie ir, izbūvējot ceļu, jo aprēķins ir nepilnīgs (vienkāršots) un to nepieciešams papildināt.
- Netiek ņemta vērā būvmašīnu un citu iekārtu iegāde un uzturēšana nevienā no dzīves cikla posmiem.
- Dzīves cikla beigās netiek aprēķināta atlikusī ceļa vērtība. Aprēķins tiek veikts 40 gadiem (neatkarīgi no tā, ja arī 39. gadā tiek veikta virskārtas vai apakškārtas atjaunošana).
- Netiek ņemtas vērā būvmašīnu un darbaspēka pārvietošanas izmaksas uz objektu un no tā.
- Darbības un procesi, kas saistīti ar nesaistīto maisījumu iestrādi, netiek ņemti vērā, jo mērķis ir salīdzināt dažādus saistītos maisījumus.
- Ceļa marķējumi, ceļa zīmes, stabiņi u.c. netiek ņemti vērā, jo tiek pieņemts, ka visiem variantiem tie būs vienādi.
- Dzīves cikla laikā nav jāremontē lielas bedres, jo ceļš regulāri tiek uzturēts.
- Emulsijas kārtā ir izsmidzināta starp apakškārtu un virskārtu.
- Asfaltbetons tiek piegādāts no rūpnīcas.

- Virskārtas un apakškārtas demontāžai tiek izmantota frēze.
- Virskārtas un apakškārtas asfaltbetona izgatavošanai tiek izmantots 100% jauns materiāls.
- Laikapstākļiem nav ietekme uz būvdarbu veikšanu.
- Pielāgojot aprēķinu Latvijas klimata apstākļiem, pieņemts, ka seguma atjaunošanas darbi tiek veikti tikai vasarā. Līdz ar to atjaunošanas kalendārs sastāv no apaļiem gadiem.
- Netiek ņemtas vērā materiālu (šķembu, bitumena, piedevu u.c.) izgatavošanas izmaksas un vides ietekme, kā arī šo materiālu transportēšana uz asfaltbetona rūpnīcu.

2.3.6 DZĪVES CIKLA IZMAKSU ANALĪZES (LCCA) APRĒĶINA PIEMĒRS

Apzīmējumi:

- M_{ac11} – nepieciešamais AC11 daudzums virskārtai;
 M_{ac22} – nepieciešamais AC22 daudzums apakškārtai;
 C_{ac11} – AC11 cena;
 C_{ac22} – AC22 cena;
 M_{em} – nepieciešamais emulsijas C60BP daudzums gruntēšanai;
 C_{em} – emulsijas C60BP cena;
- V_{iekl_pat} – virskārtas izbūvēšanā izmantotā ieklājēja degvielas patēriņš;
 V_{iekl_atr} – virskārtas izbūvēšanā izmantotā ieklājēja darba ātrums;
 V_{rullis_n} – virskārtas izbūvē nepieciešamo reižu skaits, lai ar veltni pārklātu ceļa platumu;
 V_{rullis_pat} – virskārtas izbūvēšanā izmantotā veltna degvielas patēriņš;
 V_{rullis_atr} – virskārtas izbūvēšanā izmantotā veltna darba ātrums;
 V_{pusp_dist} – puspiekabes pašizgāzēja ar vilcēju nobrauktā distance virskārtas izbūvē;
 V_{pusp_pat} – degvielas patēriņš virskārtas izbūvei izmantotajam puspiekabes pašizgāzējam ar vilcēju;
 A_{iekl_pat} – apakškārtas izbūvēšanā izmantotā ieklājēja degvielas patēriņš;
 A_{iekl_atr} – apakškārtas izbūvēšanā izmantotā ieklājēja darba ātrums;
 A_{rullis_n} – nepieciešamo reižu skaits, lai ar veltni pārklātu ceļa platumu apakškārtas izbūvē;
 A_{rullis_pat} – apakškārtas izbūvēšanā izmantotā veltna degvielas patēriņš;
 A_{rullis_atr} – apakškārtas izbūvēšanā izmantotā veltna darba ātrums;
 A_{pusp_dist} – puspiekabes pašizgāzēja ar vilcēju nobrauktā distance apakškārtas izbūvē;
 A_{pusp_pat} – degvielas patēriņš apakškārtas izbūvei izmantotajam puspiekabes pašizgāzējam ar vilcēju;
 F_{gudr_dist} – ar gudronatoru nobrauktā distance;
 F_{gudr_pat} – gudronatora degvielas patēriņš;
 F_{gudr_atr} – gudronatora darba ātrums;
- V_{mat} – virskārtas materiālu izmaksas;
 V_{iekl} – virskārtas ieklāšanā izmantotā ieklājēja izmaksas;
 V_{rullis} – virskārtas ieklāšanā izmantotā veltna izmaksas;
 V_{pusp} – virskārtas ieklāšanā izmantotās puspiekabes pašizgāzēja ar vilcēju izmaksas;
 V_{asfbr} – izmaksas, kas radušās, braucot uz/no asfaltbetona rūpnīcas un veicot virskārtas ieklāšanu;
 A_{mat} – apakškārtas materiālu izmaksas;
 A_{iekl} – apakškārtas ieklāšanā izmantotā ieklājēja izmaksas;
 A_{rullis} – apakškārtas ieklāšanā izmantotā ruļļa izmaksas;
 A_{pusp} – apakškārtas ieklāšanā izmantotās puspiekabes pašizgāzēja ar vilcēju izmaksas;
 A_{asfbr} – izmaksas, kas radušās, braucot uz/no asfaltbetona rūpnīcas veicot apakškārtas ieklāšanu;
- F_{grunt} – gruntēšanas izmaksas;
 F_{gudr} – gudronatora izmaksas;

V_{frez} – virskārtas frēzēšanas izmaksas;

A_{frez} – apakškārtas un virskārtas frēzēšanas izmaksas (frēzēšanu veic kopā);

F_{sc} – sākotnējās celtniecības izmaksas;

F_v – virskārtas nomaiņas izmaksas;

F_u – uzturēšanas izmaksas gadā;

F_{smn} – saistīto maisījumu nomaiņšanas izmaksas;

C_{degv} – degvielas cena;

i – diskonta līkne.

Aprēķini

$$V_{\text{mat}} = M_{\text{ac11}} \cdot C_{\text{ac11}}$$

$$A_{\text{mat}} = M_{\text{ac22}} \cdot C_{\text{ac22}}$$

$$F_{\text{grunt}} = M_{\text{em}} \cdot C_{\text{em}}$$

$$V_{\text{iekl}} = \frac{M_{\text{ac11}} \cdot V_{\text{iek_pat}} \cdot C_{\text{degv}}}{V_{\text{iekl_atr}}}$$

$$V_{\text{rullis}} = \frac{V_{\text{rullis_n}} \cdot M_{\text{ac11}} \cdot V_{\text{rullis_pat}} \cdot C_{\text{degv}}}{V_{\text{rullis_atr}}}$$

$$V_{\text{pusp}} = V_{\text{psup_dist}} \cdot V_{\text{pusp_pat}} \cdot C_{\text{degv}}$$

$$V_{\text{asfbr}} = 3 \cdot M_{\text{ac11}}$$

$$A_{\text{iekl}} = \frac{M_{\text{ac22}} \cdot A_{\text{iek_pat}} \cdot C_{\text{degv}}}{A_{\text{iekl_atr}}}$$

$$A_{\text{rullis}} = \frac{A_{\text{rullis_n}} \cdot M_{\text{ac22}} \cdot A_{\text{rullis_pat}} \cdot C_{\text{degv}}}{A_{\text{rullis_atr}}}$$

$$A_{\text{pusp}} = A_{\text{psup_dist}} \cdot A_{\text{pusp_pat}} \cdot C_{\text{degv}}$$

$$A_{\text{asfbr}} = 3 \cdot M_{\text{ac22}}$$

$$F_{\text{gudr}} = \frac{F_{\text{gudr_dist}} \cdot F_{\text{gudr_pat}} \cdot C_{\text{degv}}}{F_{\text{gudr_atr}}}$$

$$F_{\text{sc}} = V_{\text{mat}} + V_{\text{iekl}} + V_{\text{rullis}} + V_{\text{pusp}} + V_{\text{asfbr}} + A_{\text{mat}} + A_{\text{iekl}} + A_{\text{rullis}} + A_{\text{pusp}} + A_{\text{asfbr}} + F_{\text{gudr}} + F_{\text{grunt}}$$

$$F_v = V_{\text{mat}} + V_{\text{iekl}} + V_{\text{rullis}} + V_{\text{pusp}} + V_{\text{asfbr}} + V_{\text{frez}}$$

$$F_{\text{smn}} = V_{\text{mat}} + V_{\text{iekl}} + V_{\text{rullis}} + V_{\text{pusp}} + V_{\text{asfbr}} + A_{\text{mat}} + A_{\text{iekl}} + A_{\text{rullis}} + A_{\text{pusp}} + A_{\text{asfbr}} + F_{\text{gudr}} + F_{\text{grunt}} + A_{\text{frez}}$$

Visi plānotie izdevumi tiek pārrēķināti šodienas cenās, lai tos varētu savstarpēji salīdzināt. Tā kā valūta laika gaitā piedzīvo vērtības kritumu, tad, novērtējot nākotnes izdevumus, tiek izmantota formula:

$$P = \frac{F}{(1+i)^n}, \text{ kur}$$

P – cena pēc pašreizējās vērtības;
 F – izmaksas nākotnē;
 n – pēc cik gadiem būs šīs izmaksas;
 i – diskonta līkne.

Aprēķinu variantam A, kur pirmā virskārtas nomaiņa tiek veikta pēc 10 gadiem, pēc 20 gadiem – saistīto maisījumu nomaiņa, pēc 30 gadiem – otrā virskārtas nomaiņa, formula ir šāda:

$$\begin{aligned}
 P = & F_{sc} + \frac{F_u}{(1+i)^5} + \frac{F_u}{(1+i)^6} + \frac{F_u}{(1+i)^7} + \frac{F_u}{(1+i)^8} + \frac{F_u}{(1+i)^9} + \frac{F_v}{(1+i)^{10}} + \frac{F_u}{(1+i)^{13}} + \frac{F_u}{(1+i)^{14}} + \frac{F_u}{(1+i)^{15}} + \frac{F_u}{(1+i)^{16}} + \\
 & + \frac{F_u}{(1+i)^{17}} + \frac{F_u}{(1+i)^{18}} + \frac{F_u}{(1+i)^{19}} + \frac{F_{smn}}{(1+i)^{20}} + \frac{F_u}{(1+i)^{23}} + \frac{F_u}{(1+i)^{24}} + \frac{F_u}{(1+i)^{25}} + \frac{F_u}{(1+i)^{26}} + \frac{F_u}{(1+i)^{27}} + \frac{F_u}{(1+i)^{28}} + \\
 & + \frac{F_u}{(1+i)^{29}} + \frac{F_v}{(1+i)^{30}} + \frac{F_u}{(1+i)^{33}} + \frac{F_u}{(1+i)^{34}} + \frac{F_u}{(1+i)^{35}} + \frac{F_u}{(1+i)^{36}} + \frac{F_u}{(1+i)^{37}} + \frac{F_u}{(1+i)^{38}} + \frac{F_u}{(1+i)^{39}}
 \end{aligned}$$

Determinētā aprēķina rezultāti

Iegūtie rezultāti visiem 6 konstrukciju aprēķinu variantiem pēc determinētās pieejas ir šādi:

Variants A: 833 629,95 EUR

Variants B: 770 883,43 EUR

Variants C: 672 310,88 EUR

Variants D: 822 188,59 EUR

Variants E: 768 215,41 EUR

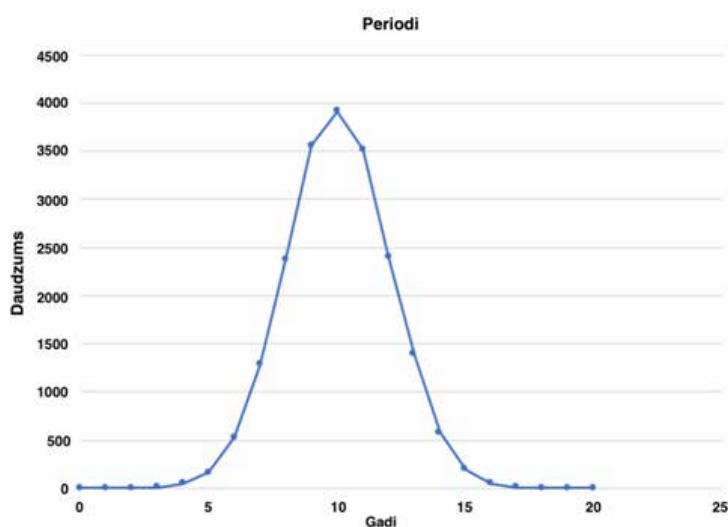
Variants F: 742 690,05 EUR

No iegūtajiem rezultātiem redzams, ka visizdevīgākais izbūves variants ir C, kas ir *BBTM11+AC22* apakškārta. Nākamajā pētījuma etapā aprēķina modelis tiks attīstīts, lai uzlabotu *LCCA* analīzes precizitāti.

Izkliedētā aprēķina rezultāti

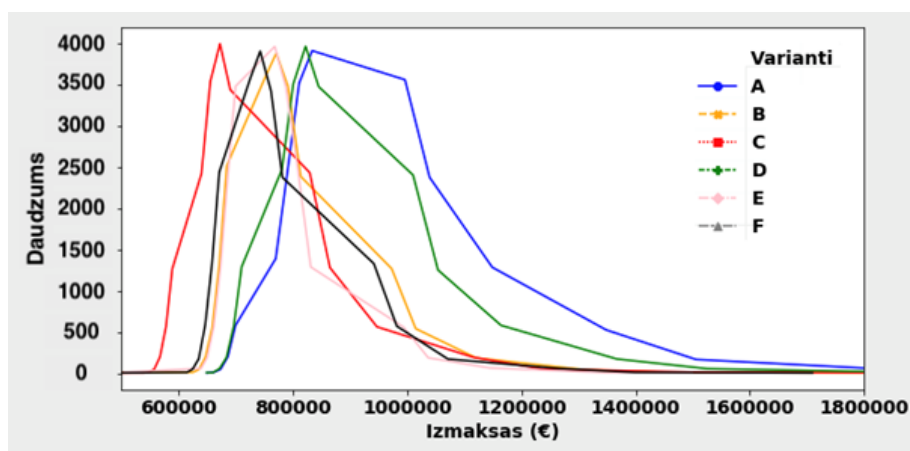
Tā kā periods, kad notiks pirmās virskārtas nomaiņa, var arī atšķirties (ne vienmēr tas būs tāds, kā iepriekš prognozēts, piemēram, 10 gadi), veicām Montekarlo simulācijas, lai prognozētu iespējamās izmaksas, ja būs kādas nobīdes no plānotā atjaunošanas kalendāra. Pieņemot, ka vidējais rādītājs, kad notiks pirmās virskārtas nomaiņa variantam A, ir 10 gadi, tika uzģenerētas 20 000 vērtības, pēc normālā sadalījuma, ar vidējo vērtību 10 gadi un standartnovirzi 2 gadi. Ar šādu metodi varam aprēķināt, ar kādu varbūtību izmaksas nepārsniegs konkrēto summu, vai ar kādu varbūtību tās iekļausies noteiktajās robežās.

2.7. attēlā ir parādīts normālsadalījums, kā tika uzģenerēti periodi. No 20 000 uzģenerētajām vērtībām 10 gadi tika uzģenerēti nedaudz zem 4000 reižu, savukārt 9 un 11 gadi – nedaudz virs 3500 reižu.



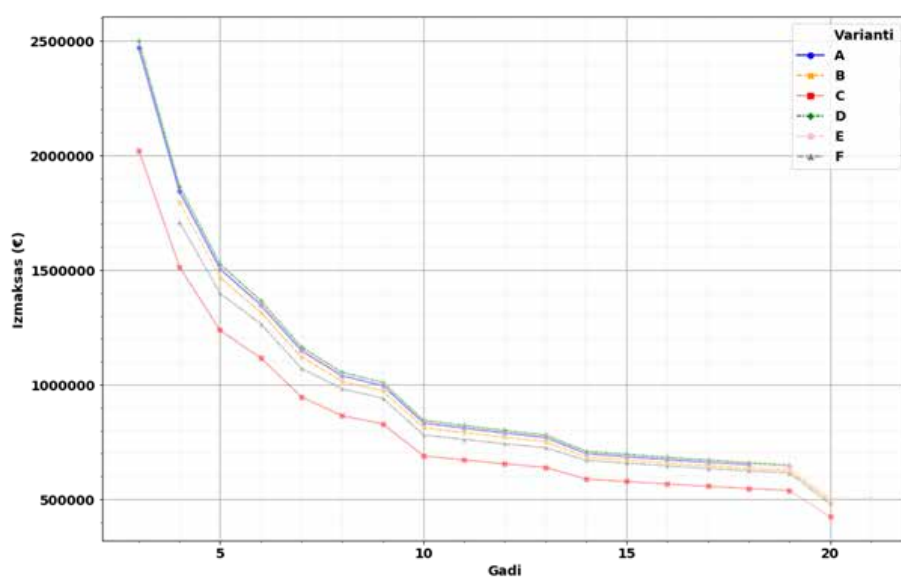
2.7. att. Uzģenerēto kalpošanas periodu normālsadalījums

Nākamajā, 2.8. attēlā ir redzams izmaksu sadalījums, veicot aprēķinus pēc uzģenerētajām vērtībām. Piemērām variantam A no uzģenerētajām 20 000 vērtībām nedaudz zem 4000 reižu izmaksas iznāca 833 629,95 EUR (šie ir aprēķini gadījumam, ja periods ir 10 gadi), bet nedaudz virs 3500 reižu – 813 328 EUR un 1 004 316 EUR (attiecīgi 11 un 9 gadi).



2.8. att. Izmaksu sadalījums atkarībā no uzģenerētā perioda lieluma

2.9. attēlā ir attēlota uzģenerēto periodu un izmaksu sakarība. Kā redzams, ja uzturēšanas gada izmaksas vidēji pa gadiem nemainās (šis ir pieņēmums, kas būs jāuzlabo), tad, palielinoties periodam, kopējās izmaksas attiecībā pret šī brīža cenām kļūst zemākas. Kā redzams no grafika, izmaksas samazinās eksponenciāli un pēc 10 gadiem to samazinājums vairs nav tik straujš kā agrākā periodā.



2.9. att. Uzģenerēto periodu un izmaksu sakarība

3. *BBTM* SEGUMA STANDARTPRASĪBAS UN ĀRVALSTU SPECIFIKĀCIJAS

3.1. STANDARTA LVS EN 13108-2:2016 PRASĪBAS

BBTM asfaltbetona virskārtas biezums ir no 20 līdz 30 mm. Minerālmateriāla daļiņas galvenokārt tiek projektētas ar pārtrauktu granulometriju, lai veidotu daļiņu saskari un nodrošinātu atvērtu virsmas tekstūru.

3.1.1. PRASĪBAS IZEJMATERIĀLIEM

Saistvielas

3.1. tabulā apkopoti bitumena saistvielu standarti *BBTM* sastāvu izveidei. Iespējams pievienot dabisko bitumenu – atbilstoši LVS EN 13108-4:2016 B pielikumam.

Tabula 3.1 <i>BBTM</i> asfaltbetona prasības attiecībā uz saistvielas izvēli pēc LVS EN 13108-2:2016	
Izmantojamās saistvielas veids	Standarts
Ceļu bitumens	LVS EN 12591
Modificētais bitumens	LVS EN 14023
Universālais bitumens	LVS EN 13924-2

Minerālmateriāli

Rupajam minerālmateriālam, smalkajam minerālmateriālam un aizpildītājam jāatbilst EN 13043 prasībām atbilstoši to paredzētajai lietošanai. Par aizpildītāju var lietot arī cementu un dzēstos kaļķus.

Reciklētais asfalts

Nav ieteicams, ja tiek lietots maisījums ar granulometrijas pārtraukumiem (*gap graded*), jo tad ir grūti kontrolēt iegūtās masas viendabību.

Saistvielas saturs

Plānotā sastāva minimālais saistvielas saturs var tikt deklarēts un tam jābūt izteiktam ar precizitāti 0,1%. Bitumena saturam jābūt no 5,0 – 6,4% maisījumiem, kam minerālmateriālu blīvums ir vienāds ar 2,65 Mg/m³.

Saistvielas satura prasības jākoriģē, reizinot ar koeficientu: $\alpha = \frac{2,650}{\rho_d}$,

kur: ρ_d – minerālmateriāla vidējais daļiņu blīvums megagramos uz kubikmetru (Mg/m³), nosakot to atbilstoši EN 1097-6.

Poru saturs

Poru satura kategorijas ir definētas 3.4. tabulā. Poru saturam jāatrodas starp maksimālajām un minimālajām vērtībām. Poru saturs jāaprēķina pēc EN 12697-8 atbilstoši EN 13108-20:2016, D.2. nosacījumiem. Tilpumblīvums jānosaka atbilstoši EN 13108-20:2016, D.1 un maksimālais blīvums – atbilstoši EN 13108-20:2016, D.2. Vi ir poru saturs, kas iegūts atbilstoši blīvēšanas metodei EN 13108-20:2005, C.1.2. (trieciena sablīvēšana atbilstoši EN 12697-30; 2 × 50). Vv ir poru saturs, kas iegūts atbilstoši blīvēšanas metodei EN 13108-20:2005, C.1.14. (vibroblīvēšana atbilstoši EN 12697-32).

