



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

KELIŲ KATEDRA

Pranas Varaneckas

**AUKŠTOS KOKYBĖS DOLOMITO SKALDOS PANAUDOJIMO ASFALTO
VIRŠUTINIAM SLUOKSNIUI ĮRENGTI VERTINIMAS**

***EVALUATION OF ASPHALT WEARING COURSE MIX WITH HIGH CLASS
DOLOMITE AGGREGATES***

Baigiamasis magistro darbas

Civilinė inžinerija, valstybinis kodas 62402T105

Keliai

Statybos inžinerija (02 T)

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

KELIŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros Vedėjas

(Parašas)

Virgaudas Puodžiukas

(Vardas, pavardė)

(Data)

Pranas Varaneckas

**AUKŠTOS KOKYBĖS DOLOMITO SKALDOS PANAUDOJIMO ASFALTO
VIRŠUTINIAM SLUOKSNIUI ĮRENGTI VERTINIMAS APPLICATION OF**

**EVALUATION OF ASPHALT WEARING COURSE MIX WITH HIGH CLASS
DOLOMITE AGGREGATES**

Baigiamasis magistro darbas

Civilinė inžinerija, valstybinis kodas 62402T105

Keliai

Statybos inžinerija (02 T)

Vadovas: dr. Viktoras Vorobjovas

(Parašas)

(Data)

Konsultantas: lekt. Regina Žukienė

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2015

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų,
sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo
organizavimo tvarkos aprašo 2011-2012 m. m.

1 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Pranas Varaneckas, 20092429

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Civilinė inžinerija, KmF-13

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽINGUMO DEKLARACIJA**

2015 m. gegužės 24 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Aukštos klasės dolomito skaldos panaudojimo automobilių kelių asfalto dangos viršutiniam sluoksniui įrengti vertinimas“ patvirtintas 2013 m. lapkričio 21 d. dekanų potvarkiu Nr. 416ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas dr. Viktoras Vorobjovas.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

(Parašas)

Pranas Varaneckas

(Vardas ir pavardė)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
KELIŲ KATEDRA

Technologijos mokslai mokslo sritis
Statybos inžinerija (02 T) mokslo kryptis
Civilinė inžinerija studijų programa,
valstybinis kodas 621H20002
Keliai specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Virgaudas Puodžiukas

(Vardas, pavardė)

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS

2015-05-31 Nr.

Vilnius

Studentui (ei) Pranui Varaneckui

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Aukštos kokybės dolomito skaldos panaudojimo asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti vertinimas

patvirtinta 201 3 m. lapkričio 21 d. dekanų potvarkiu Nr. 416 ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 201 5 m. gegužės 29 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Išanalizuoti Lietuvoje ir kitose Europos šalyse taikomus techninius dokumentus asfalto mišinių projektavimui ir įrengimui. Išanalizuoti asfalto viršutinių sluoksnių mišinių projektavimo principus. Išnagrinėti nerūdinių mineralinių medžiagų gamybą Lietuvoje. Išanalizuoti asfalto mišinio savybes įtakojančias asfalto dangos eksploataciją. Išnagrinėti užpildo ir bituminio rišiklio įtaką asfalto mišinio funkcionavimui. Apžvelgti užsienio šalių mokslininkų atliktus tyrimus naudojant skirtingos rūšies mineralines medžiagas asfalto viršutinio sluoksnio mišiniams. Atlikti eksperimentinį laboratorinį tyrimą suprojektuojant asfalto viršutinio sluoksnio mišinį su įprastai naudojama granito skalda ir aukštos kokybės dolomito skalda. Nustatyti suprojektuotų asfalto mišinių fizikines ir mechanines savybes. Atlikti šių asfalto mišinių panaudojimo ekonominį vertinimą. Pateikti išvadą ir rekomendacijas dėl aukštos kokybės dolomito skaldos panaudojimo automobilių kelių asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas

(Parašas)

dr. Viktoras Vorobjovas

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

(Parašas)

Pranas Varaneckas

(Vardas, pavardė)

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Kelių katedra

ISBN
Egz. sk.
Data-.....-..... ISSN

Antrosios pakopos studijų **Civilinės inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas 4

Pavadinimas **Aukštos klasės dolomito skaldos panaudojimo automobilių kelių asfalto dangos viršutiniam sluoksniui įrengti vertinimas**

Autorius **Pranas Varaneckas**

Vadovas **dr. Viktoras Vorobjovas**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Lietuvoje asfalto viršutinio sluoksnio įrengimui naudojamų asfalto mišinių gamybai dažniausiai naudojamos granito mineralinės medžiagos. Jos yra importuojamos iš užsienio šalių. Stipriausia uoliena, aptinkama Lietuvoje yra dolomitas. Ši medžiaga – silpnesnė, nei granitas, todėl svarbu laboratoriniais tyrimais įvertinti dolomito panaudojimo galimybes įrengiant asfalto viršutinį sluoksnį. Baigiamajame magistro darbe pateikiami aukštos kokybės dolomito skaldos kaip asfalto viršutinio sluoksnio mineralinės medžiagos tyrimai. Suprojektuoti ir pagaminti asfaltbetonio AC 11 VS mišiniai su granito ir aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis. Asfaltbetonio AC 11 VS mišiniams nustatytos tipinės fizikinės, mechaninės ir eksploatacinės savybės, laboratorijoje imituojančios transporto apkrovą ir aplinkos sąlygas. Tyrimais nustatyta, kad asfaltbetonio AC 11 VS mišinio su aukštos kokybės dolomito mineralinių medžiagų užpildu mechaninės savybės geresnės, nei asfaltbetonio AC 11 VS mišinio su granito mineralinėmis medžiagomis, išskyrus neženkliai mažesnį atsparumą liekamosioms deformacijoms. Atlikta ekonominė analizė parodė, kad naudingiau eksploatuoti asfaltbetonio AC 11 VS mišinį su vietinėmis aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis, nei importuojamo granito užpildu. Remiantis tyrimo rezultatais pateikiamos išvados ir rekomendacijos dėl aukštos kokybės dolomito skaldos panaudojimo asfaltbetonio viršutinio sluoksnio mišiniams įrengti.

