

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Būvniecības fakultāte
Transportbūvju institūts

Viktors Haritonovs

**PALIEKOŠO DEFORMĀCIJU ATTĪSTĪBAS DINAMIKA
ASFALTBETONA SEGUMA MATERIĀLIEM**

Transporta un satiksmes zinātnes nozare. Sauszemes transporta un infrastruktūras
apakšnozare (P-06)

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
Dr. sc. ing., profesors
Juris-Rihards Naudžuns

Rīga 2010

UDK 625.85(043.2)
Ha 548 p

Haritonovs V. Paliekošo deformāciju attīstības dinamika asfaltbetona seguma materiāliem. Promocijas darba kopsavilkums.-R.: RTU, 2010.- 31.lpp.

Iespiests saskaņā ar 2010. gada 28. jūnija RTU Promocijas padomes P-06 lēmumu, protokols Nr.3-2010.



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā „Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai”.

**PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA
IEGŪŠANAI
RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2010. gada 5. novembrī, plkst. 14⁰⁰, Rīgā, Rīgas Tehniskās universitātes Būvniecības fakultātē, Āzenes ielā 16/20, aktu zālē.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors, Dr. habil. sc. ing. Felikss Bulavs
Rīgas Tehniskā universitāte, Būvniecības fakultāte, Būvmehānikas katedra

Asociētais profesors, Dr. sc. ing. Dzenis Mārcis
Rīgas Tehniskā universitāte, Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte, Polimēru materiālu tehnoloģijas katedra

Profesors, Dr. Donatas Čygas
Viļņas Ģedemina Tehniskā universitāte, Apkārtojuma vides inženierijas fakultāte, Ceļu katedra

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Viktors Haritonovs _____ (Paraksts)

Datums: 28. jūnijs 2010. gads

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, literatūras apskatu, eksperimentālo daļu, ārējo faktoru analīzi, rezultātu izvērtējumu, kvalitātes nodrošinājuma sistēmas koncepciju, secinājumus un literatūras sarakstu. Promocijas darba saturs izklāstīts uz 119 lappusēm. Darbs satur 56 attēlus, 24 tabulas un izmantotās literatūras sarakstu, kas ietver 136 literatūras avotus.

Zinātniskā novitāte

1. Ceļu seguma deformatīvo īpašību izpētei pie lielām transporta slodzēm izstrādāti netradicionāli asfaltbetona sastāvi – blīvais asfaltbetons AC 11 ar martena tēraudkausēšanas sārņu pildvielu un šķembu mastikas asfaltbetons SMA 16 ar modificēto bitumenu.
2. Promocijas darbā pirmo reizi starp darbiem, kas veltīti asfaltbetona seguma paliekošo deformāciju modelēšanai, sastādīts ekvivalentās standarta ass slodzes *ESAL* aprēķina vienādojums laika periodam ar maksimāli augstu ceļa seguma ekspluatācijas temperatūru. Vienādojums sastādīts, balstoties uz detalizētu, vietējiem apstākļiem raksturīgas transporta slodzes, gaisa un asfaltbetona seguma sasilšanas temperatūras izvērtējumu.
3. Piedāvāta paliekošo deformāciju prognozēšanas metodika, kas balstīta uz viskozi-elastīgu sistēmu *VESYS* aprēķinu modeli ar karstajam (pavasara-vasaras) periodam konkretizētu *ESAL* lielumu. Tā dod iespēju, ņemot vērā satiksmes slodzi, izteiktu *ESAL* vienībās, un vietējos klimatiskos apstākļus, veikt paliekošo deformāciju prognozēšanu. Rišu veidošanās prognozēšana veikta, lai varētu savlaicīgi izvēlēties konkrētajiem laika apstākļiem un transporta slodzei piemērotu un ilgmūžīgu asfaltbetona segumu.
4. Izstrādāta asfaltbetona seguma kvalitātes nodrošināšanas sistēmas koncepcija, kas apkopo visus procesus un to kvalitātes nodrošinājuma pasākumus, lai noteiktu un novērstu praksē pastāvošās kvalitātes nodrošinājuma sistēmas nepilnības.

Tēmas aktualitāte

Asfaltbetona seguma garenvirziena deformāciju (rišu) veidošanās ir būtiskākais ceļa brauktuves defekta veids. Šādi ceļa bojājumi ievērojami samazina asfaltbetona seguma kalpošanas laiku un transporta caurlaidspēju, satiksmes drošības un komforta līmeni, palielina ceļa seguma ekspluatācijas un uzturēšanas izdevumus, ierobežo pārvadājumu ātrumus un ass slodzes. Tas negatīvi ietekmē vairākas Latvijas tautsaimniecības nozares: transportu un sakarus (I), ieguves rūpniecību un karjeru izstrādi (C), būvniecību (F), mežsaimniecību (A). Šā bojājuma novēršanai nepieciešams atjaunot lielu asfaltbetona ceļa seguma posmu, kas prasa ievērojamus finansiālos ieguldījumus un šābrīža ekonomiskajā situācijā ir grūti realizējams. Tas liecina par to, ka aktuāla problēma ir prognozēt un iespēju robežās minimizēt ceļa seguma paliekošās deformācijas. Prognozei jābalstās uz esošo transporta slodzi un klimatisko apstākļu īpatnībām.

Valsts stratēģiskajā ietvardokumentā (VSID) 2007.–2013. gada periodam saskaņā ar esošās situācijas analīzi atklātas ceļu ekspluatācijas nepilnības, kā, piemēram, liels satiksmes negadījumu skaits un neapmierinošais autoceļu stāvoklis, to nolietojums, kas var novest pie konkurētspējas zaudēšanas tranzītpakalpojumu sniegšanā [1].

Promocijas darbs tika izstrādāts, ņemot vērā pašlaik spēkā esošos Latvijas ceļu būves tehniskos noteikumus „Ceļu specifikācijas 2010” un Valsts standartu (LVS) prasības. Eksperimentālā daļa tika veikta, izmantojot Latvijas apstākļiem jaunas ekspluatācijas īpašību testēšanas metodes – riteņu sliežu (rišu) veidošanās tests, aksiālo un triaksiālo cikliskās spiedes tests.

Praktiskais nozīmīgums

Izstrādāta praktiskā lietošanā ērta asfaltbetona segas deformāciju attīstības prognozēšanas metodika, kas balstīta uz Latvijas apstākļiem raksturīgu transporta slodzi un klimatiskajiem apstākļiem. Izanalizēta tradicionālo un modificēto asfaltbetona maisījumu paliekošo deformāciju attīstības dinamika. Pirmo reizi Latvijas apstākļiem raksturīgā transporta slodze izteikta ekvivalentās standarta ass slodzes (*ESAL*) vienībās. Aprobētas un rekomendētas Latvijas apstākļiem jaunas asfaltbetona ekspluatācijas īpašību testēšanas metodes. Rīgas Domes Satiksmes departamentam praktiskai izmantošanai iesniegta RTU Būvzinātnes centrā izstrādātā ceļa segas kvalitātes nodrošināšanas sistēma. Iegūtie rezultāti var tikt izmantoti ceļu būves tehnisko noteikumu „Ceļu specifikācijas 2010” pilnveidošanai.

Promocijas darba mērķis un uzdevumi

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt, izmantojot tradicionālās un netradicionālās izejvielas, asfaltbetona sastāvus un noteikt to deformāciju attīstības dinamiku, šim nolūkam lietojot izstrādāto ceļa segumu paliekošo deformāciju prognozēšanas metodiku, kas balstīta uz detalizētu ārējo faktoru izvērtējumu.

Promocijas darba uzdevumi.

1. Analizēt asfaltbetona seguma paliekošo deformāciju veidošanās mehānismu, pastāvošo prognozēšanas metodiku un galvenos deformāciju ietekmējošos (iekšējos un ārējos) faktorus.
2. Noteikt tērauda ražošanas blakusprodukta – martena tēraudkausēšanas sārņu kā pildvielas īpašības un salīdzināt tās ar tradicionālo granīta, diabaza un dolomīta pildvielu īpašībām.
3. Savstarpēji salīdzināt nemodificētās bitumena saistvielas B70/100 un stirols-butadiēns-stirols SBS polimērmodificētās saistvielas īpašības.
4. Izprojektēt un izgatavot AC un SMA asfaltbetona sastāvus, izmantojot tradicionālās un netradicionālās pildvielas, kā arī modificēto un nemodificēto bitumenu saistvielu. Salīdzināt rezultātus un izvērtēt to atbilstību tehnisko noteikumu prasībām.
5. Noteikt izprojektēto asfaltbetona maisījumu deformatīvās īpašības ar cikliskās spiedes un riteņu sliežu veidošanās testu. Novērtēt ar dažādām metodēm iegūtos rezultātus.
6. Veikt novērojumu datu – Latvijas apstākļiem raksturīgās transporta slodzes un ārējās gaisa temperatūras statistisko apstrādi un asfaltbetona seguma virsmas sasilšanas dinamikas analīzi.
7. Adaptēt ekvivalentās standarta ass slodzes (*ESAL*) aprēķina metodiku intensīvi noslogotām Latvijas ielām un ceļiem un izstrādāt *ESAL* aprēķina vienādojumu laika periodam ar maksimālo augstu seguma ekspluatācijas temperatūru.
8. Izmantojot laboratorijā iegūtos asfaltbetona sastāvu deformatīvās īpašības, *VESYS* modeli, smago transportlīdzekļu slodzi, izteiktu *ESAL* vienībās, kā arī, ņemot vērā

vietējo klimatisko apstākļu īpatnības, izpētīt izprojektēto asfaltbetona sastāvu paliekošo deformāciju uzkrāšanos.

9. Izstrādāt asfaltbetona seguma kvalitātes nodrošinājuma sistēmas koncepciju intensīvi noslogotām Latvijas ielām un ceļiem, kas dotu iespēju veikt sistemātisku vērtējumu.

Darba aprobācija un publikācijas

Promocijas darba rezultāti publicēti šādos zinātniskos izdevumos.

1. V. Haritonovs, J. Smirnovs, J. Naudžuns „Prediction of rutting formation in asphalt concrete pavement”. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering Vol. 5. Nr. 1. Vilnius, 2010.
2. V. Haritonovs, J. Smirnovs, J. Naudžuns „Study of the dynamics of permanent deformations for the AC and SMA asphalt mixtures”. RTU Zinātniskie raksti. Būvzinātne. Sērija 2. Sējums 10. Rīga, 2009.
3. V. Haritonovs, J. Smirnovs, J. Naudžuns „Investigation of the dynamics of permanent deformations for the AC 11 asphalt mixtures”. RTU Zinātniskie raksti. Būvzinātne. Sērija 2. Sējums 9. Rīga, 2008.
4. V. Haritonovs, E. Skuķis, J. Smirnovs, J. Naudžuns „Asfaltbetona paraugu mehānisko īpašību izmaiņa atkarībā no sloģošanas ātruma un temperatūras”. RTU Zinātniskie raksti. Arhitektūra un būvzinātne. Sērija 2. Sējums 8. Rīga, 2007.
5. V. Haritonovs, J. Naudžuns, J. Smirnovs. „Maršala testa piemērotība risu veidošanās dinamikas izpētei”. RTU Zinātniskie raksti. Arhitektūra un būvzinātne. Sērija 2. Sējums 7. Rīga, 2006.
6. V. Haritonovs, J. Naudžuns „Investigation of rutting formation” 26th International Baltic Road Conference proceedings 28.–30. August, 2006 Kuressaare, Estonia (Raksts konferenču tēžu krājumā).
7. V. Haritonovs, J. Naudžuns, J. Smirnovs „Bitumena saistvielas fizikālu un novecošanās īpašību analīze”. RTU Zinātniskie raksti. Arhitektūra un būvzinātne. Sērija 2. Sējums 6. Rīga, 2005.
8. V. Haritonovs, J. Naudžuns, J. Smirnovs. „Ceļa segu risu veidošanas cēloņu noteikšana”. Civil Engineering 2005. International scientific conference proceedings. Jelgava, 2005.
9. V. Haritonovs, A. Veikšāns, J. Smirnovs „Šķembu mastikas asfaltbetona ABS-16 īpašību izpēte”. RTU Zinātniskie raksti. Arhitektūra un būvzinātne. Sērija 2. Sējums 4. Rīga, 2003.

Promocijas darba rezultāti ir ziņoti šādās starptautiskās zinātniskajās konferencēs.

1. RTU 50. Starptautiskā zinātniskā konference V. Haritonovs, J. Smirnovs, J. Naudžuns “Study of the dynamics of permanent deformations for the AC and SMA asphalt mixtures” 13. oktobris, 2009. gads. Rīga.
2. 27th International Baltic Road Conference V. Haritonovs, J. Naudžuns, J. Smirnovs “Prediction of rutting formation in asphalt concrete pavement” 24.–26. August, 2009 Rīga, Latvija.