Tabula 3.4

Poru saturs, V_i vai V_v	
Poru saturs, %	Kategorija, V_i vai V_v
3,0 – 6,9	V_{i3-7} vai V_{v3-7}
7,0 – 10,9	V_{i7-11} vai V_{v7-11}
11,0 – 15,0	V_{i11-15} vai V_{v11-15}
Nav prasību	V_{iNR} vai V_{vNR}

Mehāniskās īpašības augstā ekspluatācijas temperatūrā

Rišu noturību raksturo ar proporcionālo risēs dziļumu, ko nosaka, izmantojot riteņu sliežu iekārtu atbilstoši EN 12697-22. Blīvēšanas metode ir atbilstoša EN 13108-20:2016, tabula D.1, līnija D.1.8. Plātnes biezumam jābūt 30 vai 50 mm. Proportcionālais risēs dziļuma kategoriju diapazons ir noteikts 3.5. tabulā.

Tabula 3.5

Maksimālais proporcionālais risēs dziļums, P		
Maksimālais proporcionālais sliedes dziļums BBTM5, BBTM6 un BBTM8	Maksimālais proporcionālais sliedes dziļums BBTM10 un BBTM11	Kategorija P
	5	P ₅
7,5	7,5	P _{7,5}
10	10	P ₁₀
20	-	P ₂₀
-	15	P ₁₅
Nav prasību	Nav prasību	P _{NR}

PIEZĪME. Šī nav mandatēta prasība.

Mehāniskās īpašības zemās ekspluatācijas temperatūrās

Mehāniskās īpašības zemā ekspluatācijas temperatūrā raksturo ar termisko plaisu veidošanās testu TSRST atbilstoši EN 12698-46, izmantojot nosacījumus, kas noteikti EN 13108-20:2016., D.18. Sablīvēšanai jānotiek atbilstoši EN 13108-20:2016., D.18. Termisko plaisu noturības kategoriju diapazons ir noteikts 3.6. tabulā.

Maksimālais proporcionālais rises dziļums, P		Tabula 3.6
Maksimālā sabrukšanas temperatūra, °C	Kategorija TSRST _{max}	
-15,0	TSRST _{max -15,0}	
-17,5	TSRST _{max -17,5}	
-20,0	TSRST _{max -20}	
-22,5	TSRST _{max -22,5}	
-25,0	TSRST _{max -25}	
-27,5	TSRST _{max -27,5}	
-30,0	TSRST _{max -30}	
Nav prasību	TSRST _{max -NR}	

3.2. ĀRVALSTU SPECIFIKĀCIJU PRASĪBAS UN TO SALĪDZINĀJUMS AR STANDARTU LVS EN 13108-2

Spānija

Tehniskās specifikācijas nosaka izmantojamās saistvielas tipu, kas jāizvēlas atkarībā no maisījuma veida un satiksmes intensitātes (sk. 3.7. tab.). Kārtas biezums ir no 2 līdz 3 cm ar maksimālo daļiņu izmēru ≤ 11 mm un ir atkarīgs no satiksmes intensitātes.

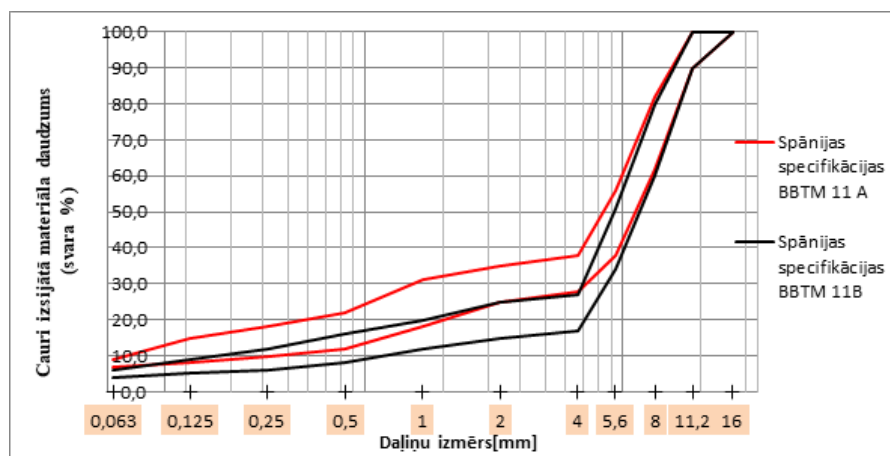
Asfaltbetona tips un biezums atkarībā no autoceļa kategorijas [12]					Tabula 3.7
Slāņa veids	Veids	Autoceļa kategorija			
		T00, T0 un T1	T2 un T31	T32, T41 un T42	
Virskārta	PA	4		-	
	BBTM	3	2-3		
	AC	-	5 – 6	5	
Saistkārta	AC	5 – 10			
Pamatkārta	AC	7 – 15			
	HMM	7 – 13	-	-	

Atkarībā no maisīšanas un ieklāšanas temperatūras bitumena maisījumi iedalās karstajos un vidēji karstos maisījumos. Otrajā gadījumā, izmantojot īpašu bitumenu, piedevas vai citus procesus, ir iespējams samazināt maisīšanas temperatūru par 40 °C. Šādos gadījumos šos maisījumus var izmantot arī tādām pašām satiksmes kategorijām – T1 līdz T4 – kā līdzīgus karstos maisījumus.

Specifikācijas reglamentē, ka pilnīgi un daļēji laužto virsmu, kā arī noapaļoto daļiņu procentuālajam daudzumam, noteiktam atbilstoši EN 933-5, jābūt vienādam vai jāpārsniedz 3.12. tabulā norādītās vērtības. Tāpat tiek reglamentētas rupjo pildvielu plāksnainības (EN 933-3) un Losandželosas koeficienta (EN 1097-2)

vērtības atkarībā no satiksmes kategorijas un maisījuma veida (sk. 3.12. tab.).

Granulometriskais sastāvs *BBTM 8B*, *BBTM 11*, *B*, *BBTM 8A* un *BBTM 11A* atbilst standarta LVS EN 13108-2 prasībām (sk. 3.8. tab.). 3.1. attēlā dots *BBTM 11 A* un *BBTM 11 B* granulometrisko līkņu salīdzinājums.



3.1. att. *BBTM 11A* un *BBTM 11B* granulometrisko līkņu salīdzinājums

BBTM maisījumiem specifikācijas reglamentē minimālo bitumena saturu 4,75 – 5,20% (Bmin), porainību – $\geq 4\%$ (*BBTM A*) un no $\geq 12\%$ līdz $\leq 18\%$ (*BBTM B*), kā arī rišu veidošanās ātrumu (WTSair). Maisījuma poru saturs tiek noteikts atbilstoši standartam EN 12697-8, kas norādīts standarta EN 13108-20 B pielikumā. Poru satura noteikšanai paraugi tiek izgatavoti atbilstoši standartam EN 12697-30, veicot paraugu sablīvēšanu ar 50 sitieniem no katras parauga puses. *BBTM 8B* un *BBTM 11B* maisījumu porainības un bitumena satura daudzums neatbilst standartā LVS EN 13108-2 norādītajām vērtībām. Specifikācijas reglamentē rišu veidošanas ātrumu (WTSair), bet LVS EN 13108-2 reglamentē proporcionālo rises dziļumu (P). Rišu noturības tests tiek veikts atbilstoši standartam EN 12697-22. Testēšanas laikā temperatūra iekārtā ir 60 °C, testa ilgums – 10 000 cikli. Paraugi tiek sagatavoti atbilstoši standartam EN 12697-33.

Ungārija

BBTM asfaltbetona kārtu Ungārijā specificē ar biezumu no 20 – 35 mm. A maisījuma tips parasti ir ar pārtrauktu granulometriju. B maisījuma tips ir bez granulometrijas pārtraukumiem. *BBTM* maisījumu granulometriskā sastāva projektēšanai jāizmanto šķembu frakcijas 2/4, 2/5, 4/8 un 8/11. Atsevišķos gadījumos atļauts lietot frakciju 4/11.

Plānkārtas asfaltbetona veidi ir šādi:

- *BBTM 5A* (mF);
- *BBTM 8A* (mF), *BBTM 8B* (mF);
- *BBTM 11A* (mF), *BBTM 11B* (mF).

Specifikācijas minerālmateriāliem reglamentē Losandželas koeficientu (LA) atbilstoši EN 1097-2, salizturību (MS) atbilstoši EN 1367-2 un dilumizturību (MDE) atbilstoši EN 1097-1 (sk. 3.13. tab.).

BBTM maisījumu projektēšanai jālieto polimērm modificētais bitumens PMB 25/55-65

vai PMB 45/80-60. Specifikācijas reglamentē minimālo bitumena saturu (Bmin) 5,0% (*BBTM B*) un 5,2% (*BBTM A*), porainība nav reglamentēta, bet, atbilstoši standartam EN 13108-2, tiek reglamentēts proporcionālais rises dziļums (P), kuram, atkarībā no *BBTM* tipa, jābūt 5,0% (*BBTM 11*) vai 7,5% (*BBTM 5* un *BBTM 8*). Tāpat tiek reglamentēta ūdensjutība ITSR, kam jābūt $\geq 75\%$ (sk. 3.14. tab.).

Ungārijas specifikācijas *BBTM 5A* un *BBTM 8A* maisījumiem reglamentē plašākas granulometriskā sastāva robežas frakcijām 2,0 mm un starp 0,063 un 2,0 mm nekā norādīts standartā EN 13108-2 (sk. 3.9. tab.).

Francija

BBTM asfaltbetona kārtu Francijā specifificē atbilstoši NF EN 13108-2:

- plānkārtas asfaltbetons – granulometrija 0/6 ar 2/4 iztrūkstošu frakciju (*BBTM* 0/6 T1);
- plānkārtas asfaltbetons – granulometrija 0/6, modificēts bitumens;
- plānkārtas asfaltbetons – granulometrija 0/10, modificēts bitumens.

Specifikācijas minerālmateriāliem reglamentē Losandželosas koeficientu (LA), dilumizturību (MDE), pretestību pret pulēšanu (PSV) atbilstoši LVS EN 1097-2 frakcijai 10/14, drupināto un laužo virsmu īpatsvaru (C), smilts plūšanas koeficientu (raupjumu) (ECS), minerālmateriāla granulometriskā sastāva kategoriju (GC), plākšņainības indeksu (FI) un pielāgšanas rupja minerālmateriāla granulometriskajam sastāvam (G).

Specifikācijās nav atrodamas *BBTM* asfaltbetona sastāvu bitumena daudzuma, porainības un ekspluatācijas īpašību robežas.

Polija

BBTM piemērots lietošanai autoceļiem ar satiksmes kategoriju no KR1 līdz KR 7. *BBTM* maisījumu projektēšanai jālieto polimērmodificētais bitumens PMB 65/105-60, PMB 45/80-55 vai PMB 45/80-65 (sk. 3.11. tab.). Polijā ir reglamentēts lietot četrus *BBTM* maisījumus – *BBTM* 8A, *BBTM* 8B, *BBTM* 11A un *BBTM* 11B (sk. 3.10. tab.).

Granulometriskā sastāva prasības frakcijām 1,4 D, D, 2,0 mm un 0,063 mm atbilst standarta EN 13108-2 prasībām, tomēr nav reglamentētas frakcijas starp 2,0 mm un D, kā arī 0,063 un 2,0 mm, kā norādīts standartā EN 13108-2 (sk. 3.10. tab.).

BBTM maisījumiem specififikācijas reglamentē minimālu bitumena saturu (Bmin) 6,4% (*BBTM* 8A) un 6,0% (*BBTM* 8B, *BBTM* 11A un *BBTM* 11B), porainību 12–19% (*BBTM* 8A), 20–25% (*BBTM* 8B), 10–17% (*BBTM* 11A) un 18–25% (*BBTM* 11B). Bitumena daudzums atbilst standartā EN 13108-2 norādītajām vērtībām, tomēr porainības rādītāji atšķiras (sk. 3.14. tab.). Specifikācijās nav atrodami *BBTM* sastāvu reglamentēti ekspluatācijas īpašību rādītāji (P, TSRST).

Specifikācijas minerālmateriāliem reglamentē Losandželosas koeficientu (LA), pretestību pret pulēšanu (PSV), drupināto un laužo virsmu īpatsvaru (C), minerālmateriāla granulometriskā sastāva kategoriju (GC), plākšņainības indeksu (FI), sasāļšanas pretestību, putekļu daudzumu (f) un pielāgšanas rupja minerālmateriāla granulometriskajam sastāvam (G) (sk. 3.13. tab.).

Dānija

Dānijā ir reglamentēts lietot trīs *BBTM* maisījumus – TB 6c, TB 8c un TB 11c (sk. 3.11. tab.). *BBTM* maisījumiem specififikācijas reglamentē minimālo bitumena saturu (Bmin) 4,6% (lietojot bitumenu 250/300) un 5,0% (lietojot citu bitumenu), bet nav reglamentētas porainība un ekspluatācijas īpašības. Minerālmateriāli, līdzīgi kā parējās valstīs, jāizvēlas atbilstoši standartam EN 13043.

Dānijas specififikācijas visiem plānkārtas maisījumiem reglamentē plašākas granulometriskā sastāva robežas frakcijām starp 2,0 mm un D, 2,0 mm, starp 0,063 un 2,0 mm, un 0,063 mm nekā norādīts standartā EN 13108-2 (sk. 3.11. tab.).

Spānijas specifikāciju <i>BBTM</i> granulometrijas atbilstība standarta EN 13108-2 prasībām												Tabula 3.8				
Siets, mm				Spānija				LVS EN 13108-2								
				BBTM 8B	BBTM 11B	BBTM 8A	BBTM 11 A	4		5 (5,6)		8	11 (11,2)			
								4	5A	5B	8A	8B	11A	11B	11C	
				Iziet caur sietu masas %												
1,4 D				100	100	100	100	100								
D				90 – 100	90 – 100	90 – 100	90 – 100	90 – 100								
					60 – 80		62 – 82									
				Jebkurš papildu siets starp 2 mm un D, %	5,6	42 – 62	–	50 – 70	–	Jāspecifificē maksimālā un minimālā vērtība; diapazons starp maksimālo un minimālo vērtību jāizvēlas no vērtībām 10; 15 un 20						
2				17 – 27	17 – 27	28 – 38	28 – 38	25 – 35	25 – 35	15 – 25	25 – 35	15 – 25	15 – 25	25 – 35	25 – 35	
Jebkurš papildu siets starp 2 mm un 0,063 mm, %				15 – 25	15 – 25	25 – 35	25 – 35	12 – 22	Jāspecifificē maksimālā un minimālā vērtība; diapazons starp maksimālo un minimālo vērtību jāizvēlas no vērtībām 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10							
				8 – 16	8 – 16	12 – 22	12 – 22									
0,063				4 – 6	4 – 6	7 – 9	7 – 9	7,0 – 10	6,6 – 10	4,0 – 6,5	6,6 – 10,0	4,0 – 6,5	6,6 – 9,5	4,0 – 6,5	9,6 – 12,0	
				Atbilst												

Tabula 3.12

Bitumena tipi *BBTM* asfaltbetoniem dažādu valstu specifikācijās

Valsts					
Spānija				Ungārija	Polija
Autoceļa kategorija					
T00 un T0	T 1	T 2 un T 31	T 32, T4 un nomales		KR1 ÷7
(AADT _j , ^{smagie} no 2000 līdz ≥ 4000)	(AADT _j , ^{smagie} no 800 līdz 2000)	(AADT _j , ^{smagie} no 100 līdz 800)	(AADT _j , ^{smagie} no < 25 līdz <100)		ESAL 20 gados ≤ 90-103 līdz ≥ 14,6-106
PMB 45/80-65	PMB 45/80-65 PMB 45/80-60	PMB 45/80-60 50/70	50/70 70/100	PMB 25/55-65 PMB 45/80-60	PMB 65/105-60 PMB 45/80-55 PMB 45/80-65

Tabula 3.15
Minerālmateriālu reglamentētās īpašības (kvalitātes kategorijas) BBTM asfaltbetoniem dažādu valstu specifikācijās

Rādītājs	Valsts										
	Spānija					Francija	Ungārija	Polija			
	Autoceļa kategorija										
	T00 un T0	T 1	T 2 un T 31	T 32 un nomales	T4				KR1 – KR2	KR3 – KR4	KR5 – KR7
	AADT _{j, smagie} no 2000 līdz ≥ 4000)	(AADT _{j, smagie} no 800 līdz 2000)	(AADT _{j, smagie} no 100 līdz 800)	(AADT _{j, smagie} no < 25 līdz <100)	-	-	ESAL 20gados				
Drupinātās vai lauztās un apalās virsmas atbilstoši LVS EN 933-5		C _{100/0}		C _{90/1}	C _{70/10}	C _{90/1}	-	Dekl.	C _{100/0}	C _{100/0}	
		FI ₂₀		FI ₂₅		FI ₂₀ /FI ₂₅	-	FI ₂₅ /SI ₂₅	FI ₂₀ /SI ₂₀	FI ₂₀ /SI ₂₀	
	LA ₁₅		LA ₂₀		LA ₂₅	LA ₂₀	LA ₂₀ – LA ₂₅	LA ₃₀	LA ₃₀	LA ₂₅	
		-				M _{DE} 15	M _{DE} 15 – M _{DE} 20		-		
		-				PSV ₅₀	PSV ₅₀	-	PSV ₄₄	PSV ₄₄	PSV ₅₀
Magnija sulfāta vērtība atbilstoši LVS EN 1367-2		-				-	MS ₁₈		-	-	
Sasalšanas pretestība atbilstoši LVS EN 1367-6 (Izturība pret daudzkārtēju sasaldšanu un atkuššanu sāls – NaCl klātbūtnē)		-				-		10		≤ 7	
Prasības granulometriskajam sastāvam (kategorijai) atbilstoši LVS NE 13043		-				GC _{85/20}	-	GC _{85/20}	GC _{90/15}	GC _{90/15}	
Pielaides rupja minerālmateriāla granulometriskajam sastāvam atbilstoši LVS EN 13043		-				G _{25/18} /G _{20/15}	-	G _{25/15} /G _{20/15} /G _{20/17.5}	G _{25/15} /G _{20/15}	G _{25/15} /G _{20/15}	
Smalko minerālmateriālu šķautņainība atbilstoši LVS EN 933-6		-				E _{C5} 35	-	-	-	-	-

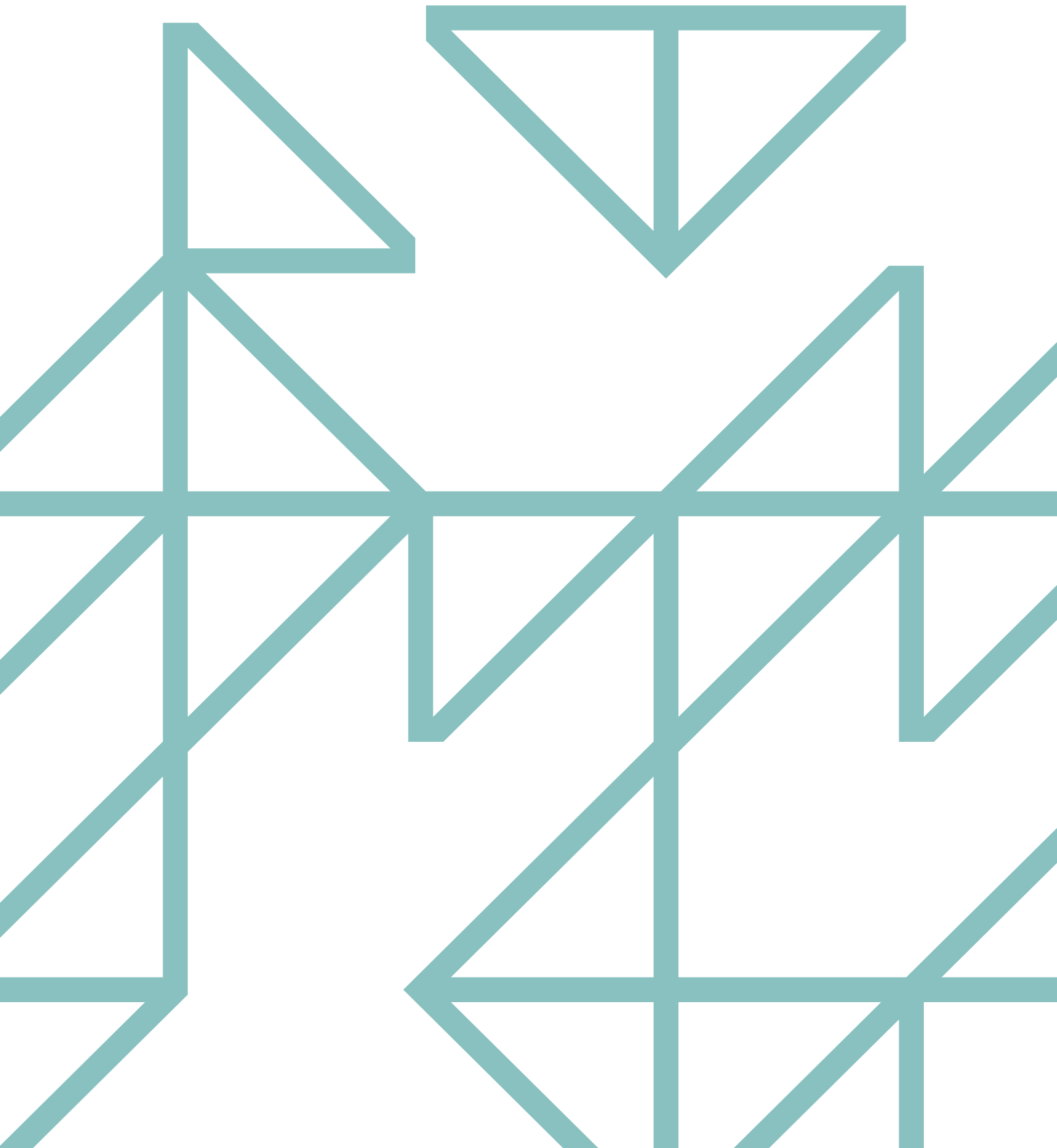
Tabula 3.14

BBTM asfaltbetona īpašības dažādu valstu specifikācijās

Rādītājs	Valsts																Valsts Standarts LVS EN 13108-2		
	Spānija				Ungārija					Polija				Dānija					
	BBTM 8B	BBTM 11B	BBTM 8A	BBTM 11A	BBTM 8B	BBTM 11B	BBTM 5A	BBTM 8A	BBTM 11A	BBTM 8A	BBTM 8B	BBTM 11A	BBTM 11B	TB6C	T8C	TB11C			
Saistvielas saturs B _{min} , masas % atbilstoši LVS EN 12697-1	4,75		5,20		5,2		5,0		6,4		6,0		4,6 % bitume- nam 250/330, 5,0 % citiem bitume-niem			5,0 – 6,4			
Poru saturs, %	≥ 12 - ≤ 18		≥ 4		NR		NR		12– 19		20– 25		10– 17		18– 25		NR	3,0 – 6,9	
																	7,0 – 10,9		
																	11,0 – 15,0		
																	NR		
Rišu noturība WTS _{air} atbilstoši LVS EN 12697-22	≤ 0.07 (T00 un T2) ≤ 0.10 (T3, T4 un nomales)				NR		NR		NR		NR		NR		NR		NR		
Proporcionālais risēs dziļums P, atbilstoši LVS EN 12697-22	NR				7,5		5,0		7,5		7,5		5,0		NR		NR		5
																	7,5		
																	10		
																	15**		
																	20**		
Ūdensjutība ITSR, % atbilstoši 12697-12	NR				≥ 75		NR		NR		NR		NR		NR		NR		
Maisījuma vidējais kārtas svārs (kg/m²)	35– 50	55– 70	40– 55	65– 80	NR					NR					≥ 30	≥ 35	≥ 45		
	Atbilst																		

*) Vajadzības gadījumā korekcijas jāievēro, ņemot vērā minerālmateriāla blīvumu un absorbciju. Ja minerālmateriāla blīvums (standarts EN 1097-6) atšķiras no 2,65 g/cm³, norādītais minimālais saistvielas daudzums jākorrigē, to reizinot ar $a = 2,65/pd$, kur pd ir izmantotā minerālmateriāla blīvums. Ja vien tas nav citādi pamatots.

