



17-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos  
**TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,**  
vykusios 2014 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 17th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'  
**TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT**, 8 May 2014, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 17-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»  
**ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК**, 8 мая 2014 г., Вильнюс, Литва

## LIETUVOJE NAUDOJAMŲ DĖVIMOJO SLUOKSNIO ASFALTO MIŠINIŲ ATSPARUMO LIEKAMOSIOMS DEFORMACIJOMS TYRIMAS IR ANALIZĖ

Ovidijus Šernas<sup>1</sup>, Dovydas Skrodenis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kelių katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,

<sup>2</sup>Kelių tyrimo institutas, Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: <sup>1</sup>ovidijus.sernas@vgtu.lt; <sup>2</sup>dovydas.skrodenis@vgtu.lt

**Santrauka.** Liekamosios deformacijos yra pagrindinis asfalto dangos pažeidimų tipas, susidedantis iš provėžų ir bangų. Asfalto dangos sluoksnių liekamosios deformacijos atsiranda dėl pasikartojančių transporto sukulto apkrovų tūrio pasikeitimo (susitankinimo) ir šlyties deformacijų kombinacijos. Šiame straipsnyje pateikiami Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos inžinerijos fakulteto Kelių tyrimo instituto Automobilių kelių mokslo laboratorijoje 2013 metais atlikto eksperimentinio tyrimo rezultatai. Tyrimai atlikti nustatant Lietuvoje dėvimojo asfalto sluoksnio įrengimui dažniausiai naudojamų asfalto mišinių atsparumą provėžoms. Tyrimu nustatyta, kad Lietuvoje naudojami asfalto mišiniai su tenkina Lenkijos ir Latvijos norminių dokumentų reikalavimus.

**Reikšminiai žodžiai:** liekamoji deformacija, asfalto mišinys, šlyties deformacijos, rato vėžės gylis, vertikalūs įtempiai.

### Įvadas

Pastarąjį dešimtmetį ypač padidėjo eismo srautai, transporto priemonių svoris ir padangų slėgis į dangą, kas įtakoja žymų liekamųjų deformacijų padidėjimą asfalto dangos sluoksniuose. Liekamosios deformacijos yra pagrindinis asfalto dangos pažeidimų tipas, susidedantis iš provėžų ir bangų (Hajj *et al.* 2011). Asfalto dangos sluoksnių liekamosios deformacijos atsiranda dėl pasikartojančių transporto sukulto apkrovų tūrio pasikeitimo (susitankinimo) ir šlyties deformacijų kombinacijos. Tinkamai įrengto asfalto dangos sluoksnio šlyties deformacijos pirmiausiai susidaro dėl didelių šlyties įtempių viršutinėje asfalto sluoksnio dalyje (Witczak 2007).

Lietuvoje, kaip ir visame pasaulyje, labiausiai paplitusios asfalto dangos, dengiančios kelius, kuriuose vyksta intensyvus lengvųjų ir krovininių automobilių eismas, todėl įrengiant ir eksploatuojant asfalto dangas, provėžų susidarymo problema yra aktuali. Lietuvos klimatas ypač palankus tuo, kad pasižymi karštomis vasaromis ir šaltomis žiemomis. todėl asfalto mišiniai, tinkantis šaltajam metų periodui, netinka periodui, kai vyrauja aukštos temperatūros. Mokslininkai nuolat siekia sukurti bei tobulinti asfalto mišinius, kurie kelio dangoje patikimai funkcionuotų vyraujant tiek žemoms, tiek aukštomis temperatūroms.

Sava laikio remonto neatlikimas po kelių metų gali sąlygoja ribinės 20 mm provėžos viršijimą ir kritinės

40 mm ribos pasiekimą, kas neišvengiamai padidina eismo įvykių skaičių (Sivilevičius, Vansauskas 2013).

Nors jau daugelį metų provėžos yra viena didžiausių problemų, tačiau Lietuvos norminiuose dokumentuose iki šiol nėra reikalavimų asfalto mišinių vėžės gyliui. Šiuo tikslu VGTU AIF KTI Automobilių kelių mokslo laboratorijoje buvo atliktas laboratorinis tyrimas, kurio tikslas – įvertinti šiuo metu Lietuvoje naudojamų dėvimojo asfalto sluoksnio asfalto mišinių atsparumą provėžų susidarymui ir palyginti su panašaus klimato užsienio šalyse keliamais reikalavimais.