Prasminiai žodžiai: dolomitas, asfalto mišinys, liekamoji deformacija, mineralinė medžiaga, mechaninės savybės, fizikinės savybės

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Roads

ISBN
Copies No.
Date-.....-..... ISSN

Master Degree Studies **Civil Engineering** study programme Master Graduation Thesis 4

Title **Evaluation of Asphalt Wearing Course Mix with the High Class Dolomite Aggregates**

Author **Pranas Varaneckas**

Academic supervisor **Dr Viktoras Vorobjovas**

**Thesis
language:** Lithuanian

Annotation

In Lithuania granite is the most frequently used asphalt aggregate for road wearing courses. Granite is imported from foreign countries. The strongest obtainable rock in Lithuania is dolomite. This aggregate is much weaker than granite. It is, therefore, vitally important to evaluate the use of dolomite as an asphalt aggregate before use as a wearing course by having it tested by a research laboratory. This Master's Degree Thesis researches the use of high quality dolomite that is used as an aggregate in asphalt wearing courses. Furthermore, the composition of asphalt concrete AC 11 VS with a high quality dolomite aggregate mix is designed to determine its physical, mechanical and exploitation properties. Research has shown that the mechanical properties of a hot asphalt mix AC 11 VS with high quality dolomite aggregate is better than the asphalt mixture AC 11 VS with granite aggregate, except for resistance to permanent deformation. Economical calculations have shown that it is more profitable to use an asphalt mix AC 11 VS as a wearing course with local dolomite than imported granite aggregate. This is according to the research results, conclusions and recommendations that are provided in this Thesis.

Keywords: dolomite, hot asphalt mixture, permanent deformation, aggregate, mechanical properties, physical properties

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	9
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	12
SANTRUMPOS	14
SĄVOKOS	15
IVADAS	17
1. LIETUVOS AUTOMOBILIŲ KELIŲ DANGŲ ĮRENGIMUI NAUDOJAMŲ ASFALTO MIŠINIŲ IR JŲ SUDEDAMŲJŲ DALIŲ ANALIZĖ.....	19
1.1. Lietuvos automobilių kelių tinklo ir kelių dangų tipų analizė.....	19
1.2. Asfalto mišinių projektavimo Lietuvoje reglamentuojančių dokumentų apžvalga.....	25
1.3. Įvairių šalių reikalavimų asfalto mišiniams analizė	28
1.4. Lietuvos automobilių kelių tiesybai naudojamų Lietuvos gamtinių išteklių analizė	30
1.5. Darbo tikslas ir uždaviniai	34
2. ASFALTO VIRŠUTINIO SLUOKSNIO FUNKCIONAVIMĄ ĮTAKOJANČIŲ ASFALTO MIŠINIŲ SAVYBIŲ IR JO KOMPONENTŲ ANALIZĖ	35
2.1. Asfalto mišinio savybes įtakančių faktorių analizė	35
2.2. Asfalto mišinio užpildo įtaka dangos funkcionavimui	39
2.3. Bituminio rišiklio įtaka asfalto funkcionavimui	42
2.4. Tyrimų, susiejusių su įvairių rūšių mineralinių medžiagų panaudojimu asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti, apžvalga	44
2.5. Antro skyriaus išvados	51
3. AUKŠTOS KOKYBĖS DOLOMITO SKALDOS PANAUDOJIMO AUTOMOBILIŲ KELIŲ ASFALTO DANGOS VIRŠUTINIAM SLUOKSNIUI ĮRENGTI EKSPERIMENTINIS TYRIMAS	52
3.1. Tyrimo objektas ir metodika.....	52
3.2. Mineralinės medžiagos savybių tyrimas.....	60
3.3. Bituminio rišiklio tyrimas.....	61
3.4. Asfalto mišinio sudėties projektavimas.....	63

3.6. Tyrimo rezultatų analizė.....	68
3.6. Trečio skyriaus išvados	73
4. EKONOMINIS PAGRINDIMAS DĖL AUKŠTOS KOKYBĖS DOLOMITO SKALDOS PANAUDOJIMO AUTOMOBILIŲ KELIŲ ASFALTO DANGOS VIRŠUTINIAM SLUOKSNIUI ĮRENGTI	75
4.1. Asfalto viršutinio sluoksnio su aukštos kokybės dolomito skalda įrengimo ir eksploatacijos ekonominė analizė	75
4.2. Ketvirtą skyriaus išvados.....	84
5. BENDROS IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS	85
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	87
PRIEDAI	94

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Bendras Lietuvos valstybinės ir vietinės reikšmės kelių ilgis	20
2 lentelė. Valstybinės reikšmės kelių ilgių pasiskirstymas pagal juos prižiūrinčias valstybines įmones.....	21
3 lentelė. Valstybinės reikšmės kelių, su asfalto danga, ilgių pasiskirstymas pagal juos“ prižiūrinčias valstybines įmones.....	22
4 lentelė. Valstybinės reikšmės kelių, cemento dangos, ilgių pasiskirstymas pagal juos prižiūrinčias valstybines įmones.....	23
5 lentelė. Valstybinės reikšmės kelių, žvyro dangos, ilgių pasiskirstymas pagal juos prižiūrinčias valstybines įmones.....	24
6 lentelė. Valstybinės reikšmės kelių, grindinio dangos, ilgių pasiskirstymas pagal juos prižiūrinčias valstybines įmones.....	24
7 lentelė. Asfalto mišinių rūšys ir tipai, naudojami atitinkamoms dangų konstrukcijų klasėms priklausomai nuo laukiamų apkrovų (IT ASFALTAS 08).....	26
8 lentelė. Rišklio rūšys ir markės, naudojamos atitinkamoms dangų konstrukcijų klasėms, priklausomai nuo laukiamų apkrovų (IT ASFALTAS 08).....	27
9 lentelė. Asfalto mišinių savybės, kurias reikia nustatyti, atsižvelgiant į jų paskirtį įrengiant (Finnish... 1995)	29
10 lentelė. Lietuvos kietosios naudingosios iškasenos (Deltuva ir Vaitkevičius, 2006)	31
11 lentelė. Lietuvoje išgaunamų naudingųjų iškasenų, naudojamų kelių tiesybai, kiekiai 2014 m. (Lietuvos... 2015)	31
12 lentelė. Asfalto komponentai (Partl <i>et al.</i> 2012)	35
13 lentelė. Asfalto mišinių, su klinčių mineralinėmis medžiagomis, savybės (Afaf, 2014).....	48
14 lentelė. Asfalto mišinių, su dolomito mineralinėmis medžiagomis, savybės (Afaf, 2014)	48
15 lentelė. Asfalto mišinių, su bazalto mineralinėmis medžiagomis, savybės (Afaf, 2014)	48
16 lentelė. Mineralinių medžiagų savybių nustatymo bandymo rezultatai.....	60