**) Proporcionālais risēs dziļums 20% (P20) kategorija attiecas uz asfaltbetona tipiem *BBTM5*, *BBTM6* un *BBTM8*, kategorija P15 attiecas uz asfaltbetona tipiem *BBTM10* un *BBTM11*.



4. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA: *BBTM*

4.1. MINERĀLMATERIĀLA ĪPAŠĪBAS

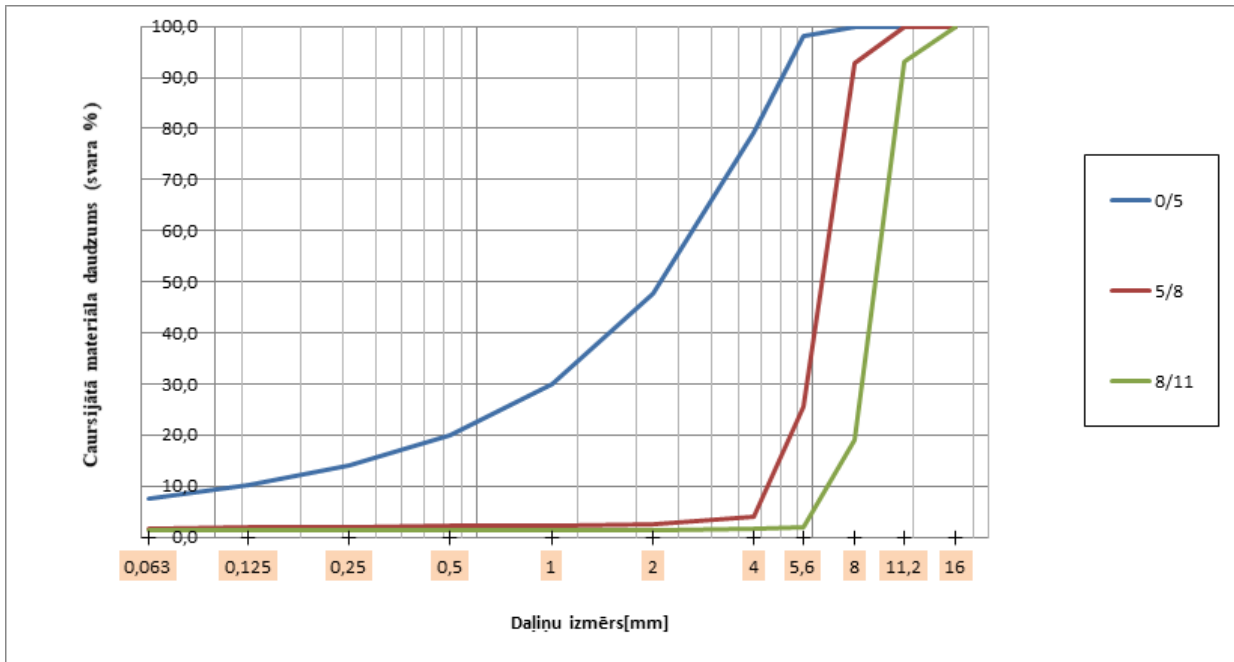
BBTM asfaltbetona projektēšanai izvēlētas magmatiskas izcelsmes kvarca diorīta šķembas. Izvēlētajam minerālmateriālam noteiktas galvenās īpašības un veikts rezultātu novērtējums atbilstoši ārzemju specifikāciju prasībām (minerālmateriāls *BBTM* tipa asfaltbetona maisījumiem, sk. 4.1. tab.) un “Ceļu specifikāciju 2019” (attiecībā uz stiprības klasi S-I) prasībām (sk. 4.1. un 4.2. tab.). 4.1. attēlā parādītas kvarca diorīta šķembu 0/5, 5/8, 8/11 granulometrijas līknes.

4.1.1. GRANULOMETRIJA

Tabula 4.1												
Granulometriskais sastāvs												
Materiāls un frakcija, d/D	Caur sietiem izgājuši masas procentuālā daļa											LVS EN 13043
	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	
Kvarca diorīta šķembas 8/11	100	93,2	19,2	2,0	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	GC85/15
Kvarca diorīta šķembas 5/8	100	100	92,7	25,6	4,1	2,6	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	GC85/15
Kvarca diorīta šķembas 0/5	100	100	100	98,0	79,2	47,7	30,0	19,9	13,9	10,2	7,6	GC90/15
Atbilst CS 2019 6.2-2 tabulas prasībām												
Atbilst Polijas un Francijas specifik.												

*) CS – “Ceļu specifikācijas 2019”.

**) Valstīs, kurās *BBTM* asfaltbetona maisījumiem izmantojamam minerālmateriālam reglamentēta granulometriskā sastāva kategorija (sk. 3.12. tab.).



4.1. att. Minerālmateriālu frakciju 0/5, 5/8 un 8/11 granulometriskais sastāvs

4.1.2 MINERĀLMATERIĀLU FIZIKĀLĀS UN MEHĀNISKĀS ĪPAŠĪBAS

Noteikts, ka izvēlēta minerālmateriāla fizikālās un mehāniskās īpašības atbilstoši “Ceļu specifikāciju 2019” prasībām atbilst augstākajai S-I kategorijai (sk. 4.2. tab.). Salīdzinot iegūtos rezultātus ar 3.12. tabulā apkopoto ārzemju specifikāciju prasībām, noskaidrots, ka kvarca diorīta īpašības atbilst visu šajā pētījumā apskatīto valstu specifikācijām visām autoceļu kategorijām. Svarīgi atzīmēt, ka izvēlētajām šķembām ir augsta salizturība (MS – 2%), augsta drupināšanas izturība (LA – 11) un zems plakano daļiņu daudzums (FI – 5%).

Minerālmateriālu fizikālās un mehāniskās īpašības					Tabula 4.2
Nosākamais parametrs	Standarts	Rezultāts	“Ceļu specifikācijas 2019”		BBTM*
			S-I	Atbilstoši	
Losandželosas koeficients (LA), %	LVS EN 1097-2	11	LA ₂₀	6.2-7 tab.	Atbilst visām šajā pētījumā apskatīto valstu (Polijas, Dānijas, Ungārijas, Spānijas, Francijas) specifikācijām attiecībā uz minerālmateriālu BBTM a/b
Smilts ekvivalents (SE), %	LVS EN 933-8	88	–	–	
Nordiskā abrazīvā vērtība (AN), %	LVS EN 1097-9	8	≤10	6.2-7 tab.	
Plūšanas koeficients (Ecs), s	LVS EN 933-6	35	≥ 30	6.2-6 tab.	
Ūdens absorbcija (WA), %	LVS EN 1097-6	0,2	≤ 1	6.2-7 tab.	
Plākšņainības indekss (FI), %	LVS NE 933-3	5	≤ 20	6.2-7 tab.	
Magnija sulfāta rādītājs (MS), %	LVS EN 1367-2	2	≤18	6.2-7 tab.	
Metilēnzilā vērtība (MB), g/kg	LVS EN 933-9	0,5	≤10	6.2-5 tab.	

4.2. BITUMENA ĪPAŠĪBAS

BBTM sastāvu projektēšanai, balstoties uz ārzemju specifiskāciju analīzi (sk. 4.3. tab.) un Lotosasphalt (www.lotosasphalt.pl) rekomendācijām, izvēlēts PMB 45/80-65 polimērmodificēts bitumens. Izvēlētajam bitumenam noteiktas fizikālās īpašības un novērtēta atbilstība Polijas specifiskācijām (sk. 4.3. tab.). Svarīgi atzīmēt, ka izvēlētajam bitumenam ir ļoti augsta elastība, kuru raksturo elastīgās atjaunošanās rādītājs +25 °C (89%).

PMB 45/80-65 bitumena īpašības un atbilstības novērtējums

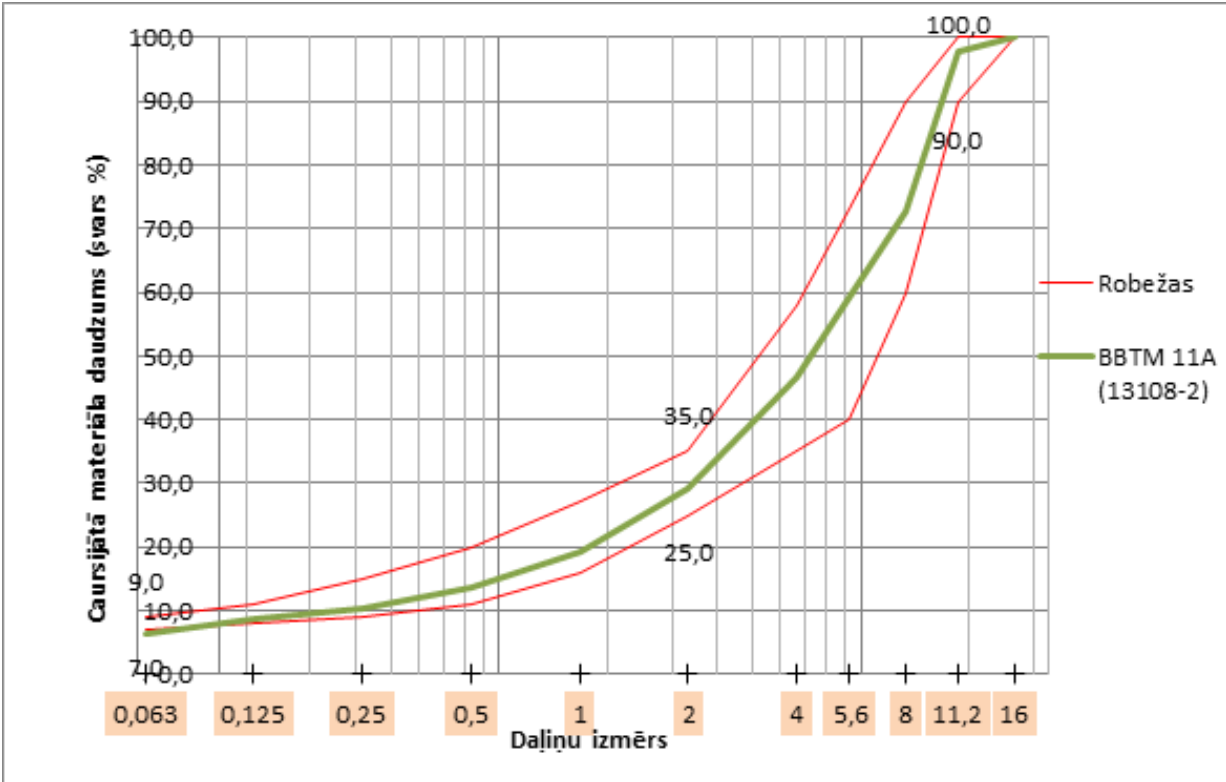
Tabula 4.3

Rādītājs	Standarts	Rezultāts	Prasības WT-2:2014 [20]	Novērtējums
Penetrācija 25 °C	LVS EN 1426	60,0	45–80	atbilst
Mīkstēšanas temperatūra, °C	LVS EN 1427	58,8	≥ 55	atbilst
Frasa trausluma temperatūra, °C	LVS EN 12593	–19,0	≤ –15	atbilst
Spēka duktilitāte (J/cm ²)	LVS EN 13589 LVS EN 13703	6,33	≥ 3 (10 °C)	atbilst
Elastīgā atjaunošanās +25 °C, %	LVS EN 13398	85,0	≥ 70	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) starpība, 0,1 mm	LVS EN 13399 LVS EN 1426 3,2	–	atbilst

4.3. *BBTM* ASFALTBETONA PROJEKTĒŠANA, FIZIKĀLO ĪPAŠĪBU TESTĒŠANAS REZULTĀTI

4.3.1. *BBTM* PĒC LVS EN 13108-2

4.4. tabulā apkopoti eksperimentālo *BBTM* asfaltbetona sastāvu minerālmateriālu frakciju daudzumi. Šajā testēšanas posmā tika izveidots viens granulometriskais sastāvs atbilstoši LVS EN 13108-2 (sk. 4.2. att.), kurš tiek izmantots, lai salīdzinātu sablīvēšanu atkarībā no temperatūras un bitumena satura. Asfaltbetona maisījumu izgatavošana veikta laboratorijas apstākļos, izmantojot maisīšanas iekārtu BM 20 (sk. 4.3. att.). Fizikālās īpašības apkopotas 4.5. tabulā. Iegūtajiem sastāviem, balstoties uz “Ceļu specifiskāciju 2019” darba grupas ieteikumiem, palielināts porainības saturs līdz 7%, lai apmierinātu *BBTM* standarta LVS 13108-2 porainības kategoriju $V_{i3} - V_{i7}$, kā arī bitumena satura kategoriju $B_{min} 5,0 - B_{min} 6,4$.



4.2. att. Granulometriskā likne *BBTM 11A* tipa asfaltbetonam atbilstoši LVS EN 13108-2



4.3. att. Asfaltbetona maisīšanas iekārta BM 20

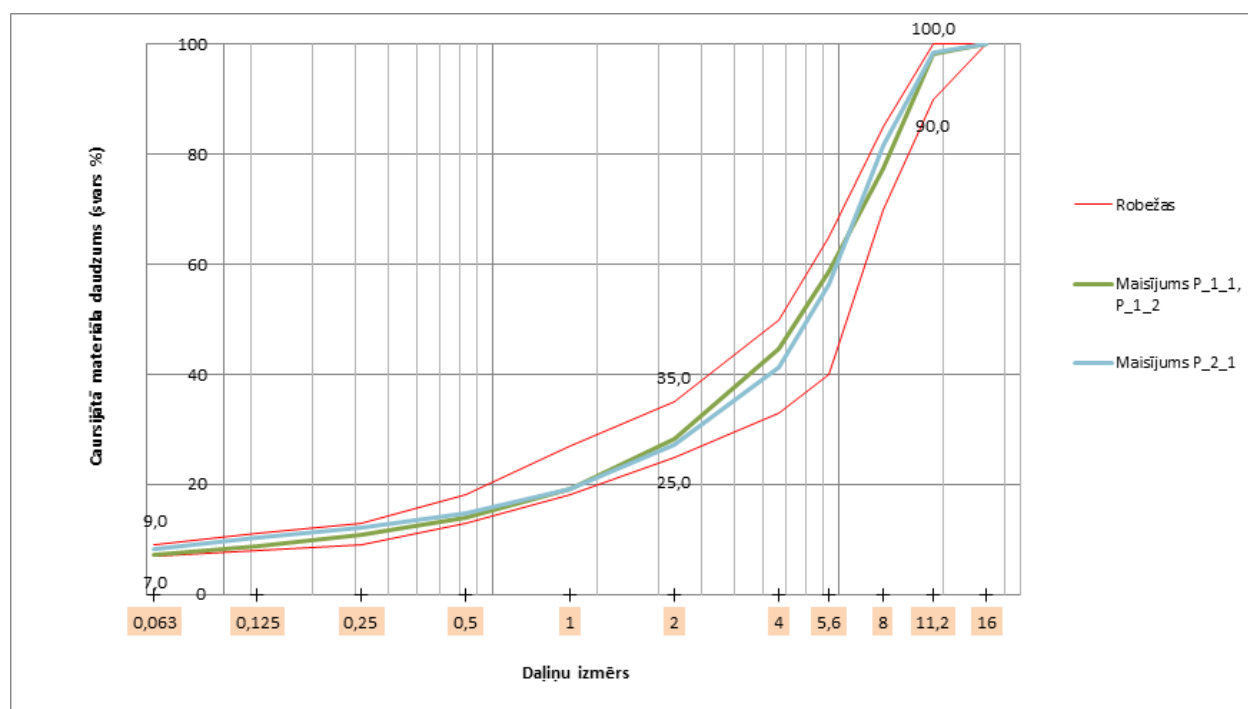
Tabula 4.4	
Minerālmateriālu frakciju daudzums <i>BBTM</i> asfaltbetona sastāvos	
Minerālmateriāls	Daudzums, %
	Sastāvs
	EN_1 līdz EN_11
Kvarca diorīta šķembas 8/11	33
Kvarca diorīta šķembas 5/8	10
Kvarca diorīta šķembas 0/5	55
Aizpildītājs	2

BBTM pēc LVS EN 13108-2 fizikālās īpašības, maisījuma izgatavošanas un formēšanas temperatūras														Tabula 4.5	
Parametrs	Standarts	Rezultāts													
		Mais. EN_1	Mais. EN_2	Mais. EN_3	Mais. EN_4	Mais. EN_5	Mais. EN_6	Mais. EN_7	Mais. EN_8	Mais. EN_9	Mais. EN_10	Mais. EN_11			
Tilpumbūvums, Mg/m ³	LVS EN 12697-6	2,399	2,335	2,358	2,358	2,359	2,322	2,344	2,352	2,353	2,356	2,370			
Maksimālais blīvums, Mg/m ³	LVS EN 12697-5	2,527	2,531	2,521	2,524	2,532	2,534	2,538	2,507	2,532	2,529	2,510			
Paliekošā porainība, %	LVS EN 12697-8	5,1	7,7	6,5	6,6	6,8	8,4	7,6	6,2	7,1	6,8	5,6			
Minerālā karkasa porainība, %		18,2	20,6	18,6	19,9	18,7	20,2	19,6	19,4	–	19,6	19,7			
Ar bitumenu aizpildīto poru saturs, %		72,1	62,6	65,2	66,7	63,6	58,3	61,2	67,8	–	65,5	71,6			
Faktiskais bitumena saturs, %		5,47	5,52	5,14	5,63	5,04	5,07	5,12	5,58	–	5,45	5,93			
Maršala paraugu augstums, mm	LVS EN 12697-30	63,3	65,6	65,0	64,2	64,7	66,0	64,4	64,2	–	63,8	63,4			
Maisīšanas temperatūra, °C	Bitumens	170	170	160	150	160	160	160	160	160	160	160			
	Minerāl- materiāls	180	180	180	180	170	170	170	170	170	170	170			
Formēšanas temperatūra, °C		135	150	140	140	150	150	150	150	150	150	150			
		Atbilst EN 13108-2 kategorijai V ₃ – 7 vai V ₃ – 7						Atbilst EN 13108-2 kategorijai V ₇ – 11 vai V ₇ – 11							

4.3.2 BBTM PĒC POLIJAS SPECIFIKĀCIJĀM

4.6. tabulā apkopoti eksperimentālo *BBTM* asfaltbetona sastāvu minerālmateriālu frakciju daudzums, projektējot granulometrisku sastāvu *BBTM 11A* asfaltbetonam saskaņā ar Polijas specifikācijām WT-2:2014 un standarta EN 13108-2 prasībām. Šajā testēšanas posmā tika izveidoti trīs granulometriskie sastāvi P_1_1, P_1_2 un P_2_1. Sastāviem P_1_1 un P_1_2 ir vienāds granulometriskais sastāvs (sk. 4.4. att.), bet atšķirīgs bitumena saturs. Fizikālās īpašības apkopotas 4.7. tabulā. *BBTM 11A* sastāvu sablīvējums un bitumena daudzums atbilst standarta LVS 13108-2 porainības kategorijai $V_{13} - V_{17}$, kā arī bitumena satura kategorijai $B_{min} 5,0 - B_{min} 6,4$.