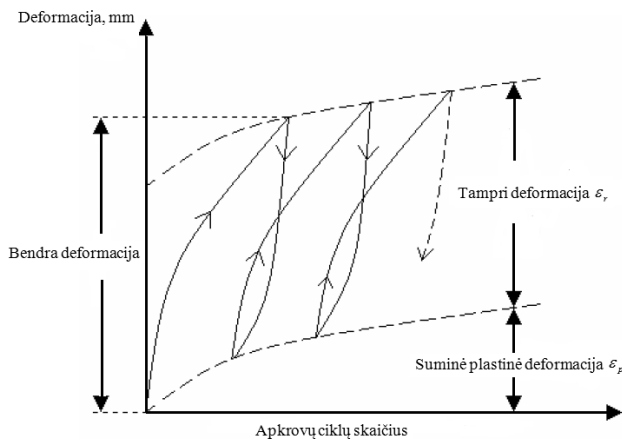
### 1. Asfalto dangos provėžų tipai ir susidarymo priežastys

Asfalto provėžos dažniausiai susidaro dėl išilginio rato sukeliama slėgio, kuris kaupiasi nedidelėmis neatsitinkančiomis deformacijomis, sukeltomis rato pravažavimo (Asphalt institute 1996). Jeigu asfalto mišinys deformuojasi, vadinasi nepakankamas atsparumas šlyčiai (Sousa *et al.* 1991). Besikaupiančios plastinės deformacijos pavaizduotos 1 pav.

Nustatyta, kad provėžos asfalto dangose susidaro dėl tokių apkrovų (Fwa *et al.* 2004):

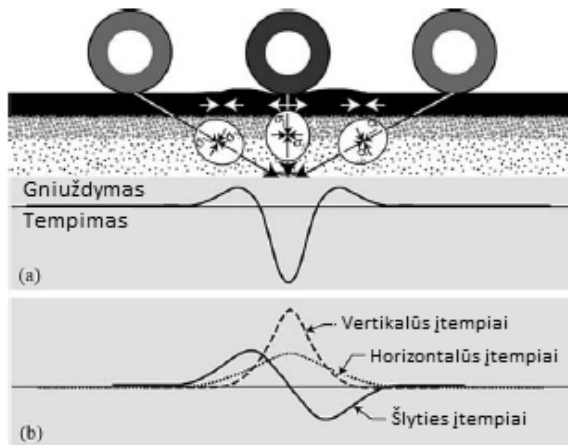
- Stovinčiųjų ar stacionariųjų (ilgalaikiųjų ar statinių) apkrovų;
- Pasikartojančiųjų eismo apkrovų (didelis pasikartojimų skaičius);

- Stabdymo ar greitėjimo apkrovų.
- Didžiausios apkrovos tam tikrų įtempimų skaitinės vertės pasireiškia tokia gylyje:
  - Vertikalūs įtempiai didžiausi yra pačiame dangos paviršiuje, ties apkrovos pridėjimo tašku, tačiau tostant nuo apkrovos centro jų koncentracija persistumia gilyn, kur didžiausią reikšmę jie įgyja 10–15 cm gylyje;
  - Horizontaliųjų įtempimų koncentracija didžiausia dangos paviršiuje bei 5 cm gylyje;
  - Šlyties įtempimų dydis 5–7 cm gylyje.



1 pav. Besikaupiančios plastinės deformacijos (Asphalt Institute 1996)

Veikiant automobilių eismo apkrovoms asfalto dangose susidaro trijų rūšių įtempiai – vertikalieji, horizontalieji (tangentiniai) bei šlyties (2 pav.).



2 pav. Nuo besisukančio automobilio rato asfalto dangoje atsirandantys įtempiai: a) dangos konstrukcijoje ant nesurišto pagrindo sluoksnio b) dėvimojo sluoksnio apačioje (Dore, Zubek 2009)

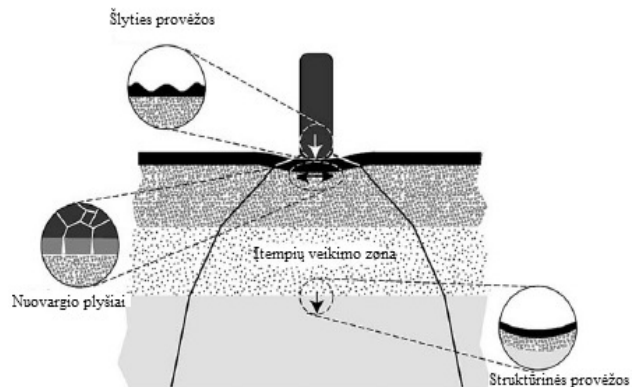
Asfalto provėžos pagal susidarymo priežastis ir sluoksnius, kuriuose susidarė, klasifikuojamos į 3 tipus: paviršinės, struktūrinės ir šlyties provėžos.