17 lentelė. Bituminių rišiklių savybių nustatymo bandymų rezultatai.....	61
18 lentelė. Sukibimo kokybės vertinimo normos (LST 1362.23).....	62
19 lentelė. Bituminių rišiklių adhezijos su granito ir aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis rezultatai	62
20 lentelė. Asfaltbetonio mišinio AC 11 VS (dol. 1 var.) projektinė – laboratorinė sudėtis.	63
21 lentelė. Asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinio mineralinių medžiagų mišinių granulimetrinė sudėtis	64
22 lentelė. Asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio projektinė – laboratorinė sudėtis.	65
23 lentelė. Asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio mineralinių medžiagų mišinių granulimetrinė sudėtis	65
24 lentelė. Asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišinio projektinė – laboratorinė sudėtis.....	66
25 lentelė. Asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišinio mineralinių medžiagų mišinių granulimetrinė sudėtis	66
26 lentelė. Asfaltbetonio AC 11 VS mišinių principinė schema	67
27 lentelė. Rato vėžės gylio bandymo rezultatai.....	72
28 lentelė. Asfaltbetonio mišinių AC 11 VS projektinės – laboratorinės kreivės	76
29 lentelė. Dolomito ir granito mineralinių medžiagų kainos	76
30 lentelė. Bituminio rišiklio ir adhezinio priedo kainos.....	77
31 lentelė. Suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių 1 t sudedamųjų dalių ir bendra kainos.....	77
32 lentelė. Asfalto mišinių kiekiai ir jų kainos, nagrinėjamam kelio ruožui įrengti.....	79
33 lentelė. Kaštų analizė 1 km ilgio kelio ruožui su asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) viršutiniu sluoksniu.....	80
34 lentelė. Kaštų analizė 1 km ilgio kelio ruožui su asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) viršutiniu sluoksniu.....	81

35 lentelė. Kaštų analizė 1 km ilgio kelio ruožui su asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) viršutiniu sluoksniu.....	82
--	----

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Valstybinės ir vietinės reikšmės kelių pasiskirstymas pagal ilgį	19
2 pav. Lietuvos valstybinės reikšmės kelių tinklo pasiskirstymas pagal ilgį.....	20
3 pav. Lietuvos valstybinės reikšmės kelių pasiskirstymas, pagal dangos tipą	22
4 pav. Oro tuštymės asfalto mišinys (Pedersen <i>et al.</i> 2011).....	37
5 pav. Efektyvus bituminis rišiklis (užtušuotas) (Pedersen <i>et al.</i> 2011)	38
6 pav. Asfalto mišinio kompozicija mikro mastelyje (Pedersen <i>et al.</i> 2011)	39
7 pav. Granulimetrinių sudėčių kreivės (Ahmed, Attia 2013).....	45
8 pav. Rato riedėjimo vėžės bandymo rezultatai su bazalto mineralinių medžiagų užpildu (Ahmed, Attia 2013).....	46
9 pav. Rato riedėjimo vėžės bandymo rezultatai su dolomito mineralinių medžiagų užpildu (Ahmed, Attia 2013).....	46
10 pav. Rato riedėjimo vėžės bandymo rezultatai su klinties mineralinių medžiagų užpildu (Ahmed, Attia 2013).....	47
11 pav. Tirtų mineralinių medžiagų mišinių granulimetrinės kreivės (Afaf, 2014)	47
12 pav. Rato vėžės gylio rezultatai (Haritonovs <i>et al.</i> 2013).....	49
13 pav. Nuovargio bandymo rezultatai (Haritonovs <i>et al.</i> 2013).....	50
14 pav. Maršalo bandymo bandinys įdėtas į gniuždymo formą.	54
15 pav. Bandinių skeliamojo stiprio nustatymo bandymo forma su Maršalo bandiniu.....	55
16 pav. Bandinių suirimo tipai: a) skilimas; b) deformacija; c) kombinacija.	55
17 pav. Standumo nustatymo forma su įtvirtintu cilindrinio Maršalo bandiniu	59
18 pav. Hidraulinis presas su klimatine kamera	59
19 pav. Rato vėžės gylio nustatymo įrenginys.....	60

20 pav. Sukibimo tarp bituminio rišiklio ir mineralinių medžiagų priklausomybė nuo adhezinio priedo kiekio	62
21 pav. Asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinio granuliometrinė sudėtis	64
22 pav. Asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio granuliometrinė sudėtis	65
23 pav. Asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišinio granuliometrinė sudėtis	67
24 pav. Asfaltbetonio mišinių AC 11 VS oro tuštymų kiekis	68
25 pav. Suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių pastovumo rezultatai	69
26 pav. Suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių takumo rezultatai	69
27 pav. Suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių Maršalo koeficiento rezultatai	69
28 pav. Suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių skeliamojo stiprio rezultatai	70
29 pav. Suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių jautrumo vandeniui rezultatai	71
30 pav. Suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių įmirkytų ir sausų bandinių skeliamojo stiprio rezultatai	71
31 pav. Suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių standžio rezultatai	72
32 pav. Asfaltbetonio mišinių AC 11 VS dol. ir AC 11 VS gr. rato vėžės gylio rezultatai	73
33 pav. II kategorijos kelio skersinio pjūvio parametrai	75
34 pav. Asfaltbetonio mišinių AC 11 VS 1 t komponentų kainos	78
35 pav. Suprojektuotų AC 11 VS asfaltbetonio mišinių tariamojo tankio rezultatai	78
36 pav. Asfaltbetonio AC 11 VS mišinių kaštų vertės	83
37 pav. Asfaltbetonio mišinių AC 11 VS diskontuotų kaštų vertės	83

SANTRUMPOS

AC 11 VS – asfaltbetonios, skirtas asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti, veikiamas sunkiąja apkrova, kurio mineralinių medžiagų viršutinio sieto akutės dydis yra 11 mm.

AKML – Automobilių kelių mokslo laboratorija

DKV – dabartinė kaštų vertė

ES – Europos Sąjunga

IRI – tarptautinis nelygumo indeksas

IT ASFALTAS 08 – automobilių kelių dangos konstrukcijos asfalto sluoksnių įrengimo taisyklės

KĮ – Kelių įstatymas

KPT SDK 07 – automobilių kelių standartizuotų dangų konstrukcijų projektavimo taisyklės

KTI – Kelių tyrimo institutas

LAKD – Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos

LR – Lietuvos Respublika

TRA ASFALTAS 08 – automobilių kelių asfalto mišinių techninių reikalavimų aprašas

TRA BITUMAS 08/14 – automobilių kelių bitumų ir polimerais modifikuotų bitumų techninių reikalavimų aprašas

TRA MIN 07 – automobilių kelių mineralinių medžiagų techninių reikalavimų aprašas

VG TU – Vilniaus Gedimino technikos universitetas

VMPEI – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas

SĄVOKOS

Adhezija – dviejų skirtingų kietųjų kūnų, kietojo kūno ir skysčio arba nesimaišančių skysčių susiliečiančių paviršių sukibimas dėl kūnų dalelių sąveikos. Matuojama jėga arba darbu, kuris reikalingas susiliečiančių kūnų paviršiaus vienetiniam plotui perskirti.