Tabula 4.6	
Minerālmateriālu frakciju daudzums <i>BBTM</i> asfaltbetona sastāvos	
Minerālmateriāls	Daudzums, %
	Sastāvs
	EN_1 līdz EN_11
Kvarca diorīta šķembas 8/11	33
Kvarca diorīta šķembas 5/8	10
Kvarca diorīta šķembas 0/5	55
Aizpildītājs	2



4.4. att. Granulometriskā likne *BBTM 11A* asfaltbetonam atbilstoši WT-2:2014 un saskaņā ar EN 13108-2

Tabula 4.7

BBTM fizikālās īpašības, maisījuma izgatavošanas un formēšanas temperatūra

Parametrs	Standarts	Rezultāts		
		Maisījums P_1_1	Maisījums P_1_2	Maisījums P_2_1
Tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 12697-6	2,373	2,351	2,358
Maksimālais blīvums, Mg/m ³	LVS EN 12697-5	2,489	2,527	2,521
Paliekošā porainība, %	LVS EN 12697-8	4,7	7,0	6,5
Minerālā karkasa porainība, %		–	20,6	18,6
Ar bitumenu aizpildīto poru saturs, %		–	62,6	65,2
Faktiskais bitumena saturs, % *		–	5,30	5,36
Maršala paraugu augstums, mm	LVS EN 12697-30	63,1	65,6	65,0
Maisīšanas temperatūra, °C	Bitumens	160	170	160
	Minerālmateriāls	170	180	180
Formēšanas temperatūra, °C		150	150	140
		Atbilst EN 13108-2 kategorijai V _{i3} – 7 vai Vv3 – 7		
		Atbilst EN 13108-2 kategorijai B _{min} 5,0 – B _{min} 6,4		

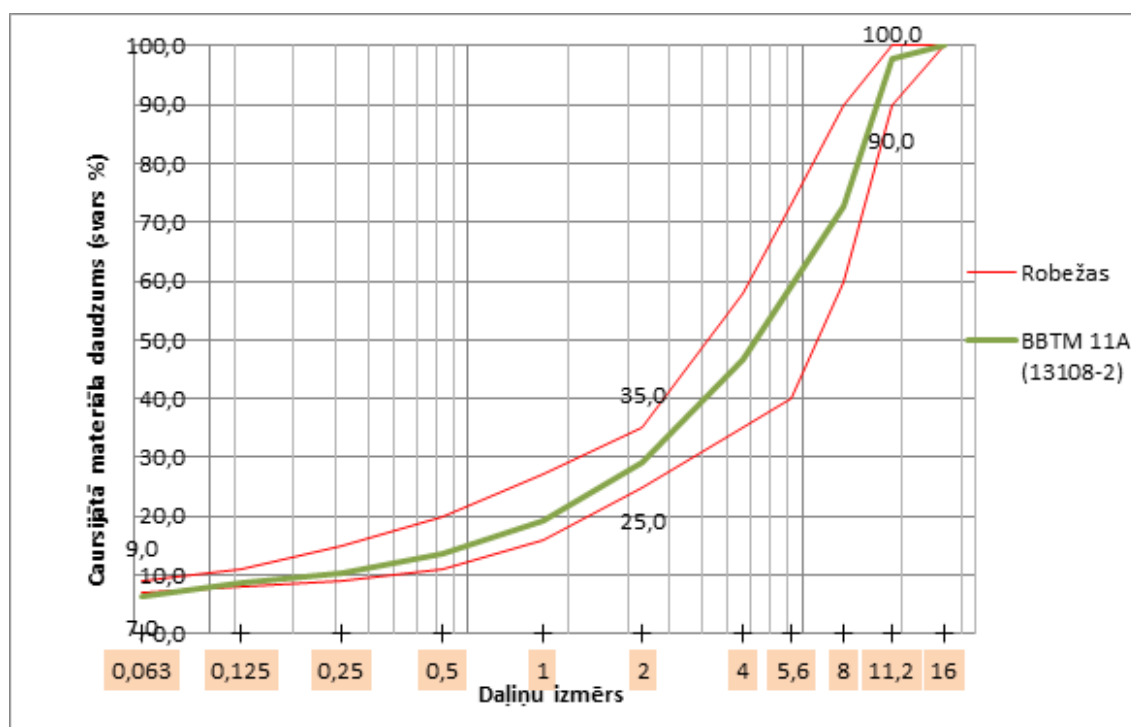
4.3.3 BBTM PĒC UNGĀRIJAS SPECIFIKĀCIJĀM

4.8. tabulā apkopots eksperimentālo *BBTM* asfaltbetona sastāvu minerālmateriālu frakciju daudzums, projektējot asfaltbetona *BBTM* 11A granulometrisku sastāvu saskaņā ar Ungārijas specifikācijām UT 2-3.301-2:2010 un standarta EN 13108-2 prasībām. Šajā testēšanas posmā tika izveidoti četri granulometriskie sastāvi U_1_1, U_1_2, U_2_1 un U_3_1. Sastāviem U_1_1 un U_1_2 ir vienāds granulometriskais sastāvs (sk. 4.5. att.), bet atšķirīgs bitumena saturs. Fizikālās īpašības apkopotas. 4.9. tabulā. *BBTM* 11A sastāvu sablīvējums un bitumena daudzums atbilst standarta LVS 13108-2 porainības kategorijai V_{i3} – V_{i7}, kā arī bitumena satura kategorijai B_{min} 5,0 – B_{min} 6,4.

Tabula 4.7

BBTM fizikālās īpašības, maisījuma izgatavošanas un formēšanas temperatūra

Minerālmateriāls	Daudzums, %			
	Sastāvs			
	U_1_1	U_1_2	U_2_1	U_3_1
Kvarca diorīta šķembas 8/11	29	29	29	32
Kvarca diorīta šķembas 5/8	17	17	17	12
Kvarca diorīta šķembas 0/5	50	50	51	53
Aizpildītājs	4	4	3	3



4.2. att. Granulometriskā likne BBTM 11A tipa asfaltbetonam atbilstoši LVS EN 13108-2

Tabula 4.9

BBTM fizikālās īpašības, maisījuma izgatavošanas un formēšanas temperatūra

Parametrs	Standarts	Rezultāts			
		Maisījums U_1_1	Maisījums U_1_2	Maisījums U_2_1	Maisījums U_3_1
Tilpumblīvums, Mg/m ³	LVS EN 12697-6	2,441	2,424	2,422	2,393
Maksimālais blīvums, Mg/m ³	LVS EN 12697-5	2,520	2,523	2,514	2,542
Paliekošā porainība, %	LVS EN 12697-8	3,1	3,9	3,7	5,9
Minerālā karkasa porainība, %		16,4	17,2	16,9	18,2
Ar bitumenu aizpildīto poru saturs, %		81,0	77,4	78,1	67,3
Faktiskais bitumena saturs, %		5,44	5,49	5,45	5,12
Maršala paraugu augstums, mm	LVS EN 12697-30	61,6	63,2	62,4	64,1
Maisīšanas temperatūra, °C	Bitumens	160	160	160	160
	Minerālmateriāls	170	170	170	170
Formēšanas temperatūra, °C	150	150	150	150	
		- Atbilst EN 13108-2 kategorijai V_{i3} – 7 vai V_{v3} – 7 - Atbilst EN 13108-2 kategorijai B_{min} 5,0 – B_{min} 6,4			

4.3.4 BBTM RIŠU NOTURĪBAS UN STARPŠLĀŅU BĪDES NOTEIKŠANA

BBTM plānkārtas rišu noturības un starpslāņu bīdes testēšanai tika izgatavotas plātnes no rupjākā asfaltbetona – apakškārtas maisījuma (sk. 4.6. att.). Apakškārtai tika izvēlēts AC22 asfaltbetona tips. Apakškārtas biezums – 60 mm. Paraugi tika izgatavoti ar veltņa blīvētāju saskaņā ar LVS EN 12697-33. Veidnes garums – 32 cm, platums – 26 cm.



4.6. att. Uzformēta AC22 apakškārta

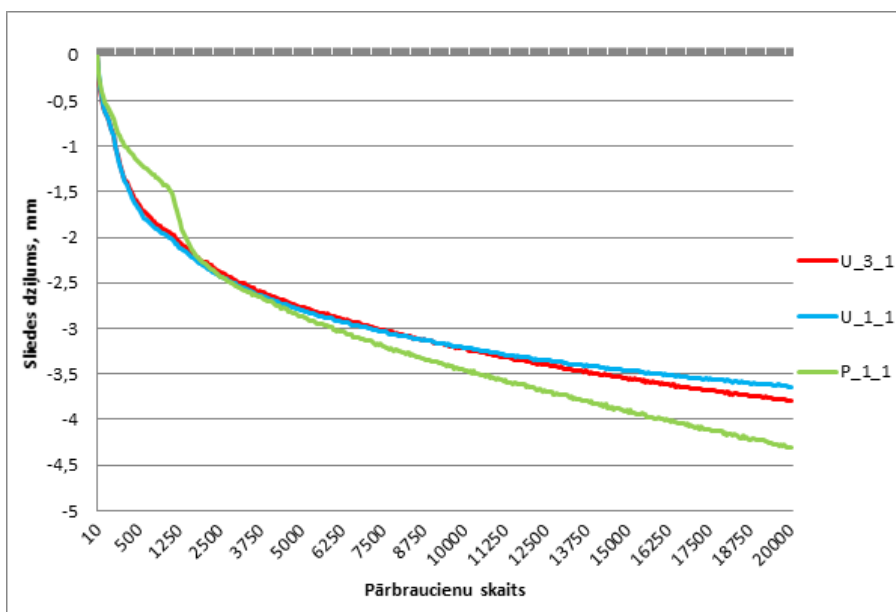
Pēc pamatkārtas atdzišanas uz tās tika uzklāta emulsija. Emulsijas patēriņš – $0,8 \text{ l/m}^2$. Starp apakškārtu un virskārtu tika uzklāti 3 dažādi emulsiju veidi – *C 65 BP*, *C 60 BP* un *C 50 BP*. Tūlīt pēc tam virsū apakškārtai tika uzbērts plānkārtas asfaltbetona maisījums (maisījuma masa aprēķināta, lai sasniegtu 25 mm biezu *BBTM* slāni) un veikta tās sablīvēšana. Eksperimentam izgatavoti *BBTM 11A* tipa asfaltbetona plānkārtas maisījumi, kas tika projektēti pēc Polijas (*P_1_1*) un Ungārijas (*U_1_1* un *U_3_1*) specifikācijām, kā arī atbilstoši standarta EN 13108-2 prasībām. 4.7. attēlā parādīts ar emulsiju salīmēts divslāņu paraugs – apakškārta AC22 un virskārta *BBTM 11A*.



4.7. att. AC22 apakškārta ar uzklātu *BBTM 11A* virskārtu

Riteņu sliežu tests

Riteņu sliežu veidošanās tests tika veikts atbilstoši LVS EN 12697-22. Iegūtie rezultāti starp trīs dažādiem *BBTM* asfaltbetona veidiem uzrādīja ļoti augstus rīšu noturības rādītājus (sk. 4.8. att.). Starp virskārtām un apakškārtām tika izmantota bitumena emulsija *C 65 B*. 4.10. tabulā ir apkopoti riteņu sliežu testa rezultāti. Visaugstāko rīšu noturību *WTSair 0,09* uzrādīja *BBTM 11A* virskārtas sastāvs *U_1_1*. Iegūtais rezultāts atbilstoši Ceļus specifikācijas 2019 prasībām atbilst augstākajai autoceļa noslodzes kategorijai – *AADTsmagie/AADTpievestā* $> 2000 / > 5000$, kurai prasība ir *WTSairmax 0,1*. Sastāvu *U_3_1* un *P_1_1* rīšu veidošanās ātrums *WTSair* attiecīgi 0,11 un 0,17 atbilst otrajai augstākajai autoceļa noslodzes kategorijai – *AADTsmagie/AADTpievestā* – 1001–2000/ 3501–5000, kurai prasība ir *WTSairmax 0,3*. Savukārt EN 13108-2 reglamentē proporcionālā rīses dziļuma (*P*) kategorijas, nevis rīšu veidošanās ātrumu (*WTS*). *U_1_1* un *U_3_1* sastāvu proporcionālais rīses dziļums (4,3% un 4,5%) atbilst standarta EN 13108-2 augstākajai kategorijai *P5*, savukārt *P_1_1* sastāva proporcionālais rīses dziļums (5,1%) atbilst *BBTM* standarta otrai augstākajai kategorijai *P7,5*.



4.8. att. BBTM maisījumu riteņu sliežu testa rīses iegrimes rezultāti

BBTM maisījumu veidu riteņu sliežu testa rezultāti				Tabula 4.10
Virskārtas tips	Riteņa sliedes veidošanās ātrums WTS_{air} mm/1000 cikli	Rīses dziļums, mm	Maksimālais proporcionālais rīses dziļums, %, P_{AIR}	
U_3_1	0,11	3,8	4,5	
U_1_1	0,09	3,6	4,3	
P_1_1	0,17	4,3	5,1	
	Atbilst augstākajai kategorijai P5 atbilstoši standartam EN 13108-2		Atbilst otrai augstākajai kategorijai P7,5 atbilstoši standartam EN 13108-2	

Adhēzija starp asfalta kārtām

Starpslāņu adhēzijas tests (bīdes tests) tika veikts atbilstoši ALP A-StB, T.4 prasībām. 4.9. attēlā redzams divslāņu paraugs BBTM11 un AC22 pēc tā starpslāņu bīdes pārbaudes. 4.11. tabulā ir apkopoti iegūtie rezultāti atkarībā no izvēlētas emulsijas veida. Iegūtie rezultāti 2,5 – 4,5 reizes pārsniedz "Ceļu specifikācijās 2019" reglamentēto vērtību 8 kN.



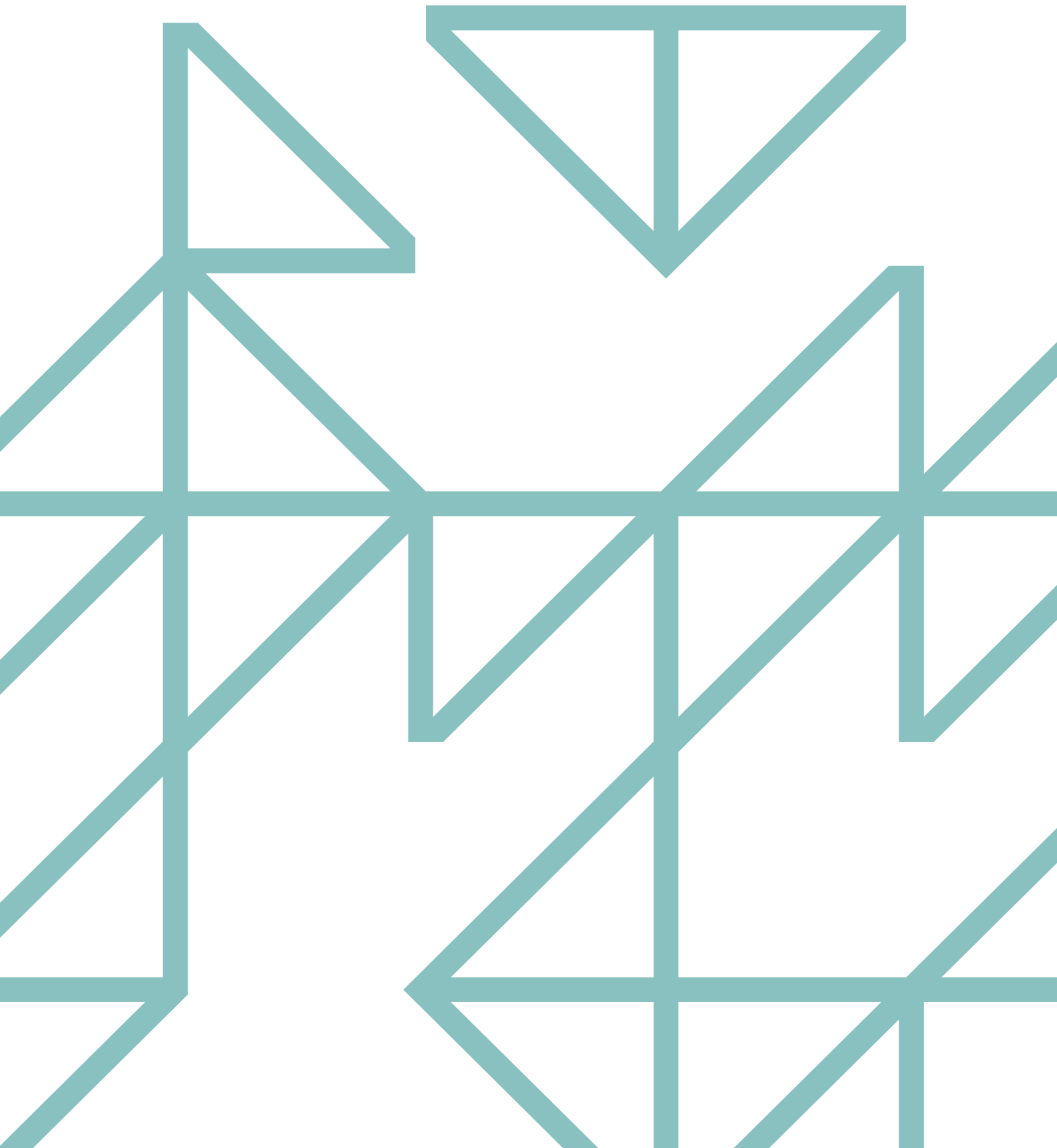
4.9. att. Paraugs, testēts uz starpslāņu bīdi

Tabula 4.11

Nobīdes rezultāti starp *BBTM* virskārtu un AC22 apakškārtu

Emulsija	Asfaltbetona maisījums					
	U_1-1		U_3-1		P_1-1	
	Nobīde, kN	Nobīdes garums, mm	Nobīde, kN	Nobīdes garums, mm	Nobīde, kN	Nobīdes garums, mm
C 50 BP	35,4	3,0	34,7	3,4	32,1	3,3
	36,0	4,1	45,1	4,2	33,9	4,3
C 60 BP	35,8	3,7	22,9	2,4	32,8	3,7
	36,0	3,8	28,6	2,8	36,5	4,4
C 65 BP	29,4	4,0	33,5	3,5	33,2	4,7
	30,9	3,3	31,0	2,8	35,1	4,4

Atbilst "Ceļu specifikāciju 2019" reglamentētajai vērtībai 8 kN.



5. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA: HMAC AR RAP

HMAC sastāvu projektēšanai izvēlēts ceļu bitumens B20/30. "Svaigo" un RAP bitumenu pamatīpašību testēšanas rezultāti apkopoti 5.1. tabulā. Rezultāti rāda, ka RAP bitumens atbilstoši LVS EN 12591 standarta prasībām atbilst "svaigā" bitumena tipam B20/30.

Tabula 5.1

"Svaigā" un RAP bitumena pamatīpašības

Īpašība	Testēšanas metode	Mērv.	Prasība 20/30	Rezultāts	
				B20/30	RAP bitumens
Penetrācija 25 °C	EN 1426	0,1 mm	20 – 30		
Mīkstēšanas temperatūra	EN 1427	°C	55 – 63	60	62
Frasa trausluma temperatūra	EN 12593	°C	NR	– 5	– 5

5.2. tabulā apkopoti bitumena B20/30 un RAP bitumena maisījumu (RAP bitumens 0%, 25%, 50,9% un 71,9%) rezultāti. Bitumenu savienošanas mērķis ir atrast optimālo proporciju starp "svaigo" un RAP bitumenu, kas apmierinātu bitumena B20/30 prasības.