Paviršinės provėžos susidaro dėl asfalto susitankinimo nuo pasikartojančių eismo apkrovų poveikio.

Struktūrinės provėžos susiformuoja visoje asfalto dangos konstrukcijoje. Provėžų gylis viršutiniame asfal-

to sluoksnyje yra deformacijų, susidariusių žemesniuose dangos sluoksniuose, rezultatas. Tokių deformacijų priežastis yra silpna dangos pagrindo ar šalčiui atsparaus sluoksnio laikomoji galia. Šių provėžų mažinimas siejamas su minėtų konstrukcinių sluoksnių laikomosios galios didinimu (Oginskas 2006).

Provėžos, susijusios su šlyties deformacijomis viršutiniame asfalto sluoksnyje yra pačios sudėtingiausios ir pavojingiausios (3 pav.). Pagrindinė šių provėžų susidarymo priežastis yra šlyties įtempiai asfalto sluoksnyje. Šios provėžos yra liekamųjų deformacijų akumuliacija viršutiniame asfalto sluoksnyje.



3 pav. Šlyties deformacijos (Dore, Zubek 2009)

Šlyties įtempiai verčia asfalto mineralinės medžiagos mišinio daleles judėti viena kitos atžvilgiu. Asfalto mišinio rišančioji medžiaga, t. y. bitumas priešinasi šiam judėjimui. Tačiau bitumas yra medžiaga, kurios savybės labai priklauso nuo temperatūros. Didėjant temperatūrai, mažėja bitumo standumas, taip pat mažėja ir tarp mineralinės medžiagos mišinio dalelių esantis ryšių stiprumas, mineralinės medžiagos mišinio dalelės pradeda judėti viena kitos atžvilgiu. Šlyties įtempimų skaitinės vertės priklauso nuo veikiamos apkrovos dydžio ir veikiamos apkrovos pločio. Didžiausios skaitinės šlyties įtempimų vertės yra 5 cm gylyje ir apie 10 cm nuo apkrovos pridėjimo krašto horizontaliaja kryptimi.

Sutinkant su mokslininkų atliktais tyrimais, galima teigti, kad asfalto mechaninės savybės yra apkrovos dydžio ir temperatūros funkcija (Sivilevičius, Šukevičius 2007).

## 2. Asfalto mišinio komponentų įtaka provėžų susidarymui

Asfalto funkcionavimą, veikiant automobilių eismo apkrovoms, galima aprašyti keliais principais. Mineralinės medžiagos (skalda, žvyras, smėlis) deformuojasi kaip visiškai tamprūs kūnai. Jų deformacinės savybės nėra susijusios su temperatūros pokyčiais, veikiančiosios apkrovos pobūdžiu ir trukme. Tačiau ir rišamojoje medžiagoje deformacinės savybės veikiant apkrovai pasireiškia labai aiškiai, ypač didėjant temperatūrai ir veikiant ilgalaikiai apkrovai. Mineralinėse medžiagose atsparumas deformacijai yra didesnis tada, kai kietosios dalelės geriau kontaktuoja su užpildo grūdeliais. Vadinasi, rišamo-

joje medžiagoje įtempiai mažėja, o užpilde didėja. Įtempių rišamojoje medžiagoje mažėjimas ilgesnis tada, kai yra didesnė rišamosios medžiagos masė ir storesnis rišamosios medžiagos plėvelės storis. Vadinas, asfalto mišiniuose akivaizdi šlyties ir deformacijų didėjimo tendencija, nes įtempiams persiskirstant stambiosios mineralinės dalelės nedalyvauja. Nuėmus apkrovą, tamprieji užpildai stengiasi grįžti į pradinę padėtį, tačiau klampai aplinka stabdo tampriąsias deformacijas. Kuo rišamoji medžiaga plastiškesnė ir kuo didesnis jos tarpsluoksnius, tuo yra didesnis stabdymas. Todėl, nuėmus apkrovą, deformacijos panaikinimas sudaro tam tikrą pirminės deformacijos dalį, įskaitant ir šlyties deformacijas (Oginskas 2006).

Eksplotacijos periodu asfalto dangų funkcionavimą lemia daug faktorių (Nilson 2001):

- Asfalto mišinio kintamieji (bitumo markė, bitumo kiekis mišinyje, mišinio mineralinės medžiagos, asfalto mišinio tuštymėtumas, užpildas ir kt.);
- Aplinkos kintamieji (aplinkos temperatūra, drėgmė, automobilių eismas);
- Apkrovos kintamieji (apkrovos pobūdis, apkrovos laikas, apkrovos kampas, relaksacijos laikas).

