



## MODIFIKUOTŲ ASFALTBETONIO MIŠINIŲ POVEIKIS DANGOS FUNKCIONAVIMUI IR APLINKAI

Gediminas GRIBULIS<sup>1</sup>, Donatas ČYGAS<sup>2</sup>, Audrius VAITKUS<sup>3</sup>

*Vilniaus Gedimino Technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*

*El. paštas: <sup>1</sup>gediminas.gribulis@stud.vgtu.lt; <sup>2</sup>donatas.cygas@vgtu.lt; <sup>3</sup>audrius.vaitkus@vgtu.lt*

**Santrauka.** 19 amžiaus pradžioje, ėmus sparčiai augti pasaulinei ekonomikai ir vystytis pramonei, pradėjo didėti ir atmosferos užterštumas. Dabartinė globalinė pasaulinio atšilimo problema iš dalies siejama su anglies dioksido (CO<sub>2</sub>) išmetimu į aplinką, kurio vienas iš šaltinių yra pramoninės gamybos įmonės. Automobilių kelių dangoms įrengti Lietuvos ir pasaulinėje praktikoje dažniausiai naudojami karšto asfalto mišiniai. Šie mišiniai yra gaminami specialiuose asfalto maišytuvuose, kuriuose akmens medžiagos dozuojamos, džiovinamos, maišomos su bituminiais rišikliais. Gaminamo karšto asfalto mišinio temperatūra maišytuve siekia 150–180 °C, o kelyje klojamo – 120–160 °C. Šių procesų metu į aplinką paskleidžiama įvairių teršalų: anglies dioksido, formaldehidų ir kt. Pasaulyje ir Lietuvoje atlikti moksliniai tyrimai parodė, kad naudojant specialius priedus galima sumažinti karštų asfalto mišinių gamybos bei klojimo kelyje temperatūrą. Toks temperatūros sumažinimas leidžia nepabloginti asfalto dangų kokybės, sumažinti teršalų išmetimą į aplinką, pagerinti kelyje dirbančių darbuotojų darbo sąlygas, ekonomiškiau naudoti asfalto mišinių gamybai reikalingas dujas. Šiame straipsnyje analizuojamos skirtingų asfalto mišinių gamybos technologijos, jų privalumai ir trūkumai, laboratorinių bandymų rezultatai. Pateikiami eksperimentinių kelių ruožų įrengimo pavyzdžiai, naudojant šiltojo maišymo asfalto mišinius.

**Reikšminiai žodžiai:** šiltojo maišymo asfaltas, ceolitas, CO<sub>2</sub> sumažėjimas.

### Įvadas

Automobilių kelių dangoms įrengti Lietuvos ir pasaulinėje praktikoje dažniausiai naudojami karšto asfalto mišiniai. Šie mišiniai yra gaminami specialiuose asfalto maišytuvuose, kuriuose akmens medžiagos dozuojamos, džiovinamos, maišomos su bituminiais rišikliais. Gaminamo karšto asfalto mišinio temperatūra maišytuve siekia 150–180 °C, o kelyje klojamo – 120–160 °C. Šių procesų metu į aplinką paskleidžiama įvairių teršalų: anglies dioksido, formaldehidų ir kt.

Diskusijos apie asfalto gamybos temperatūros mažinimą, kaip apie energijos taupymo ir kenksmingų medžiagų susidarymo mažinimo priemonę, nėra naujos. Idėja taupyti energiją ir mažinti emisijas asfalto pramonėje aptarinėjama jau dešimtmečius. 1956 m. dr. Ladis H. Csanyi, Ajosvos valstijos universiteto profesorius, realizavo putojančio bitumo potencialą šaltojo asfalto rišiklių gamybai. *Mobil Oil Australia*, įsigijusi patento teises į Csanyi išradimą, modifikavo originalų procesą, garus pakeisdama į šaltą vandenį. Nuo tada bitumo putojimo procesas tapo praktiškesnis (Muthen 1998). 1999 m. K. J. Jenkins ir kiti pristatė naują procesą, kuriame buvo naudojamas pusiau šilto maišymo asfaltas su putotu bitumu. Jie svarstė ir tyrinėjo galimus privalumus pakaitinant užpildus iki aukštesnės nei aplinkos, bet

žemesnės nei 100 °C, temperatūros prieš pridedant putoto bitumo (Jenkins *et al.* 1999). Europoje ir Australijoje dėmesys į šiltojo maišymo asfalto mišinius atkreiptas 2000 m. Po kelerių metų šiltojo maišymo asfalto mišiniais susidomėjo ir Šiaurės Amerika.