Tabula 5.2

Bitumenu maisījumu B20/30 un RAP testēšanas rezultāti

Īpašība	Testēšanas metode	Mērv.	Prasība 20/30	"Svaigā" bitumena aizvietošana ar RAP bitumenu, %			
				0,0%	25,0%	50,9%	71,9%
Penetrācija 25 °C	EN 1426	0,1 mm	20 – 30	30	28	26	24
Mīkstēšanas temperatūra	EN 1427	°C	55 – 63	60	61	61	62
Frasa trausluma temperatūra	EN 12593	°C	NR	– 5	– 5	– 5	– 5

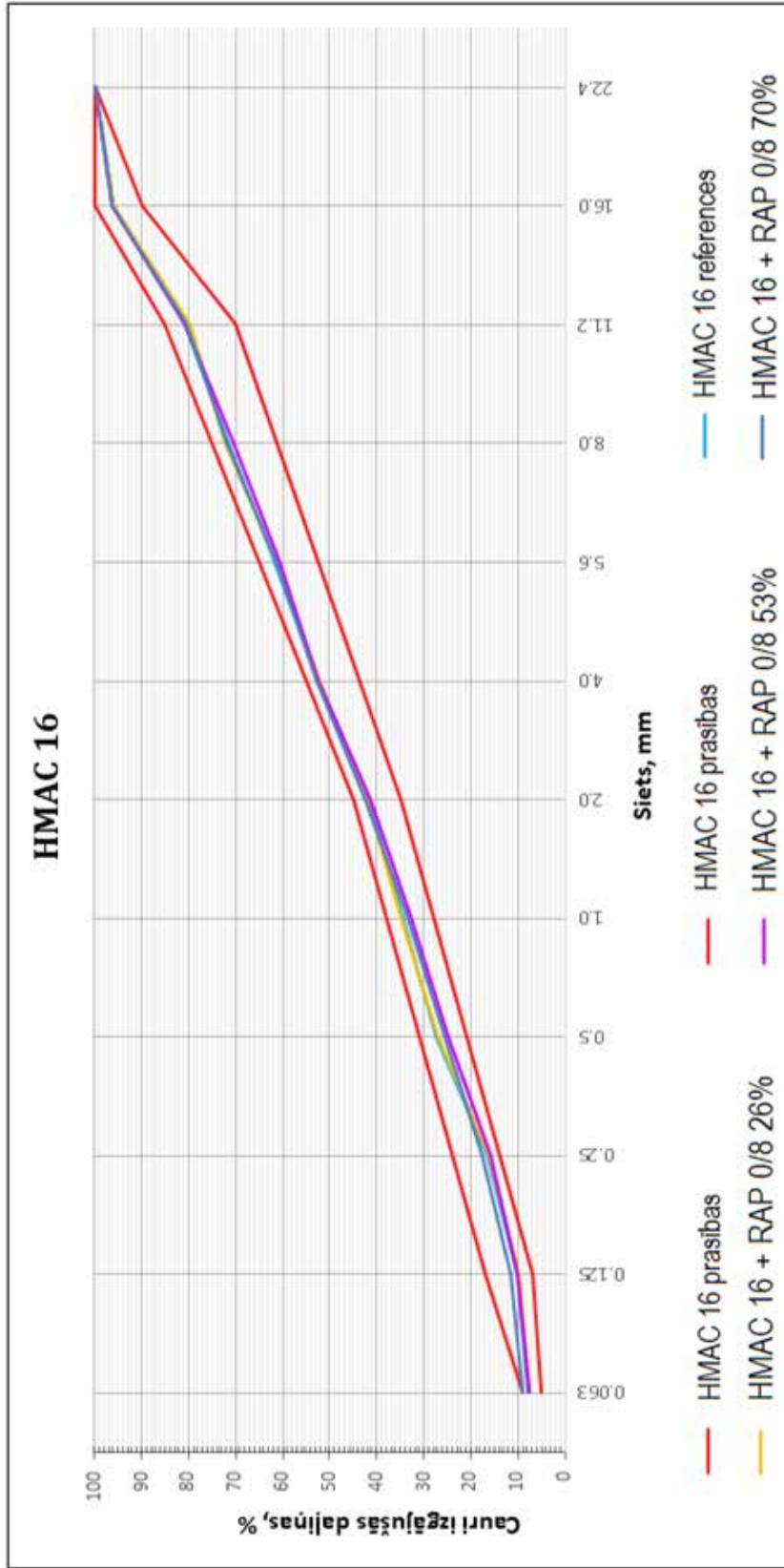
Pēc LVS EN 12591 atbilst bitumena tipam B20/30.

Izvēlētajam frēzētajam asfaltbetonam atbilstoši standartiem LVS EN 12697-1 un LVS EN 12697-2 noteikts granulometriskais sastāvs un bitumena saturs. Viendabības novērtēšanai testēšana veikta 6 paraugiem no vienas kaudzes. Rezultāti apkopoti 5.3. tabulā.

5.5. tabulā apkopoti *HMAC* asfaltbetona projektējamo maisījumu sastāvi.

Tabula 5.5 <i>HMAC</i> asfaltbetona maisījumi	
Bitumens	<i>HMAC</i> ar <i>RAP</i> maisījumi
B20/30	<i>HMAC</i> 16 (references)
	<i>HMAC</i> 16 + <i>RAP</i> 0/8 26%
	<i>HMAC</i> 16 + <i>RAP</i> 0/8 53%
	<i>HMAC</i> 16 + <i>RAP</i> 0/8 70%

Tabula 5.6 <i>HMAC</i> asfaltbetona maisījumu ar frēzēto asfaltbetonu granulometriskais sastāvs un bitumena daudzums					
Cauri izg., %	Siets, mm	Prasības <i>HMAC</i> 16 granulometrijai un bitumena saturam	Rezultāts		
			<i>HMAC</i> 16 (references) <i>JMF</i>	<i>HMAC</i> 16 + <i>RAP</i> 0/8 26%	<i>HMAC</i> 16 + <i>RAP</i> 0/8 53%
22,4		100	100	100	100
16,0		90 – 100	95,8	95,8	96,2
11,2		70 – 85	80,6	79,9	80,4
8,0			71,6	72,1	70,6
5,6			61,8	61,3	60,9
4,0			52,3	52,2	52,5
2,0		35 – 45	41,6	42,1	41,5
1,0			34,4	34,8	32,8
0,5			27,3	27,1	24,7
0,25			16,4	16,2	16,0
0,125		7 – 17	10,2	9,6	10,0
0,063		5 – 9	8,1	7,6	7,7
Bitumena saturs, %		B _{min4,8}	4,8	4,8	4,5
Atbilst					



5.2. att. HMAC ar frézēto asfaltbetonu granulometriskā līkne

5.7. tabulā apkopoti projektējamo HMAC asfaltbetona maisījumu sastāvu ar RAP fizikālās īpašības.

Tabula 5.7 HMAC asfaltbetona maisījumu ar frēzēto asfaltbetonu un bitumenu B20/30 fizikālās īpašības					
Īpašības	Prasība [17] HMAC 16	B20/30			
		HMAC 16 (references)	HMAC 16 + RAP 0/8 26%	HMAC 16 + RAP 0/8 53%	HMAC 16 + RAP 0/8 70%
Porainība (V), %	$V_{min2,0}$ $V_{max4,0}$	2,3	2,2	1,9	2,2
Tilpumbūvums, Mg/m ³	–	2,442	2,434	2,441	2,451
Maksimālais blīvums, Mg/m ³	–	2,501	2,490	2,488	2,508
Minerālā karkasa porainība (VMA), %	–	13,2	13,6	13,1	14,0
Ar bitumenu aizpildīto poru saturs (VFB), %	–	82,3	83,6	85,6	83,9
Bitumena saturs, %	$B_{min4,8}$	4,52	4,75	4,68	4,87

5.8. tabulā apkopoti projektējamo HMAC asfaltbetona maisījumu sastāvu ar RAP mehāniskās īpašības (Maršala testa rezultāti).

Tabula 5.8 HMAC asfaltbetona maisījumu ar frēzēto asfaltbetonu un bitumenu B20/30 mehāniskās īpašības					
Īpašības	Prasība [17] HMAC 16	B20/30			
		HMAC 16 (references)	HMAC 16 + RAP 0/8 26%	HMAC 16 + RAP 0/8 53%	HMAC 16 + RAP 0/8 70%
Porainība (V), %	$V_{min2,0}$ $V_{max4,0}$	2,3	2,2	1,9	2,2
Bitumena saturs, %	$B_{min4,8}$	4,52	4,75	4,68	4,87
Maršala stabilitāte 60 °C, kN	–	19,2	19,5	20,4	22,2
Maršala plūstamība 60 °C, mm	–	2,96	3,12	2,20	2,00

HMAC asfaltbetona maisījumi ar RAP saturu 26% un 53% projektēti ar bitumena saturu 4,8% (līdzīgi kā references maisījums). Savukārt HMAC asfaltbetona maisījums ar RAP saturu 70% projektēts ar bitumena saturu 4,5%. Procentuālā "svaigā" un RAP bitumena proporcija dota 5.2. un 5.3. tabulās. Maršala paraugu izgatavošana veikta, baltoties uz LVS EN 12697-30 standarta prasībām – ar 2 × 50 sitieniem no katras puses 155 – 160 °C temperatūrā.

5.9. tabulā apkopoti projektējamo HMAC-16 un B20/30 asfaltbetona maisījumu sastāvu ar RAP ūdensjutības testa rezultāti. Ūdensjutības tests veikts atbilstoši standartam LVS EN 12697-12. Saskaņā ar iegūtajiem rezultātiem augstāko ūdensjutības rādītāju 90,95% uzrāda HMAC-16 20/30 ar 25% RAP. Iegūtais rezultāts saskaņā "Ceļu specifikāciju 2019" prasībām atbilst augstākajai kategorijai pēc AADT rādītāja.

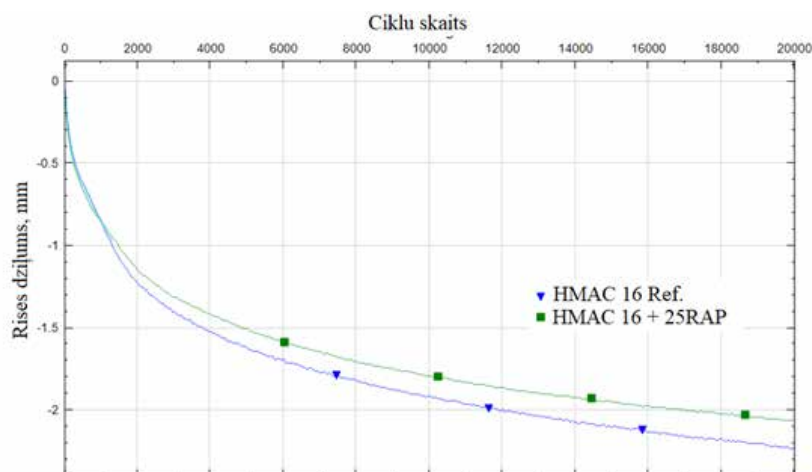
Tabula 5.9

HMAC-16 asfaltbetona maisījumu ar RAP un bitumenu B20/30 ūdensjutība

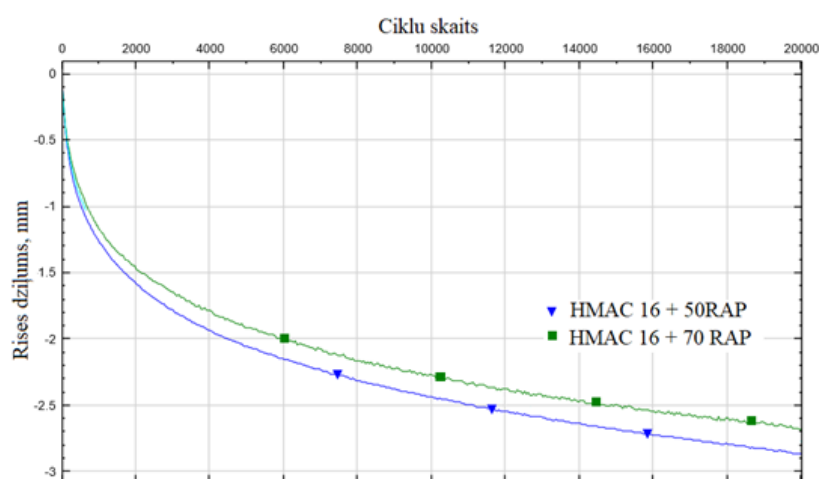
Paraugs	Sauso paraugu netiešā stiepes stiprība, kN	Vidējā, kN	Ar ūdeni piesātināto paraugu netiešā stiepes stiprība, kN	Vidējā, kN	Ūdensjutība, %
HMAC-16 (ref.)	21,14	21,01	17,51	18,21	86,68
	20,98		18,35		
	20,92		18,78		
HMAC-16 20/30 + RAP 25%	20,36	20,25	18,8	18,42	90,95
	20,30		17,54		
	20,09		18,91		
HMAC-16 20/30 + RAP 50%	20,8	20,63	18,07	17,83	86,46
	20,53		17,53		
	20,55		17,9		
HMAC-16 20/30 + RAP 70%	20,44	21,03	18,78	18,59	88,38
	21,72		18,39		
			18,59		
Saskaņā ar "Ceļu specifikāciju 2019" prasībām atbilst kategorijai AADT _{j, smagie} / AADT _{j, pievestā} 1001-2000/3501-5000					
Saskaņā ar "Ceļu specifikāciju 2019" prasībām atbilst augstākajai kategorijai atbilstoši AADT rādītājam					

5.10. tabulā, kā arī 5.3. un 5.4. attēlos apkopoti projektējamo HMAC asfaltbetona maisījumu sastāvu ar RAP rišu noturības testa rezultāti. Rišu noturības tests veikts atbilstoši standartam LVS EN 12697-22. Saskaņā ar iegūtajiem rezultātiem zemāko rīses dziļumu (RD) un rišu veidošanās ātrumu (WTS) uzrāda HMAC-16 20/30 ar 25% RAP. Visu HMAC sastāvu rezultāti saskaņā ar LVS EN 13108-1 prasībām atbilst augstākajām kvalitātes kategorijām pēc rišu noturības rādītājiem.

Tabula 5.10 HMAC-16 asfaltbetona maisījumu ar RAP un bitumenu B20/30 rišu noturības testu rezultāti			
Paraugs	Rīses dziļums (RD), mm	Rišu veidošanās ātrums (WTS _{air}), mm/1000 cikli	Proporcionālais rīses dziļums (PRD), %
HMAC-16 (ref.)	2,2	0,06	4,5
HMAC-16 20/30 + RAP 25%	2,1	0,05	4,1
HMAC-16 20/30 + RAP 50%	2,9	0,09	5,7
HMAC-16 20/30 + RAP 70%	2,7	0,08	5,3
Saskaņā ar "Ceļu specifikāciju 2019" prasībām atbilst augstākajai kategorijai atbilstoši AADT rādītājam.			



5.3. att. HMAC-16 ref. un HMAC-16 20/30 + RAP 25% rišu veidošanās dinamika



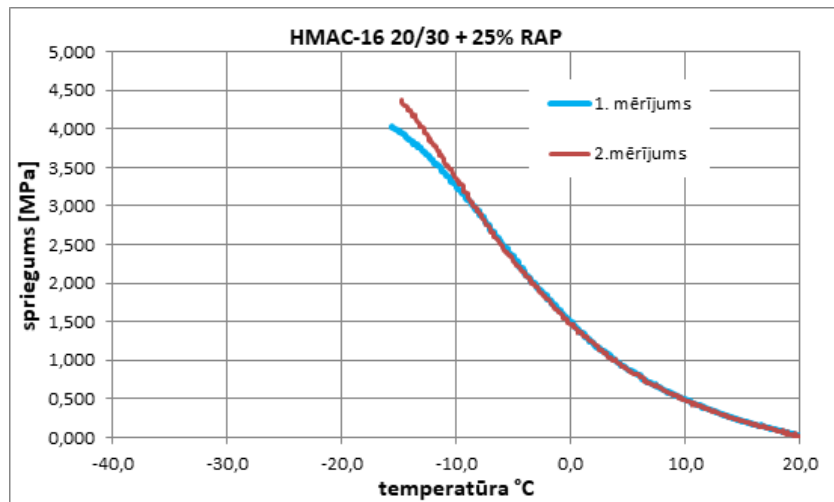
5.4. att. HMAC-16 ref. un HMAC-16 20/30 + RAP 25% rišu veidošanās dinamika

5.11. tabulā, kā arī 5.5. – 5.8. attēlos apkopoti projektēto HMAC asfaltbetona maisījumu sastāvu ar RAP termisko plaisu noturības testa rezultāti. Termisko plaisu noturības tests veikts atbilstoši standartam LVS EN 12697-46. Visu HMAC sastāvu rezultāti neatbilst "Ceļu specifikāciju 2019" prasībām. Iegūtie rezultāti rāda, ka, pieaugot RAP saturam, samazinās termisko plaisu noturība.

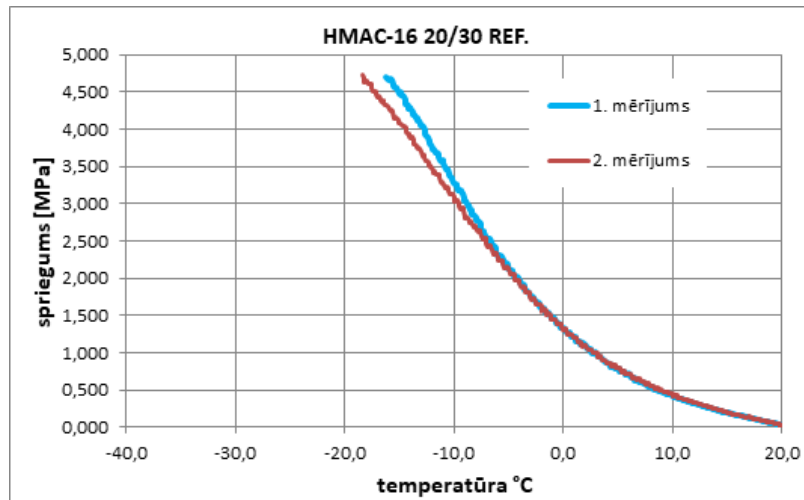
Tabula 5.11
HMAC asfaltbetona maisījumu ar RAP un bitumenu B20/30 termisko plaisu noturības (TSRST) testu rezultāti

Paraugs	Izturība pret termisko plaisu veidošanos (TSRST), °C		
	1. mērijums	2. mērijums	Vid.
HMAC-16 (ref.)	-16,2	-18,4	-17,3
HMAC-16 20/30 + RAP 25%	-15,6	-14,8	-15,2
HMAC-16 20/30 + RAP 50%	-15,7	-14,6	-15,1
HMAC-16 20/30 + RAP 70%	-12,1	-13,3	-12,7

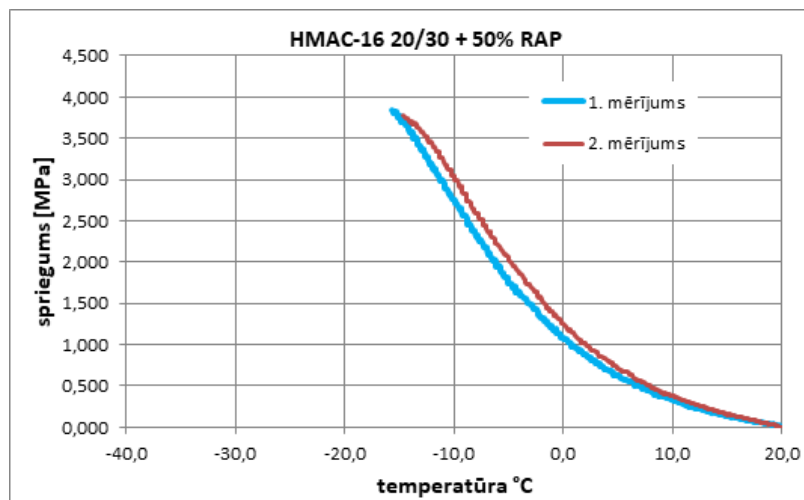
Neatbilst "Ceļu specifikāciju 2019" prasībām attiecībā uz saistkārtu un apakškārtu termisko plaisu noturību –TSRST_{max -20}



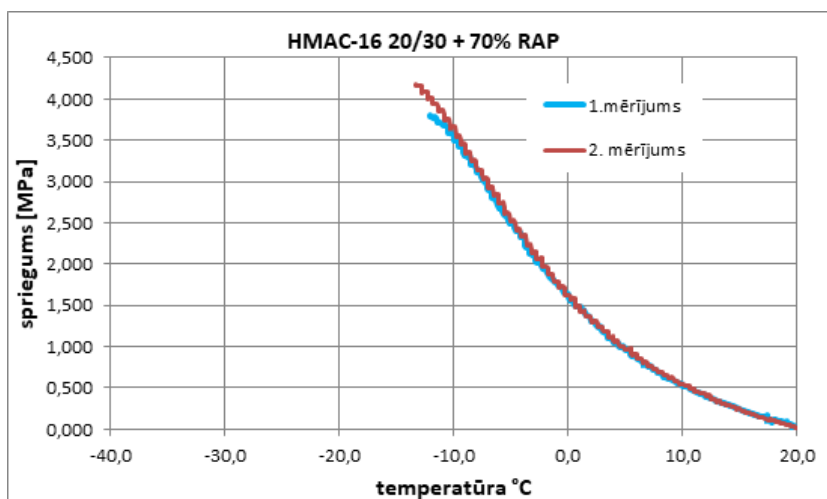
5.5. att. *HMAC-16* ref. termisko plaisu noturības testa rezultāti



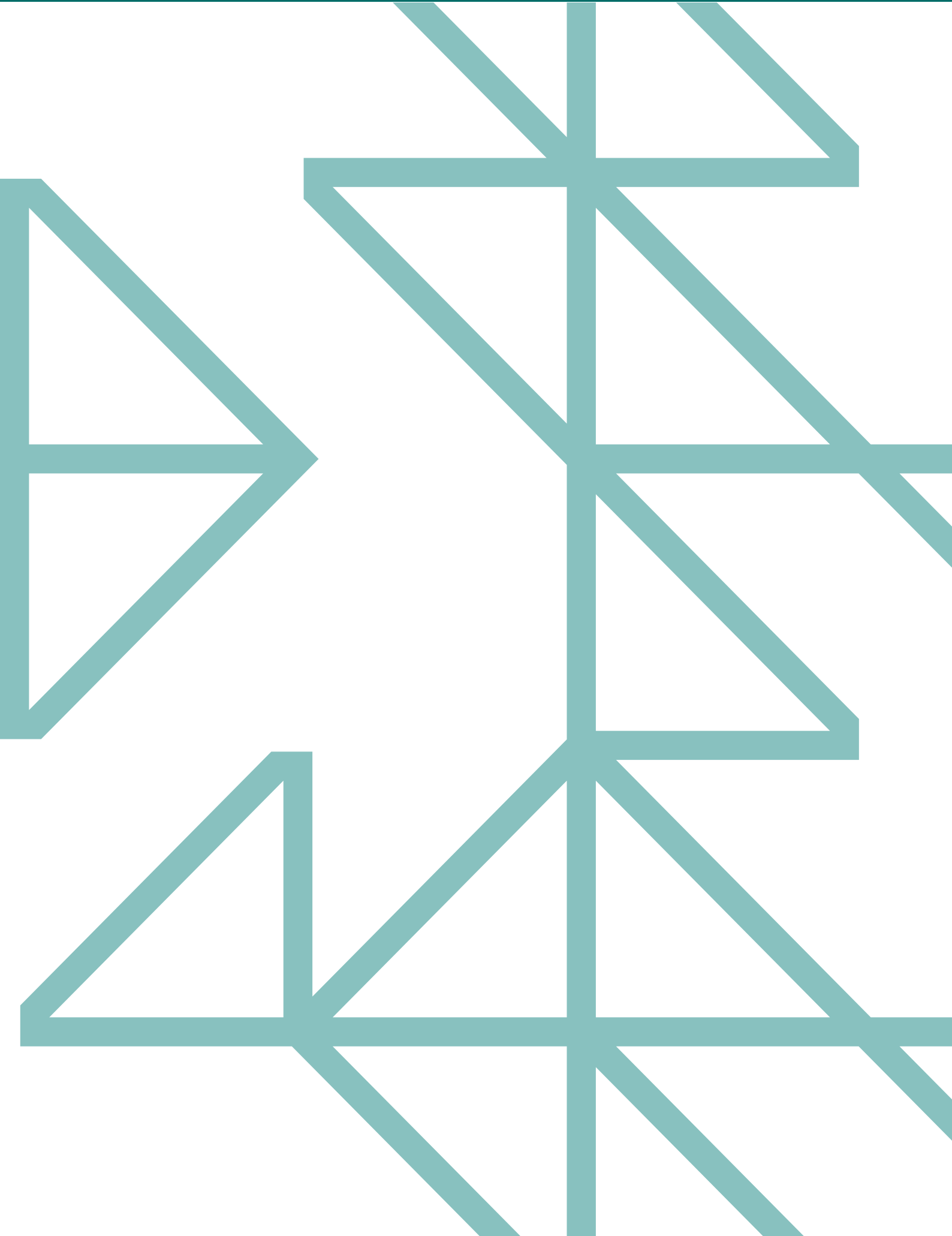
5.6. att. *HMAC-16* + 25% RAP termisko plaisu noturības testa rezultāti



5.7. att. *HMAC-16* + 50% RAP termisko plaisu noturības testa rezultāti



5.8. att. *HMAC-16 + 70% RAP* termisko plaisu noturības testa rezultāti



6. *BBTM* BŪVNICĪBA UZ SEGUMA AR > 13 MM DZIĻĀM RISĒM (DU 5)

6.1. IEVADS

Pirms plānkārtas asfaltbetona (*BBTM*) būvniecības ir svarīgi noteikt esošā asfaltbetona seguma ekspluatācijas neatbilstības cēloni, jo no tā ir atkarīga seguma atjaunošanas tehnoloģijas izvēle. Piemērotā seguma atjaunošanas metode ir atkarīga no seguma stāvokļa indeksa (PCI) atbilstoši principam “Right road, right treatment, right time” (pareizais ceļš, pareizā attieksme, īstais laiks), kuru piedāvā *Asphalt Pavement Systems* (APS; sk. *BBTM* pētījuma 1. kārtu).