3. RTU 49. Starptautiskā zinātniskā konference V. Haritonovs, J. Smirnovs, J. Naudžuns „Paliekošu deformāciju veidošanās dinamikas izpēte asfaltbetona maisījumiem AC 11” 13. oktobris 2008. gads, Rīga.
4. RTU Jauno Tehnoloģiju un inovācijas konference V. Haritonovs. J. Naudžuns „Asfaltbetona paliekošu deformāciju veidošanās dinamikas izpēte ar trīsaksiālu cikliskās spiedes testu”. Rīga, 2008. gada 19. septembris.
5. RTU 48. Starptautiskā zinātniskā konference V. Haritonovs, E. Skuķis, J. Smirnovs, J. Naudžuns „Asfaltbetona paraugu mehānisko īpašību izmaiņa atkarībā no sloģšanas ātruma un temperatūras”. 13.oktobris 2007. gads, Rīga.
6. RTU Jauno Tehnoloģiju un inovācijas konference V. Haritonovs. J. Naudžuns „Risu testa piemērotība SMA asfaltbetona paliekošu deformāciju dinamikas izpētei”. Rīga 2007. gada 26. septembris.
7. RTU 47. Starptautiskā zinātniskā konference V. Haritonovs, J. Naudžuns, J. Smirnovs „Maršala testa piemērotība risu veidošanās prognozēšanas izpētei asfaltbetona segās”. 9. – 13. oktobris 2006. gads, Rīga.
8. 26th International Baltic Road Conference V. Haritonovs, J. Naudžuns “Investigation of pavement rutting formation”. 28. – 30. August, 2006 Kuressaare, Estonia.
9. RTU 46. Starptautiskā zinātniskā konference V. Haritonovs, J. Naudžuns, J. Smirnovs “Bitumena saistvielas fizikālo un novecošanās īpašību analīze” 13.–15. oktobris 2005. gads, Rīga
10. International scientific conference of Civil Engineering 2005. V. Haritonovs, J. Naudžuns, J. Smirnovs „Determining the reasons for formation of pavement rutting”. 26. – 27. May, Jelgava, 2005.
11. RTU 45. Starptautiskā zinātniskā konference J. Naudžuns, J. Smirnovs, V. Haritonovs „Asfaltbetona segu deformāciju pētījumi”. 14. – 16. oktobris 2004. gads, Rīga.

Praktiskā realizācija

1. Rīgas ielu, transportbūvju un satiksmes vadības attīstības koncepcija 2008. – 2018. gads, sadaļa 2.5, Rīga, 2007. gads. Pasūtītājs: Rīgas Dome, Satiksmes departaments.

DARBA SATURS

IEVADS

Ievaddaļā ir raksturots pētāmais objekts – asfaltbetons no ķīmiskā, fizikālā un mehāniskā aspekta. Aprakstīts esošais stāvoklis ceļa un transporta nozarē Latvijā un pamatota problēmas aktualitāte, trūkumu novēršanas nepieciešamība un ekonomiskais efekts. Formulēts darba mērķis un uzdevumi.

Pētījuma objekts

Asfaltbetons ir tipisks kompozītmateriāls, ko veido divi pēc izcelsmes pilnīgi atšķirīgi galvenie komponenti – bitumens (organiskā saistviela) un akmensmateriāls (minerālā pildviela). Bitumens, kas ir asfaltbetona saistviela, satur vismaz četrus galvenos komponentus, kuri ir organiskas izcelsmes un kuru molekulmasa, gaistamība, struktūra u. c. īpašības aptver plašu diapazonu. Pildvielas tāpat veido vairāki ķīmiskie savienojumi, bet jau neorganiskas izcelsmes. Asfaltbetons spēj pildīt paredzētās funkcijas tikai tad, ja starp to veidojošajiem komponentiem pastāv pietiekami stipra adhezīvā saite, kas ir atkarīga no komponentu īpašībām, izgatavošanas un ieklāšanas tehnoloģijas [2]. Profesors I. Ļeonovičs raksturo asfaltbetona struktūru kā daudzkomponentu konglomerātu sistēmu, kurā minerālā daļa atrodas bitumena saistvielas vidē, veidojot vienotu monolītu [3].

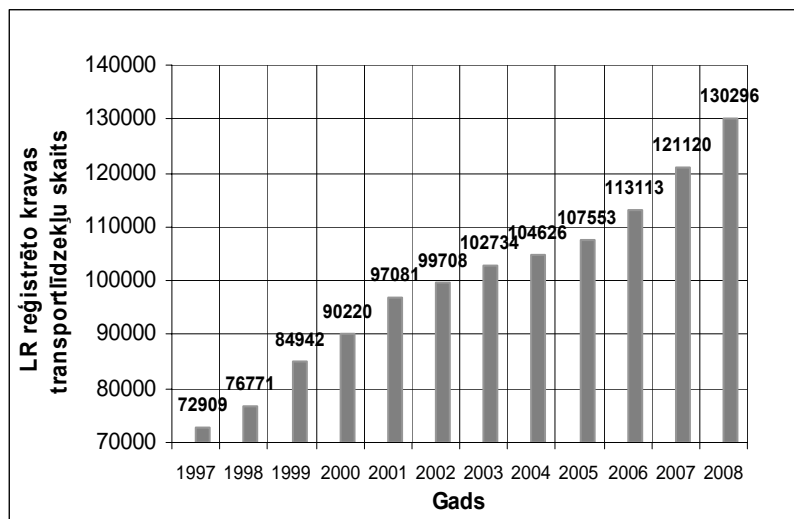
Asfaltbetona seguma fizikālās īpašības raksturo trīs tilpuma pamatkomponenti – bitumens, minerālmateriāls un gaisa poras. Asfaltbetona seguma mehāniskās īpašības ir atkarīgas no šo pamatkomponentu īpašībām, daudzuma un proporcijas. Pamatkomponentu daudzumu un proporciju sablīvētā asfaltbetona segumā raksturo šādi tilpuma parametri: gaisa poras (V_a), minerālā karkasa porainība (VMA) un ar bitumenu aizpildīto poru saturs (VFB).

Esošais stāvoklis ceļa un transporta nozarē Latvijā

Latvijā pēdējos deviņpadsmit gados notikušas būtiskas pārmaiņas ceļu un transporta nozarē. Pārejot no agrāk lietotajiem GOST standartiem uz *FAS (Finnish Asphalt Specification)* metodiku un no 2004. gada – uz Eiropas normatīviem (EN), izmainījušās kvalitātes nodrošinājuma prasības. Mainoties tehniskajai dokumentācijai, mainījušies arī asfaltbetona maisījumu sastāvi. Asfaltbetona maisījumu A, B, B, Γ un Д vietā, kas projektēti saskaņā ar GOST metodēm [5], asfaltbetona seguma dilumkārtas izbūvei sākti izmantot SMA un AC maisījumi, kas līdz 2004. gadam projektēti saskaņā ar „Ceļš 94” un no 2004. gada – saskaņā ar „Autoceļu specifikācijas 2005” prasībām [6–7]. Latvijas apstākļiem jaunie sastāvi ir vairāk nekā 40 gadus ilgstošs pasaules vadošo pētnieku pētījumu objekts. Jaunajiem asfaltbetona maisījumu tipiem atšķirībā no parastajiem jeb tradicionālajiem sastāviem ir specifiskas prasības. Tiem nepieciešama jauna pieeja sastāvu projektēšanā, ražošanā un izgatavošanā. Izmantojot šobrīd ražotajiem pieejamās tehnoloģijas, izejvielas un praktiskās iemaņas, Latvijā izgatavotie un ieklātie SMA un AC asfaltbetona maisījumu sastāvi uzrāda neapmierinošas deformatīvās īpašības, turklāt satiksmes intensitāte ar katru gadu arvien palielinās (sk. 1. att.).

Attīstoties pasaulē ceļu būvmateriālu industrijai, pieaug arī prasības izejmateriālu un asfaltbetona kvalitātei. Plašāks kļuvis asfaltbetona izejvielu modifikatoru un stiegrojošo materiālu klāsts. Jāatzīmē, ka pēdējos gados, ievērojami

pieauguši ceļu būvdarbu apjomi un izmaksas. Tomēr asfaltbetona un bitumena saistvielas modifikatori nav guvuši plašu lietojumu, jo pēdējo gadu aktuālajās tehniskajās prasībās nebija iekļauti tādi asfaltbetona ekspluatācijas īpašību mehāniskie radītāji kā, piemēram, paliekošo deformāciju veidošanās ātrums, nogurums un stingums. Tā rezultātā Latvijā projektētie un izgatavotie asfaltbetoni ar zemu deformatīvo noturību zem smagās transporta slodzes gan apmierināja tehnisko specifikāciju prasības, tomēr sekas ir tādas, ka vairāk nekā pusei pēdējos gados rekonstruētajām un intensīvi slogotajām ielām un ceļiem ir novērojamas asfaltbetona segas garenvirziena deformācijas riteņu sliežu vietās jeb rīses.



1. att. Latvijā reģistrēto kravas transportlīdzekļu skaits [8–9]

LITERATŪRAS APSKATS

Otrā nodaļa veltīta literatūras apskatam, kas satur jauno un jau zināmo (klasisko) ceļa segumu slāņu spriegumu un deformāciju modelēšanas metožu, kā arī to priekšrocību un trūkumu aprakstu. Analizēta ceļa segas paliekošo deformāciju veidošanās mehānika: aprakstīts spriegoti deformēts asfaltbetona seguma stāvoklis zem statiskās un kustīgo riteņu slodzes, spriegumu sadalījums vienslāņa un vairākslāņu sistēmās, paliekošo deformāciju veidošanās mehānisms. Aprakstītas un salīdzinātas asfaltbetona maisījumu projektēšanas metodes.

Paliekošās deformācijas uz ceļa vai ielas ir automobiļu akvaplanēšanas galvenais cēlonis. Saskaņā ar vairāku zinātnieku pētījumiem rīses, kuru dziļums ≥ 13 mm, kļūst bīstamas, ja braukšanas ātrums ir lielāks par 80 km/h [10]. Šā ceļa seguma konstrukcijas bojājuma veida minimizēšana dod iespēju būtiski uzlabot satiksmes drošību un ērtību. Tāpēc, lai laicīgi prognozētu un veiktu ceļa infrastruktūras remontdarbus, nepieciešams veikt paliekošo deformāciju aprēķinu metodoloģijas izstrādi (balstoties uz iepriekšējo pētījumu modeļiem un rezultātiem). Asfaltbetona paliekošās deformācijas izskaidro un apraksta vairākas teorijas un metodoloģijas. Galvenās no tām ir šādas:

- lineārā un nelineārā elastības teorija [11];
- viskozi-elastīgā metodoloģija (reoloģiskie modeļi) [12];
- viskozi-elastīgi-plastiskā metodoloģija [13];
- mikromehāniskā metodoloģija [14–15];

- laboratorisko pētījumu rezultātu funkcionālās sakarības [16–18].

Asfaltbetona izturēšanās prognozēšanu sarežģī daudzie faktori, kas ietekmē tā īpašības. Galvenie no tiem – mainīgā slodze un tās svārstību frekvence, kā arī īpašību krasā atkarība no temperatūras un slodzes rakstura [19]. Mehāniskā modeļa izstrādāšana asfaltbetona segumam, izvērtējot visus tā mehāniskās īpašības ietekmējošos faktorus, ir ļoti sarežģīta. Pastāv iespēja vai nu samazināt lielo ietekmējošo faktoru skaitu, atstājot dažus svarīgākos, vai veikt laikietilpīgus testus pārējo parametru noteikšanai un apkopot tos vienā modelī. Lielākais metodes trūkums ir iekārtu un eksperimentālā darba ievērojamās izmaksas. Visperspektīvākās metodes ir balstītas uz sakarību „transporta slogošanas ciklu skaits – deformācija”, kur ciklu skaits izteikts kā ekvivalentā vienas ass slodze (*ESAL*). Lai maksimāli tuvotos reālajiem ekspluatācijas apstākļiem, funkciju vienādojumu analīzei jābalstās uz ekspluatācijas īpašību testos iegūtiem parametriem. Tas nozīmē, ka laboratorijas apstākļos jānodrošina paraugu izgatavošana un slogošana, tuvināta reālajam ceļa vai ielas segas slogojumam. RTU Būvzinātnes centrs, piedaloties vairāku pētījumu programmās, ir piesaistījis līdzekļus ekspluatācijas īpašību testēšanas iekārtu iegādei, tādā veidā nodrošinot iespēju laboratorijas apstākļos veikt asfaltbetona paliekošo deformāciju attīstības dinamikas pētījumus.

Apkopojot informāciju par asfaltbetona ceļa seguma paliekošajām deformācijām no izejmateriālu izvēles līdz seguma ekspluatācijai, konstatēts, ka joprojām nav vienotas pieejas paliekošo deformāciju attīstības dinamikas izpētes jautājumos (ārējo faktoru detalizēts izvērtējums, prognozēšanas modeļi, testēšanas metodes), nav izstrādātas praktiskai lietošanai ērtas ceļa seguma kvalitātes nodrošinājuma sistēmas un metodes.