Atlikta nemažai tyrimų, siekiant išnagrinėti, kaip asfalto mišinio komponentai turi įtakos provėžų susidarymo atsparumui. Mišinio vidinis trinties kampas bei sukibimas kinta priklausomai nuo asfalto mišinio granulimetrinės sudėties, bitumo kiekio ir jo sankibos su mineralinėmis medžiagomis. Be abejo, šie parametrai taip pat priklauso ir nuo aplinkos temperatūros. Rezultatai buvo gauti taikant triašį bandymo metodą ir imituojuojant judančią apkrovą. Atlikti tyrimai parodė, kad abu šie parametrai turi įtakos asfalto atsparumui šlyties įtempiams – didesnis sukibimas ir vidinis asfalto trinties kampas padidina laikomąją asfalto galią (Fwa *et al.* 2004, Ramsamooj *et al.* 1998; Topal, Sengoz 2005).

Skaldos dalelės asfalto mišinyje užtikrina tinkama tarpusavio sankibą, tai laiduoja stiprų asfalto mišinio karkasą ir lemia asfalto mišinio stiprumą. Skaldos kiekis asfalto mišinyje turi svarbią įtaką mišinio savybėms. Esant nedideliame skaldos kiekiui asfalto mišinyje, asfalto mišinys įgauna rišamosios medžiagos savybes. Didinant skaldos dalį, tarp struktūrą sudarančių elementų susidaro kontaktai – susiformuoja karkasas, padidėja dalelių tarpusavio trintis. Tai padidina asfalto plastiškumą – didėja asfalto dangos funkcionavimo trukmė (Arasan *et al.* 2012, Singh *et al.* 2012).

Nustatyta, kad esant optimaliam bituminio rišiklio ir mineralinių miltelių santykiui, gaunamas didžiausias struktūrinės dispersinės sistemos, sudarytos iš šių medžiagų, stipris. Mineralinių miltelių kiekio sumažinimas padeda padidinti asfalto atsparumą įtrūkiams, bet sumažina atsparumą poslinkiams (Kim *et al.* 2006). Mikroužpildas turi turėti pakankamą kerpamąjį stiprį, kad atlaikytų pasikartojančias apkrovas. Mineralinio užpildo kerpamasis stipris yra itin svarbi savybė, turinti įtakos asfalto mišinių atsparumui provėžoms (Asphalt institute 2001).

Svarbiausios bitumo savybės yra jautrumas temperatūrai, klampumas-tamprumas ir senėjimas. Temperatūros poveikis asfalto mišiniui – asfalto mišinys yra standesnis žemesnėse temperatūrose. Todėl atliekant bitumo ir asfal-

to mišinių bandymus, beveik visada nustatoma bandinio temperatūra, nes nenustačius temperatūros, bandymų rezultatai negali būti teisingai interpretuoti. Taip pat, bitumo elgsena priklauso nuo apkrovos trukmės – bitumas geriau atlaiko trumpalaikės apkrovos. Bitumas aukštoje temperatūroje yra klampus skystis, o žemoje temperatūroje – tampri medžiaga, grįžtanti į pradinę formą nuėmus apkrovą. Kadangi bitumas yra organinė medžiaga, ji reaguoja su deguonimi. Dėl oksidacijos keičiasi bitumo sandara ir molekulių struktūra, todėl bitumas tampa trapesnis (Asphalt institute 2001).

Svarbiausia bitumo funkcija yra surišti užpildo medžiagas į vieną monolitą. Šiam tikslui būtinas itin geras sukibimas tarp bitumo ir mineralinių medžiagų – adhezija. Prasčiausia adhezija yra tarp bitumo ir silicio turinčių medžiagų, tokių kaip granitas, silicio skalūnas, kvarcitas (Read, Whiteoak 2010).

Tyrimais nustatyta, kad asfalto mišinių, kurių gamybai naudotas polimerais modifikuotas bitumas, geresnės mechaninės savybės, bei padidėja atsparumas deformacijų susidarymui, lyginant su tais mišiniais, kurių gamybai naudotas įprastas kelių bitumas (Prowell 2001).

Asfalto mišinio sudėties komponentų įtaka asfalto dangos eksploatacinėms charakteristikoms pateikta 1 lentelėje.