Šiltojo maišymo asfalto mišinių technologijos funkcionalumas yra pagrįstas asfalto rišiklio klampumo mažinimu iki tam tikros temperatūros. Mažesnis rišiklio klampumas leidžia užpildus visiškai apvėti bitumo plėvele žemesnėje temperatūroje, nei būtų reikalinga maišant karštojo asfalto mišinius. Šiltojo maišymo asfalto mišinių gamybos technologijos ir skiriasi. Taip pat skiriasi ir kiekvienai technologijai įdiegti atliktų tyrimų skaičius. Priedai, naudojami taikant kai kurias technologijas itin iširti, jie gaminami komerciniu būdu, apie kitus nėra pateikiama išsamesnių duomenų. Pastaraisiais metais vykdoma daug eksperimentinių laboratorinių tyrimų, susijusių su bandomųjų kelio ruožų, taikant šiltojo maišymo asfalto technologijas, įrengimu. 2008 metais Omske, Rusijoje, atliktas asfalto mišinių tankinimo temperatūros pažeminimo eksperimentinis tyrimas, asfalto mišinių gamybos ir klojimo temperatūrai pažeminti naudoti cheminiai priedai *Cecabase RT Bio* ir *Cecabase RT 945* (Nekrasova *et al.* 2008). Hurley ir Prowell atliko

laboratorinius karštojo asfalto mišinių gamybos temperatūros pažeminimo tyrimus, naudodami *Aspha-min*, *Sasobit* ir *Evotherm* asfalto priedus (Hurley, Prowell 2004). Kristjansdottir moksliniame darbe apibendrina šiltojo maišymo asfalto mišinių klojimo galimybes šalto klimato sąlygomis. Kaip labiausiai Islandijos sąlygoms tinkamos technologijos paminėtos: *WAM Foam*, *Aspha-min* ir *Sasobit* (Kristjansdottir 2006). Tušar su kolegomis apibendrina Slovėnijoje vykdytų žemesnės temperatūros karštojo asfalto mišinių bandomųjų ruožų tyrimų rezultatus. Tyrimai vykdyti ruožuose, kuriuose asfalto dangos sluoksniai įrengti iš šiltojo maišymo asfalto mišinių, pagamintų taikant *Aspha-min* ir *Sasobit* technologijas (Tušar et al. 2008). Brosseaud ir Saint Jacques apibendrina žemesnės darbinės temperatūros asfalto mišinių naudojimą Prancūzijoje. Išskiriamos pusiau šilto ir šiltojo maišymo asfalto mišinių gamybos technologijos (Brosseaud, Saint Jacques 2008; Harder et al. 2008). *Sasobit*, *Evotherm* ir *Aspha-min* šiltojo maišymo asfalto priedų panaudojimas ir įtaka asfalto savybėms analizuota daugelio mokslininkų (Butz 2008; Hurley, Prowell 2008). Remiantis Diefenderfer ir kolegų atliktais tyrimais teigiama, kad šiltojo maišymo asfalto su *Sasobit* priedu fizinės mechaninės savybės yra geresnės negu su *Evotherm* priedu ir artimos karštojo asfalto savybėms (Diefenderfer et al. 2008, 2007). Butz atlikęs tyrimus nustatė, kad *Sasobit* priedas iki 3 % nuo bitumo masės tinkamas naudoti skaldos mastikos bei mastikos asfalto mišinių gamybos temperatūrai pažeminti. Šis priedo kiekis nepadidina bitumo jautrumo šalčiui (Butz 2008). Daugelyje mokslinių tyrimų apibendrinama, kad, taikant šiltojo maišymo asfalto technologijas, akivaizdžiai sumažėja išmetamų šiltnamio dujų ir bitumo dūmų (Juknevičiūtė, Laurinavičius 2008; Čygas et al. 2008; Radziszewski 2007; Kavussi et al. 2014; D'Angelo et al. 2008; Goh et al. 2008).

Atskirų cheminių priedų naudojimą šiltųjų asfalto mišinių gamybai tyrinėja ir Kinijos mokslininkai (Li et al. 2015; Liu et al. 2016).

Tyrimų tikslas – įvertinti šiltojo maišymo asfalto mišinių naudojimo galimybes Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliuose.

### Šiltojo maišymo asfalto gamybos technologijų analizė

Išskiriamos keturios pasaulyje taikomos šiltojo maišymo asfalto (WMA) gamybos technologijos. Palyginamieji šių technologijų duomenys pateikti 1 lentelėje.

1. Putojančio bitumo technologija, kai bitumo putojimą sukelia vanduo. Bitumo putojimas sukiamas įpurškiant vandens į pakaitintą bitumą arba įmaišant drėgno smėlio

(smulkių mineralinių dalelių) į asfalto mišinį: *WAM Foam*; *Terex WMA System*; *Double-Barrel Green*; *LEA – Low Energy Asphalt*; *LEA-CO*; *EBE*; *EBT*; *LEAB*; *Ultrafoam GX*; *LT Asphalt*.

2. Putojančio bitumo technologija, kai bitumo putojimas sukiamas įmaišant gamtinio arba sintetinio ceolito į asfalto mišinį asfalto gamybos metu: *Aspha-Min* – sintetinis ceolitas (zeolite); *Advera WMA Zeolite* – sintetinis ceolitas; gamtinis ceolitas – daugelyje pasaulio šalių parduodamas mineralas.