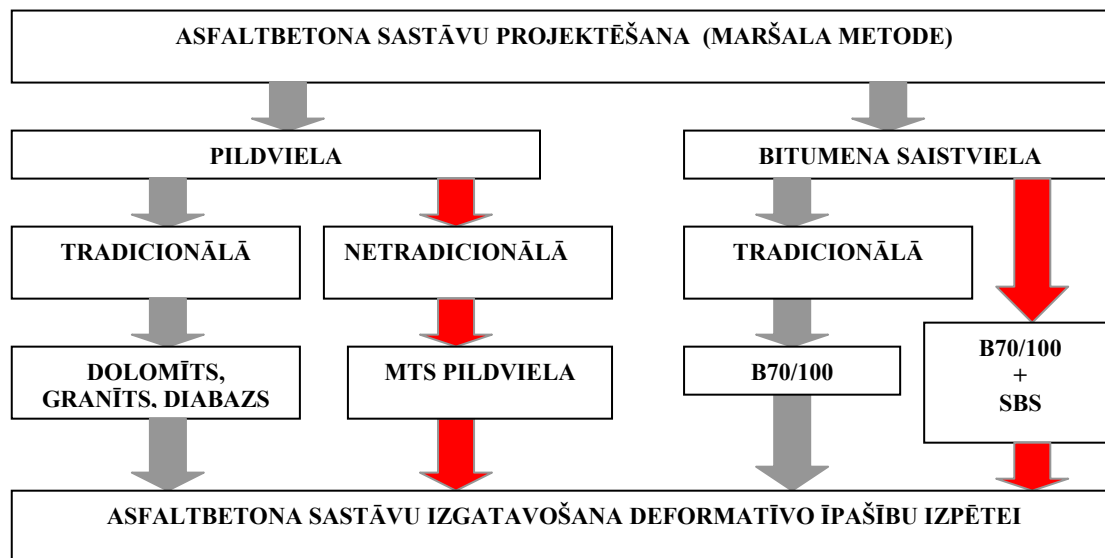
Joprojām nav veikti tradicionālo un netradicionālo sastāvu ar martenkrāsns tēraudkausēšanas sārņu (MTS) pildvielu praktiskie deformatīvo īpašību salīdzināšanas eksperimenti, lai šos atkritumus lietderīgi izmantotu – šobrīd ražošanas nozarēs Latvijā un Eiropā veidojas lieli MTS atkritumu krājumi (patlaban to kopējie pieejamie krājumi akciju sabiedrībā „Liepājas metalurģis” ir aptuveni 5 miljoni m³).

Balstoties uz šo analīzi, noteikti galvenie pētījumu virzieni un parametri, kuriem ir būtiska ietekme uz paliekošo deformāciju veidošanos asfaltbetona ceļa segumā:

- asfaltbetona seguma sasilšanas temperatūras izpēte;
- transporta slodzes izpēte un *ESAL* mērvienības ieviešana paliekošo deformāciju pētījumos;
- *ESAL* aprēķina vienādojuma izstrāde periodam ar augstu seguma ekspluatācijas temperatūru;
- paliekošo deformāciju attīstības prognozēšana, izmantojot ekspluatācijas īpašību testēšanas metodes – riteņu sliežu un cikliskās spiedes testus;
- pētījumu objektu – tradicionālo un netradicionālo asfaltbetona sastāvu izstrāde un to īpašību salīdzināšana;
- kvalitātes nodrošināšanas sistēmas koncepcijas izstrāde.

ASFALTBETONA SASTĀVU PROJEKTĒŠANA, TO FIZIKĀLĀS UN MEHĀNISKĀS ĪPAŠĪBAS

Trešā nodaļa satur promocijas darbā lietoto testēšanas metožu aprakstu. Salīdzinātas eksperimentālo paraugu un to izejvielu īpašības. Aprakstīta asfaltbetona sastāvu projektēšanas metodika. Promocijas darbā problēmas risinājums ietver netradicionālās pildvielas un modificētās saistvielas izmantošanu noturīgu pret plastiskajām deformācijām asfaltbetona sastāvu izstrādei (sk. 2. att.).

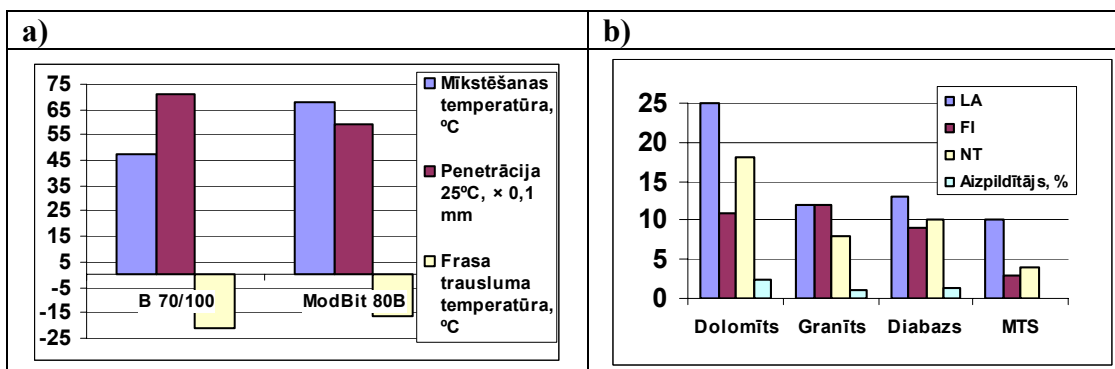


2. att. Izejmateriālu izvēle:
=> – tradicionālā izejviela; => – netradicionālā izejviela

Asfaltbetona izejmateriālu izvēle

Asfaltbetona sastāvu izgatavošana veikta, izmantojot tradicionālo (B70/100) un netradicionālo SBS polimērmodificēto bitumena (PMB) saistvielu. Praktiskā pieredze Latvijā rāda, ka asfaltbetona maisījumi ar bitumenu B70/100 uzrāda neapmierinošas deformatīvās īpašības, pat ja tās atbilst vietējo tehnisko noteikumu – „Ceļu specifikācijas 2010” (CS 2010) prasībām. Šajā nolūkā veikta bitumena saistvielu B70/100 un PMB īpašību izpēte. Salīdzinot iegūtos rezultātus, konstatēts, ka PMB saistvielai ir zemāka adatas penetrācija (+25 °C temperatūrā), augstāka mīkstēšanas temperatūra un augstāka trausluma temperatūra (sk. 3.a att.).

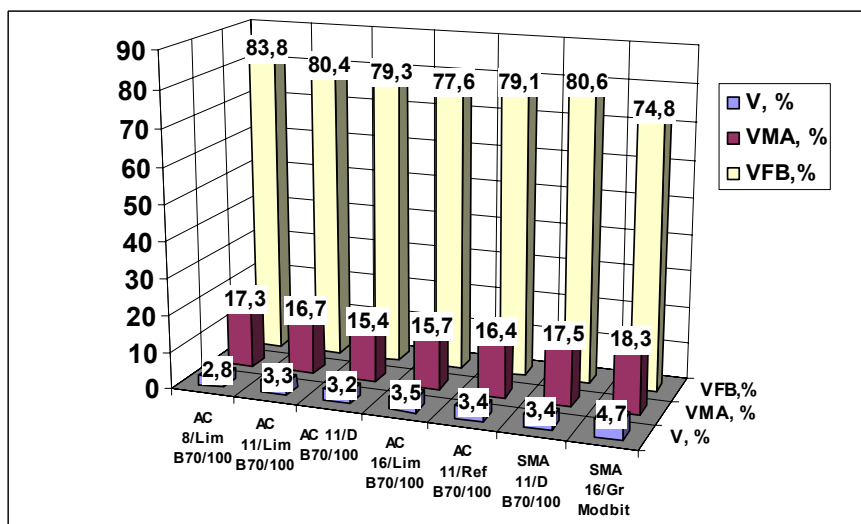
Asfaltbetona pildvielas izvēlētas tā, lai tajās būtu iekļauti galvenie asfaltbetona ražošanai izmantotie dabiskie akmensmateriāli – dolomīts, granīts un diabazs (tradicionālās pildvielas). Veikta tradicionālo pildvielu un martena tēraudkausēšanas sārņu (MTS) pildvielas īpašību izpēte un izvērtēta to atbilstība CS 2010 prasībām. Salīdzinot iegūtos rezultātus, konstatēts, ka MTS pildvielai ir zemāka drupināmība (LA=10 un NT=4), labāka forma (FI=3) un zems aizpildītāja saturs (< 0,063 mm = 0,1%; 3.b att.). Iegūtie rezultāti dod iespēju izvirzīt hipotēzi, ka, izmantojot MTS pildvielu asfaltbetona ražošanā, tiks iegūts pret lielām slodzēm izturīgs materiāls ar lielu minerālā karkasa iekšējo berzes leņķi, kā arī nodrošināta teicama automobiļu riepu saķere ar ceļa segumu.



3. att. Bitumena saistvielu (a) un pildvielu īpašību salīdzinājums (b)

Asfaltbetona sastāvu projektēšana

Saskaņā ar Maršala metodi, izmantojot tradicionālos un netradicionālos izejmateriālus, izprojektēti SMA un AC sastāvi. Kopā tika izgatavoti septiņi asfaltbetona sastāvi, no kuriem diviem ir netradicionālās izejvielas – AC 11/Ref asfaltbetona maisījums ar MTS pildvielu un bitumenu B70/100 un SMA 16/Mod ar granīta pildvielu un PMB saistvielu (sk. 1. tab.). Asfaltbetona sastāviem tika veikta fizikālo īpašību (sablīvējuma) analīze, ko raksturo trīs tilpuma parametri – porainība (V), minerālā karkasa porainība (VMA) un ar bitumenu aizpildīto poru saturs (VFB) (sk. 4. att.). Veikta saistvielas satura optimizācija un izvērtēta sastāvu atbilstība CS 2010 prasībām. Analizējot izprojektēto paraugu īpašības, konstatēts, ka tilpuma parametri testa paraugiem AC apmierina CS 2010 prasības. Ir svarīgi atzīmēt, ka testa paraugs SMA 16/Modbit optimāla saistvielas satura gadījumā uzrāda 4,7% lielu porainību, kas pārsniedz tehniskajos noteikumos reglamentēto augšējo robežu – 3,5%.



4. att. Asfaltbetona sastāvu fizikālās īpašības

Asfaltbetona AC un SMA sastāvi

Asfaltbetona maisījuma tips	Pildvielas frakcija d–D (mm), masas %							Bitumens	
	11–16	5–11	8–11	5–8	2–5	0–5	Dolomīta milti	B70/100	ModBit
AC 11/Lim ³⁾	–	37,7	–	–	11,3	37,7 ¹⁾	7,6	5,7	–
AC 11/D ⁵⁾	–	–	21,9	7,6	1,9	60,2	3,8	4,6	–
AC 11/Ref ⁶⁾	14,0	29,8	–	–	–	42,9	6,5	6,8	–
AC 16/Lim	20,9	29,5	–	–	1,0	37,1 ²⁾	6,6	4,9	–
AC 8/Lim	–	–	–	27,2	15,0	42,2 ¹⁾	9,4	6,1	–
SMA 16/Mod	39,9	–	28,3	9,5	–	14,1	7,3	–	5,9
SMA 11/D	–	–	51,7	17,9	0,9	15,1	8,5	5,5	–

¹⁾ Dabiskā mazgātā smiltis

²⁾ Drupinātā smiltis

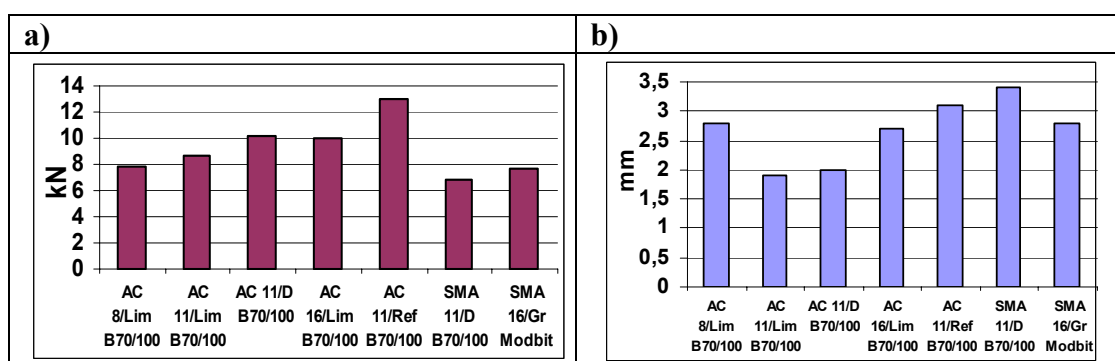
³⁾ Lim – dolomīts

⁴⁾ Gr – granīts

⁵⁾ D – diabazs

⁶⁾ Martenkrāsns sārņi

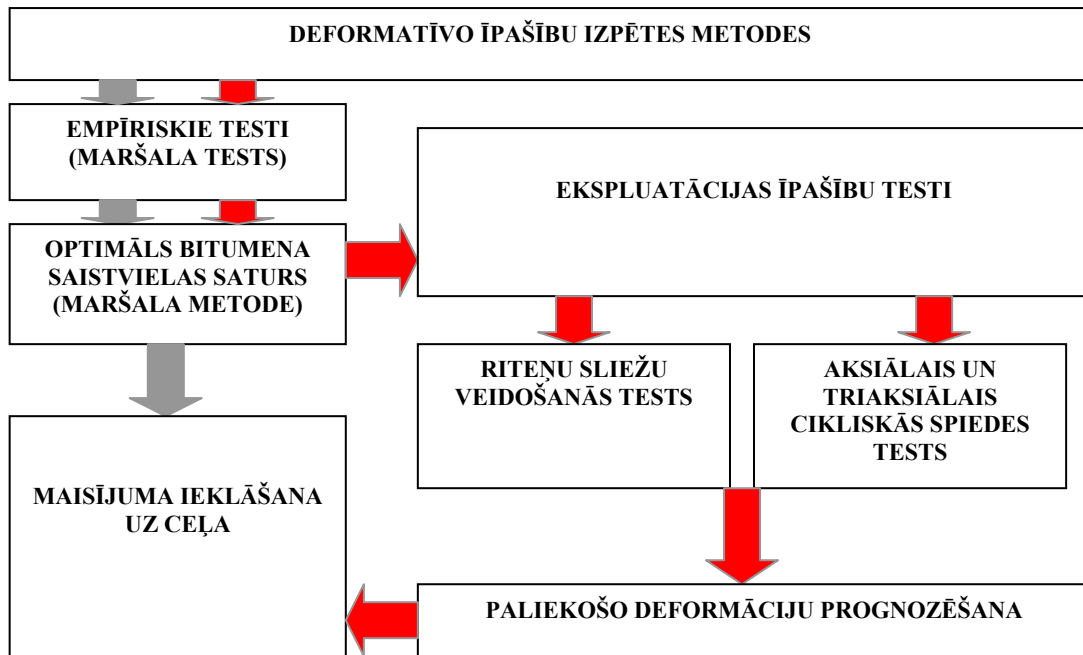
5. attēlā apkopotas testa paraugu mehāniskās īpašības: parauga spiedes stiprība zem statiskā slogojuma 60 °C temperatūrā (Maršala stabilitāte) un pārvietojums sabrukšanas brīdī (Maršala plūstamība) pie paraugu sablīvējumiem ar optimālu bitumena saistvielas saturu (sk. 1. tab.). Maršala paraugu ir cilindri ar augstumu $63,5 \pm 2,5$ mm un diametru 101,7 mm. Salīdzinot iegūtos rezultātus, konstatēts, ka paraugam AC 11/Ref salīdzinājumā ar pārējiem materiāliem ir ievērojami lielāka Maršala stabilitāte – 13 kN. Jāatzīmē, ka visu testa paraugu mehāniskās īpašības atbilst CS 2010 prasībām.