Aleuritas – puri 0,06–0,006 mm skersmens, smulkesnių už smėlį ir rupesnių už molio mineralus, dalelių sandauga.

Asfaltas – mineralinių medžiagų ir bituminio rišiklio mišinys; prireikus gali būti dedama priedų. Bituminis rišiklis gali būti iš bitumo pagamintas polimerais modifikuotas bitumas, minkštintasis, skiestasis bitumas ar bituminė emulsija. Tam tikros sudėties natūralus asfaltas randamas ir gamtoje.

Asfaltbetonis – asfalto mišinys, kuris turi tolydžią mineralinių medžiagų mišinio granulimetrinę sudėtį.

Bitumas – gamtinis arba dirbtinis sočiųjų angliavandenilių mišinys, dažniausia kietas, plastiškas arba klampus.

Dabartinė kaštų vertė – išlaidos, su įvertintu perspektyviniu pinigų nuvertėjimu.

Diskonto norma – palūkanų norma, skaičiuojama ne pagal pradines investicijas, bet pagal susigrąžinamą vertę.

Feldšpatai – mineralų grupė, šviesūs natrio, kalio, kalcio aliumosilikatai; sudaro apie pusę Žemės plutos masės.

Fliuvioglacialinis – susijęs su tirpstančio ledyno tekančių vandenų veikla, pvz., nuogulos.

Granulimetrinė sudėtis – mineralinės medžiagos išskirstymas į frakcijas pagal dalelių dydžius, išreikštas masės procentais, praeinančiais pro nustatytą skaičių sietų.

Infrastruktūra – įvairių veiklos sričių objektų, aptarnaujančių ūkį ir gyventojus, kompleksas (inžineriniai tinklai, susisiekimo komunikacijos, komunaliniai, visuomeniniai, prekybos ir kiti gyventojų paslaugoms teikti ar aplinkos kokybei gerinti reikalingi objektai).

Kelių bitumas, bituminis rišiklis – bitumas, skirtas surišti mineralines medžiagas, daugiausia gaminant asfalto mišinius, naudojamus kelių dangoms įrengti ir taisyti (remontuoti).

Kohezija – sankiba. Medžiagos dalelių (molekulių, atomų ar jonų) sukibimas dėl molekulių sąveikos ar cheminio ryšio jėgų.

Konglomeracija – atskirų daiktų sujungimas į visumą, kurioje jie išlaiko savo bruožus ir savybes.

Mineralinė medžiaga – grūdelių pavidalo medžiaga, naudojama statyboje. Mineralinė medžiaga gali būti gamtinė (natūrali), dirbtinė arba kartotinio perdirbimo.

Mišinio sudėtis – mišinio sudėties išraiška sudedamųjų medžiagų santykinio kiekiu, granulimetrinės sudėties kreive, bitumo kiekiu ir reikiamų priedų kiekiu, procentais, mišinyje.

Plieno šlakas – šalutinis produktas, gaunamas plieno gamybos metu, kai skystas lydinys yra atskiriamas nuo nešvarumų, degimo krosnyje metu. Šlakas yra silikatų ir oksidų mišinys, kuris vėstant virsta sulfidu.

Polimerais modifikuotas bitumas (PMB) – bitumas, kuriam modifikuoti panaudotas vienas ar daugiau organinių polimerų.

Polimeras – didelės molekulinės masės junginys, susidedantis iš daug kartų pasikartojančių vienetų arba skirtingų atomų grupių; stambiamolekulis junginys.

Psamitai – smėlingos uolienos, turinčios daug smulkių mineralų ir uolienų nuotrupų, pvz., smėlis, smiltainis.

Santykinis vėžės gylis (PRD_{AIR} , %) – santykinis rato vėžės gylis, kuris išreiškiamas procentais nuo faktinio asfalto plokštės storio, po 10000 cilų, procedūrą atliekant ore, prie 60 °C.

Vėžės formavimosi greitis (WTS_{AIR} , mm/1000 apkrovimo ciklą) – vėžės gylio formavimosi greitis, apskaičiuojamas, kaip gylių po 10000 ir 5000 ciklų skirtumas padalintas iš 5.

Vėžės gylis (RD_{AIR} , mm) – asfalto plokštėje susidariusios vėžės faktinis gylis, po 10000 cilų, procedūrą atliekant ore, prie 60 °C.

IVADAS

Automobilių kelių tiesybai ir priežiūrai naudojamos vietinės ir importuojamos medžiagos. Vienas svarbiausių valstybės nepriklausomybės pagrindų yra taupus ir racionalus apsirūpinimas pagrindinėmis žaliavomis. Lietuvoje naudingosios iškasenos sudaro apie 30 % šalies nacionalinio turto (vertinant tik detalai išžvalgytus išteklius). Lyginant su kaimyninėmis šalimis dolomito skalda, smėliu, ir žvyru Lietuva santykinai gerokai turtingesnė, nei kaimynės Latvija, Lenkija ar Estija. Dolomito skalda yra viena iš Lietuvos naudingųjų iškasenų, naudojama kelių tiesybai ir/ar esamų priežiūrai.

Norminiame dokumente „Automobilių kelių mineralinių medžiagų techninių reikalavimų aprašas“ TRA MIN 07 rašoma, kad asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti naudojamos mineralinės medžiagos gali būti tik iš trupinto granito, porfyro, bazalto, diabazo, gabro ir kitų magminių uolienų. Lietuvoje šios rūšies mineralinės medžiagos neišgaunamos, todėl naudinga įvertinti kitų mineralinių medžiagų, išgaunamų Lietuvoje, panaudojimą asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti.

Viename Lietuvos karjerų, taikant specialią gamybos technologiją, gaunama aukštos kokybės dolomito skalda, kurios mechaninės savybės – ne prastesnės, nei granito. Kadangi tai – nuosėdinė uoliena, jos atsparumas dėvėjimui ir trupinimui yra mažesnis, nei granito. Panaudojus šios mineralinės medžiagos mišinį asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti, atsiranda rizika, kad pažaidos tokioje dangoje vystysis kur kas greičiau, nei su granito mineralinėmis medžiagomis. Dėl šios priežasties būtina atlikti literatūros apžvalgą, užsienio šalių patirties analizę ir laboratorinį tyrimą, siekiant išsiaiškinti dolomito mineralinių medžiagų mišinio panaudojimo, įrengiant asfalto viršutinį sluoksnį, tinkamumą.