3. Organinių priedų, mažinančių bitumo klampumą, technologija. Priedai įterpiami į asfalto maišyklę kartu su mineralinėmis medžiagomis: *Sasobit – Fischer-Tropsch* sintezės vaškas; *Asphaltan B*; *Licomont BS 100 – Fatty Acid Amides*.

4. Cheminių priedų, mažinančių bitumo klampumą, technologija. Priedai įmaišomi į bitumą prieš bitumo dozavimą į asfalto maišyklę: *Iterlow T*; *Rediset*; *Cecabase RT*; *Evotherm*; *Revix* arba *Evotherm 3G*.

### Šiltojo maišymo asfalto technologijų privalumai ir trūkumai

Pagrįstai galima teigti, kad, gaminant šiltojo maišymo asfalto mišinius, kenksmingų medžiagų emisijos yra žymiai mažesnės nei gaminant karštojo asfalto mišinius. Asfalto dangų klojimas pusiau arba visiškai uždaroje vietoje, pvz., tuneliuose, neigiamai veikia darbuotojų sveikatą, nes išsiskyrę garai ir dūmai daug lėčiau sklaidosi negu atviroje vietoje, ir kenksmingų medžiagų koncentracija darbo zonoje padidėja kelis kartus. Tokiais atvejais šiltojo maišymo asfalto mišinių mažesnės kenksmingų medžiagų emisijos būtų didelis privalumas. Pagal mokslinių tyrimų apžvalgą (Tušar et al. 2008; Harder et al. 2008; Nejad et al. 2014), pateikiamos tikėtinos kenksmingų medžiagų emisijų sumažėjimo vertės gaminant šiltojo maišymo asfalto mišinius:

- CO<sub>2</sub> sumažėjimas 30–40 %;
- SO<sub>2</sub> sumažėjimas 35 %;
- lakiųjų organinių junginių (LOJ) (angl. *volatile organic compound, VOC*) sumažėjimas 50 %;
- CO sumažėjimas 10–30 %;
- NO<sub>x</sub> sumažėjimas 60–70 %;
- dulkių sumažėjimas 20–25 %.

Mažesnis kuro sunaudojimas yra dar vienas šiltojo maišymo asfalto mišinių privalumas. Šiltojo maišymo asfalto mišinių gamybos matavimai rodo iki 40 % mažesnes kuro sąnaudas, lyginant su karštojo asfalto mišiniais. Kuro sąnaudų sumažėjimas tiesiogiai priklauso nuo gaminamo šiltojo asfalto mišinio temperatūros. Šio privalumo svarba priklauso nuo to, kokia kuro rūšis yra naudojama gamybos procese, bei nuo kuro kainos. Lietuvoje kuro kaina yra sąlygiškai didelė ir nuolatos auga, todėl šis privalumas gali

1 lentelė. Šiltojo maišymo asfalto technologijų palyginamieji duomenys

Table 1. Comparative data of Warm Asphalt Mixing technology

Technologijos ar priedo pavadinimas	Gamintojas	Priedo kiekis	Asfalto gamybos temperatūra (arba pažeminimo ribos), °C
Putojančio bitumo technologija, kai bitumo putojimą sukelia vanduo			
WAM <i>Foam</i>	<i>Shell</i> (Jungtinė Karalystė) ir <i>Kolo-Veidekke</i> (Norvegija)	2–5 % vandens nuo kietojo rišiklio masės	100–120
<i>Terex WMA system</i>	<i>Terex</i> (JAV)	~2 % vandens nuo bitumo masės	130
Double – Barrel Green	Astec Industrines (JAV)	~2 % vandens nuo bitumo masės	116–135
LEA – <i>Low Energy asphalt</i>	LEA-CO (Prancūzija)	3 % vandens, įterpiama su smulkiu smėliu	<100
LEAB	<i>Royal BAM Group</i> (Olandija)	Putojantis bitumas su specialiu priedu (0,1 % nuo bitumo masės)	90
LT <i>Asphalt (Nynas Low temperature asphalt)</i>	Nynas (Olandija)	Putojantis bitumas su hidrofiliniu priedu, kurio kiekis (0,5–1,0) % nuo bitumo masės	90
Putojančio bitumo technologija, kai bitumo putojimas sukeliamas natūralaus arba sintetinio ceolito			
<i>Aspha-Min</i>	<i>Eurovia GmbH</i> (Vokietija)	0,3 % nuo mišinio masės	(20–30)
<i>Advera WMA Zeolite</i>	<i>PQ Corporation</i> (JAV)	0,25 % nuo mišinio masės	120
Organinių priedų, mažinančių bitumo klampumą, technologija			
<i>Sasobit</i>	<i>Sasol Wax International</i>	(2,5–3,0) % nuo bitumo masės	(20–30)
<i>Asphaltan B</i>	<i>Romonta GmbH</i> (Vokietija)	(2,0–4,0) % nuo bitumo masės	(20–30)
<i>Licomont Bs 100</i>	<i>Clariant</i> (Šveicarija)	3,0 % nuo bitumo masės	(20–30)
Cheminių priedų, mažinančių bitumo klampumą, technologija			
<i>Iterlow T</i>	<i>Iterchimica</i> (Italija)	(0,3–0,5) % nuo bitumo masės	120
<i>Rediset</i>	<i>Akzo Nobel</i> (Olandija)	2 % nuo bitumo masės	(30)
<i>Cecabase RT</i>	CECA (Prancūzija)	(0,3–0,5) % nuo bitumo masės	(30)
<i>Evotherm</i>	<i>MeadWestvaco</i> (JAV)	0,5 % nuo bituminės emulsijos masės. Emulsijoje 70 % bitumo	115
<i>Revix</i> arba <i>Evotherm 3G</i>	<i>MeadWestvaco</i> (JAV)	–	(30–40)