5. att. Asfaltbetona sastāvu mehāniskās īpašības: Maršala stabilitāte (a) un Maršala plūstamība (b)

Deformatīvo īpašību pētīšanas metodoloģija

Asfaltbetona paraugu deformatīvo īpašību pētīšanas metodes izvēlētas tā, lai sasniegtu un atrisinātu darbā izvirzītos mērķus un uzdevumus – noteikt un salīdzināt izgatavoto asfaltbetona sastāvu deformatīvās īpašības ar metodēm, kuras nodrošina paraugu izgatavošanu, testēšanas vidi un slogošanu, maksimāli tuvinātu reālajiem ceļa seguma ekspluatācijas apstākļiem (ekspluatācijas īpašību testēšanas metodes sk. 6. att.).



6. att. Darbā lietotā paliekošo deformāciju izpētes metodika:

=> – neizvērtējot ekspluatācijas īpašības; => – izvērtējot ekspluatācijas īpašības

Eksperimentiem tika izmantotas šādas ekspluatācijas īpašību pētīšanas metodes: riteņu sliežu veidošanās tests (*WTT*), aksiālais cikliskās spiedes (*UCCT*) un triaksiālais cikliskās spiedes (*TCCT*) tests (sk. 7.a un 7.b att.). *WTT* metode nosaka riteņa iespiešanās dziļumu un paliekošo deformāciju veidošanās ātrumu zem 700 N lielas kustīgā riteņa slodzes ar ātrumu 26,5 cikli minūtē. Testēšanu veic termokamerā, 60 °C temperatūrā. Asfaltbetona deformatīvās īpašības noteiktas taisnstūrveida paraugiem ar pamatnes laukumu 305×305 mm. Testējamā parauga biezums atbilst ceļa seguma virskārtas biezumam – 40 mm (sk. 8.b att.). *UCCT* un *TCCT* testi nosaka asfaltbetona cilindrisko paraugu paliekošās deformācijas un deformācijas ātrumu pie cikliskā slogojuma, pieliekot paraugam vairākus tūkstošus slogojuma ciklu. Triaksiālā slogojuma gadījumā paraugam ir pielikta horizontālā sānslodze. Tā ierobežo parauga sānu deformāciju un salīdzinājumā ar aksiālo slogojumu triaksiālais ir daudz tuvāks reālajiem ceļa seguma ekspluatācijas apstākļiem. Stinguma modulis noteikts cilindriskiem paraugiem (h=40 mm, Ø≈100 mm; sk. 8.c att.), izurbtiem no asfaltbetona plātnēm, izmantojot netiešās stiepes slogošanas sistēmu (sk. 7.c att.). Stinguma modulis, izmantojot netiešās stiepes slogošanas sistēmu (sk. 7.c att.), noteikts cilindriskiem paraugiem (h=40 mm, Ø≈100 mm; sk. 8.c att.), kas izurbti no asfaltbetona plātnēm.

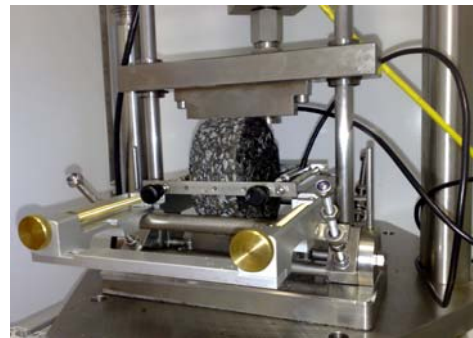
a)



b)

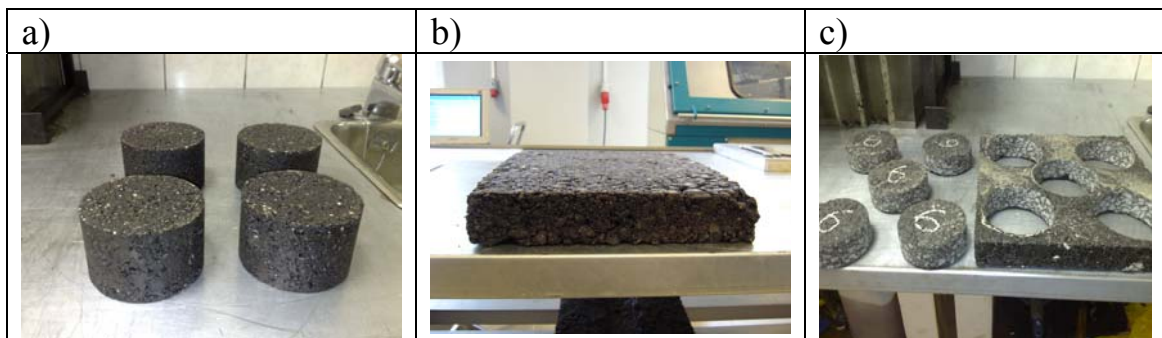


c)



7. att. Eksploatācijas īpašību testi:

a) aksiālais un triaksiālais cikliskās spiedes tests; b) riteņu sliežu veidošanās tests;
c) netiešās stiepes tests



8. att. Asfaltbetona paraugi:

a) Maršala paraugi; b) asfaltbetona plātne; c) no asfalta plātnēm izgriezti cilindriskie paraugi

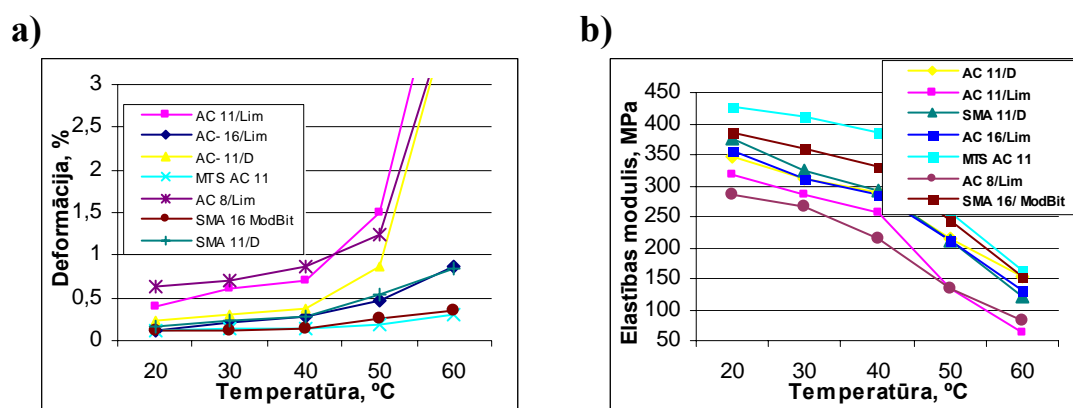
PALIEKOŠO DEFORMĀCIJU CĒLOŅI UN TO NOVĒRTĒŠANAS METODIKA

Ceturtajā nodaļā ir analizēti asfaltbetona paliekošo deformāciju veidošanās ārējie faktori – temperatūra un transporta slodze. Šo faktoru – transporta slodzes un seguma temperatūras noteikta sakritība noved pie paātrinātas paliekošo deformāciju veidošanās asfaltbetona segumā. Asfaltbetona seguma faktiskā temperatūra mainās atkarībā no gaisa temperatūras, kas savukārt ir atkarīga no gadalaika, diennakts

stundas un vietējo klimatisko apstākļu īpatnībām. Promocijas darbā veikta novērojumu datu – Latvijas apstākļiem raksturīgās transporta slodzes un ārējās gaisa temperatūras statistiskā apstrāde. Eksperimentāli pie augstām asfaltbetona seguma ekspluatācijas temperatūrām noteikti asfaltbetona paraugu stinguma moduļi un plastiskās deformācijas. Aprēķināta asfaltbetona seguma sasilšanas temperatūra un ekvivalentā standarta ass slodze (*ESAL*) karstajam (pavasara-vasaras) periodam Latvijā – ar smago satiksmi noslogotajā Rīgas apvedceļā A4.

Temperatūras ietekmes izvērtējums

Balstoties uz asfaltbetona paraugu deformatīvo īpašību izpēti, noteikta temperatūra, kuru sasniedzot, asfaltbetona segumam strauji pieaug plastiskā deformācija (samazinās stinguma modulis). Šim mērķim tika veikta testa paraugu elastīgās un plastiskās deformācijas noteikšana pie dažādās temperatūras – no +20 °C līdz +60 °C. Kā liecina iegūtie rezultāti, temperatūrā, augstākā par + 40 °C, vērojama strauja elastības moduļa samazināšanās un plastiskās deformācijas pieaugums (sk. 9. att.). Asfaltbetona paraugi ar netradicionālajām izejvielām – SMA 16 ar polimērmodificēto bitumenu ModBit 80B un AC 11 ar martenkrāsns tēraudkausēšanas sārņiem (MTS) – pie izvēlētajām testēšanas temperatūrām uzrāda lielāku stingumu salīdzinājumā ar tradicionālajiem sastāviem. Starp tradicionālajiem nemodificētajiem asfaltbetona sastāviem labākās deformatīvās īpašības uzrādīja AC 16 ar dolomīta un SMA 11 ar diabaza pildvielām.



9. att. Asfaltbetona plastiskās (a) un elastīgās (b) deformācijas pie dažādām temperatūrām

Izmantojot profesora Kiriukina empīrisko sakarību, kura ir piemērota Latvijas klimatiskajiem apstākļiem – temperatūras diapazonam no -35°C - -40 °C (1) [20], un gaisa temperatūras datus par 2001.–2008. gadu, iegūtus Latvijas Vides ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūrā [21], noteikts dienu skaits gadā, kad asfaltbetona seguma virsmas temperatūra pārsniedz +40 °C (sk. 2. tab.):

$$T_v = -0,0306 \cdot T_{\max}^2 + 3,8071 \cdot T_{\max} - 39, \quad (1)$$

kur T_v – asfaltbetona seguma virsmas temperatūra, °C;

T_{\max} – maksimālā gaisa temperatūra izvēlētajā reģionā, °C.

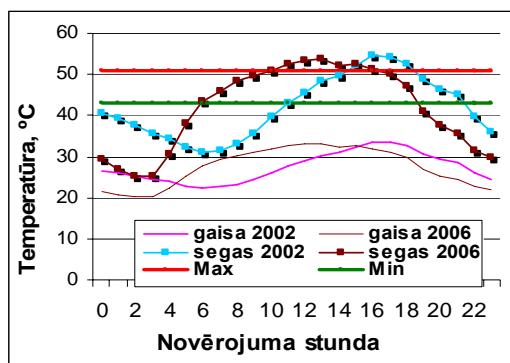
2. tabula

Dienu skaits gadā ar seguma temperatūru virs +40 °C

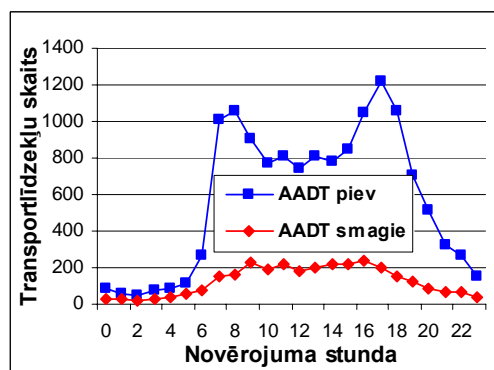
Mēnesis	Dienu skaits gadā ar asfaltbetona seguma temperatūru > 40 °C							
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Aprīlis	1	–	–	–	–	–	–	Nav datu
Maijs	4	9	5	4	5	1	6	Nav datu
Jūnijs	5	10	4	4	7	11	10	Nav datu
Jūlijs	20	19	23	11	23	23	4	Nav datu
Augusts	8	31	11	16	12	14	11	Nav datu
Septembris	–	6	2	–	4	1	–	Nav datu
Kopā	37	75	45	35	51	50	31	Nav datu

Saskaņā ar Latvijas klimatiskajiem apstākļiem atbilstošās gaisa temperatūras datu un seguma sasilšanas temperatūras analīzi konstatēts, ka asfaltbetona seguma plastiskā deformācija var veidoties laika periodā no aprīļa līdz septembrim no pulksten 7.00 līdz 21.00 (sk. 10.a att.). Satiksmes intensitāte (AADT) šajā laika posmā ir maksimālā (sk. 10.b att.).

a)



b)



10. att. Ārējo faktoru izmaiņas dinamika:

a) asfaltbetona seguma temperatūra; b) satiksmes intensitāte

Transporta slodzes

Transporta ass slodze, intensitāte un kustības ātrums ir otrs svarīgākais ārējais paliekošās deformācijas ietekmējošais faktors. Lai prognozētu paliekošo deformāciju veidošanas ātrumu, tika veikts detalizēts transporta slodzes un intensitātes izvērtējums.