Šiam tikslui įgyvendinti tinkamiausia suprojektuoti asfalto mišinius remiantis ne tik Lietuvos norminių dokumentų teisine baze, bet taip pat ir užsienio patirtimi. Asfalto mišinių projektavimo etape svarbu užtikrinti optimalų dangos funkcionavimą, kurį lemia kokybiška sudedamųjų medžiagų kompozicija. Svarbu užtikrinti, kad mineralinių medžiagų granulimetrinė sudėtis, mechaninės savybės, bituminio rišiklio kiekis būtų optimizuoti taip, kad asfalto mišinio mechaninės ir fizikinės savybės būtų kaip įmanoma geresnės.

Kadangi Lietuvoje yra atlikta mažai laboratorinių tyrimų, susiejusių su dolomito skaldos panaudojimu, šio darbo tikslas yra eksperimentiniais laboratoriniais bandymais įvertinti asfalto mišinių su aukštos kokybės skalda tinkamumą asfalto dangos viršutiniam sluoksniui įrengti.

Eksperimentinio tyrimo metu taikoma kompleksinė bandymų metodika, kuri yra plačiai taikoma Europos ir kitose užsienio šalyse. Nustatytos šios asfalto mišinių savybės: standis, jautrumas vandeniui, skeliamasis stipris, takumo riba, pastovumo riba ir atsparumas plastinėms deformacijoms.

Laboratorijoje ištirti du asfaltbetonio mišiniai AC 11 VS su dolomito mineralinėmis medžiagomis. Vienas iš jų turėjo geresnes mechanines savybes, nei tas pats asfalto mišinys su granito mineralinėmis medžiagomis, išskyrus neženkiai prastesnį atsparumą platinėms deformacijoms. Įvertinant šį trūkumą, ekonominė analizė parodė, kad labiau apsimoka eksploatuoti asfalto dangą su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis, nei granitu.

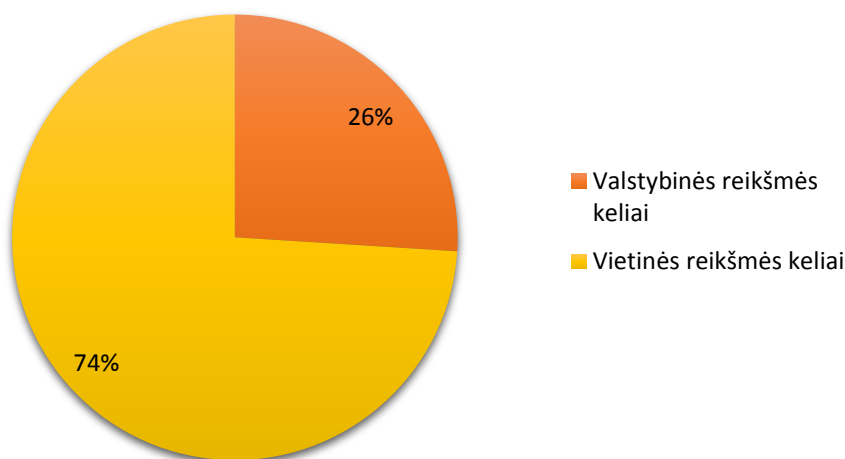
Darbo pabaigoje pateikiamos išvados ir rekomendacijos dėl aukštos kokybės dolomito mineralinių medžiagų panaudojimo asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti.

1. LIETUVOS AUTOMOBILIŲ KELIŲ DANGŲ ĮRENGIMUI NAUDOJAMŲ ASFALTO MIŠINIŲ IR JŲ SUDEDAMŲJŲ DALIŲ ANALIZĖ

1.1. Lietuvos automobilių kelių tinklo ir kelių dangų tipų analizė

Pagal Lietuvos Respublikos kelių įstatymo (toliau – KĮ) 3 straipsnį automobilių keliai, atsižvelgiant į transporto priemonių eismo pralaidumą, socialinę ir ekonominę jų reikšmę, skirstomi į valstybinės ir vietinės reikšmės kelius (1 pav.). Valstybinės reikšmės keliai, kuriais vyksta tarptautinis, tranzitinis, turistinis ir vietinis transporto priemonių eismas, skirstomi į:

- 1) magistralinius kelius;
- 2) krašto kelius;
- 3) rajoninius kelius.



1 pav. Valstybinės ir vietinės reikšmės kelių pasiskirstymas pagal ilgį

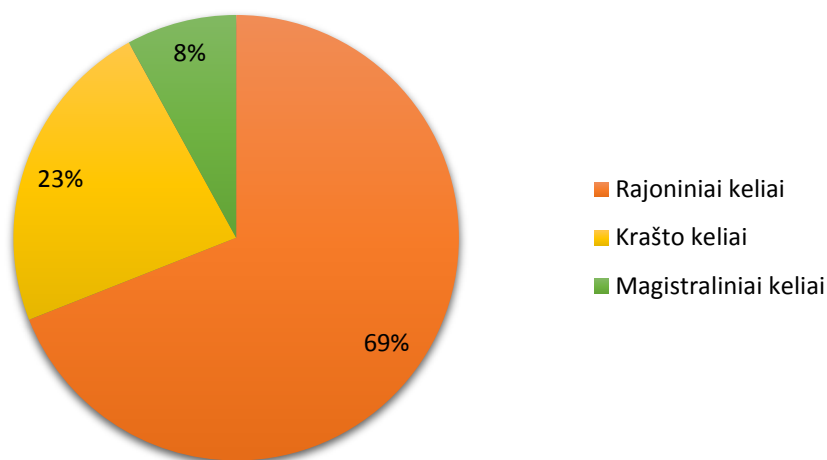
Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos (toliau – LAKD) duomenimis, bendras Lietuvos kelių tinklo ilgis yra 80979 km. Jo pasiskirstymas, pagal reikšmę, pateiktas 1 lentelėje ir 2 paveiksle.

Bendras valstybinės reikšmės kelių ilgis – 21254 km, iš jų:

- magistralinių kelių – 1745 km (8 %), iš jų automagistralių – 309 km;
- krašto kelių – 4936 km (23 %);
- rajoninių kelių – 14573 km (69 %).