Atbilstoši plānkārtas asfaltbetona lietošanas rekomendācijām [17], *BBTM* nerekomendē lietot:

- uz porasfalta (PA), ja vien pirms tam nav veikti frēzēšanas darbi;
- uz neapstrādātas šķembu virsmas, ja vien pirms tam nav veikta virsmas apstrāde;
- uz pārmērīgi raupjām virsmām, ja vien pirms tam netiek uzklāta izlīdzinošā kārtā;
- uz virsmām ar plaisām, platākām par 1 cm;
- uz virsmām ar blokveida vai noguruma plaisām $> 20\%$ no laukuma;
- ja ir aizdomas par slāņu nobīdi vai nesaistīto kārtu sabrukšanu (nepieciešama ekspertīze ar grunts penetrācijas radaru un urbumu veidošanu);
- uz segumiem ar rīsu dziļumu > 13 mm (gadījumā, ja rīsu veidošanās cēlonis ir segas pamatā).

Pirms *BBTM* būvniecības uz segumiem ar rīsu dziļumu > 13 mm ir svarīgi konstatēt, vai plastiskās deformācijas rīsu cēlonis ir asfaltbetona dilumkārtā, kādā no apakškārtām vai segas pamatā. Šim nolūkam veic vizuālu apsekošanu, veido urbumu un/vai šķērsvirziena tranšeju, lai noskaidrot apakšējo slāņu ietekmi uz rīsu veidošanos.

6.2. *BBTM* LIETOŠANA IESPIEDUMA-IZSPIEDUMA UN NODILUMA RĪŠU > 13 MM NOVĒRŠANAI

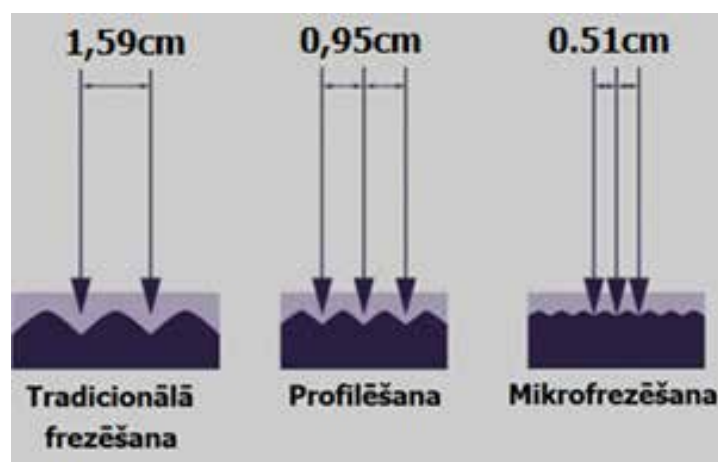
Konstatējot, ka rīsu cēlonis ir dilumkārtā, jāveic deformētās kārtas nofrēzēšana. “Seklo” frēzēšanu var veikt, izmantojot mikrofrēzi (*Micro-Mill*), lai uzlabotu frēzētās virsmas saķeri ar *BBTM*, jo tiek samazināts virsmas spraigums, kas uzlabo adhēziju starp kārtām (sk. 6.1. att.), kā arī *BBTM* uz iegūtās virsmas nekopēs smalki raupjo tekstūru (sk. 6.2. att.), kā tas var notikt uz rupjas tekstūras, kura iegūta, izmantojot tradicionālo frēzēšanu. Smalki raupjo struktūru nodrošina mikrofrēze, kurai attālums starp zobiem ir 6 – 8 mm (standartfrēzei – 15 mm; sk. 6.3. att.). Šī tehnoloģija salīdzinājumā ar tradicionālo frēzēšanu ir saudzīgāka pret seguma apakšējo slāņu bojāšanu frēzēšanas procesā. **Mikrofrēzēšana rekomendējama gadījumos, ja rīsu dziļums ir no 5 līdz 25 mm.**

Konstatējot, ka rīsu cēlonis ir asfaltbetona saistkārtā vai apakškārtā, jāveic deformētās kārtas nofrēzēšana ar tradicionālo frēzēšanas metodi deformāciju (rīsu) biežumā. Nenofrēzētā asfaltbetona kārtā neveicinās paliekošo deformāciju progresēšanu.

Rišu novēršanai var izmantot arī izlīdzinošās kārtas veidošanu pirms *BBTM* ieklāšanas. Tomēr izlīdzinošai kārtai materiālu patēriņš ir grūti aprēķināms, kā arī tās biezums ir mazs un nedod iespēju sablīvējuma noteikšanai (kontrolei) izmantot nesagraujošās metodes, līdz ar to mērīt un sasniegt atbilstošu izlīdzinošās kārtas sablīvējumu ir sarežģīti. Tomēr dziļu rišu gadījumos (≥ 25 mm) pirms *BBTM* ieklāšanas var lietot kombinētu metodi – frēzēšanu un izlīdzinošās kārtas veidošanu.

Ja rises asfaltbetona dilumkārtā radušās nodiluma rezultātā no automobiļu riepu radžu radītās ietekmes uz segumu, tad jāizmanto izlīdzinošā asfaltbetona frēzēšana tādā dziļumā, lai tiktu panākts līdzens segums pirms *BBTM* būvniecības.

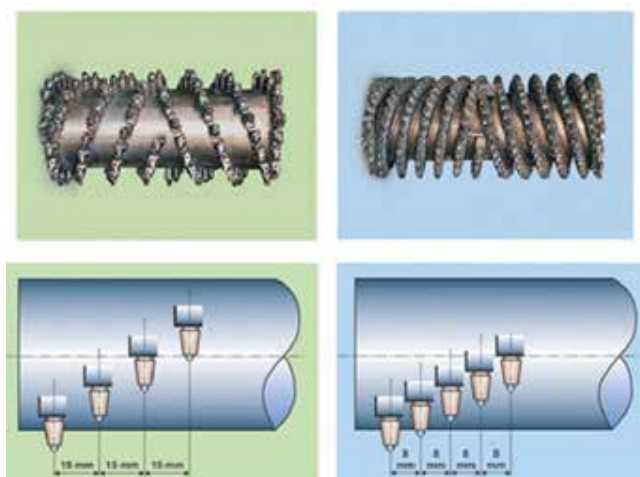
Konstatējot, ka rišu cēlonis ir nestspējas problēmas šķembu pamata vai salizturīgajā kārtā, ceļa seguma atjaunošana ar *BBTM* nav piemērota un jāizvērtē pastiprināšanas vai pilnas segas konstrukcijas pārbūves darbi.



6.1. att. Frēzēšanas veidi atkarībā no frēzes raupjuma [18]



6.2. att. Rupjā (a) un smalki raupjā (b) nofrēzētā seguma tekstūra



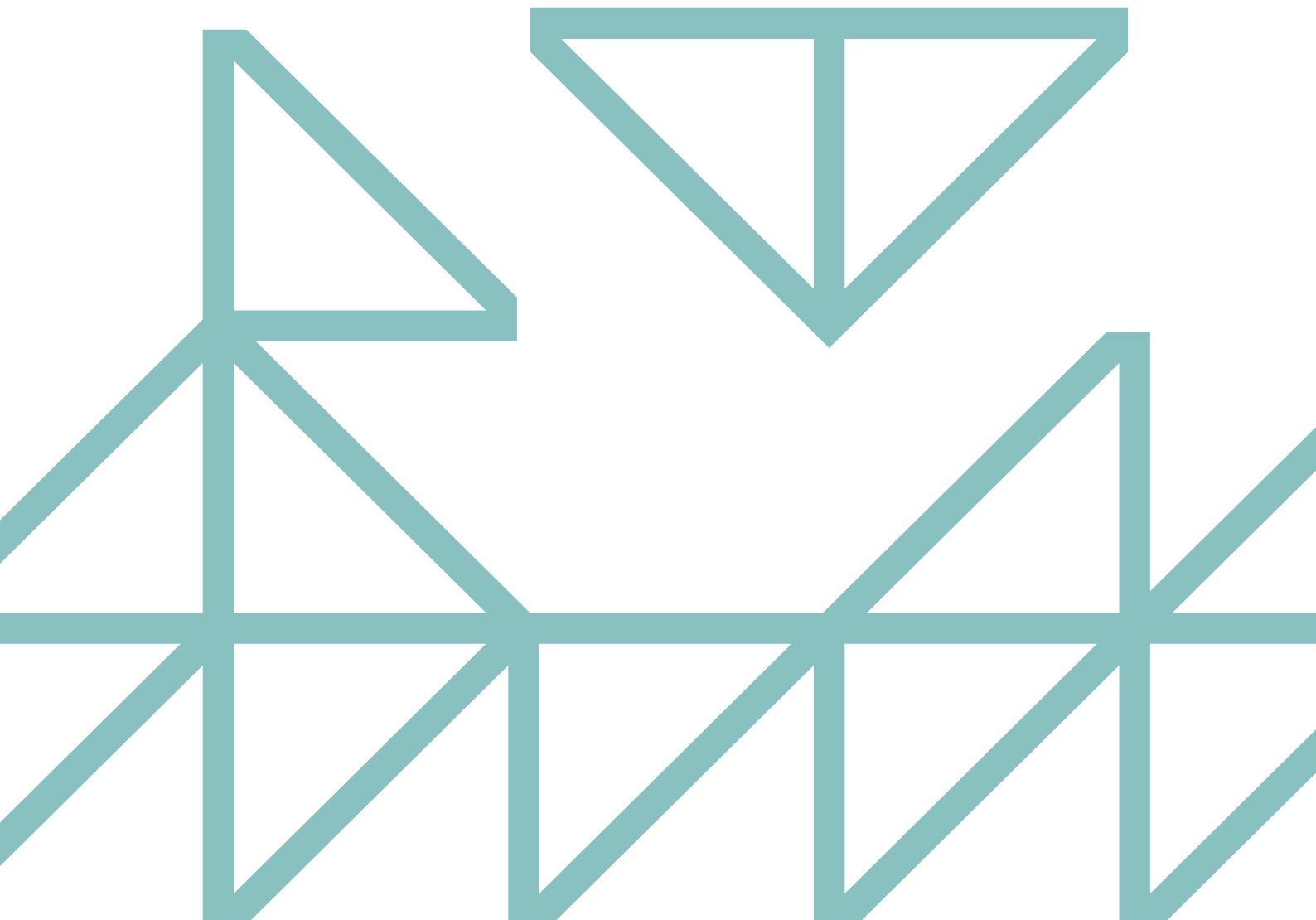
6.3. att. Attālumi starp frēzes zobiem standartfrēzei (pa kreisi) un mikrofrēzei (pa labi) [18]

Pēc rišu nofrēzēšanas seguma virsma ir netīra un puteklaina, tāpēc virsmu pirms *BBTM* ieklāšanas jātīra, slaukot un/vai mazgājot (sk. 6.4. att.). Netīrumi un putekļi var ievērojami samazināt sasaisti (adhēziju) starp *BBTM* un esošo segumu. Slaucīšana jāveic vairākos gājienos, bet, veicot mazgāšanu, virsmai jāļauj nožūt. Sagatavojot virsmu, tai uzklāj bitumena emulsiju, vienmērīgi to izsmidzinot, lai nodrošinātu pārklājumu > 90%. Frēzētai asfaltbetona seguma virsmai bitumena emulsijas patēriņam jābūt 0,3 – 0,5 litri/m².



6.4. att. Frēzētas virsmas tīrīšana: a) mazgāšana; b) slaucīšana

Veicot rišu novēršanu ar *BBTM*, svarīgi ievērot to, ka *BBTM* iebūvējams tikai labos apstākļos, jo plānā asfaltbetona kārtā strauji atdziest, kā arī manuālā ieklāšana nav iespējama.



7. KONSTRUKCIJAS PROJEKTĒŠANA, IEKĻAUJOT ZEM *BBTM* SEGUMA KĀRTAS *HMAC* SAISTKĀRTU UN APAKŠKĀRTU, KAD $E^{BBTM} < E^{HMAC}$

7.1. *BBTM* KĀRTAS PIELIETOJUMS UN SEGAS KONSTRUKCIJA

BBTM lietošanas mērķis saskaņā ar pasaules praksi ir uzlabotu dilumkārtas funkciju īstenošana, tā nodrošinot:

- labāku hidroizolāciju;
- mazāku poru saturu;
- labākas troksni samazinošās īpašības;
- mazāku plaisu pārnesei (kopēšanos);
- lielāku rišu noturību.

Bez tam *BBTM* izbūvei nepieciešams mazāks materiālu apjoms, kas dod iespēju samazināt izbūves laiku un piegādes apjomu. Tādējādi kā pamata pielietojums šim seguma risinājumam tiek minēta ilgtspējīga atjaunojamā dilumkārtā uz stabilas, ekspluatācijā esošas segas konstrukcijas.

Projektējot ceļa segu ar plānkārtas *BBTM* dilumkārtu, jāņem vērā šīs kārtas materiāla, kā arī tā ieklāšanas un ekspluatācijas specifika. Tas attiecas kā uz segas konstruēšanas procesu, tā arī uz aprēķina principiem.

Attiecībā uz konstrukciju jāievēro sekojošais.

- 1) Izvēloties plānkārtas dilumkārtas pielietojuma vietas, sakarā ar paaugstinātu risku sagaidīt horizontālo bīdes spriegumu izraisītās deformācijas – pārsvarā plānkārtas saskares virsmā ar apakšējo seguma kārtu, kas ir kritiska šim seguma tipam – būtu jāizvairās no *BBTM* dilumkārtas lietošanas vietās, kur ir sagaidāma izteikti palielināta horizontālā slodze:
 - maza rādiusa līknēs;
 - stāvos kāpumos;
 - rotācijas apļos;
 - krustojumos;
 - pieturās;
 - vietās, kur paredzama intensīva manevrēšana ar maza rādiusa trajektorijām (ciešos stāvlaukumos, termināļos u.tml.).

- 2) Izvēloties šo seguma veidu, ir svarīgi arī novērtēt būvniecības tehnoloģiju būvniecības laikā, jo:
 - gaisa temperatūra *BBTM* dilumkārtas ieklāšanas laikā nedrīkst būt zemāka par 15 °C;
 - jānodrošina pilnīgi sausa virsma;
 - attālumam starp ieklājēju un blīvētāju jābūt minimālam;
 - blīvēšana jāveic iespējami īsā laikā, izmantojot vienlaikus vismaz divus veltņus.
- 3) Veidojot konstrukciju, jāņem vērā, ka *BBTM* dilumkārtu nepieciešams paredzēt uz rišu noturīgas saistkārtas vai pamata. Tomēr to nevajadzētu paredzēt tieši uz stingra pamata (betona) ar nenofiksētām deformāciju vai dalījuma šuvēm.
- 4) *BBTM* dilumkārtā ir pastiprināti jutīga pret radžotu riepu izmantošanu satiksmē, tāpēc apstākļos, kad ir sagaidāms liels radžotu riepu īpatsvars plūsmā, *BBTM* nebūs optimāls risinājums.

7.2. *BBTM* PROJEKTĒŠANA, IEKĻAUJOT ZEM TĀS *HMAC* SAISTKĀRTU

Saskaņā ar pasaules praksi, *HMAC* (*High Modulus Asphalt Concrete* – augsta stiprības asfaltbetons) un *BBTM* kārtu kombinācija ir risinājums augsta rišu veidošanās riska gadījumos, un tas ir derīgs pie visiem rišu paveidiem [21–23]. Ievērojot to, ka rišu veidošanās asfaltā galvenokārt ir saistīta ar tā temperatūru ekspluatācijas laikā, kura savukārt ir atkarīga no asfaltētās virsmas tiešas ekspozīcijas saules radiācijai, tad kombinācija *HMAC+BBTM* būtu ieteicama kā rises ierobežojošs risinājums ceļu posmos, kas maija – augusta mēnešos laikā no plkst. 11 līdz 18 ir saules apspīdēti vismaz 4 stundas. Gadījumos, kad zem *BBTM* ir izbūvēta vai tiek paredzēta *HMAC* kārtā, jāpievērš uzmanība abu kārtu kontaktvirsmas atbilstībai un izbūves kvalitātei paaugstināta saistes (starp kārtām) zaudēšanas riska dēļ. Kārtu saķeres nepietiekamības risks ir jo lielāks, jo zemāk esošā konstrukcijas daļa (*HMAC*) ir stingāka (cietāka).

7.3. SEGAS APRĒĶINS KONSTRUKCIJAI AR *BBTM* UN *HMAC*

Jau agrāk veiktajos pētījumos ir ticis noskaidrots, ka pašreiz *LVC* izmantotā ceļa segas aprēķina metodika paredz lietot asfaltbetona materiālus, kuru elastības modulis nepārsniedz 6000 MPa. Ja materiāls ir stingāks un tā elastības moduļa vērtība ir lielāka, tad šīs *HMAC* kārtas ieguldījums segas kopējā stiprībā tiks ievērtēts tikai līdz aptuveni šai vērtībai. Līdz ar to, arī paredzot kārtas virs *HMAC*, nekāda papildu stiprība šī aprēķina rezultātā netiks iegūta.

Pasaules praksē dilumkārtu pārsvarā uztver kā papildkārtu un segas kopējā stiprības aplēsē neiekļauj. Piemēram, Lielbritānijā dilumkārtā tiek definēta kā kārtā, kas galvenokārt paredzēta tikai braukšanas ērtībai, un tās kvalitāti vērtē pēc gluduma, saķeres un trokšņa parametriem, savukārt nestspējas funkcija dilumkārtai tiek definēta kā sekundāra [24]. *ERANet* pētījumā, kas veikts galvenokārt Skandināvijas valstīs (Dānijā, Zviedrijā un Norvēģijā), kā arī Austrijā un Šveicē, atzīts, ka plānkārtas dilumkārtas risinājumi ir pārāk plāni, lai tie spētu pildīt nestspējas funkciju [22]. Tas arī tiek skaidrots ar to, ka šī kārtā ekspluatācijas laikā tiek nolietota, nodilst un tiek bojāta, līdz ar to segas ekspluatācijas perioda beigu posmā dilumkārtā vairs pilnvērtīgi nepiedalās segas funkciju realizēšanā.

BBTM gadījumā turklāt jāņem vērā arī tās biezuma dimensija un saistes īpatnības ar zemākesošo asfalta kārtu, kas norāda uz tās papildkārtas raksturu.

Tādējādi, aprēķinot segas konstrukciju ar *BBTM*, to paredz kā papildkārtu un nestspējas aprēķinā neietver. Ja zem *BBTM* paredzēto asfalta kārtu biezums (ieskaitot *HMAC*) ir vienāds ar 11 cm vai lielāks un *BBTM* modulis nav mazāks par *HMAC* moduli, *HMAC* kārtas biezumu aprēķinā var palielināt par 2 cm. Nav ieteicams paredzēt asfalta apakškārtu kopējo biezumu zem *BBTM* plānāku par 11 cm.