Ceļa seguma nestspējas aprēķinam ir izstrādāta ekvivalentās vienas ass slodzes (ESAL) koncepcija, kad ceļa seguma bojājumus atkarībā no ass slodzes var izteikt ar ESAL lielumu [22]. Pieļaujamās ass slodzes dažādās valstīs ir atšķirīgas: ASV – 8,2 tonnas virs dubulto riteņu pāra, bet Francijā, Spānijā un Beļģijā – 13 tonnas [23–24]. Pieļaujamā ass slodze Latvijā ir 11,5 tonnas. Tā kā ceļa segums ir pakļauts dažāda

lieluma transporta slodzēm ar dažādu asu tipu konfigurāciju, jebkura lieluma ass slodzes ietekmes efekta (ekvivalenta 11,5 t smagai asij) novērtēšanai, lietojot „ceturtās pakāpes likumu” (2), tika ieviests un aprēķināts slodzes ekvivalences faktors ($EALF$) [22]:

$$EALF = \left(\frac{AL_i}{AL_j} \right)^4, \quad (2)$$

kur AL_i un AL_j ir ass slodze tonnās i-tajam un j-tajam transportlīdzeklim.

Konstatēts, ka šobrīd Latvijā plaši izmantotā satiksmes intensitātes mērvienība – gada vidējā diennakts satiksmes intensitāte ($AADT$) ir ļoti vispārīga un nedod iespēju precīzi izvērtēt ass slodzes. Asfaltbetona seguma paliekošo deformāciju attīstības dinamikas izpētei darbā katrai smago transportlīdzekļu svara kategorijai tika prognozēts asu (ekvivalentu 11,5 t asij) slogošanas ciklu skaits ceļa segas projektētajā (kalpošanas) periodā. Latvijas apstākļiem raksturīgo transporta slodzi piedāvāts izteikt $ESAL$ mērvienībās, izmantojot sakarību:

$$ESAL = f_i \cdot G \cdot AADT \cdot 365 \cdot N_i \cdot EALF_i, \quad (3)$$

kur $ESAL$ – ekvivalentā vienas standarta ass slodze (mērvienība: transportlīdzekļu asu, ekvivalentu 11,5 t ass slodzei, slogošanas ciklu skaits ceļa segas kalpošanas periodā);

f_i – joslu skaita ietekmes koeficients;

G – satiksmes intensitātes pieauguma koeficients;

$AADT$ – vidējā diennakts satiksmes intensitāte pirmajā asfaltbetona seguma ekspluatācijas gadā;

N_i – asu skaits i-tajam transportlīdzekļa tipam;

$EALF_i$ – slodzes ekvivalences faktors i-tajam transportlīdzekļa tipam.

Satiksmes intensitātes un slodzes dati tika iegūti no satiksmes uzskaites stacijas (SUS), kas atrodas uz Rīgas apvedceļa A4 (Baltezers – Saulkalne). Tā kā Latvijas mainīgo laika apstākļu un neprognozējamās ekonomiskās situācijas dēļ ārējie paliekošās deformācijas izraisošie faktori var būtiski atšķirties no pēdējos gados novērotajiem, tika ieviesti daži uz šiem novērojumiem balstīti pieņēmumi:

- vidējais ikgadējais satiksmes pieaugums – 2%;
- asfaltbetona seguma kalpošanas laiks saskaņā ar projektu – 20 gadi;
- dienu skaits gadā ar augstu asfaltbetona segas kalpošanas temperatūru – 2%;
- rišu veidošanās notiek laika periodā no aprīļa līdz septembrim no pulksten 7.00 līdz 21.00, kad asfaltbetona seguma temperatūra var sasniegt kritisko ekspluatācijas temperatūru – +40 °C un lielāku;
- periodā no aprīļa līdz septembrim $ESAL$ vērtība ir 55% no gada vērtības, savukārt no pulksten 7.00 līdz 21.00 ir 85% no diennakts vērtības.

Pieņemot ikgadējo satiksmes pieaugumu (2%), projektēto seguma kalpošanas laiku (20 gadi) tika aprēķināts satiksmes pieauguma koeficients (20 gados):

$$G = \left[(1 + r)^n - 1 \right] / r = 24,30, \quad (4)$$

kur G – satiksmes pieauguma koeficients;

$r = \frac{i}{100}$ – vidējais ikgadējais satiksmes pieauguma faktors;

i – satiksmes pieaugums gadā – 2%;

n – projektētais seguma kalpošanas laiks gados.

ESAL aprēķinam transportlīdzekļi uz Rīgas apvedceļa A4 tika sadalīti ar stundas intervālu, izejot no automobiļa svara kategorijas un asu skaita. Transportlīdzekļu sadalījuma datu analīze rāda, ka uz A4 apvedceļa ir 74% procenti divasu vieglās automašīnas, 4% divasu smagās, 1% sešasu un trīsasu smagās, 4% četrasu smagās un 16% piecasu smagās kravas automašīnas.

Izmantojot iepriekš noteiktos parametrus – *AADT*, *EALF*, *G* un divvirzienu joslu skaita koeficientu $f_i = 0,5$, tika aprēķināts kopējais *ESAL* katrai automobiļu svara kategorijai (sk. 3.tab.).

3. tabula

ESAL un tās aprēķina parametri

Automobiļu asu skaits	Joslu skaita koeficients, f_i	Pieaugums, G	<i>AADT</i> (skaits)	<i>EALF</i> , f	Grupas <i>ESAL</i> × 10 ⁻⁶	Kopējā <i>ESAL</i> × 10 ⁻⁶
2 asis	0,5	24,3	10 000	0,007	0,2	16,7
3 asis				1,05	0,46	
4 asis				1,50	2,7	
5 asis				1,76	12,5	
6 asis				1,82	0,8	

Turpmākajiem aprēķiniem *ESAL* lielums jānosaka laika periodam, kad notiek rišu veidošanās – karstajos pavasara-vasaras mēnešos ar augstu asfaltbetona seguma temperatūru. Saskaņā ar iepriekš ieviestajiem pieņēmumiem tika izveidota *ESAL* aprēķinu sakarība periodam ar augstu asfaltbetona seguma kalpošanas temperatūru:

$$ESAL_0^{hp} = ESAL_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 = 6452 \quad (5)$$

un
$$ESAL_0 = \sum ESAL_i / G = 0,69 \times 10^6, \quad (6)$$

kur $ESAL_0^{hp}$ – ekvivalentā standarta ass slodze periodā ar augstu segas ekspluatācijas temperatūru;

$ESAL_0$ – ekvivalentā standarta ass slodze pirmajā asfaltbetona seguma ekspluatācijas gadā;

a_1 , a_2 – parametrs, kas ievērtē gadalaiku un dienu skaitu gadā ar augstu seguma ekspluatācijas temperatūru;

a_3 – parametrs, kas ievērtē stundu skaitu diennaktī ar augstu segas ekspluatācijas temperatūru;

G – satiksmes intensitātes pieauguma koeficients.

PALIEKOŠĀS DEFORMĀCIJAS UN TO PROGNOZĒŠANA

Piektajā nodaļā veiktas testa paraugu eksperimentālās pārbaudes ar ekspluatācijas īpašību testēšanas metodēm (*UCCT*, *TCCT* un *WTT*). Noteiktas plastiskās deformācijas un aprēķināti deformācijas ātrumi. Veikta paliekošo deformāciju attīstības prognozēšana, nosakot paliekošo deformāciju prognozēšanas funkcionālo sakarību konstantes.

Cikliskās spiedes tests

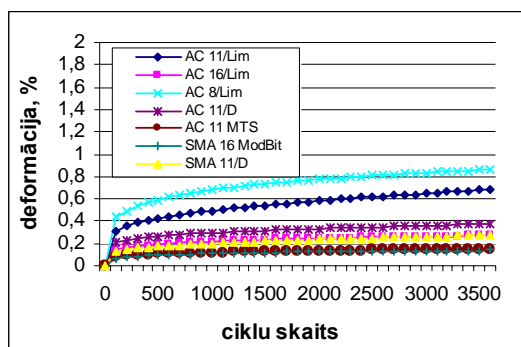
Iepriekšējā nodaļā veiktajos pētījumos noteikta maksimālā asfaltbetona seguma ekspluatācijas temperatūra – $\geq +40$ °C, pie kuras vērojams straujš asfaltbetona paraugu stinguma kritums. Paliekošās deformācijas paraugiem (sk. 1. tab.) uz cikliskās slogošanas iekārtām *UCCT* un *TCCT* tika noteiktas pie +40 °C, +50 °C un +60 °C temperatūras. Paraugi tika cikliski slogoti ar 100 kPa lielu slodzi un 0,5 Hz frekvenci. Viena cikla ilgums – 2 s (1 s – slogošana un 1 s – atslogošana). Triaksiālajā slogojumā paraugiem tika pielikta 50 kPa liela horizontālo deformāciju ierobežojošs sānspriegums.

Veicot pie dažādām temperatūrām iegūto rezultātu salīdzināšanu, tika konstatēts, ka:

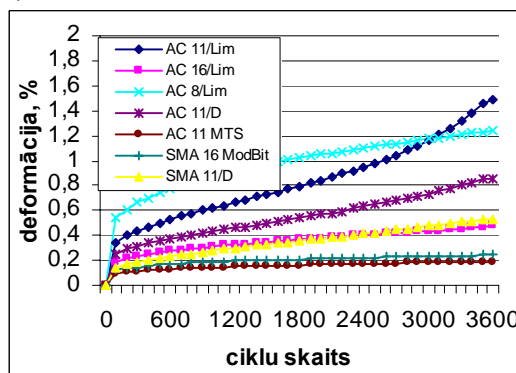
- pie +40 °C visiem paraugiem pēc ~ 500 slogošanas cikliem ir izteikta stabilizācijas zona (deformācijas ātrums ir konstants) bez sabrukuma (sk. 11.a att.);
- pie +50 °C paraugam AC 11/Lim pēc ~ 2500 slogošanas cikliem sākas sabrukums (sk. 11.b att.);
- pie +60 °C paraugiem AC 11/Lim, AC 11/D un AC 8/Lim vērojams sabrukums (sk. 11.c att.).

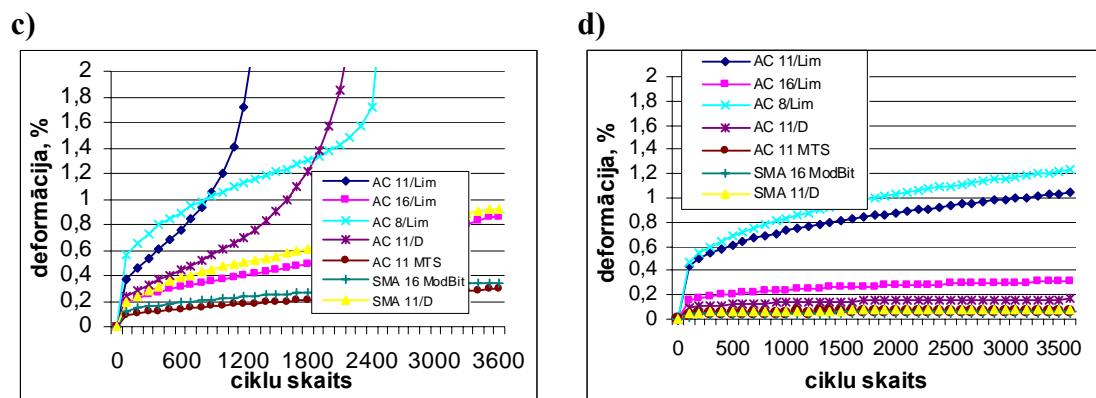
Analizējot triaksiālā testa rezultātus, konstatēts, ka nevienam paraugam sabrukuma zona nav novērota, tomēr paraugiem AC 11/Lim un AC 8/Lim kopējā deformācija pēc ~ 3600 cikliem ir 1–1,2%, kas ir vairākkārt lielāka nekā pārējiem testa paraugiem: ar netradicionālo pildvielu AC 11/Ref un SMA 16/Mod – 0,1%, tradicionālajiem paraugiem SMA 11/D, AC 16/Lim un AC 11/D – 0,3% (sk. 11.d att.). Pēc iegūtās „slogošanas ciklu skaits-deformācija” sakarības analīzes tika konstatēts, ka paraugiem AC 11/Lim un AC 8/Lim pie aksiālā un triaksiālā slogojuma ir lielākais deformācijas ātrums.