**1 lentelė.** Asfalto mišinio sudėties komponentų įtaka asfalto dangos eksploatacinėms charakteristikoms (Dore, Zubek 2009; Jenks *et al.* 2011)

|                        | Veiksny  | Veiksni<br>pasikeitimas      | Veiksni<br>pasikeitimo<br>poveikis<br>provėžų<br>susidarymui |
|------------------------|--|------------------------------|--|
| Mineralinė<br>medžiaga | Paviršiaus tekstūra                            | Iš lygaus į<br>šiurkštų      | Sumažėja   |
|                        | Granulimetrinė<br>sudėtis                      | Iš netolydžios į<br>tolydžią | Padidėja/<br>sumažėja  |
|                        | Forma  | Iš apvalios į<br>kampuotą    | Sumažėja   |
|                        | Stambumas                                      | Padidėja iki<br>didžiausio   | Padidėja/<br>sumažėja  |
| Rišiklis               | Standumas                                      | Padidėja                     | Sumažėja   |
|                        | Bitumo kiekis                                  | Padidėja                     | Padidėja   |
|                        | Oro tuštymių<br>kiekis                         | Padidėja                     | Padidėja   |
| Mišinys                | Mineralinių<br>medžiagų oro<br>tuštymių kiekis | Padidėja                     | Padidėja   |
|                        | Temperatūra                                    | Padidėja                     | Padidėja   |
|                        | Apkrovos/ defor-<br>macijų santykis            | Padidėja<br>padangos slėgis  | Padidėja   |
| Bandymų<br>sąlygos     | Apkrovų<br>pasikartojimas                      | Padidėja                     | Padidėja   |
|                        | Vanduo   | Iš sauso į šlapią            | Padidėja, jei<br>mišinys yra<br>jautrus<br>vandeniui         |

Kassem *et al.* (2011) nagrinėjo oro tuštymių kiekio ir jų pasiskirstymo įtaka asfalto savybėms. Tyrimais nustatyta, kad tarp asfalto mechaninių savybių ir oro tuštymių kiekio yra stipri koreliacija – esant dideliame oro tuš-

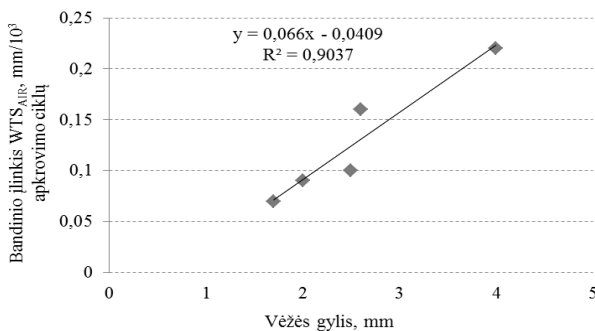
tymių kiekiui (10 %) asfalto bandiniai yra jautrus vandeniui, mažas atsparumas provėžų susidarymui bei nuovargiui. O mechaninės esant oro tuštymių kiekiui nuo 4 % iki 7 % skyrėsi nežymiai.

Ziari (2007) nagrinėjo temperatūros bei skirtingo bituminio rišklio kiekio asfalto mišinyje poveikį atsparumą deformacijų susidarymui. Nustatyta, kad asfalto mišinių, atitinkančių eksploatacines savybes, projektavimui neužtenka tipinių bandymų, todėl būtina atlikti papildomus bandymus, kuriais sudaromos kritinės sąlygos, kaip asfalto danga veikiama eksploatacijos metu (transporto eismo intensyvumas, sukkeliamos apkrovos, klimatiniai veiksniai).

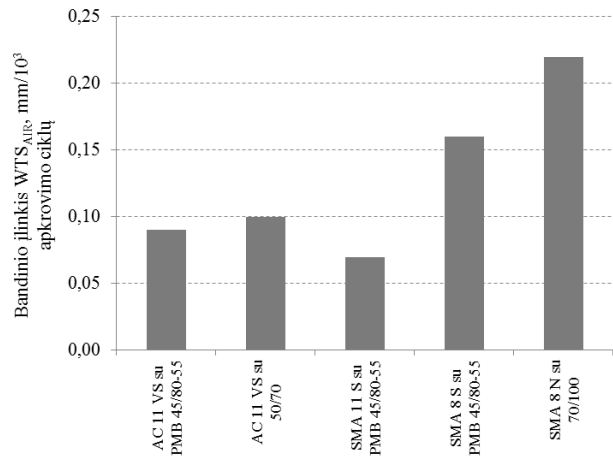
### 3. Eksperimentinis tyrimas

Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos inžinerijos fakulteto Kelių tyrimo instituto Automobilių kelių mokslo laboratorijoje autoriai 2013 m. atliko dėvimojo sluoksnio įrengimui Lietuvoje plačiausiai naudojamų asfalto mišinių atsparumo provėžoms tyrimą. Eksperimentiniam tyrimui pasirinkti 5 markių asfalto mišiniai: AC 11 VS su bitumu 50/70, AC 11 VS su bitumu PMB 45/80-55, SMA 11 S su bitumu PMB 45/80-55, SMA 8 S su bitumu PMB 45/80-55, SMA 8 N su bitumu 70/100. Šių asfalto mišinių gamybai naudotos granitinės mineralinės medžiagos. Taip pat naudoti cheminiai priedai mineralinių medžiagų sukibimo su bitumu savybėms pagerinti.