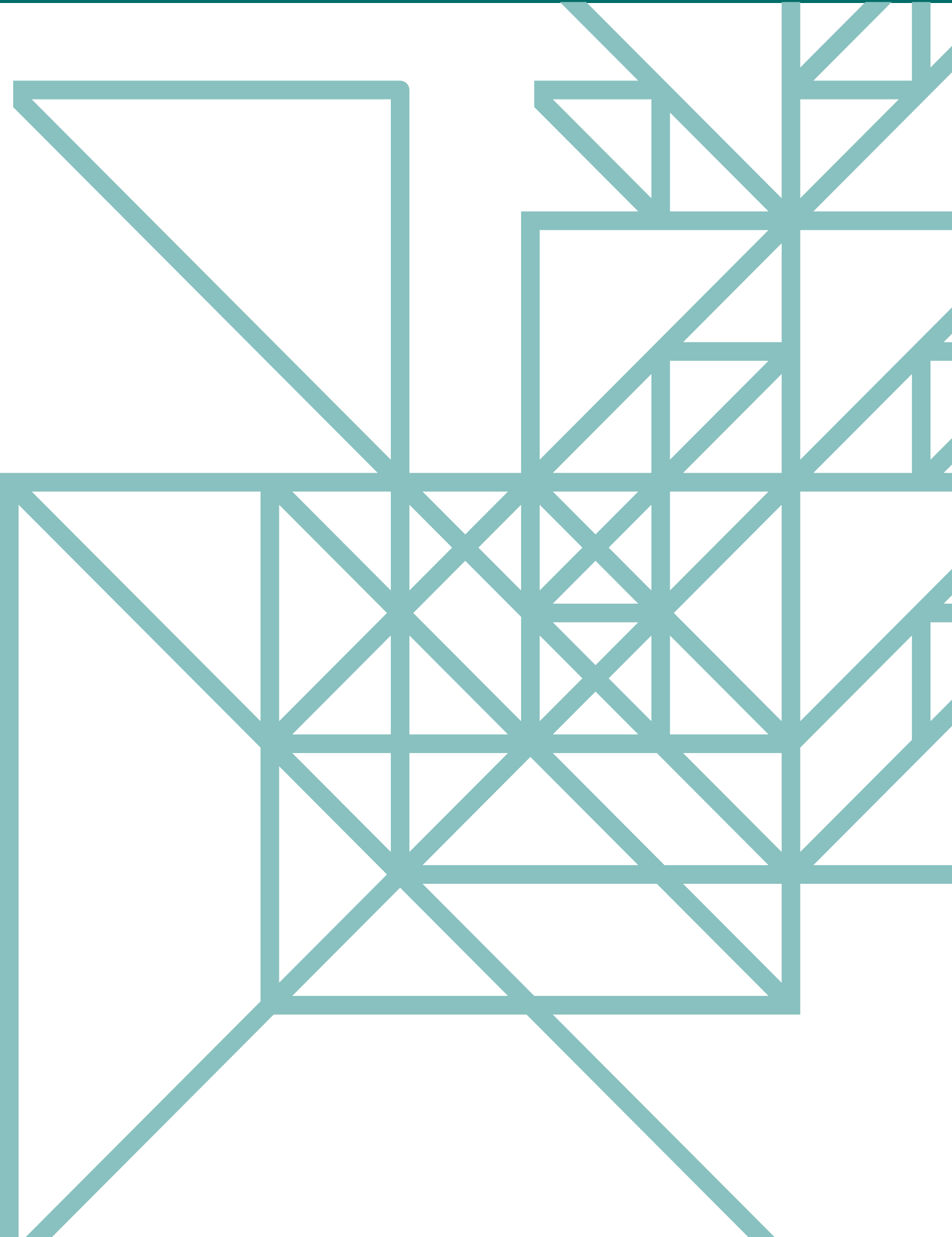
7.1. tabulā doti segas konstrukciju *HMAC+BBTM* nestspējas rādītāju piemēri pārbaudē pēc elastīgās ielieces – E_{ekv} (MPa). Piemēros pieņemta segas konstrukcija ar *HMAC* un *BBTM*, kurai visos gadījumos:

- nestspēja zem *HMAC* kārtas – $E_{\text{ekv}} = 126$ MPa;
- dilumkārtā *BBTM* – 3 cm.

Tabula 7.1

Segas konstrukciju *HMAC+BBTM* nestspējas parametri – pārbaude pēc elastīgās ielieces atkarībā no *HMAC* kārtas biezuma un *HMAC* materiāla E vērtības

E_{HMAC} (MPa)	9000	14 500	15 000	17 000
<i>HMAC</i> – 6 cm	184	190	190	191
<i>HMAC</i> – 8 cm	227	228	229	230
<i>HMAC</i> – 9 cm	234	235	235	237
<i>HMAC</i> – 10 cm	253	254	254	254



8. TROKSNI SAMAZINOŠI SEGUMI

Viens no galvenajiem vides trokšņa avotiem ir transportlīdzekļu riepu saskarsmes ar ceļa virsmu radītais troksnis. Pie ātruma, kas pārsniedz 35 km/h, automobiļu riepu un ceļa seguma radītais troksnis ir dominējošais vieglajiem automobiļiem, bet smagajiem transportlīdzekļiem – pie ātruma, kas pārsniedz 60 km/h. Tāpēc ceļa seguma ietekme uz trokšņa samazināšanu ir būtiska kā pilsētas ielās, tā arī uz valsts ceļiem un ātrgaitas maģistrālēm. Trokšņa rašanos, kad riepas ir saskarsmē ar ceļu, galvenokārt nosaka to īpašības (rieļu protektors), transportlīdzekļa ātrums, kā arī seguma virsmas faktūra un īpašības [1].

Jauna seguma radīšanai vai esošā uzlabošanai jāizmanto multidisciplināra pieeja, lai varētu novērtēt to tehniskās, ekonomiskās, ekoloģiskās un sociālās funkcijas:

- trokšņa samazināšanu un seguma ilgmūžību;
- rites pretestību (enerģijas patēriņu un CO₂ emisiju);
- saķeri (satiksmes drošību);
- braukšanas komfortu, samazinātu apkārtējo troksni transportlīdzekļa iekšpusē;
- satiksmes drošību (akvaplanēšanu, saķeri ar slapju ceļa virsmu, šļakatas un šaltis, kā arī ceļa marķējumu redzamību);
- seguma izbūves un uzturēšanas izmaksas;
- seguma kalpošanas laiku;
- uzturēšanas darbus, ja tādi nepieciešami;
- ziemas uzturēšanu;
- ierobežojumus praktiskai lietošanai uz ceļa.

Saskaņā ar veikto pētījumu [2], aptuveni 76 miljoni cilvēku Eiropā dzīvo aglomerācijās, kur ceļu satiksmes troksnis ir 55 dB vai lielāks (sk. 8.1. tab.). Aptuveni 58 miljoni cilvēku dzīvo pie galvenajiem ceļiem – gan aglomerācijās, gan ārpus tām – un ir pakļauti satiksmes trokšņa līmenim 55 dB vai lielākam. Kopumā Eiropā ceļu satiksmes trokšņa apstākļos (> 55 dB) dzīvo 140 miljoni cilvēku jeb katrs ceturtais iedzīvotājs [1].

Tabula 8.1

Cilvēku skaits 30 Eiropas valstīs, kuri dzīvo aglomerācijās vai ārpus tām un kuri 2012. gadā saskārās ar ceļu (galveno) satiksmes trokšņa līmeni 55 dB vai lielāku [2]

Ceļu satiksmes trokšņa līmenis (dB)	Ceļu satiksmes trokšņa ietekmēto cilvēku skaits 2012. gadā (milj.)						Iedzīvotāji kopā (milj.)		
	55–59	60–64	65–69	70–74	≥ 75	≥ 55	Aglomerācijās	Ārpus aglomerācijām	ES-30 valstīs
Visi ceļi ES-30 aglomerācijās	29	22	16	8	1	76			
Visi ceļi ārpus ES-30 aglomerācijām	28	23	9	3	1	64		337	
Visi ceļi ES-30 valstīs	57	45	25	11	2	140			515
Galvenie ceļi ES-30 aglomerācijās	12	9	6	3	1	30	178		

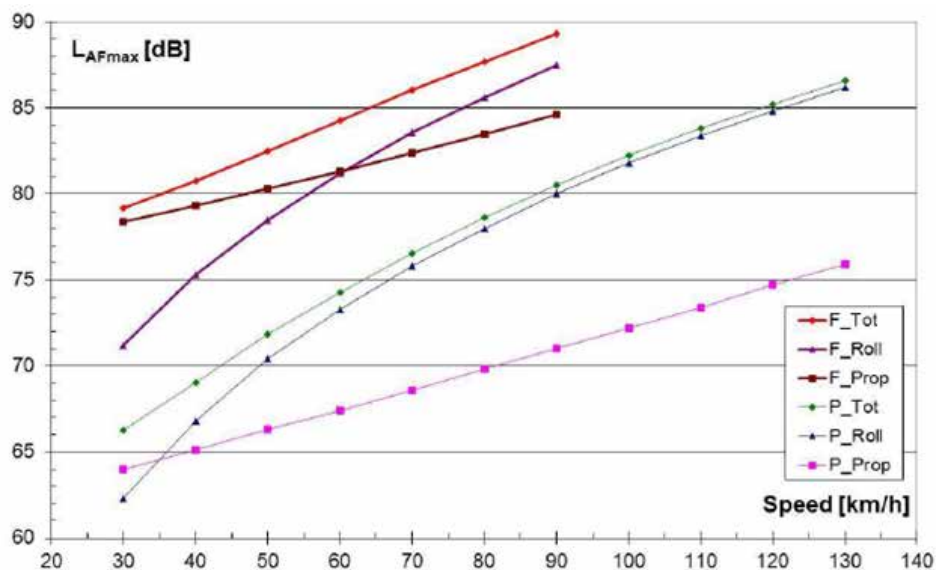
Tabula 8.1

Galvenie ceļi ārpus ES-30 aglomerācijām	12	8	5	2	1	28		337	
Galvenie ceļi ES-30 valstīs	24	17	11	5	1	58			515

Divi galvenie trokšņa radītāji, transportlīdzeklim pārvietojoties pa ceļu, ir:

- transportlīdzekļa motora un transmisijas sistēma;
- riepu un ceļa seguma mijiedarbība.

Aerodinamiskais troksnis netiek ņemts vērā, jo parasti tas ir nenožīmīgs.



8.1. att. Dažādā ātrumā braucošu vieglo automobiļu (P) un smago transportlīdzekļu (F) motora troksnis (Prop), riepu un seguma mijiedarbības troksnis (Roll) un kopējais troksnis (Tot), balstoties uz Nord2000 trokšņu prognozēšanas metodi [1]

8.1. attēls atspoguļo transportlīdzekļu riepu mijiedarbības ar ceļa segumu un motora radīto troksni, kā arī kopējo troksni. Redzams, ka pie ātruma, kas pārsniedz 35 km/h, riepu un ceļa seguma mijiedarbības troksnis ir dominējošais trokšņa avots vieglajiem automobiļiem, bet smagajiem transportlīdzekļiem – virs 60 km/h. Tādējādi ceļa seguma trokšņa līmeņa samazināšana ir būtiska gan pilsētās, gan ārpus tām.

Trokšņa veidošanos riepu saskarē ar ceļa segumu galvenokārt rada šādi mehānismi.

1. Riepu vibrācija (*vibrations in the tyres*) – vibrācija, kas rodas starp ceļa seguma virsmu un riepas protektora raksta gumijas blokiem. Riepu vibrācija rada troksni ar frekvenci no 500 līdz 1500 Hz.
2. Gaisa pumpēšanas efekts (*the air pumping effect*) – riepas protektora gumijas blokiem saskaroties ar ceļa virsmu, gaiss tiek izspiests no dobumiem, kas atrodas starp gumijas blokiem. Riepai turpinot kustību, gaiss tiek iesūkts atpakaļ šajos dobumos. Šis process rada troksni ar frekvenci virs 1000 Hz. **Ja ceļa virsmas tekstūra ir atvērta tipa vai poraina, tad trokšņa līmenis ir mazāks.**
3. Rupora efekts (*the horn effect*) – riepas protektoram saskaroties ar ceļa virsmu, gaiss, kas atrodas starp protektora gumijas blokiem, tiek izspiests ārā. Šis efekts pastiprina ceļa troksni, kas rodas kontaktvietā starp riepu un ceļa virsmu. **Ja ceļa virsma ir poraina (un tādējādi skaņu absorbējoša), pastiprinājuma efekts ir mazāks.**
4. Absorbēcija izplatīšanās laikā (*absorption during propagation*) – motora un riepas/ceļa seguma troksnis izplatās no transportlīdzekļa apkārtējā vidē, kur tas var atstaroties atpakaļ uz ceļa segumu. Ja ceļa

virsmā ir **poraina**, tad iespējama trokšņa absorbcija.

5. Stinguma ietekme (*the effect of stiffness*) – ceļa seguma stingums ir svarīgs, lai noteiktu troksni, kas radies kontaktvietā starp ceļa segas virsmu un riepas protektora gumijas blokiem. **Ja segums ir elastīgs, tad radītais troksnis ir mazāks** [1].

- 8.2. tabulā parādīts, kuras ceļa segas īpašības var optimizēt, lai mazinātu dažādu trokšņa rašanās avotu ietekmi.

Vienslāņa un divslāņu porasfalts galvenokārt samazina gaisa pumpēšanas efekta troksni. Turklāt porasfalta struktūra samazina arī troksni, ko rada tādas parādības kā rupora efekts un skaņas atstarošānās. Ja tiek izmantoti smalkas frakcijas minerālmateriāli, tad iespējams samazināt arī riepu vibrācijas radīto troksni. Eiropā tiek izmantoti porasfalti ar maksimālo daļiņu izmēru 4, 5, 8, 11 un 16 mm.

Tabula 8.2

Sakarības starp ceļa seguma struktūru un pieciem galvenajiem trokšņa rašanās avotiem [1]

Trokšņa rašanās avoti	Virsmas tekstūra	Kontaktvirsmas gaisa poras	Seguma biezums	Seguma elastība
Riepu vibrācijas	×			×
Gaisa pumpēšanas efekts		×	×	
Rupora efekts		×	×	
Skaņas atstarošānās		×	×	
Stinguma ietekme				×

8.2. attēlā parādīti divu veidu ceļa segumi ar atvērtu virsmas tekstūru. “Pozitīva” tekstūra troksni, ko rada riepu vibrācijas, palielina, bet “negatīva” – samazina. Labs virskārtas sablīvējums un augsts kubisko minerālmateriālu daudzums ir priekšnoteikumi, lai izveidotu ceļa virsmu ar “negatīvu” tekstūru.



“Pozitīva forma”



“Negatīva forma”

8.2. att. Ilustratīvs attēls segumiem ar “pozitīvu” un “negatīvu” virsmas tekstūru [3]

Vispārīgā gadījumā troksnis samazinās, ja tiek samazināts minerāldaļiņu maksimālais izmērs. Piemēram, ja minerālmateriāla daļiņu maksimālais izmērs tiek samazināts par 1 mm, tad blīva asfaltbetona ceļa troksnis samazinās par apm. 0,25 dB.



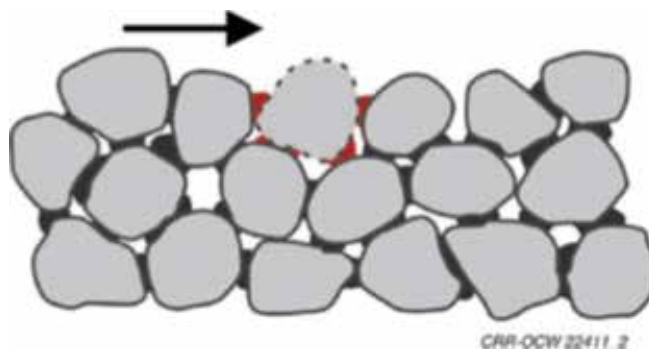
8.3. att. Jauna SMA seguma tuvplāns ar ļoti vienmērīgu virsmas tekstūru, kas samazina vibrāciju radīto troksni. Seguma virsmā redzamas atvērtas poras, kas palīdz samazināt troksni, ko rada gaisa pumpēšanas efekts

9. IZDRUPUMU VEIDOŠANĀS VIRSKĀRTĀ

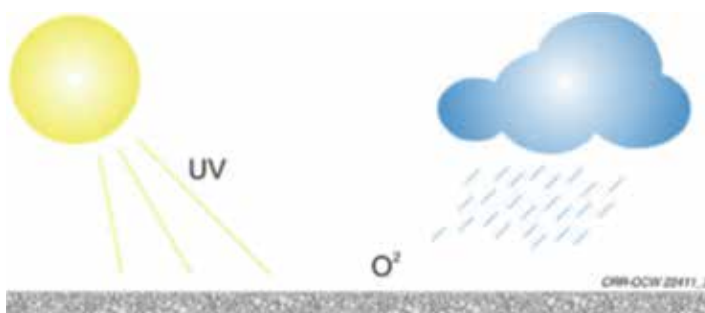
Tā kā Latvijā ir plānots ieviest plānkārtas asfaltbetona specifikācijas, tad ir būtiski apskatīt citu valstu pieredzi, kā arī tajās lietotās kvalitātes pārbaudes.

Beļģijā jaunu asfalta maisījumu tipu izmantošana plānām ceļa virskārtām tiek uzskatīta par efektīvu trokšņa samazināšanas risinājumu. Tomēr šāda veida maisījumu galvenā problēma ir izdrupumu veidošanās, un rodas nepieciešamība pēc standartizēta laboratoriskā testa, kas spētu prognozēt šāda veida virskārtu pretestību bīdes spēkiem. Tādēļ Beļģijas ceļu pētniecības centrs *Belgian Road Research Centre (BRRC)* porasfalta testēšanai izmanto Vācijā izstrādāto iekārtu *Darmstadt Scuffing Device*.

Izdrupumi ir minerālmateriālu zudumi no ceļa seguma virskārtas, ko izraisa saistvielas "tiltu" nespēja saturēt kopā minerālās daļas (sk. 9.1. att.), un to tiešais cēlonis ir satiksmes slodzes radīto bīdes spēku darbība. Ilgtermiņā šie "tilti" novājinās arī atmosfēras skābekļa un laikapstākļu iedarbībā, kas tiek uzskatīti par netiešajiem izdrupumu veidošanās cēloņiem (sk. 9.2. att.) [4].



9.1. att. Bīdes spēki, kas izraisa "tiltu" nobīdi akmeņaina maisījuma struktūrā



9.2. att. Netiešie izdrupumu veidošanās cēloņi [4]

Izdrupumu rašanās ir bojājuma veids, kas galvenokārt novērojams porainiem asfalta maisījumiem akmeņainās struktūrās augstā poru un zemā saistvielas satura dēļ. Porasfalts reti tika izmantots Beļģijas

ceļu tīklā, tādēļ virskārtas izdrupumi tur nebija būtiska problēma, līdz sāka veidot plānas un ļoti plānas asfaltbetona kārtas. Tās tiek uzskatītas par izmaksu ziņā efektīviem trokšņus mazinošiem segumiem blīvi apdzīvotos apgabalos.

Granulometriskā sastāva un salīdzinoši augstā poru satura dēļ šādiem maisījumiem parasti ir liela izturība pret paliekošo deformāciju veidošanos. Tādēļ sagaidāms, ka virskārtas bojājuma veids – izdrupumi – kļūs arvien aktuālāks, pieaugot plāno kārtu izmantošanai.

Ir izstrādātas četras dažāda veida iekārtas, kas spēj prognozēt virskārtas pretestību pret izdrupumu veidošanos:

- *Aachener Ravelling Tester* [5, 6];
- *Darmstadt Scuffing Device* [7];
- *Rotating Surface Abrasion Tester* [8];
- *Triboroute* [9].

Ņemot vērā, ka SMA tipa asfaltbetons Beļģijā tiek plaši izmantots un ir pierādījis savu izturību pret virsmas izdrupumu veidošanos, tad tika nolemts to salīdzināt ar plānām un ļoti plānām asfaltbetona (trokšņu samazinošām) kārtām. Tika iegādāta *Darmstadt Scuffing Device (DSD)* iekārta (sk. 9.3. att.). Šī iekārta izstrādāta Darmšates Tehniskajā universitātē, lai varētu novērtēt porasfalta izturību pret ceļu satiksmes radītajiem bīdes spēkiem. Galvenais iemesls, kāpēc tika izvēlēta tieši šī iekārta, ir tās dizains un elastība, kā arī tās spēja reālistiski simulēt satiksmes plūsmu. Līdz šim publicētie pētījumi ir apliecinājuši šīs iekārtas labos rezultātus.



9.3. att. Darmstadt Scuffing Device (DSD) un testa paraugi [4]

Būtu nepieciešams veikt pieejamo iekārtu analīzi, salīdzināt to plusus un mīnus un secināt, kura no tām būtu objektivāka un piemērotāka Latvijas apstākļiem.

Testa metodes princips

Testa metodes princips ir mērīt materiāla zudumus no izgatavota parauga virsmas, kad uz to iedarbojas testēšanas iekārtas riepas izraisītie spriegumi.

Aparatūra

Šajā iekārtā (sk. 9.3. att.) uz kustīgas platformas ir piestiprināta kvadrātveida testa plāksne (26 × 26 cm). Pneimatiskā riepa ar regulējamu spēku tiek nolaista uz plāksnes virsmas. Platforma vienlaikus veic vairākas virzes un rotācijas kustības horizontālā plaknē. Tādējādi iekārta simulē transportlīdzekļu mehānisko iedarbību, veicot pagriezienus, paātrinoties vai bremzējot. Viens cikls sastāv no pieciem virzes kustības cikliem un vienas rotācijas kustības līdz 180° leņķim. Katra kustība tiek uzskatīta par divvirzienu kustību. Parasti pietiek ar 10 šādiem cikliem, lai novērtētu paraugu pretestību pret izdrupumu veidošanos. Platforma, uz kuras ir uzstādīta testa plāksne, var tikt arī apsildīta, lai varētu veikt mērījumus augstākā darba temperatūrā [4].