a)



b)





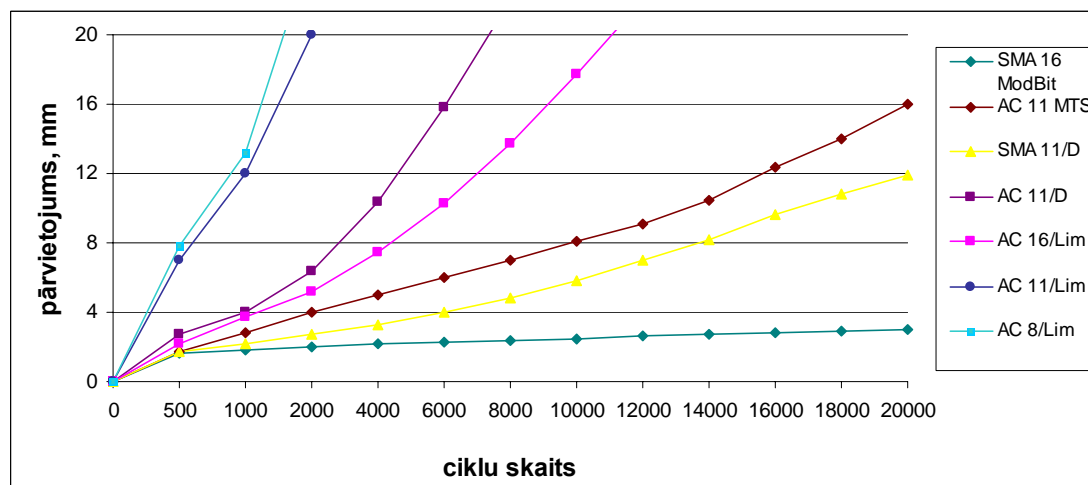
11. att. Cikliskās spiedes testa rezultāti:

a) aksiālais tests +40 °C, 100 kPa, 0,5 Hz; b) aksiālais tests +50 °C, 100 kPa, 0,5 Hz;
 c) aksiālais tests +60 °C, 100 kPa, 0,5 Hz; d) triaksiālais tests +60 °C, 100/50 kPa, 0,5 Hz

Riteņu sliežu veidošanās tests

Eksperimentāli testa paraugiem ar *WTT* metodi (riteņu sliežu veidošanās tests) tika noteikta palielošā deformācija. Pārbaudes būtiska atšķirība no *UCCT* un *TCCT* metodēm ir paraugu forma (sk. 8.b att.) un tas, ka slodze parauga virsmai ir pielikta ar 700 N noslogotu kustīgu riteņi (sk. 7.b att.). Riteņa un parauga kontaktsvirma ir 19 cm². Iekārta nosaka riteņa iespiešanos paraugā (pārvietojumu) līdz 20mm. Pārbaudes ilgums ir 20 000 cikli ar slogošanas 26,5 cikli minūtē.

Iegūtie rezultāti (sakarības „slogošanas ciklu skaits-deformācija”) uzrāda līdzīgas grafiskās tendences gan pie aksiālā, gan triaksiālā cikliskā slogojuma – vislielākās plastiskās deformācijas veidojas tradicionālajiem asfaltbetona sastāviem AC, bet zemāko deformāciju uzrāda SMA 16/Mod (sk. 12. att.). Svarīgi atzīmēt, ka tradicionālais maisījums SMA 11/D uzrādīja otru labāko rezultātu.



12. att. Riteņu sliežu veidošanās testa rezultāti

Veikta eksperimentāli iegūto sakarību „slogošanas ciklu skaits-deformācija” analīze. Deformācijas ātrums tiek aprēķināts, izmantojot formulu:

$$WTS_{air} = \frac{\varepsilon_{n1}^p - \varepsilon_{n2}^p}{n_1 - n_2}, \quad (8)$$

kur WTS_{air} – deformācijas ātrums, mm/1000 cikli;

$\varepsilon_{n1}^p, \varepsilon_{n2}^p$ – plastiskā absolūtā deformācija pēc n_1, n_2 slodzēm;

n_1, n_2 – ciklisko slodžu skaits „slogošanas ciklu skaits - deformācija” liknes stabilizācijas sākumā un beigu posmā.

4. tabulā apkopoti pētīto asfaltbetona paraugu WTS_{air} rādītāji. Atzīmēts, ka Latvijā kopš 2010. gada deformācijas ātrumi ir reglamentēti ar CS 2010 prasībām [25], pie kam maksimālā WTS_{air} klasifikācija saskaņā ar standartu LVS EN 13108-1 ir viens. Salīdzinot aprēķinātos deformācijas ātrumus, konstatēts, ka tikai trim testa paraugiem (AC 11/Ref, SMA 16/ModBit, SMA 11/D) $WTS_{air} < 1$. Svarīgi atzīmēt, ka SMA-16/ModBit sastāvs ar $WTS_{air} = 0,06$ saskaņā ar jaunajām CS 2010 prasībām ir piemērots ieklāšanai uz ielām un ceļiem ar intensīvu satiksmi, t. i., kur satiksmes intensitāte $AADT > 3500$ (sk. 4. tab.).

Pētāmo asfaltbetona sastāvu rišu veidošanās izpēte veikta, izmantojot pakāpes funkcijas, kas ir paliekošo deformāciju prognozēšanas matemātiskais modelis [26–27]:

$$\varepsilon_p = a \cdot N^b, \quad (9)$$

kur ε_p – paliekošā absolūtā deformācija, mm;

a, b – materiāla konstantes;

N – slogošanas ciklu skaits.

Parametrs a raksturo paliekošo deformāciju pieaugumu pie $N=1$, savukārt parametrs b – deformācijas pieauguma ātrumu.

4. tabula

Asfaltbetona maisījumu deformācijas ātrumi

Maisījuma tips	Maksimālā saskaņā ar LVS EN 13108-1 WTS_{air} kategorija (mm/1000 slogošanas cikli)	Faktiskā WTS_{air} kategorija (mm/1000 slogošanas cikli)	„Ceļu specifikācijas 2010” prasības			
			AADT < 500	AADT 501–1500	AADT 1501–3500	AADT >3500
AC 11/Lim	1,00	5,79	1,0	0,8	0,5	0,3
AC 11/D		3,11				
AC 11/Ref		0,56				
AC 16/Lim		1,5				
AC 8/Lim		6,87				
SMA 11/D		0,49				
SMA 16/ModBit		0,06				

Plastiskās deformācijas (ε_{pn}) uzkrāšanās no transporta slogošanas ciklu skaita (*ESAL* vienībās) izteikta ar sakarību (10) [17]:

$$\varepsilon_{pn} = \frac{\partial \varepsilon_p}{\partial N} = \frac{\partial}{\partial N} (aN^b) = ab \cdot N^{b-1}. \quad (10)$$

Cikliski slogojot asfaltbetona paraugus, veidojas elastīgās un plastiskās deformācijas. Pieņemot elastīgo pārvietojumu (Δ_r) cikliskā slogojumā kā konstantu lielumu un ieviešot prognozēšanas parametrus μ un α tika iegūts viskozi-elastīgas sistēmas (*VESYS*) modeļa vienādojums:

$$\frac{\varepsilon_{p(N)}}{\Delta_r} = \mu \cdot N^\alpha \quad \text{jeb} \quad \varepsilon_p(N) = \mu \cdot \Delta_r \cdot N^\alpha. \quad (11)$$

Analizējot *WTT* testa rezultātus (sk. 12. att.) un lietojot lineārās korelācijas līknes metodiku, kā arī ņemot vērā eksperimentāli noteiktos asfaltbetona paraugu elastības modulūkus, tika aprēķināti matemātiskā modeļa (11) parametri μ un α . Iegūtie rezultāti apkopoti 5. tabulā. Parametrs μ raksturo plastiskās un elastīgās deformācijas attiecību, savukārt parametrs α – paliekošo deformāciju pieauguma ātrumu.

5. tabula

Modeļa parametri paliekošo deformāciju prognozēšanai

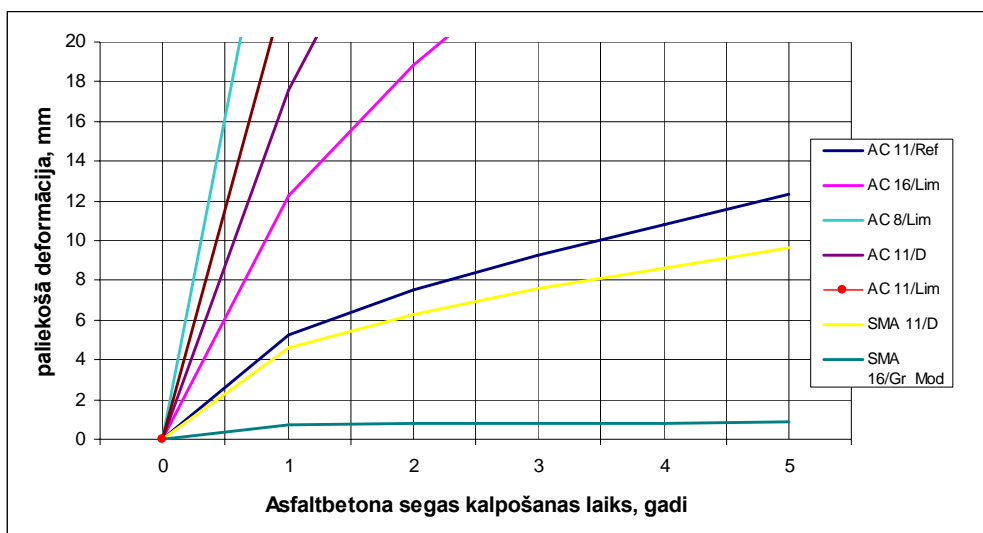
Materiāla parametrs	Asfaltbetona maisījuma sastāvi						
	AC 11/Lim	AC 8/Lim	AC 11/D	AC 11/Ref	AC 16/Lim	SMA11/D	SMA 11/D Mod
E, MPa	17,5	16,4	32,2	115,3	55,8	68,6	164
ε_p , mm	20**	13,1*	14,0**	11,2	16,5***	7,61	3,0
Δ_r [10^{-2}], mm	58,4	43,2	31,9	13,2	32,1	23,5	6,13
μ	0,16	0,17	0,08	0,47	0,17	0,35	8,95
α	0,629	0,695	0,745	0,524	0,617	0,458	0,172
Biezums, mm	40						

*) ε_p pie 1700 cikliem. **) ε_p pie 5000 cikliem. ***) ε_p pie 10 000 cikliem.

Lai varētu veikt paliekošo deformāciju prognozēšanu, tika izmantoti sekojoši pieņēmumi:

- rišu veidošanās uz ceļa vai ielas notiek pēc „slogošanas ciklu skaits-deformācija” sakarības, kas ir iegūta, veicot paliekošo deformāciju laboratorisko izpēti ar *WTT* metodi;
- rišu veidošanās notiek tikai asfaltbetona virskārtas slānī un nav saistīta ar apakšējo kārtu deformatīvajām īpašībām, t. i., rīses nav strukturāls jeb iespaiduma rezultāts;
- virskārtas slānī nav temperatūras gradienta, temperatūra visā materiālā ir konstanta;

- transporta slodze, izteikta *ESAL* vienībās, ir 16,7 milj. divdesmit gados (sk. 3. tab.);
- rišu veidošanās notiek +40 °C un augstākā temperatūrā (sk. 9. att.).



13. att. Paliēkošo deformāciju veidošanās dinamika (slogošanas apstākļi atbilst Rīgas apvedceļam A4)

Ņemot vērā iepriekš noteiktos asfaltbetona paraugu elastības moduļus, rišu dziļumu un ātruma rezultātus, paliēkošās deformācijas parametrus un ārējos paliēkošās deformācijas veidošanās faktorus – vietējos klimatiskos apstākļus un transporta slodzi, izteiktu *ESAL* mērvienībās laika periodam ar augstu segas ekspluatācijas temperatūru, tika noteikta teorētiskā rišu attīstības dinamika Rīgas apvedceļam A4 (sk. 13. att.). Salīdzinot iegūtos rezultātus septiņiem darbā izprojektētajiem asfaltbetona sastāviem, noskaidrots, ka tradicionālajiem blīvā asfaltbetona AC sastāviem deformācijas dziļums ≥ 13 mm, kas kļūst bīstams un var izraisīt akvaplanēšanu, ja braukšanas ātrums ir lielāks par 80 km/h, tiks sasniegts jau pirmajā ceļa seguma ekspluatācijas gadā (sk. 13. att.). Svarīgi atzīmēt, ka starp trim labākajiem paraugiem ir arī viens tradicionālais sastāvs SMA 11/D ar diabāza pildvielu. Tas liecina, ka arī nemodificētais bitumens ir piemērots SMA sastāvu izgatavošanai, ja pirms tam tiek veikta rūpīga granulometriskā sastāva aplēse.