būti pakankamai reikšmingas Lietuvos kelių tiesimo įmonėms, gaminančioms asfalto mišinius. Remiantis mokslinių tyrimų apžvalga, galima teigti, kad mažesnis kuro sunaudojimas, gaminant šiltojo maišymo asfalto mišinius, nėra vertinamas kaip vienas pagrindinių šių mišinių privalumų.

Šiltojo maišymo asfalto mišinių gamybos ir naudojimo privalumai pagal labiausiai juntamą naudą išdėstomi taip:

1. Asfalto klojėjų darbo sąlygų pagerėjimas, dūmų emisijų sumažėjimas.
2. Išmetamų kenksmingų medžiagų (šiltnamio dujų) emisijų sumažėjimas.
3. Asfalto dangos klojimo sąlygų pagerėjimas:
  - asfalto dangą galima kloti žemesnėje temperatūroje – ilgesnis darbinis sezonas;
  - asfalto mišinį galima transportuoti ilgesnius atstumus;
  - mechanškai lengviau apdirbti klojamą asfalto dangą ir pasiekti reikiamą sutankinimo laipsnį;
  - greičiau paleidžiamas transporto eismas – trumpesnis tiesybos laikas.

4. Galimybė į asfalto mišinį įdėti 50 % ir daugiau naudoto asfalto granulių (RAP).

5. Kuro sąnaudų sumažėjimas.

Galima išskirti tokius šiltojo maišymo asfalto mišinių gamybos ir naudojimo trūkumus:

1. Asfalto mišinio pabrangimas dėl šiltojo maišymo asfalto technologijos sąnaudų.
2. Asfalto maišymo ciklo pailgėjimas dėl papildomų priedų įmaišymo (ne visoms technologijoms).
3. Būtinasis asfalto gamyklos modifikavimas (ne visoms technologijoms).
4. Mineralinių medžiagų nepakankamas sukibimas su bitumu dėl per didelės mineralinių medžiagų drėgmės. Būtina naudoti bitumo sukibimą su mineralinėmis medžiagomis gerinančius priedus.

#### Šiltojo maišymo asfalto mišinių eksperimentiniai tyrimai laboratorijoje

Šiltojo maišymo asfalto mišinių eksperimentinis laboratorinis tyrimas atliktas Vilniaus Gedimino technikos universiteto

Kelių katedros Automobilių kelių mokslo laboratorijoje. Eksperimentiniam tyrimui buvo parinkti dviejų tipų asfalto mišiniai. Asfalto mišinių gamybos temperatūrai pažeminti buvo taikomos dvi technologijos: putojančio bitumo technologija, kai bitumo putojimas sukliamas įmaišant natūralaus arba sintetinio ceolito į asfalto mišinį asfalto gamybos metu (*Aspha-min* ceolitas ir gamtinis ceolitas); ir cheminių priedų, mažinančių bitumo klampumą (*Iterlow T*, *Cecabase RT Bio* cheminiai priedai). Asfalto mišiniai laboratoriniam tyrimui buvo parinkti taip, kad vienas jų atspindėtų asfalto mišinys, naudojamus keliams su normaliąja apkrova, kitas – sunkiąja (ypatingąja) apkrova. Keliams su sunkiąja apkrova buvo parinktas AC 11 VS asfalto markės mišinys, kurio gamybai buvo naudojamos granitinės medžiagos, o keliams su normaliąja apkrova – AC 16 PD. Pastarasis asfalto mišinys buvo gaminamas naudojant dolomito ir žvirgždo skaldele. Taip buvo siekta įvertinti tos pačios markės asfalto mišinio, pagaminto iš skirtingų mineralinių medžiagų, fizinių mechaninių savybių priklausomybę nuo panaudoto priedo. Visų eksperimentinio tyrimo metu tirtų mišinių gamybai pasirinktas bitumas 70/100. Mineralinių medžiagų sukibimo su bitumu savybėmis pagerinti buvo naudojami cheminiai priedai. Asfalto mišinio AC 16 PD (su žvirgždo skaldele) gamybai naudotas sukibimą gerinantis priedas *Gripper L*, AC 11 VS (su granito skaldele) ir AC 16 PD (su dolomito skaldele) – *Iterlene IN/400L*. Kiekvienos markės asfalto mišinio buvo maišoma po 8 identiškų granulometrinės sudėties ir bitumo kiekio mišinius su skirtingais priedų kiekiais. Kontrolinis (be priedų) asfalto mišinys buvo maišomas ir tankinamas 150 °C ir 120 °C temperatūroje. Asfalto mišiniai su priedais buvo maišomi ir tankinami 120 °C temperatūroje. Pagal TRA ASFALTAS 08 AC 16 PD ir AC 11 VS (bitumas 70/100) asfalto bandinių tankinimo temperatūra yra 145±5 °C. Susisteminti laboratorinių eksperimentinių