1 lentelė. Bendras Lietuvos valstybinės ir vietinės reikšmės kelių ilgis

Valstybinės reikšmės keliai			Vietinės reikšmės keliai	
Magistraliniai	Krašto	Rajoniniai	Viešieji	Vidaus
1745 km	4936 km	14573 km	3881 km	55830 km
8,21 %	23,22 %	68,58 %	6,50 %	93,50 %
21254 km			59711 km	
Bendras ilgis: 80953 km				
26,25 %			73,75 %	


2 pav. Lietuvos valstybinės reikšmės kelių tinklo pasiskirstymas pagal ilgį

Lietuvos teritoriją kerta dviejų tarptautinių Europos transporto koridorių (TEN-T) trasos:

- 1) Šiaurės – Pietų kryptimi: I koridorius – greitkelis „Via Baltica“, jungiantis Taliną, Rygą, Saločius, Panevėžį, Kauną, Kalvariją, Varšuvą, ir jo IA šaka (Talinas – Ryga – Šiauliai – Tauragė – Kaliningradas);
- 2) Rytų – Vakarų kryptimi: IX koridoriaus IXB šaka (Kijevas – Minskas – Vilnius – Klaipėda) ir IXD šaka (Kaunas – Kaliningradas).

1996–2000 m. Europos „E“ kategorijos kelių tinklui priskirti 6 pagrindiniai Lietuvos keliai, kurie sudaro 1510 km:

- 1) E 28 Berlynas – Gdanskas – Karaliaučius – Kybartai – Marijampolė – Vilnius – Minskas – Gomelis;
- 2) E 67 „Via Baltica“ Helsinkis – Talinas – Ryga – Pasvalys – Panevėžys – Kaunas – Marijampolė – Varšuva – Vroclavas – Praha;
- 3) E 77 Pskovas – Ryga – Joniškis – Šiauliai – Tauragė – Karaliaučius – Gdanskas – Varšuva – Krokuva – Budapeštas;

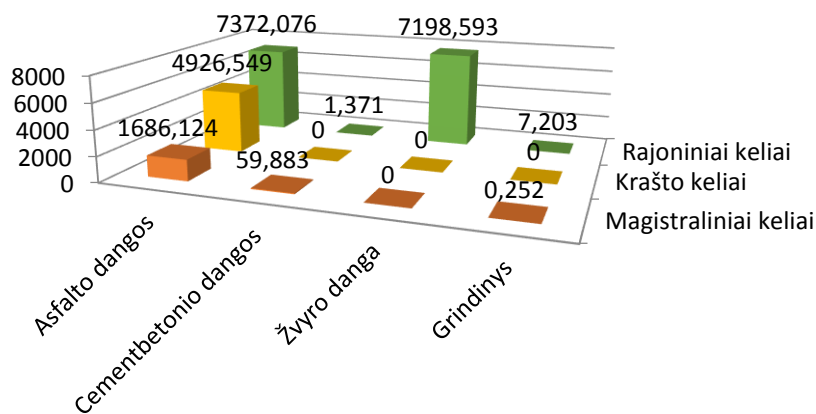
- 4) E 85 Klaipėda – Kaunas – Vilnius – Lyda – Černovcai – Bukareštas – Aleksandropolis;
- 5) E 262 Ostrovas – Daugpilis – Zarasai – Ukmergė – Kaunas;
- 6) E 272 Klaipėda – Palanga – Šiauliai – Panevėžys – Ukmergė – Vilnius.

Valstybinės reikšmės kelius prižiūri valstybės įmonės: Alytaus, Kauno, Klaipėdos, Marijampolės, Panevėžio, Šiaulių, Tauragės, Telšių, Utenos, Vilniaus regiono keliai ir Automagistralė. Šių įmonių prižiūrimų kelių ilgiai pateikti 2 lentelėje. Daugiausia magistralinių kelių prižiūri valstybės įmonė (toliau – VĮ) „Automagistralė“, kuriai priklauso 415,41 km (24 %) visų magistralinių kelių. Mažiausia magistralinių kelių prižiūri VĮ „Tauragės regiono keliai“, kuriai tenka 66,09 km (3 %). Krašto kelių daugiausia prižiūri VĮ „Vilniaus regiono keliai“ – 710,52 km (14 %), o rajoninių – Šiaulių regiono keliai, kuriems priklauso 1959,74 km (13 %). Mažiausia krašto ir rajoninių kelių prižiūri VĮ „Telšių regiono keliai“ – atitinkamai 344,49 km (7 %) ir 899,66 km (6 %).

2 lentelė. Valstybinės reikšmės kelių ilgių pasiskirstymas pagal juos prižiūrinčias valstybines įmones

Valstybinė įmonė	Valstybinės reikšmės keliai			
	Magistraliniai	Krašto	Rajoniniai	Iš viso
„Alytaus regiono keliai“	94,521	389,970	989,608	1474,099
„Kauno regiono keliai“	187,083	620,050	1867,584	2674,717
„Klaipėdos regiono keliai“	76,850	455,667	1341,665	1874,182
„Marijampolės regiono keliai“	120,080	364,433	1087,147	1571,660
„Panevėžio regiono keliai“	134,831	506,936	1795,908	2437,675
„Šiaulių regiono keliai“	218,951	603,330	1963,968	2786,249
„Tauragės regiono keliai“	65,968	376,476	994,501	1436,945
„Telšių regiono keliai“	67,230	344,491	898,044	1309,765
„Utenos regiono keliai“	157,780	572,174	1764,010	2493,964
„Vilniaus regiono keliai“	206,236	702,442	1870,756	2779,434
„Automagistralė“	415,404	-	-	415,404
Iš viso	1744,934	4935,969	14573,191	21254,094

Lietuvos automobilių kelių dangos skirstomos į asfalto, cementbetonio, žvyro ir grindinio. Lietuvos valstybinės reikšmės kelių pasiskirstymas pagal dangos tipą ir reikšmę pateiktas 3 paveiksle.



3 pav. Lietuvos valstybinės reikšmės kelių pasiskirstymas, pagal dangos tipą

3 lentelėje matyti, kad magistralinių kelių, su asfalto danga, daugiausia prižiūri VĮ „Automagistralė“, kuriai priklauso 415,404 km (25 %) visų magistralinių kelių. Mažiausia magistralinių kelių, su asfalto danga, prižiūri VĮ „Tauragės regiono keliai“, kuriai tenka 65,968 km (4 %). Daugiausia krašto kelių, su asfalto danga, prižiūri VĮ „Vilniaus regiono keliai“ – 700,635 km (14 %), o rajoninių. Mažiausia krašto kelių, su asfalto danga, prižiūri VĮ „Telšių regiono keliai“ – 344,49 km (7 %), o rajoninių – VĮ „Tauragės regiono keliai“, su 495,333 km (5 %).