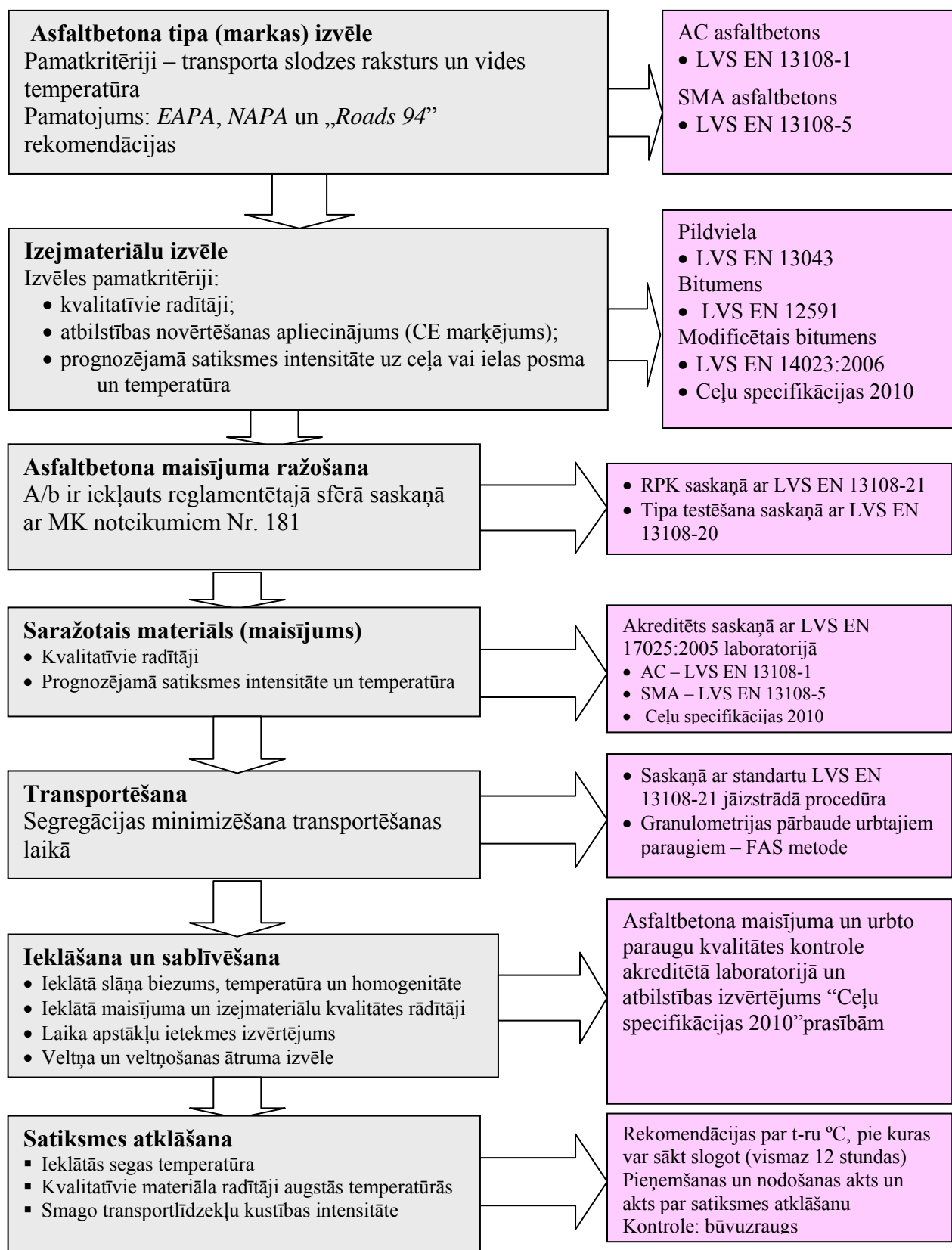
KVALITĀTES NODROŠINĀJUMA SISTĒMAS KONCEPCIJA

Sestajā nodaļā, balstoties uz iegūto rezultātu analīzi, ir izstrādāta asfaltbetona seguma kvalitātes nodrošinājuma sistēma un dotas rekomendācijas rišu veidošanās minimizēšanai. Analīzes mērķis – atklāt trūkumus pastāvošajā kvalitātes nodrošinājuma procesā.

Ir konstatēts, ka neskatoties uz skaidri saprotamo mehāniku, rekomendētajām specififikācijām un visumā kvalitātes prasībām atbilstošajiem asfaltbetona segas veidošanas posmiem, atsevišķos atjaunotajos ceļa seguma iecirkņos uz Latvijas ceļiem pēc neilga kalpošanas laika parādās rīses. Lai to nepieļautu darbā ir izstrādāta asfaltbetona segas kvalitātes nodrošinājuma sistēmas koncepcija, kas ir visa procesa kvalitātes nodrošinājuma algoritms un dod iespēju izsekot katru tās procedūru (sk.14. att.) [28].

Analizējot izstrādātas kvalitātes nodrošinājuma sistēmas koncepcijas atsevišķos posmus (sk. 14. att.) un promocijas darbā iegūtos rezultātus, noskaidrots, ka:

1. Latvijas apstākļiem tradicionālajos blīvā asfaltbetona AC sastāvos lielu transporta slodžu iedarbībā veidojas ievērojamas plastiskās deformācijas. Tomēr, saskaņā ar pasaules vadošo asfaltbetona ražotāju asociāciju *EAPA*, *NAPA* un *AASHTO* rekomendācijām, AC un SMA maisījumi ir piemēroti ar smago satiksmi noslogotu ielu un ceļu posmu izbūvei [29–31, 6];
2. asfaltbetona izejmateriālus klasificē un testēšanas metodes izvēlas saskaņā ar Eiropas normatīvu prasībām (pildvielām – LVS EN 13043; ceļu bitumenam – LVS EN 12591; PMB bitumeniem – LVS EN 14023), bet klasificēto izejmateriālu atbilstību nosaka, ņemot vērā vietējās „Ceļu specifikācijas 2010” prasības;
3. kopš 1994. gada asfaltbetona sastāvu projektēšanu Latvijā veic saskaņā ar Maršala metodi. Ir zinātniski pierādīts, ka bitumena daudzuma optimizācija ar Maršala metodi dod līdzīgus rezultātus kā jaunākā *SUPERPAVE* metode un klasiskā Hvīma metode [18];
4. saskaņā ar MK noteikumiem Nr. 181 asfaltbetons, bitumena saistviela un minerālmateriāls iekļauti reglamentētā sfērā, kas ir pakļauta valdības noteiktajai obligātajai produktu, procesu un pakalpojumu atbilstības novērtēšanai [32]. Šajā sistēmā ražotājam jāveic asfaltbetona tipa testēšana (produkta testēšana pirms tā piedāvāšanas tirgū), jāizstrādā ražošanas procesa kontroles sistēma un jāveic materiāla periodiska testēšana. Svarīgi atzīmēt, ka tipa testēšanas standartā LVS EN 13108-20 ir iekļautas vairākas ekspluatācijas īpašību testēšanas metodes, kas tika izmantotas promocijas darbā (*WTT*, *UCCT* un *TCCT*), savukārt tehnisko noteikumu prasībās – „Ceļu specifikācijās 2010” – *WTT* metode ir iekļauta tikai no 2010. gada. Tādēļ Latvijā saražotajiem asfaltbetona sastāviem ir zemas deformatīvās īpašības, tomēr tie apmierina vietējo tehnisko noteikumu prasības;
5. asfaltbetona maisījuma kvalitātes kontrole Latvijā tiek veikta saskaņā ar standarta LVS EN ISO/IEC 17025:2005 metodi neatkarīgā akreditētā laboratorijā (trešā puse) [33–34]. Kvalitātes kontrolei tiek izmantotas standartu (LVS EN) metodes un prasības, nosakot asfaltbetona maisījuma un izurbto paraugu fizikālās un mehāniskās īpašības. Svarīgi atzīmēt, ka ražotāja un trešās puses laboratorija akreditē metodes, kuras reglamentē vietējie noteikumi, t. i., bez ekspluatācijas īpašību testiem. Promocijas darbā iegūto rezultātu ticamība tika nodrošināta, izmantojot akreditētu *WTT* metodi;
6. analizējot saražotā materiāla transportēšanas un ieklāšanas procesa ietekmi uz ceļa seguma kvalitāti, konstatēts, ka tie nav reglamentēti, tomēr standarts LVS EN 13108-21 rekomendē izstrādāt maisījuma transportēšanas procedūru, lai minimizētu segregāciju. Svarīgi atzīmēt, ka ieklāšanas kvalitāte ir atkarīga no
 - ieklātā asfaltbetona slāņa īpašībām (temperatūras, slāņa biezuma, homogenitātes),
 - asfaltbetona un izejmateriālu īpašībām (asfaltbetona tipa, pildvielas formas un tekstūras, granulometrijas un bitumena viskozitātes),
 - laika apstākļiem (gaisa un pamatnes temperatūras, vēja ātruma),
 - veltņa tipa (statiskais, pneimatiskais vai vibrācijas veltņis) un veltņošanas ātruma;



14. att. Asfaltbetona segas kvalitātes nodrošinājuma sistēmas koncepcija:

■ – procesi un procedūras; ■ – kvalitātes nodrošināšanas pasākumi

7. ieklātā maisījuma kvalitātes kontrole tiek veikta, nosakot izurbto paraugu īpašības (kopš 2010. gada – palielo deformāciju). Svarīgi atzīmēt, ka iegūtie rezultāti neattiecas uz visu ceļa vai ielas posmu, bet tikai uz konkrētajām paraugu ņemšanas vietām. Tomēr šobrīd pasaulē izstrādātas vairākas progresīvas nesagraujošās metodes sablīvējuma noteikšanai visai ceļa seguma klātnei;
8. viens no risu veidošanās cēloņiem ir nepieciešamība pēc iespējas ātrāk atklāt satiksmi rekonstruētajā posmā. Satiksmes atklāšana nav pieļaujama līdz brīdim, kamēr segums nav atdzisis un bitumens nav pietiekoši sacietējis un strukturējies. Minimālais rekomendētais laiks pirms satiksmes atklāšanas ir 12 stundas [35]. Atdzišanas ātrums ir atkarīgs no materiāla un izejmateriāla īpašībām, slāņa biezuma, gaisa temperatūras un vēja ātruma. Ir svarīgi atzīmēt, ka darbā paraugu testēšana tika veikta pēc 24–48 stundām pēc paraugu sablīvēšanas (EN standartu prasības).

Minētais liecina, ka, neskatoties uz SMA un AC asfaltbetona maisījumu vairākām pozitīvām īpašībām, praktiskā to izmantošanas pieredze uz Latvijas ielām un ceļiem ir maza. To izmantošana Latvijas ceļos un ielās liecina, ka rezultāts nav apmierinošs – parādās nepieļaujamas rīses. Promocijas darbā, analizējot izstrādātās kvalitātes nodrošinājuma sistēmas posmus – asfaltbetona tipa izvēli, prasības izejmateriāliem, projektēšanai un saražotā materiāla kvalitātes kontrolei – ir piedāvātas vairākas **rekomendācijas**, kuru izpilde varētu minimizēt risu veidošanos uz jaunbūvētajām Latvijas ielām un ceļiem:

- tehnisko noteikumu „Ceļu specifikācijas 2010” prasību pilnveidošana – jauno ekspluatācijas īpašību testēšanas metožu aprobēšana un ieviešana asfaltbetona maisījumu un izurbto paraugu kvalitātes kontrolei;
- CE marķējuma piešķiršana, kas apliecinās, ka asfaltbetons atbilst ES direktīvām, t. i., ir izstrādāta un sertificēta ražošanas procesa kontrole un materiāliem periodiski tiek noteiktas galvenās ekspluatācijas īpašības pie zemām un augstām temperatūrām saskaņā ar asfaltbetona tipa testēšanas standartu LVS EN 13108-20;
- *AASHTO* un *NAPA* rekomendāciju ievērošana attiecībā uz SMA un AC maisījumu ražošanu un ieklāšanu, t. i., lietojot kvalitatīvas pildvielas un modificēto bitumenu, stingri ievērojot materiāla padeves secību, temperatūru un maisīšanas ilgumu ražošanas laikā, maisījuma temperatūru ieklāšanas sākumā un beigās, rūpīgi sekojot veltņošanai (veltņa tips, temperatūra, veltņošanas ātrums utt.);
- asfaltbetona maisījuma transportēšanas un katra asfaltbetona maisījuma tipa ieklāšanas procedūras izstrāde;
- progresīvo sablīvējuma noteikšanas metožu ieviešana visa ceļa seguma klātnes kvalitātes kontrolei;
- informatīvo datu vākšana (ceļa seguma konstrukcijas biezums, atsevišķu slāņu biezums, asfaltbetona tips u. c.);
- transportlīdzekļu svara kontroles sistēmas izstrāde un ieviešana.