tyrimų duomenys pateikti 2 lentelėje. Laboratorijoje nustatytos asfalto mišinių fizinės mechaninės savybės:

- pastovumas ir plastiškumas;
- didžiausias tankis;
- tariamasis tankis;
- tuštymėtumo rodiklis;
- bitumo kiekis;
- granulometrinė sudėtis.

Atlikus tyrimų rezultatų analizę matyti, kad nėra aiškios priklausomybės tarp priedų kiekio ir asfalto mišinio fizinių mechaninių savybių. Išnagrinėjus, kaip kinta asfalto mišinių pastovumo rodiklis priklausomai nuo priedo kiekio ir tankinimo temperatūros, galima pastebėti, kad mažesnis rezultatų pasiskirstymas yra tarp 0,2 % ir 0,3 % priedo. Asfalto mišinio AC 16 PD su *Aspha-min* ir gamtiniu ceolitu pastovumas, esant 120 °C temperatūrai, žymiai didėja, kai priedo kiekis sudaro 0,3 % nuo mišinio masės. Šiuo atveju pastovumas didesnis negu kontrolinio asfalto mišinio, sutankinto esant 150 °C temperatūrai. Asfalto mišinio AC 16 PD su *Cecabase RT Bio* priedu pastovumas taip pat pasiekiamas didžiausias, kai priedo kiekis sudaro 0,3 % bitumo masės. Asfalto mišinio AC 11 VS, sutankinto esant 120 °C temperatūrai, pastovumas mažėja, didėjant priedo kiekiui, tiek su *Iterlow T*, tiek su *Cecabase RT Bio* priedu (žr. 1 pav.).

Tyrimais nustatytas asfalto mišinių plastiškumo rodiklis priklausomai nuo tankinimo temperatūros ir priedo kiekio mažiausiai varijuoja esant 0,3 % priedo kiekiui. Asfalto mišinio AC 16 PD su visais naudotais priedais plastiškumo rodiklis didėja, kai priedo kiekis viršija 0,3 %. Asfalto mišinio AC 11 VS plastiškumo rodiklio priklausomybė nuo priedo kiekio yra labai panaši tiek su *Iterlow T*, tiek su *Cecabase RT Bio* priedu. Šio mišinio plastiškumo rodiklio

2 lentelė. Asfalto mišinių eksperimentinio laboratorinio tyrimo susisteminti duomenys

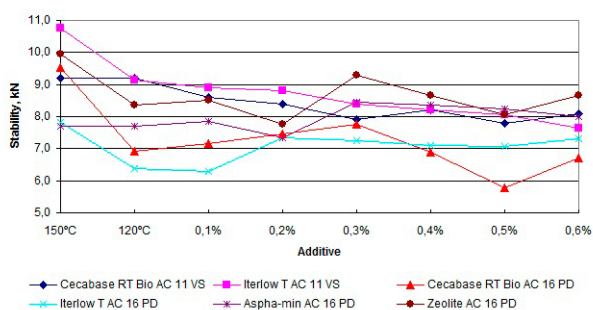
Table 2. Experimental laboratory research data of asphalt mixtures

Asfalto mišinio markė	Bitumo markė	Sukibimą gerinantis priedas	Cheminis priedas	Bitumo klampumą mažinančio cheminio priedo kiekis, %							Maišymo temperatūra, °C	
				0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	150	120
AC 11 VS (granitas)	70/100	<i>Iterlene IN/400L</i>	<i>Iterlow T</i>	0,0							150	120
				0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	120		
			<i>Cecabase RT Bio</i>	0,0							150	120
				0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	120		
AC 16 PD (dolomitas)	70/100	<i>Iterlene IN/400L</i>	<i>Iterlow T</i>	0,0							150	120
				0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	120		
			<i>Cecabase RT Bio</i>	0,0							150	120
				0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	120		
AC 16 PD (žvirgždas)	70/100	<i>Gripper L</i>	<i>Aspha-min</i>	(0,0)							150	120
				(0,1)	(0,2)	(0,3)	(0,4)	(0,5)	(0,6)	120		
			Gamtinis ceolitas	(0,0)							150	120
				(0,1)	(0,2)	(0,3)	(0,4)	(0,5)	(0,6)	120		