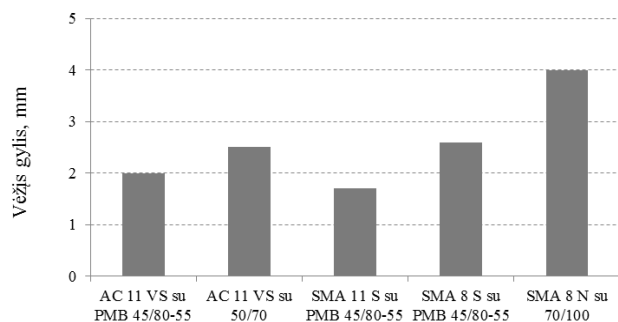
Asfalto mišinių atsparumas provėžoms įvertintas atliekant vėžės gylio nustatymo bandymą pagal LST EN 12697-2007+A1:2007 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 22 dalis. Rato riedėjimo vėžė“. Atliktų bandymų rezultatai pateikti 4–7 pav.



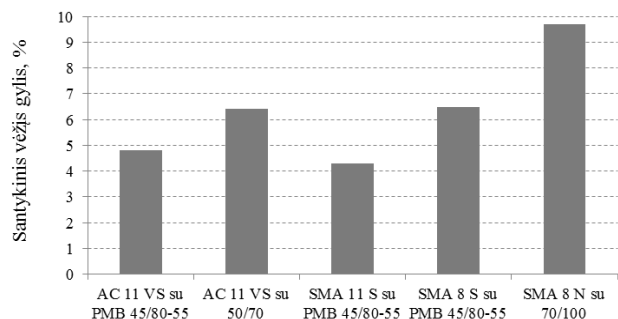
4 pav. Bendro vėžės gylio ir vėžės formavimosi greičio priklausomybė



5 pav. Vėžės formavimosi greičio nustatymo rezultatai



6 pav. Bendro vėžės gylio nustatymo rezultatai



7 pav. Santykinio vėžės gylio nustatymo rezultatai

Tirtų asfalto mišinių granulimetrinė sudėtis ir bitumo kiekiai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Asfalto mišinių granulimetrinė sudėtis ir bitumo kiekiai

| Asfalto mišinys | Bitumo markė ir kiekis, % | Išbiros pro sietus, % |       |       |      |      |      |      |      |       |       |
|-----------------|---------------------------|-----------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|                 |                           | Sietas, mm            |       |       |      |      |      |      |      |       |       |
|                 |                           | 0,063                 | 0,125 | 0,250 | 0,5  | 1,0  | 2,0  | 5,6  | 8,0  | 11,2  | 16,0  |
| AC 11 VS        | PMB 45/80-55 (5,7 %)      | 7,3                   | 10,5  | 17,2  | 24,5 | 34,4 | 45,7 | 66,6 | 76,9 | 97,2  | 100,0 |
| AC 11 VS        | 50/70 (5,7 %)             | 7,1                   | 9,6   | 14,7  | 22,5 | 32,7 | 46,3 | 66,5 | 82,0 | 97,9  | 100,0 |
| SMA 11 S        | PMB 45/80-55 (6,6 %)      | 10,0                  | 11,7  | 14,0  | 16,9 | 20,3 | 25,2 | 40,1 | 57,8 | 97,8  | 100,0 |
| SMA 8 S         | PMB 45/80-55 (7,0 %)      | 10,0                  | 11,7  | 14,4  | 16,3 | 18,3 | 23,4 | 47,2 | 94,6 | 100,0 | 100,0 |
| SMA 8 N         | 70/100 (7,0 %)            | 10,4                  | 12,2  | 15,7  | 18,1 | 20,7 | 27,1 | 53,8 | 95,3 | 100,0 | 100,0 |

Kaip matyti iš 4 pav., determinacijos koeficientas tarp bendro vėžės gylio ir bandinio įlinkio  $WTS_{AIR}$  po 1000 rato pravažiavimo ciklų yra labai geras ( $R^2 = 0,9037$ ), kas parodo tolygų vėžės formavimąsi. Kaip ir buvo tikėtasi, greičiausiai vėžė formavosi asfalto mišiniuose SMA 8 N su bitumu 70/100 ir SMA 8 S su bitumu PMB 45/80-55 (5 pav.). Tokį rezultatą įtakojo bitumo rūšis bei mineralinių medžiagų karkaso savybės (atitinkamai 0,22 ir 0,16 mm/10<sup>3</sup> ciklų). Lėčiausiai vėžė formavosi asfalto mišinyje SMA 11 S su PMB 45/80-55, kur vėžės gylis po 10<sup>3</sup> ciklų yra 0,07 mm.