3 lentelė. Valstybinės reikšmės kelių, su asfalto danga, ilgių pasiskirstymas pagal juos prižiūrinčias valstybines įmones

Valstybinė įmonė	Valstybinės reikšmės keliai			
	Magistraliniai	Krašto	Rajoniniai	Iš viso
„Alytaus regiono keliai“	94,521	389,970	666,542	1151,033
„Kauno regiono keliai“	187,083	620,050	1022,962	1830,095
„Klaipėdos regiono keliai“	76,850	448,054	707,704	1232,608
„Marijampolės regiono keliai“	120,080	364,433	614,097	1098,61
„Panevėžio regiono keliai“	134,831	506,936	836,411	1478,178
„Šiaulių regiono keliai“	218,951	603,330	764,978	1587,259
„Tauragės regiono keliai“	65,968	376,476	382,365	824,809
„Telšių regiono keliai“	67,230	344,491	495,333	907,054
„Utenos regiono keliai“	119,925	572,174	826,049	1518,148
„Vilniaus regiono keliai“	185,281	700,635	1055,635	1941,551
„Automagistralė“	415,404	-	-	415,404
Iš viso	1686,124	4926,549	7372,076	13984,749

4 lentelėje matyti, kad magistralinių kelių, su cemento danga, priežiūrą vykdo tik dvi regioninių kelių įmonės – Utenos ir Vilniaus regiono keliai – kurioms, atitinkamai, priklauso 37,603 km (63 %) ir 22,280 km (38 %). Krašto kelių, su cemento danga – nėra. Rajoninius kelius, su cemento danga, prižiūri tik VĮ „Tauragės regiono keliai“ – 0,340 km (25 %) ir VĮ „Utenos regiono keliai“ – 1,031 km (75 %).

4 lentelė. Valstybinės reikšmės kelių, cemento dangos, ilgių pasiskirstymas pagal juos prižiūrinčias valstybines įmones

Valstybinė įmonė	Valstybinės reikšmės keliai			
	Magistraliniai	Krašto	Rajoniniai	Iš viso
„Alytaus regiono keliai“	-	-	-	-
„Kauno regiono keliai“	-	-	-	-
„Klaipėdos regiono keliai“	-	-	-	-
„Marijampolės regiono keliai“	-	-	-	-
„Panevėžio regiono keliai“	-	-	-	-
„Šiaulių regiono keliai“	-	-	-	-
„Tauragės regiono keliai“	-	-	0,340	0,340
„Telšių regiono keliai“	-	-	-	-
„Utenos regiono keliai“	37,603	-	1,031	38,634
„Vilniaus regiono keliai“	22,280	-	-	22,28
„Automagistralė“	-	-	-	-
Iš viso	59,883	-	1,371	61,254

Valstybinės reikšmės rajoninių kelių, su žvyro danga, daugiausia prižiūri VĮ „Šiaulių regiono keliai“ – 1198,990 km (17 %), o mažiausia – 322,676 km (5 %) prižiūri VĮ „Alytaus regiono keliai“. Krašto ir magistralinių, valstybinės reikšmės, kelių, su žvyro danga – nėra. Šių kelių pasiskirstymas, pagal prižiūrinčias regiono įmones pateiktas 5 lentelėje.

Pagal 6 lentelėje pateiktus duomenis, valstybinės reikšmės kelių, su grindinio danga yra 7,455 km. Iš jų magistralinės reikšmės keliai – 0,252 km (3 %). Krašto kelių su grindinio danga nėra. Rajoninės reikšmės kelių, su grindinio danga, daugiausia prižiūri VĮ „Vilniaus regiono keliai“ – 3,420 km (48 %).

5 lentelė. Valstybinės reikšmės kelių, žvyro dangos, ilgių pasiskirstymas pagal juos prižiūrinčias valstybines įmones

Valstybinė įmonė	Valstybinės reikšmės keliai			
	Magistraliniai	Krašto	Rajoniniai	Iš viso
„Alytaus regiono keliai“	-	-	322,676	322,676
„Kauno regiono keliai“	-	-	844,622	844,622
„Klaipėdos regiono keliai“	-	-	640,214	640,214
„Marijampolės regiono keliai“	-	-	473,050	473,050
„Panevėžio regiono keliai“	-	-	959,497	959,497
„Šiaulių regiono keliai“	-	-	1198,990	1198,990
„Tauragės regiono keliai“	-	-	610,3327	610,327
„Telšių regiono keliai“	-	-	402,711	402,711
„Utenos regiono keliai“	-	-	936,420	936,420
„Vilniaus regiono keliai“	-	-	810,086	810,086
„Automagistralė“	-	-	-	-
Iš viso	-	-	7198,593	7198,593

6 lentelė. Valstybinės reikšmės kelių, grindinio dangos, ilgių pasiskirstymas pagal juos prižiūrinčias valstybines įmones

Valstybinė įmonė	Valstybinės reikšmės keliai			
	Magistraliniai	Krašto	Rajoniniai	Iš viso
„Alytaus regiono keliai“	-	-	0,390	0,390
„Kauno regiono keliai“	-	-	-	-
„Klaipėdos regiono keliai“	-	-	1,414	1,414
„Marijampolės regiono keliai“	-	-	-	-
„Panevėžio regiono keliai“	-	-	-	-
„Šiaulių regiono keliai“	-	-	-	-
„Tauragės regiono keliai“	-	-	1,469	1,469
„Telšių regiono keliai“	-	-	-	-
„Utenos regiono keliai“	0,252	-	0,510	0,762
„Vilniaus regiono keliai“	-	-	3,420	3,420
„Automagistralė“	-	-	-	-
Iš viso	0,252	-	7,203	7,455

Analizuojant 3 paveikslą matyti, kad pagal kilometrų skaičių, automobilių kelių su asfalto danga yra ženkliai daugiau, nei kelių su žvyro danga. Automobilių keliais su asfalto danga vyksta didžioji dalis vietinio ir tranzitinio eismo. Dėl šios priežasties, būtina užtikrinti projektuojamų ir esamų kelių įrengimo kokybę ir ekonomiškumą bei ilgalaikį jų funkcionavimą.