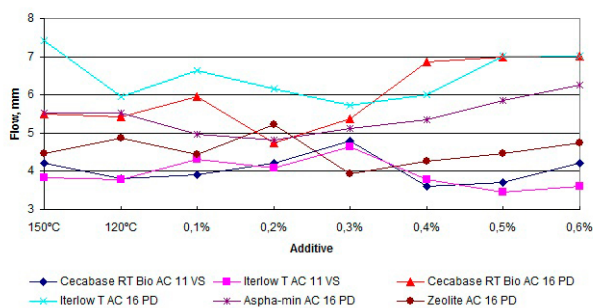
reikšmė artimiausia kontrolinio mišinio plastiškumo rodiklio reikšmei, kai priedo kiekis nuo 0,2 % iki 0,3 % (žr. 2 pav.). Asfalto mišinių tariamojo tankio reikšmių vidurkių pasiskirstymas priklausomai nuo priedo kiekio pateiktas 3 pav.

Laboratorijoje sumaišytų ir ištirtų asfalto mišinių fizinių mechaninių savybių reikšmių vidurkių pasiskirstymo analizė rodo, kad optimalus priedų, leidžiančių sumažinti asfalto gamybos ir klojimo temperatūrą, yra:

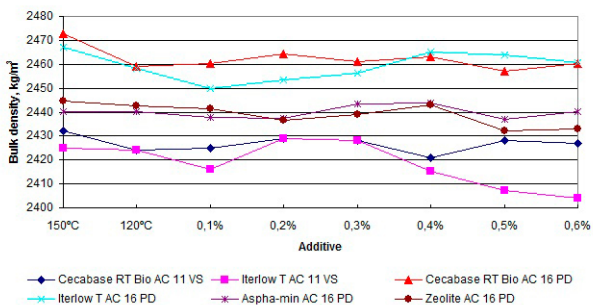
- *Aspha-min* ir gamtinis ceolitas – 0,3 % asfalto mišinio masės;
- *Iterlow T* ir *Cecabase RT Bio* – 0,3 % nuo bitumo masės.



1 pav. Asfalto mišinių pastovumo (esant 60 °C) reikšmių vidurkių pasiskirstymas priklausomai nuo priedo kiekio  
Fig. 1. Distribution of asphalt mixtures stability (at 60 °C) mean values depending on the enhancement content



2 pav. Asfalto mišinių plastiškumo (esant 60 °C) reikšmių vidurkių pasiskirstymas priklausomai nuo priedo kiekio  
Fig. 2. Distribution of asphalt mixtures plasticity (at 60 °C) mean values depending on the enhancement content



3 pav. Asfalto mišinių tariamojo tankio reikšmių vidurkių pasiskirstymas priklausomai nuo priedo kiekio  
Fig 3. Distribution of asphalt mixtures apparent density depending on the enhancement content

## Bandomųjų ruožų įrengimas iš šiltojo maišymo asfalto mišinių

Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliuose buvo įrengti du bandomieji ruožai, paklojant šiltojo maišymo asfalto mišinį. Vienas kelio ruožas buvo įrengtas valstybinės reikšmės kelyje Joniškis–Žagarė. 4 pav. pateikti asfalto dangos įrengimo iš šiltojo maišymo asfalto mišinio vaizdas.

Šiam ruožui įrengti buvo taikyta gamtinio ir cheminio ceolito bei cheminių priedų technologija įmaišant į bitumą priedą *Iterlow T*. 4 cm asfalto sluoksnis šiame ruože paklotas iš šiltojo asfalto mišinio AC 11 VS.

Antras bandomasis ruožas buvo įrengtas kelyje Nr. 4007 Kairiai–Norušaičiai–Degučiai panaudojant tuos pačius cheminius priedus ir paklojant 6 cm storio asfalto pagrindo dangos sluoksnį iš šiltojo asfalto mišinio AC 16 PD. Asfalto mišinio klojimo procesas pavaizduotas 5 pav.

Šiltąjį asfalto mišinį gamino ir asfalto dangas įrengė UAB „Šiaulių plentas“. Asfalto mišinio maišymo temperatūra buvo keičiama nuo 150 °C iki 120 °C.



4 pav. Asfalto dangos įrengimas iš šiltojo asfalto mišinio kelyje Nr. 153 Joniškis–Žagarė

Fig. 4. Asphalt pavement installation of warm-mix asphalt at road No. 153 Joniškis–Žagarė



5 pav. Asfalto dangos įrengimas iš šiltojo asfalto mišinio kelyje Nr. 4007 Kairiai–Narušaičiai–Dagučiai

Fig. 5. Asphalt pavement installation of warm-mix asphalt at road No. 4007 Kairiai–Narušaičiai–Dagučiai



6 pav. Dangos paviršiaus vaizdas po dvejų jos eksploatacijos metų bandomajame ruože (kelyje Nr. 153 Joniškis–Žagarė)

Fig. 6. Cover surface after its two years exploitation in the pilot track (road no. 153 Joniškis–Žagarė)

Šiuose dviejuose kelių ruožuose įrengus dangas iš šiltųjų asfalto mišinių konstatuota, kad šiltasis asfalto mišinys daug mažiau garuoja, gerai tankėja net esant (110–120) °C, tai leidžia dirbti esant žemesnei aplinkos temperatūrai ir sumažinti išmetimą CO<sub>2</sub> kiekį į aplinką.