SECINĀJUMI

1. Veicot risu veidošanās procesa izpēti, eksperimentāli noteiktas tērauda ražošanas blakusprodukta – martena tēraudkausēšana sārņu (MTS) kā pildvielas īpašības: drupināmība (LA = 10 un NT = 4), formas indekss (FI = 3) un aizpildītāja saturs (< 0,063 mm = 0,1%). Šie rezultāti apstiprina augstāku MTS pildvielas kvalitāti salīdzinājumā ar tradicionālajām pildvielām: dolomītu (LA = 25, NT = 18, FI = 11, < 0,063 mm = 2,4%), granītu (LA = 12, NT = 8, FI = 12, < 0,063 mm = 1,1%) un diabazu (LA = 13, NT = 10, FI = 9, < 0,063 mm = 1,4%).
2. Eksperimentāli noteiktas nemodificētās bitumena saistvielas B70/100 un SBS polimērmodificētās bitumena saistvielas īpašības. Rezultāti apstiprina augstākus modificētās bitumena saistvielas netiešās viskozitātes rādītājus augstās temperatūrās (penetrācija pie 25 °C = 59×0,1 mm, mīksttapšanas t-ra = 68 °C) salīdzinājumā ar B70/100 (71×0,1 mm un 59 °C), tomēr augstāku trausluma temperatūru – –16 °C (B70/100 – –21,1 °C).
3. Radīti divi netradicionālie asfaltbetona maisījumi: AC 11/Ref ar martena tēraudkausēšana sārņu (MTS) pildvielu un SMA 16/Mod ar SBS modificēto bitumena saistvielu, kā arī pieci sastāvi ar tradicionālajām pildvielām: AC 11/Lim, AC 8/Lim un AC 16/Lim ar dolomītu, AC 11/D un SMA 11/D ar diabazu. Optimāla saistvielas satura noteikšanai veikta tilpuma parametru (V, VMA un VFB) analīze ar Maršala metodi. Pie optimāla saistvielas satura sastāvam SMA 16 ir lielāka paliekošā porainība – 4,7%, savukārt AC 11 maisījumam ar MTS pildvielu ir lielāka stiprība, statistiski slogojot 60 °C t-rā (Maršala stabilitāte) – 13 kN.
4. Lietojot mūsdienu ekspluatācijas īpašību testēšanas metodes (UCCT un TCCT), eksperimentāli noteikti plastiskās deformācijas lielumi netradicionālajiem maisījumiem (etalonsastāviem) un tradicionālajiem asfaltbetona maisījumiem. Analizējot iegūtos rezultātus, konstatēts, ka pie vienādiem testēšanas apstākļiem cikliski aksiāli un triaksiāli slogojot, tradicionālie asfaltbetona maisījumi salīdzinājumā ar etalonsastāviem uzrāda 3–10 reizes lielāku plastisko deformāciju. Netradicionālajiem sastāviem pie aksiāla slogojuma pēc 3600 cikliem nav konstatēta sabrukuma zona, savukārt triaksiālajā slogojumā pie +60 °C paliekošā deformācija ir 0,1%, kas ir trīs reizes mazāka nekā SMA 11/D un AC 16/Lim (0,3%) un vairāk nekā desmit reizes mazāka par AC 11/Lim, AC 11/D un AC 8/Lim maisījumu paliekošajām deformācijām (1,2%).
5. Analizējot ar riteņu sliežu metodi (WTT) iegūtos paliekošo deformāciju veidošanās ātrumus WTS_{air} (mm/1000 cikli), konstatēts, ka trim asfaltbetona maisījumiem – AC 11/Ref, SMA 11/D un SMA 16/ModBit – deformācijas ātrums ir mazāks par vienu ($WTS_{air} = 1$ ir maksimālā LVS EN 13108-1 standarta kategorija), tomēr tikai SMA-16/ModBit maisījums ar $WTS_{air} = 0,06$ saskaņā ar „Ceļu specifikācijas 2010” prasībām ir piemērots ieklāšanai uz ielām un ceļiem, intensīvi slogotiem ar satiksmi, t. i., kur satiksmes intensitāte $AADT > 3500$. Netradicionālajam sastāvam AC 11/Ref WTS_{air} ir 0,56, tradicionālajam SMA 11/D WTS_{air} ir 0,49, savukārt pārējiem tradicionālajiem AC maisījumiem deformācijas ātrums WTS_{air} ir no 1,5 līdz 6,86.
6. Sastādīta Latvijas apstākļiem raksturīgai transporta slodzei un klimatiskajiem apstākļiem ekvivalentās vienas ass slodzes (ESAL) aprēķinu sakarība. Pierādīts, ka paliekošo deformāciju veidošanās dinamikas pētījumiem Latvijā satiksmes uzskaitē lietotā mērvienība – vidējā diennakts satiksmes intensitāte (AADT) – ir

ļoti vispārīga un paliekošo deformāciju veidošanās dinamikas pētījumiem nav piemērota. Tā nepieciešama tikai *ESAL* lieluma aprēķinam.

7. Darbā izmantojot iegūtus no satiksmes uzskaites stacijas (SUS) uz Rīgas apvedceļa A4, kā arī gaisa temperatūras datus par laika periodu 2001.–2008. g., ir aprēķināts ekvivalentās vienas ass slodze lielums laika periodam ar paaugstinātu ceļa seguma ekspluatācijas temperatūru. Tā kā nākotnē satiksmes intensitātes dati var atšķirties no pēdējo gadu novērojumiem, *ESAL* lielums ir aprēķināts, balstoties uz vairākiem pieņēmumiem: ikgadējais satiksmes intensitātes pieaugums ir 2%, asfaltbetona segas kalpošanas laiks ir 20 gadi, kā arī dienu skaits gadā ar augstu asfaltbetona seguma temperatūru ir 2%. Šie pieņēmumi ir balstīti uz pēdējo gadu novērojumiem un vairāku eksperimentu rezultātiem.
8. Piedāvāta uz *VESYS* aprēķinu modeli ar karstajam (pavasara-vasaras) periodam aprēķinātu *ESAL* lielumu balstīta metodika, kas dod iespēju, ņemot vērā satiksmes slodzi, izteiktu *ESAL* vienībās, un vietējos klimatiskos apstākļus, veikt paliekošo deformāciju prognozēšanu laboratorijas apstākļos. Veicot Latvijas apstākļiem tradicionālo maisījumu un etalonmaisījumu paliekošo deformāciju prognozēšanu, konstatēts, ka tradicionālajiem AC asfaltbetona maisījuma sastāviem rišu dziļums ≥ 13 mm, kas ir bīstams, ja braukšanas ātrums ir lielāks par 80 km/h, tiks sasniegts jau pirmajā asfaltbetona ceļa segas ekspluatācijas gadā.
9. Izstrādāta asfaltbetona seguma kvalitātes nodrošinājuma sistēmas koncepcija, un, analizējot tās atsevišķus posmus, saistītus ar asfaltbetona maisījuma tipa izvēli, ražošanu, projektēšanu un kvalitātes kontroli, dotas rekomendācijas rišu veidošanās minimizēšanai uz Latvijas ielām un ceļiem.
10. Parādīts, ka SMA maisījumus var izgatavot arī no nemodificētā bitumena, ja pirms tam tiek veikts rūpīgs granulometriskā sastāva aprēķins un tiek izmantotas kvalitatīvas pildvielas.

LITERATŪRA

1. Valsts Stratēģiskais ietvardokuments 2007.–2013. gada periodam. LR Finanšu ministrija. – 2007. – 38 lpp.
2. Dzenis M. Vīksne A. Bitumenu un pildvielu adhēzija un asfaltbetona degradācijas cēloņi. Atskaite Rīgas pilsētas Domes Satiksmes departamentam, 2002.
3. Леонович И.И., Шумчик К.Ф. Дорожно-строительные материалы. – Минск: Высшая школа, 1983. – 399 с.
4. Brown E. R., Prithvi S. Kandhal, Jungna Zhag. Performance Testing For Hot Mix Asphalt. National Centre for Asphalt Technology. NCAT Report 01–05. November 2001. – 72 p.
5. ГОСТ 9128-84. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. 1997. – 41с.
6. Ceļš 94. Vispārējie ceļu būves tehniskie noteikumi. 6. daļa. Bituminētās segu konstrukciju kārtas. Zviedru Nacionālā ceļu administrācija. Tehniskais departaments. Autoceļu būves un grunts sekcija. Tulkojums Latviešu valodā 1999. – 174. lpp.
7. Autoceļu specifikācijas 2005. Apstiprinātas LR Satiksmes ministrijā Autosatiksmes departamentā Tehniskajā komisijā ar 2005. gada 14. jūlija rīkojumu Nr.13.1-10/1. – 137 lpp.
8. Ceļu satiksmes drošības direkcija (CSDD): Statistika / Internets. – <http://www.csdd.lv/>

9. Ceļu satiksme drošības direkcija (CSDD). Transportlīdzekļu statistikas kopsavilkums Latvijā no 1995. līdz 2004. gadam. 2005. Rīga. – 3. lpp.
10. Erkens. S. Asphalt concrete response – Determination, Modeling and Prediction. Delft University.- Delft: Press Science 2002. – 202 p.
11. Lapsa. V. Jaunākas būvmateriālu mehāniskās pārbaudes. – Rīga, Avots, 1981. – 163 lpp.
12. Sides, A. Uzan, J., Perl, M. A. Comprehensive Viscoelasto-Plastic Characterization of Sand-Asphalt Compressive and Tensile Cyclic Loading// Journal of Testing and Evaluation, Vol. 13, No. 1 – 1985. – 57–65 pp.
13. Chang, K.G and Meegoda, J.N. Micromechanical simulation of hot mix asphalt// Journal of Engineering Mechanics, Vol. 123, No. 5 1997. – 495–503 pp.
14. Attoh-Okine, N.O. Potential application of geometrical modelling to stress-strain behaviour of asphaltic concrete layers in flexible pavement// Proceedings of the Fifth International Conference on Bearing Capacity of Roads and Airfields, Trondheim, Norway, 1998.
15. Park, S. and Lytton R. Effect of Stress-Dependent Modulus and Poisson's Ratio on Structural Responses in Thin Asphalt Pavements// Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol. 130, No. 3, 2004. – 387–394 pp.
16. Park, Seong-Wan. Prediction of Layer Rutting on Pavement Foundations Based on Stress Dependency// Journal of KGS Vol 21. Nr. 7 September 2005. – 345 p.
17. Kenis, W. and Wang, W. Calibrating Mechanistic Flexible Pavement Rutting Models from Full Scale Accelerated Tests// Proceedings of the Eighth International Conference on Asphalt Pavements.- Seattle, Washington, 1997. – 663–672 pp.
18. Baladi, Gilbert Y., Lyles Richard W., Harichandran Ronald S. Asphalt Mix Design: An Innovative Approach// The 67th Annual Meeting of the Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., January 11–14, 1988. – 26 p.
19. Romain J.E. Rut Depth Prediction in Asphalt Pavements// Proceeding of Third International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavement Vol.1. London –1992. – 205–210 pp.
20. Kiryukhin G.N. Asphalt Mixture Design on the Criteria of Shear and Crack Resistance of the pavement// CD Proceedings of the ISAP 2002 - 9th International. Conference on asphalt pavements Copenhagen, Denmark,. August 17–22, 2002.
21. Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūra: Informatīvie materiāli – meteoroloģija / Internets.-<http://www.meteo.lv/public/30116.html>
22. Technical Circular TC01-04 Pavement Structure Design Guidelines Ministry of Transportation. Geotechnical, Materials, & Pavement Engineering. British Columbia February 2004. – 18 p.
23. Bačova K. Influence of traffic load on asphalt pavement structure// Proceedings of IIV International Conference Durable and Safe Road Pavement. – Kielce, Poland, 8–9 May 2001. – 187–192 p.
24. Pachowski J., Kraszewski C. Analysis of rules of road pavement destructive loads evaluation under road traffic// Proceedings of IIV International Conference Durable and Safe Road Pavement. - Kielce, Poland, 8–9 May 2001. – 307–315 pp.
25. Ceļu specifikācijas 2010. Apstiprinātas ar 2009. gada 7. septembra Satiksmes Ministrijas rīkojumu Nr. 01.01 - 03/173. Rīga, 2010.

26. Rabbira Gabra. Permanent Deformation Properties of Asphalt Concrete Mixtures. Department of Road and Railway Engineering. - Norwegian University of Science and Technology NTNU Dissertation 2002. – 201 p.
27. Eisenmann J, Himler A. Influence of Wheel Load and Inflation Pressure on the Rutting Effect at Asphalt Pavement – Experiment and Theoretical Investigations// Proceedings of Sixth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavement, Vol. 1. - Ann Arbor, 1987. – 392–403 pp.
28. Rīgas ielu, transportbūvju un satiksmes vadības attīstības koncepcija 2008.–2018. gads, sadaļa 2.5, Rīga, 2007. Pasūtītājs – Rīgas Dome Satiksmes departaments.
29. National Asphalt Pavement Association (NAPA). HMA Pavement Mix Type Selection Guide. Information Series 128. 2002. – 4–5 p.
30. European Asphalt Pavement Association (EAPA). Heavy Duty Surfaces: The Argument For SMA. Netherlands, Breuklen, 1998. – 40 p.
31. National Asphalt Pavement Association (NAPA). Designing and Constructing SMA Mixtures – State of the Practice. Quality Improvement Series 122. 2002. – 47 p.
32. MK noteikumi Nr. 181 Būvizstrādājumu atbilstības novērtēšanas kārtība reglamentētajā sfērā ar grozījumiem – MK noteikumi Nr. 142. no 17.02.2009.
33. Standartizācijas, akreditācijas un metroloģijas centrs SIA: Akreditētās produktu sertifikācijas institūcijas/ internets. – <http://www.latak.lv/>.
34. LVS EN ISO/IEC 17025:2005 Testēšanas un kalibrēšanas laboratoriju kompetences vispārīgās prasības.
35. Asphalt Institute. The Asphalt Handbook. Manual Series No. 4 (MS-4), 1989. 12–27 pp.