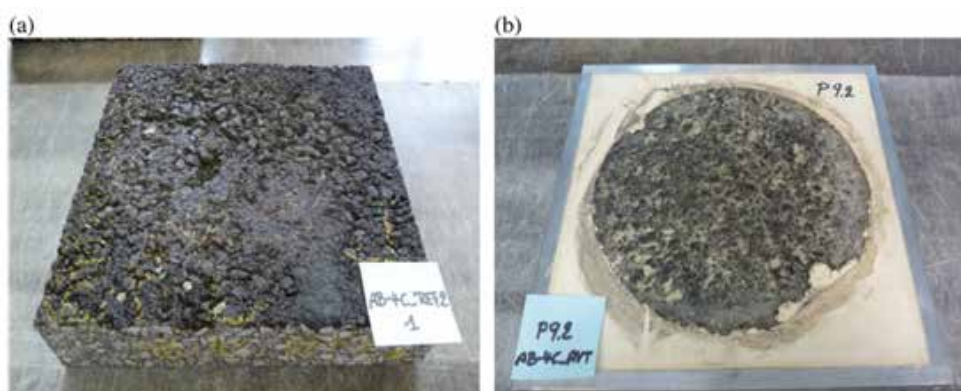
Testa nosacījumi

Testa nosacījumi, kas jāizvēlas lietotājam, ir riepas spiediens, vertikālā slodze, testa temperatūra, griešanās ātrums un ciklu skaits. Beļģijas Ceļu pētniecības centrs standarta testu veic ar riepas spiedienu 300 kPa, vertikālo slodzi 1000 N, griešanās ātrumu 6 apgr./min un vismaz 10 cikliem. Testa temperatūra ir robežās no apkārtējās vides temperatūras līdz 50 °C [4].

Procedūra

Testa plāksnes ir izgatavotas saskaņā ar standartu LVS EN 12697-33, izmantojot lielizmēra veidnes (60 × 40 cm). Ir svarīgi pārbaudīt blīvēšanas procedūras atkārtojamību, jo testa rezultāts ir jutīgs pret blīvēšanas pakāpi. Pēc plāksnes malu apzāģēšanas tās centrālā daļa tiek sazāģēta divos paraugos, kuru izmērs ir 26 × 26 cm. Alternatīvu testu var veikt ar paraugiem, kas izzāģēti no ceļa – urbumus ar 400 cm² lielu laukumu ieģipsē testa iekārtas veidnē (sk. 9.4. att.).

Testa laikā tiek veikti vismaz 10 cikli, un ik pēc diviem cikliem mēra materiālu zudumu. Izdrupušais materiāls tiek savākts nosūcēja tvertnē, un tā masa tiek reģistrēta. Izdrupušā materiāla aizvākšana ir būtisks aspekts, jo starp riepu un plāksnes virsmu palikušais materiāls paātrina bojājumu rašanās procesu.



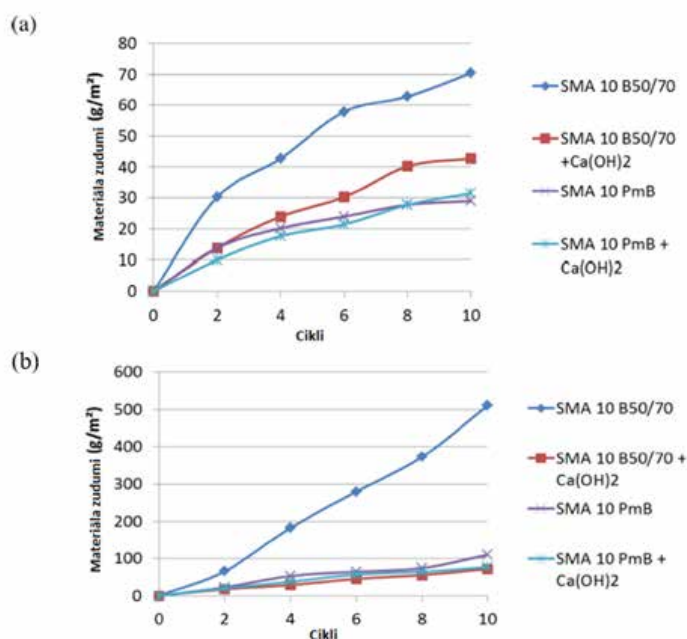
9.4. att. Laboratorijā blīvētā testa plāksne (a) un urbums no ceļa (b) [4]

Testa rezultāti

Beļģijā porasfaltu izmanto reti, lielākā daļa ceļu virskārtu ir veidotas no SMA. Beļģijas ceļu pētniecības centra pētījuma 1. daļā tika testēti dažādi SMA maisījumi. Iegūtie rezultāti starp dažādiem maisījumiem būtiski atšķirās. SMA maisījumu materiāla zudumi parādīti 9.5. attēlā.

Šķembu mastikas asfalts

9.5. attēlā parādīti arī rezultāti, kas iegūti asfaltbetona masas SMA 10 dažādiem variantiem ar identisku granulometrisko sastāvu, bet atšķirīgu saistvielas veidu un ar veldzētiem kaļķiem vai bez to izmantošanas. Testi tika veikti urbumiem, kas noņemti no eksperimentālā ceļa. Būtiska ir testa temperatūras (27 un 40 °C) ietekme: augstākā temperatūrā izdrupumu veidošanās palielinās. Asfalta maisījumam ar saistvielu PmB 45/80-55 pretestība pret izdrupumu veidošanos augstākā temperatūrā ir daudz lielāka nekā maisījumam ar saistvielu B 50/70, tomēr to var uzlabot, maisījuma izgatavošanas laikā tam pievienojot veldzētos kaļķus Ca(OH)_2 kā minerālu pulveri [4, 16].



9.5. att. Testa rezultāti asfalta masai SMA 10 uzrāda nozīmi gan bitumena veidam, gan arī tam, vai ir izmantota veldzēto kaļķu Ca(OH)_2 piedeva asfalta pretestības pret izdrupumiem uzlabošanai: a – testa temperatūra 27 °C, b – 40 °C [4]

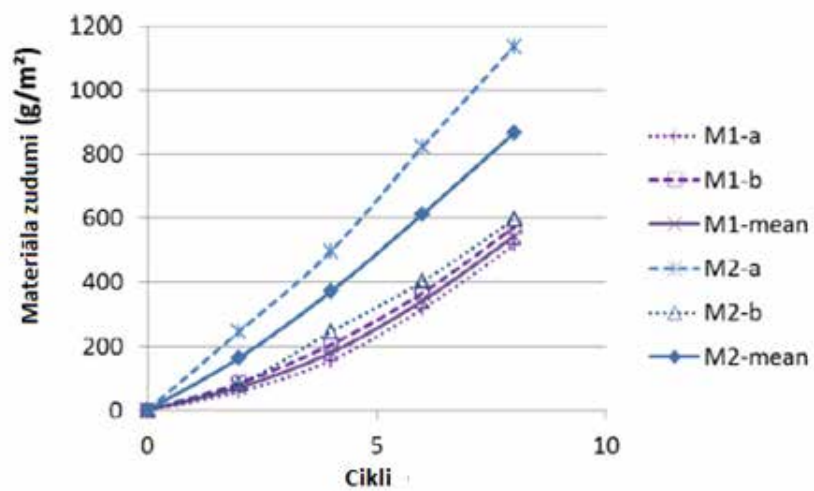
Plānkārtas asfaltbetons

Tika testēti divi Valonijas tipa RUMG 6.3 maisījuma varianti: maisījums M1 ar saistvielas saturu 5,2% un maisījums M2 ar saistvielas saturu 4,7% un ar nelielu izteiktāku granulometrijas pārtraukumu. Testa paraugs sastāvēja no AC 14 saistkārtas un RUMG 6.3 virskārtas (sk. 9.6. att.). Testa rezultāti, kas parādīti 9.7. attēlā, tika veikti apkārtējās vides temperatūrā. Rezultātu atšķirība viena un tā paša maisījuma paraugiem ir ļoti liela [4].



9.6. att. Divslāņu testa plāksne ar AC 14 saistkārtu un RUMG 6.3 virskārtu [4]

Solidzinot plānkārtas RUMG 6.3 testu rezultātus ar SMA testu rezultātiem, kuri veikti apkārtējās vides temperatūrā, var secināt, **ka ļoti plānas maisījuma RUMG 6.3 virskārtas pretestība pret izdrupumu veidošanos ir vairākas reizes mazāka nekā SMA tipa asfaltbetona virskārtām.**



9.7. att. Testa rezultāti diviem RUMG 6.3 variantiem 20 °C temperatūrā (1. maisījumam ir lielāks saistvielas saturs un ne tik izteikts granulometrijas pārtraukums) [4]

SECINĀJUMI

1. Balstoties uz *DurabRoads* projekta pieeju un rezultātiem, salīdzināts dažādu tipu asfaltbetons un ceļa seguma atjaunošanas tehnoloģijas, izmantojot dzīves cikla analīzes metodiku. *DurabRoads* projektā izmantotā metodika apstiprina, ka *BBTM* segumi ir ekonomiski izdevīgāks risinājums salīdzinājumā ar tradicionālajiem ceļa seguma atjaunošanas veidiem – dilumkārtām (*SMA*, *AC*).
2. Izstrādāts ceļu segas izmaksu analīzes (*LCCA*) modelis un savākti dati dzīves cikla analīzes (*LCA*) novērtēšanas modelim. Sākotnēji bija plānots to veidot uz divām MS Excel balstītām programmām: *PaLATE* – vides un ekonomiskās ietekmes novērtēšanas rīku, izmantojot dzīves cikla analīzi, un *Real Cost 2.5CA* – dzīves cikla izmaksu analīzes programmu. Abu programmu izmantošana dod iespēju veikt *LCA* un *LCCA* analīzes un iegūt kvantitatīvos rezultātus. Tomēr ierobežoto iespēju dēļ modificēt šīs programmas tika nolemts uz MS Excel bāzes veidot pašiem savu aprēķinu programmu. *LCCA* un *LCA* aprēķina demonstrācijai tika izvēlēts ceļa posms – Valsts reģionālais autoceļš P5 Ulbroka – Ogre km 20.54 – 25.00 rekonstrukcija – un veikta posma galveno rādītāju apzināšana. Šim posmam piedāvāti alternatīvie risinājumi esošajai *AC 11* virskārtai un *AC 22* apakškārtai, kā arī izstrādāts ceļa segas dzīves cikla izbūves, uzturēšanas un atjaunošanas kalendārais plāns.
3. Veidojot *LCCA* aprēķinu, galvenās problēmas sagādāja prognozēt katra asfaltbetona kalpošana laiku, jo esošajā ceļu tīklā ir maz autoceļu posmu, kam būtu veikta pilna rekonstrukcija. Tas nedod iespēju precīzi izdarīt prognozes, vadoties no līdzšinējās pieredzes, līdz ar to nākamajā pētījuma kārtā tiks uzlabots ceļa segas atjaunošanas kalendārais plāns, kas ietvers arī ekspertu ieteikumus un prognozes. Tāpat būtu jāveic savstarpēja materiālu salīdzināšana, izmantojot riteņu sliežu testu un noguruma testu.
4. Veicot *LCCA* aprēķinu pēc determinētās pieejas, tika iegūti rezultāti, no kuriem seko, ka variants C (*BBTM 11+AC 22*) ir visizdevīgākais 40 gadu periodam.
5. *LCA* un *LCCA* analīzei trūkst datu par to, kāda ir metode un cik daudz līdzekļu tiek iztērēts, veicot ceļa segas virskārtas periodisku uzturēšanu, tāpēc visām konstrukcijām tie ir pieņemti vienādi.
6. Rišu, kas dziļākas par 13 mm, novēršanai *BBTM* seguma izmantošana ir iespējama, ja tiek izvērtēts rišu tips (iespieduma-izspieduma, nodiluma) un to rašanās cēlonis (dilumkārtā, saistkārtā, apakškārtā vai segas pamats). Pirms *BBTM* ieklāšanas atkarībā no rišu rašanās cēloņa jāizvēlas atbilstoša rišu novēršanas tehnoloģija. "Seklo" nodiluma un iespieduma-izspieduma rišu (5 – 25 mm) novēršanai ir piemērota mikrofrēzēšanas tehnoloģija ar turpmāku virsmas tīrīšanu, bitumena emulsijas uzklāšanu un *BBTM* ieklāšanu. Dziļāko iespieduma-izspieduma rišu (> 25 mm) novēršanai ir piemērota standarta frēzēšana, kā arī kombinētā tehnoloģija – frēzēšana un izlīdzinošās kārtas ieklāšana. Ja rišu rašanās cēlonis ir nestspējas problēmas šķembu pamatā vai salizturīgajā kārtā, tad seguma atjaunošana ar *BBTM* nav piemērota un jāizvērtē ceļa segas pastiprināšanas vai visas ceļa segas konstrukcijas pārbūves darbi.

7. Uzprojektēti un izgatavoti četri *HMAC*-16 asfaltbetona sastāvi, no kuriem viens ir references sastāvs (ar bitumenu B20/30), bet trīs sastāviem ir dažāds (26, 53 un 70%) frēzētā asfaltbetona *RAP* 0/8 saturs. Noteiktas šo sastāvu fizikālās un mehāniskās pamatīpašības (tilpuma parametri: *V*, *VFA* un *VFB*, kā arī Maršala stabilitāte un plūstamība). Analizējot *HMAC* sastāvu ar *RAP* pamatīpašību rezultātus, konstatēts, ka tās atbilst *SPENS* specifikāciju prasībām. Noteiktas *HMAC* asfaltbetona maisījumu ekspluatācijas īpašības (rišu un termisko plaisu noturība). Saskaņā ar iegūtajiem rezultātiem zemāko rīses dziļumu (*RD*) un rīšu veidošanās ātrumu (*WTS*) uzrāda *HMAC*-16 20/30 ar 25% *RAP*. Visu *HMAC* sastāvu rezultāti saskaņā standarta LVS EN 13108-1 prasībām atbilst augstākajām kvalitātes kategorijām pēc rīšu noturības rādītājiem. Tomēr visu *HMAC* sastāvu termisko plaisu noturības rezultāti neatbilst "Ceļu specifikāciju 2019" prasībām (attiecinā uz *AC* un *SMA* asfaltbetona tipiem). Iegūtie rezultāti rāda, ka, pieaugot *RAP* saturam, kā arī atjaunināšanai lietojot nemodificētu bitumenu, pieaug termisko plaisu veidošanās temperatūra (termisko plaisu veidošanās paātrinās).
8. Veicot automobiļu riepu un ceļa seguma radītā trokšņa ietekmējošo faktoru analīzi un apkopojot troksni ietekmējošos faktorus – seguma struktūru (poraina vai blīva), tekstūru ("pozitīva" vai "negatīva"), frakcijas lielumu (rupjā vai smalkā), kā arī stingumu (elastīga vai stinga) – konstatēts, ka ceļa segumiem ar porainu asfaltbetonu trokšņu līmenis ir zemāks.
9. Pētījumā veikta Ungārijas, Dānijas, Francijas, Polijas un Spānijas specifikāciju analīze, lai pielietotu šo valstu prasības *BBTM* sastāvu ar augstām ekspluatācijas īpašībām izstrādei, kā arī 1. pētījuma kārtā izstrādāto specifikāciju pilnveidošanai. Apkopojot un analizējot ārvalstu specifikāciju prasības, noskaidrots, ka visu šajā pētījumā apskatīto valstu specifikācijas tikai daļēji atbilst plānkārtas asfaltbetona *BBTM* standarta LVS EN 13108-2 prasībām.
10. Laboratorijas apstākļos veikta 11 eksperimentālo asfaltbetona maisījumu sastāvu izgatavošana atbilstoši LVS EN 13108-2 prasībām, 3 sastāvu – atbilstoši Polijas specifikāciju prasībām un 4 sastāvu – atbilstoši Ungārijas specifikāciju prasībām. Projektētajiem sastāviem palielināts poru saturs, kā arī granulometriskais sastāvs projektēts tā, lai precīzi izpildītu standarta LVS EN 13108-2 prasības un turpmāk varētu veikt šī asfaltbetona maisījuma tipa sertificēšanu (CE marķējuma piešķiršanu). Izstrādātas plānkārtas asfaltbetona specifikācijas.
11. Segas konstrukcijas ar *BBTM* un *HMAC* aprēķinos *BBTM* segums tiek uztverts kā papildkārtā un to segas kopējās stiprības aplēsē neiekļauj. Tas tiek skaidrots ar to, ka šī kārtā ekspluatācijas laikā tiek nolietota, nodilst, tiek bojāta un līdz ar to segas ekspluatācijas perioda beigu posmā tā vairs pilnvērtīgi nepiedalās segas funkciju realizēšanā.
12. Izstrādātie *BBTM* 11A asfaltbetona sastāvi uzrāda ļoti augstus rīšu noturības rādītājus atbilstoši *WTSair* kategorijai (*WTSair* 0,09 – *WTSair* 0,17) un atbilstoši arī proporcionālā rīses dziļuma (*P*) kategorijai (4,3 – 5,1%).

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Bendtsen, H.B., Gspan, K.G., CEDR Task Group Road Noise, State of the art in managing road traffic noise: noise-reducing pavement, Conference of European Directors of Roads, 2017-01.
2. Road traffic noise exposure in Europe based on END data. Wiebe Alberts, Nico Faber and Michiel Roebben. Proceedings Internoise 2016, paper no. 542.
3. Noise reduction over a long period. Noise reducing thin layers. Status report 2010 (Støjreducerende tyndlagsbelægninger. Statusrapport 2010 (in Danish with English summary)). Bendtsen, H; Andersen, B; Oddershede, Jens. Danish Road Directorate. Report 520, 2013. See: <http://www.vd.dk>.
4. De Visscher, J.D.V., Vanelstraete, A.V., Belgian Road Research Centre (BRRC), Ravelling by traffic: Performance testing and field validation, International Journal of Pavement Research and Tehnology, 2017.
5. Schulze, C.S., Gharabaghy, C.G., Kornausbruche bei Offenporigen Asphalten – Prognoserprufung und Bewertung, ISAC, RWTH Aachen, Germany, 2008.
6. Jacoms, M.J., Gharabaghy, C.G., Schulze, C.S., Bremt, R.v.d.B., Bepaling van de rafelingseigenschappen van open asfaltmengsels met de ARTe. Paper CROW infradagen 2012, The Netherlands, 2012.
7. Root,V.R.,EntwicklungeinesPrufverfahrenszurBeurteilungdesWiderstandesvonAsphaltdeckschichten gegen Schunneanspruchungenb and der Oberflache, Scriftenreihe des Institus fur Verkehrs, Technische Universitat Darmstadt, 2008.
8. Bochove, G.B., Porous asphalt (2-layered) – Optimising and Testing, in: Proceedings of the 2nd Eurasphalt & Eurobitume Congress 2000, paper 402–100, Barcelona, 2000.
9. Hamlat, S.H., Hammoun, F.H., Hicher, P-Y H., Terrier, J-P T., Laboratory evaluation of the resistance to tangential forces of road surfacing materials, IFSTTAR BLPC n 267 2007, pp. 49-60, aprin-june 2007.
10. Durab Roads, Cost-effective durable roads by green optimized construction and maintenance, 2017.
11. Sarja, A.S., A vision of sustainable materials and structural engineering, Lund Institute of Technology, 1997.
12. Mezclas bituminosas para capas de rodadura. mezclas drenantes y discontinuas, Spain, 2015.
13. Federal Highway Administration, Pavement Life Cycle Assessment Framework, 2016.
14. Hunt, R., Franklin, W, LCA-How it Came About: Personal Reflections on the Origin and the Development of LCA in the USA, International Journal for LCA, ECOMED Publishers, Landsberg, GE retrieved on December 29, 2016.
15. Harvey, J., J. Meijer, and A. Kendall. 2014. Tech Brief: Life Cycle Assessment of Pavements. FHWA-HIF-15-001. Federal Highway Administration, Washington, DC.
16. National Lime Associoation, How to Add Hydrated Lime to Asphalt An Overview of Current Methods, 2003
17. Wilson, B., Scullion, T., Estakhri, C., Arellano, M., et al., Thin Overlay Guidelines [tiešsaiste]. ASV, 2015 [skatīts 2018.g. 23. jūnijs.]. Pieejams: <http://d2dtl5nnlpfr0r.cloudfront.net/tti.tamu.edu/documents/0-6742-P1.pdf>
18. <https://www.forconstructionpros.com/pavement-maintenance/preservation-maintenance/article/10456001/how-micromilling-is-saving-states-money-on-asphalt-road-repairs>.

19. Sustainable Pavements for European New Member States (SPENS) Document No. D8. <http://www.spens.fehrl.org>.
20. WT-2:2014 Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania techniczne. Warszawa 2014.
21. Sol-Sanchez, M., Garcia-Trave, G., Ayar, P., Moreno-Navarro, F., Rubio-Gamez, M.C., Evaluating the mechanical performance of Very Thin Asphalt Overlay (VTAO) as a sustainable rehabilitation strategy in urban pavements, In journal: *Materiales de Construccion*, Vol 67, Issue 327, Jul-Sep, 2017, Granada, Spain.
22. Optimization of Thin Asphalt Layers, Final report, 2011., ERAnet Road project, VTI, DRI, BRRC, Denmark.
23. TRB, Thin Asphalt Concrete Overlays, NCHRP Synthesis 464, Auburn, Alabama., 2014.
24. O'Flaherty, C.A., *Highways The Location, Design, Construction & Maintenance of Pavements*, Elsevier, Oxford, 2007