6 pav. pateiktame kelio dangos paviršiaus vaizde po dvejų jos eksploatacijos metų pastebimų kelio defektų nematyti.

### Išvados ir rekomendacijos

1. Karštojo asfalto mišinių darbo temperatūros sumažinimas (šiltojo maišymo asfalto mišinių technologijos) asfalto mišinių gamybos pramonėje leidžia sumažinti šiltnamio dujų emisijas iki (30–50) %.
2. Apžvelgus kitų šalių mokslininkų atliktus laboratorinius ir lauko tyrimus, galima teigti, kad tyrimų metu gautos šiltojo maišymo asfalto mišinių savybių reikšmės yra išsibarsčiusios ir nepastovios, lyginant su karštojo asfalto mišinių savybėmis. Pagal tą pačią technologiją pagamintų šiltojo maišymo asfalto mišinių ir paklotų dangų savybės skiriasi.
3. Rekomenduojamas optimalus priedų, leidžiančių sumažinti asfalto gamybos ir klojimo temperatūrą, kiekis: *Iterlow T* ir *Cecabase RT Bio* – 0,3 % bitumo masės; *Aspha-min* ceolito ir gamtinio ceolito – 0,3 % asfalto mišinio masės. Naudojant šiuos priedų kiekius nustatytas geriausias asfalto mišinio, pagaminto 120 °C temperatūroje, pastovumas.
4. Šiltojo maišymo asfalto mišinių gamybos technologijų taikymas, priklausomai nuo technologijos ir gamybos apimties, nevertinant energijos (kuro) sąnaudų sumažėjimo, asfalto mišinį pabrangina nuo 0,5 % iki 7,0 %, lyginant su karštojo asfalto mišinių gamyba.
5. Taikant šiltojo maišymo asfalto mišinių technologijas, galima naudoti seno asfalto granules. Seno asfalto granulių naudojimas šiltojo maišymo asfalto mišinių

gamybai sumažina mineralinių medžiagų (mišinio) jautrumą vandeniui, nes seno asfalto granulės yra iš karto apveltos bitumo plėvele.

6. Pagal šiltųjų asfalto mišinių tyrimų ir įrengtų kelio ruožų su šiltųjų asfalto mišinių dangomis pradinių tyrimų rezultatus galima teigti, kad šiltųjų asfaltų technologijos yra gera alternatyva karštiesiems asfalto mišiniams. Todėl būtina tęsti šių technologijų ir jau įrengtų kelio ruožų tolesnius tyrimus siekiant nustatyti tinkamiausias šiltųjų asfalto mišinių gamybos technologijas Lietuvos sąlygomis.
7. Šiltųjų asfalto mišinių gamybos ir klojimo technologijos leidžia sumažinti CO<sub>2</sub> išmetimo emisiją, pagerina darbo sąlygas darbuotojams bei aplinkos sąlygas gyventojams, gyvenantiems šalia rekonstruojamų kelių. Šių technologijų taikymas taip pat leidžia taupyti dujinį kurą, reikalingą asfalto mišinių gamybai.

### Literatūra

- Brosseaud, Y.; Saint Jacques, M. 2008. *Warm asphalt mixes: overview of this new technology in France*. Transport Research Arena Europe 2008. Paper No. 10.1.7. 187 p.
- Butz, T. 2008. *Warm asphalt mix – technologies, research and experience* [interaktyvus], [žiūrėta 2008 m. gruodžio 19 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.pkd.org.pl/pliki/referaty/butz.pdf>
- Čygas, D.; Laurinavičius, A.; Vaitkus, A.; Motiejūnas, A.; Perveneckas, Z. 2008. Research of asphalt pavement structures on Lithuanian roads (I), *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 3(2): 77–83.
- D'Angelo, J.; Harm, E.; Bartoszek, J.; Baumgardner, G.; Corrigan, M.; Cowsert, J.; Harman, T.; Jamshidi, M.; Jones, W.; Newcomb, D.; Prowell, B.; Sines, R.; Beaton, B. 2008. *Warm-mix asphalt: European practice*. Research Report No. FHWA-PL-08-007. Federal Highway Administration, Washington DC. 59 p.
- Diefenderfer, S. D.; Hearon, A. J.; McGhee, K. K. 2008. Installation of warm mix asphalt projects in Virginia, in *TRB 2008 Annual Meeting*, 13–17 January 2008, Washington, USA.
- Diefenderfer, S. D.; McGhee, K. K.; Hearon, A. J. 2007. *Installation of warm mix asphalt projects in Virginia*. Research report VTRC 07-R25. 29 p.
- Goh, S. W.; You, Z. 2008. Laboratory evaluation of warm mix asphalt: a preliminary study, *International Journal of Pavement Research and Technology* 1(1): 34–40.
- Harder, G.; LeGoff, Y.; Loustau, A.; Martineau, Y.; Heritier, B.; Romier, A. 2008. Energy and environmental gains of warm and half-warm asphalt mix: quantitative approach, in *TRB 2008 Annual Meeting*, 13-17 January 2008, Washington, DC. 20 p.
- Hurley, G. C.; Prowell, B. D. 2004. *Evaluation of potential processes for use in warm mix asphalt*. Research Record. 46 p.
- Hurley, G. C.; Prowell, B. D. 2008. Field performance of warm mix asphalt, in *TRB 2008 Annual Meeting*, 13-17 January 2008, Washington, DC. 17 p.