Analizuojant bendro ir santykinio vėžės rezultatus (6–7 pav.), matoma aiški tendencija, kad visų mišinių vėžė formavosi tolygiai per visą 10 000 ratuko pravažiavimo ciklą. Atspariausi provėžoms yra asfalto mišiniai SMA 11 S su PMB 45/80-55 ir AC 11 VS su PMB 45/80-55, kur nustatytas vėžės gylis yra atitinkamai 1,7 mm ir 2,0 mm. Jautriausi provėžų susidarymui yra mišiniai SMA 8 S su PMB 45/80-55 ir SMA 8 N su 70/100, kur nustatytas vėžės gylis yra atitinkamai 2,5 mm ir 4,0 mm. Šie rezultatai atspindi bitumo rūšies įtaką atsparumui provėžoms.

Lyginant rezultatus su Lenkijos ir Latvijos norminiais dokumentais, gauta, kad visų tirtų mišinių įlinkis  $WTS_{AIR}$  po 10 000 apkrovimų ciklų tenkina keliamus reikalavimus – Latvijoje  $WTS_{AIR}$  (mm/10<sup>3</sup> apkrovimo ciklų) yra 1,0 mm, Lenkijoje 0,5 mm. Santykiniam vėžės gyliui bei bendram vėžės gyliui šiose šalyse reikalavimų nėra.

### Išvados ir rekomendacijos

Nustatyta, kad provėžos asfalto dangose susidaro dėl šių apkrovų:

- Stovinčiųjų ar stacionariųjų (ilgalaikių ar statinių) apkrovų;
- Pasikartojančiųjų eismo apkrovų (didelis pasikartojimų skaičius);
- Stabdymo ar greitėjimo apkrovų.

### Literatūra

- Arasan, S.; Yenera, E.; Hattatoglu, F.; Hınıslioglu, S.; Akbuluta, S. 2011. Correlation Between Shape of Aggregate and Mechanical Properties of Asphalt Concrete, *Road Materials and Pavement Design* 12(2): 239–262. doi:10.3166/RMPD.12.239-262.
- Asphalt Institute. 1996. Superpave TM Mix Design, *Superpave Series SP-2*, Lexington, Kentucky, USA.
- Asphalt Institute. 2001. *Superpave mix design*. Superpave Series No. 2 (SP-02). Asphalt Institute. Lexington, KY.
- Dore, G.; Zubeck, H. K. 2009. Cold Regions Pavement Engineering, *The McGraw-Hill Companies*, ISBN 978-0-07-160088-0.
- Fwa T. F., Tan S. A., Zhu L. Y. 2004. Rutting Prediction of Asphalt Pavement Layer Using C -φ Model, *Journal of Transportation Engineering* 130(5): 675–683.
- Hajj, E. Y.; Tannoury, G.; Sebaaly, P. E. 2011. Evaluation of rut resistance asphalt mixtures for intersection, *Road Materials and Pavement Design* 12(2): 263–292. <http://dx.doi.org/10.1080/14680629.2011.9695246>
- Jenks, W. C.; Jencks, C. F.; Harrigan, E. T.; Adcock, M.; Delaney, E. P.; Freer, H. 2011. NCHRP Report 673: A Manual for Design of Hot Mix Asphalt With Commentary, *Transportation Research Board*, Washington, DC.
- Kandhal, P. S.; L. A. Cooley, Jr. 2003. NCHRP Report 508: Accelerated Laboratory Rutting Tests: Evaluation of the Asphalt Pavement Analyzer, *Transportation Research Board*, Washington, DC.
- Kim, S.; Roque, R.; Birgisson, B. 2006. Identification and Assessment of the Dominant Aggregate Size Range (DASR) of Asphalt Mixture, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists* 75: 789–814.

Siekiant suprojektuoti provėžoms atsparų asfalto mišinį, būtina:

- Parinkti didelės sankibos ir vidinės trinties mineralinį karkasą;
- Parinkti optimalų bitumo ir mineralinių miltelių santykį;
- Naudoti sukibimą pagerinančius priedus;
- Naudoti polimerais modifikuotą bitumą;
- Sumažinti oro tuštymių kiekį;
- Suprojektuoto mišinio savybes įvertinti eksploatacine patirtimi pagrįstais šiuolaikiniais bandymo metodais.

Atlikus Lietuvoje naudojamų dėvimojo asfalto sluoksnio mišinių atsparumo provėžoms tyrimą, nustatyta, kad atspariausi provėžoms yra asfalto mišiniai SMA 11 S su PMB 45/80-55 ir AC 11 VS su PMB 45/80-55, kur nustatytas vėžės gylis yra atitinkamai 1,7 mm ir 2,0 mm. Jautriausi provėžų susidarymui yra mišiniai SMA 8 S su PMB 45/80-55 ir SMA 8 N su 70/100, kur nustatytas vėžės gylis yra atitinkamai 2,5 mm ir 4,0 mm.

Tyrimo rezultatai rodo, kad greičiausiai vėžė formavosi asfalto mišiniuose SMA 8 N su bitumu 70/100 ir SMA 8 S su bitumu PMB 45/80-55 (atitinkamai 0,22 ir 0,16 mm/10<sup>3</sup> ciklų). Lėčiausiai vėžė formavosi asfalto mišinyje SMA 11 S su PMB 45/80-55, kur vėžės gylis po 10<sup>3</sup> ciklų yra 0,07 mm.

Tirtų mišinių vėžės formavimosi greitis tenkina Latvijoje ir Lenkijoje keliamus reikalavimus – nustatyti  $WTS_{AIR}$  < 0,5 mm (Lenkija) ir  $WTS_{AIR}$  < 1,0 mm (Latvija).

Rekomenduojama įtraukti į Lietuvos norminį dokumentą TRA ASFALTAS 08 dėvimojo sluoksnio įrengimui naudojamiems skaldos ir mastikos asfalto mišiniams bendro vėžės gylio ( $RD_{AIR}$ ), santykinio vėžės gylio ( $PRD_{AIR}$ ) ir bandinio įlinkio ( $WTS_{AIR}$ ) reikalavimus.

Užsienio šalių autorių patirtis rodo, kad asfalto mišinio atsparumą provėžoms net 60 % įtakoja mineralinės medžiagos, jų tarpusavio sąveika ir tik 40 % bitumo kohezija.

- Nilson R. 2001. Fatigue of asphalt Mixtures – Continuum Damage Mechanics applied to Data from laboratory Tests. Licentiate Thesis. Department of technology and Society Lund Institute of Technology. 124 p.
- Oginskas, R. 2006. *Provežų, susijusių su šlyties deformacijomis automobilių kelių asfaltbetonio dangose, mažinimas naudojant geosintetines medžiagas*. Daktaro disertacija. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 99 p.
- Prowell, B. D. 2001. Design, Construction and early Performance of Virginia's Hot-Mix Asphalt Stabilizer and Modifier Test Sections, *Transportation Research Record* 1767: 7–14.
- Ramsamooj D.V., Ramadan J.P.E., Lin G.S. 1998. Model Prediction of Rutting in Asphalt Concrete. *Journal of Transportation Engineering* 124(5): 448–456.
- Read J., Whiteoak D. 2010. The shell bitumen handbook. Fifth edition.
- Singh, D., Zaman, M., Commuri, S. 2012. Inclusion of Aggregate Angularity, Texture, and Form in Estimating Dynamic Modulus of Asphalt Mixes, *Road Materials and Pavement Design* 13(2): 327–344. doi:10.1080/14680629.2011.650088.
- Sivilevičius, H.; Vansauskas, V. 2013. Research and evaluation of ruts in the asphalt pavement on Lithuanian highways, *Journal of civil engineering and management* 19(5): 609–621. <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3846/13923730.2013.817481>.
- Sivilevičius, H.; Šukevičius, Š. 2007. Dynamics of vehicle loads on the asphalt pavement of European roads which cross Lithuania, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 2 (4): 147–154.
- Sousa, J. B., Craus J., Monismith, C. L. 1991. Summary Report on Permanent Deformation in Asphalt Concrete. *Strategic Highways Research Program IR-91-104*.
- Topal, A.; Sengoz, B. 2005. Determination of Fine Aggregate Angularity in Relation with the Resistance to Rutting of Hot-mix Asphalt, *Construction and Building Materials* 19(2): 155–163.
- Witczak, M. W. 2007. NCHRP Report 580: Specification Criteria for Simple Performance Tests for Rutting: Volume I: Dynamic Modulus (E\*); Volume II: Flow Number and Flow Time. *Transportation Research Board*, Washington, DC.
- Ziari, H.; Mahmud, A.; Mohammad M. K. 2007. Resilient Behaviour of Hot Mixed and Crack Sealed Asphalt Concrete under Repeated Loading, *Iran Science and Technology University*: 56–60.