- Jenkins, K. J.; de Groot, J. L. A.; van de Ven, M. F. C.; Molenaar, A. A. A. 1999. *Half-warm foamed bitumen treatment, a new process* [interaktyvus], [žiūrėtas 2009 m. sausio 12 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.aapa.asn.au/content/aapa/download/AdvisoryNote17.pdf>
- Juknevičiūtė, L.; Laurinavičius, A. 2008. Analysis and evaluation of depth of frozen ground affected by road climatic conditions, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 3(4): 226–232.
- Kavussi, A.; Qorbani, M.; Khodaii, A.; Haghshenas, H. F. 2014. Moisture susceptibility of warm mix asphalt: a statistical analysis of the laboratory testing results, *Construction and Building Materials* 52: 511–517.
- Kristjansdottir, O. 2006. *Warm mix asphalt for cold weather paving*: Master of Science thesis. University of Washington. 127 p.
- Li, X.; Xie, Z.; Fan, W.; Shen, J. 2015. Selecting warm mix asphalt additives by the properties of warm mix asphalt mixtures – China experience, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 10(1): 79–88.
- Liu, J.; Yan, K.; You, L.; Ge, D.; Wang, Z. 2016. Laboratory performance of warm mix asphalt binder containing polyphosphoric acid, *Construction and Building Materials* 106: 218–227.
- Muthen, K. M. 1998. *Foamed asphalt mixes – mix design procedure* [interaktyvus], [žiūrėtas 2009 m. sausio 12 d.]. Prieiga per internetą: <http://asphalt.csir.co.za/foamasph/foamasph.pdf>
- Nejad, F. M.; Azarhoosh, A.; Hamed, G. H.; Roshani, H. 2014. Rutting performance prediction of warm mix asphalt containing reclaimed asphalt pavements, *Road Materials and Pavement Design* 15(1): 207–219.
- Nekrasova, O. S.; Zubkova, V. I.; Mikodina, M. F.; Legkih, R. V.; Avdejeva, E. I.; Murashova, L. U.; Voznesenskaja, E. I.; Kiseliov, E. G.; Porhomenko, E. G.; Karejev, C. U.; Cheredova, V. V.; Kadejkin, K. A.; Vishimirkij, A. V. 2008. *Cecabase RT BIO ir Cecabase RT 945 Ispolzovanije dobavok dlia umenseniji temperature uplotnenija asfaltobotonix smesej* [Priedų naudojimas asfalto mišinių tankinimo temperatūrai pažeminti]. Research Record. Omsk, Russia. 26 p. (in Russian).
- Radziszewski, P. 2007. Modified asphalt mixtures resistance to permanent deformations, *Journal of Civil Engineering and Management* 13(4): 307–315.
- Tušar, M.; Zupan, J.; Iljaž, K. 2008. *Low temperature asphalt trials in Slovenia and chemical analysis of binders*. Transport Research Arena Europe 2008. Paper No. 10.1.6. 185 p.

## IMPACT OF MODIFIED ASPHALT MIXTURES ON PAVING FUNCTIONING AND ENVIRONMENT

G. Gribulis, D. Čygas, A. Vaitkus

### Abstract

Atmospheric pollution began to increase in the beginning of 19th century, when the global economy and industrial development started the signal grow. The current problem of global warming is partly related with emission of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) to environment, which one of the sources are industrial production companies. Warm asphalt mix is usually used in the practice of Lithuania and the world for equipment of road paving. These mixes are produced in specialized asphalt mixers where stone dosing, drying and its mixing with bituminous binders are performed. The temperature of produced hot asphalt mix in mixer reach 150–180 °C and 120–160 °C of mixture laying on the road. Various pollutants, carbon dioxide, formaldehydes, and other are spread to the environment. The carried out researches in Lithuania and the world have showed that while using special additives it is possible to reduce the temperatures of warm asphalt production and laying on the road. Such reduction of temperature helps not to worsen the quality of asphalt layer, to lower the emission of pollutants to environment, to improve the conditions of road workers and to economically use the gas for production of asphalt mixes. Production technologies of different asphalt mixes, their advantages and disadvantages, and results of laboratory tests are analyzed in this article. Equipment samples of experimental road sections, using the warm mixing asphalt mixtures are given.

**Keywords:** warm mix asphalt, zeolite, CO<sub>2</sub> reduction.