1.2. Asfalto mišinių projektavimo Lietuvoje reglamentuojančių dokumentų apžvalga

Asfalto dangos funkcionavimą sunku apibrėžti dėl daugelio faktorių įtakos, tokių kaip sunkiojo transporto eismo intensyvumas, klimatinės sąlygos, asfalto mišinio sudėtis, asfalto dangos storis ir kt. Asfalto mišiniai yra plačiai pasaulyje naudojama kelių tiesybos medžiaga. Jos populiarumą nulėmė gamybos ir įrengimo paprastumas, tačiau norint kokybiškai įrengti asfalto dangą ir siekiant užtikrinti jos patikimumą eksploatavimo laikotarpiu, vienas iš svarbesnių žingsnių yra asfalto mišinio projektavimas. Blogai suprojektuota asfalto danga tarnauja trumpesnį, nei numatytą, laikotarpį, kurio metu susidaro provėžos, plyšiai bei kitos asfalto dangos pažaidos. Asfalto mišinių projektavimas atliekamas vadovaujantis Lietuvos Respublikos norminiais dokumentais, kuriais siekiama užtikrinti:

- dangos stabilumą;
- dangos atsparumą mechaniniams poveikiams;
- oro tuštymių kiekį bitumo šiluminiui plėtimuisi;
- dangos ilgaamžiškumą.

Pirmasis projektavimo žingsnis – pagal dokumentą „Automobilių kelių standartizuotų dangų konstrukcijų projektavimo taisyklės KPT SDK 07“ (toliau – KPT SDK 07) nustatoma dangos konstrukcija. KPT SDK 07 taikomas automobilių kelių ir kitų eismo vietų dangų konstrukcijų projektavimui.

Dangos konstrukcija parenkama iš šiame dokumente esančių dangų konstrukcijos šablonų, pagal apskaičiuotą projekcinę apkrovą A – ekvivalentės 10 t svorio ašies apkrovų skaičiaus sumą per nustatytą projektinį naudojimo laikotarpį.

Antrasis žingsnis vykdomas remiantis dokumentu „Automobilių kelių dangos konstrukcijos asfalto sluoksnių įrengimo taisyklės IT ASFALTAS 08“ (toliau – IT ASFALTAS 08), pagal kurį yra parenkamos asfalto mišinio rūšis ir tipas kiekvienam asfalto dangos sluoksniui atsižvelgiant į dangos konstrukcijos klasę (7 lentelė). Reikalavimai asfalto mišiniams, naudojamiems įrengti dangų konstrukcijas valstybinės reikšmės keliuose išdėstyti „Automobilių kelių asfalto mišinių techninių reikalavimų apraše TRA ASFALTAS 08“ (toliau – TRA ASFALTAS 08).

7 lentelė. Asfalto mišinių rūšys ir tipai, naudojami atitinkamoms dangų konstrukcijų klasėms priklausomai nuo laukiamų apkrovų (IT ASFALTAS 08)

Dangos konstrukcijos klasė	Asfalto pagrindo sluoksnis	Asfalto apatinis sluoksnis	Asfalto pagrindo-dangos sluoksnis	Asfalto viršutinis sluoksnis			
				asfalt-betonio	skaldos ir mastikos asfalto	mastikos asfalto	poringojo asfalto
SV ir I	AC 32 PS AC 22 PS	AC 22 AS	-	-	SMA 11 S SMA 8 S	MA 11 S MA 8 S	PA 11 PA 8
II		AC 16 AS		AC 11 VS			
III		AC 16 AS					
IV	AC 32 PN	(AC 16 AN)	-	AC 11 VN AC 8 VN	(SMA 8 N)	(MA 11 N) (MA 8 N)	-
V	AC 22 PN						
VI	AC 32 PN AC 22 PN (AC 16 PN)	-	AC 16 PD	AC 8 VL AC 5 VL	(SMA 8 N) (SMA 5 N)		
Dviračių, pėsčiųjų takai	AC 32 PL AC 22 PL (AC 16 PL)				-		
Paaiškinimai: -- naudojimas nenumatytas; () – tik ypatingu atveju, kurį nustato užsakovas.							

Reikalavimai kelių bitumams ir polimerais modifikuotiems bitumams, naudojamiems valstybinės reikšmės kelių tiesimui, rekonstrukcijai, remontui bei priežiūrai nurodyti dokumente „Automobilių kelių bitumų ir polimerais modifikuotų bitumų techninių reikalavimų aprašas TRA BITUMAS 08“ (toliau – TRA BITUMAS 08/14).

„Automobilių kelių mineralinių medžiagų techninių reikalavimų apraše TRA MIN 07“ (toliau – TRA MIN 07) išdėstyti reikalavimai mineralinėms medžiagoms, naudojamoms kelių ir gatvių bei kitų eismo zonų dangos konstrukcijų sluoksniams iš asfalto, betono, trinkelų, nesurištųjų ir hidrauliškai surištųjų mineralinių medžiagų mišinių, šlamų ir paviršiaus apdorojimo sluoksniams.

Parinkus bitumą ir asfalto mišinio rūšį, pagal apskaičiuotą konstrukcijos klasę, bei įsitikinus, kad mineralinė medžiaga ir bitumas, kuris bus naudojamas asfalto gamybai, tenkina jiems keliamus reikalavimus norminiuose dokumentuose TRA MIN 07, TRA BITUMAS 08/14 ir TRA ASFALTAS 08 pateiktus reikalavimus, pradedamas asfalto mišinio projektavimas.

8 lentelė. Rišklio rūšys ir markės, naudojamos atitinkamoms dangų konstrukcijų klasėms, priklausomai nuo laukiamų apkrovų (IT ASFALTAS 08)

Dangos konstrukcijos klasė	Asfalto pagrindo sluoksnis	Asfalto apatinis sluoksnis	Asfalto pagrindo-dangos sluoksnis	Asfalto viršutinis sluoksnis			
				asfalt-betonio	skaldos ir mastikos asfalto	mastikos asfalto	poringojo asfalto
SV ir I	50/70 (35/50)	PMB 45/80-55 (50-70) (35/50) (PMB 25/55-60)	-	-	PMB 45/80-55 (PMB 25/55-60)	20/30 (PMB 25/55-60)	PMB 40/100-65E
II		PMB 45/80-55		20/30 (35/50)			
III		50/70 (PMB 45/80-55)		PMB 45/80-55 (50/70) (70/100)	PMB 45/80-55 (50/70)	20/30 (PMB 45/80-55)	
IV	70/100 (50/70)	50/70	100/150 70/100	70/100 (50/70)	70/100 (50/70)	35/50	-
V	70/100	-		100/150 70/100	70/100		
VI				100/150	-		
Dviračių, pėsčiųjų takai				100/150	-		
Paaiškinimai: -- naudojimas nenumatytas; () – tik ypatingu atveju, kurį nustato užsakovas.							

Pagal TRA ASFALTAS 08 pateiktas asfalto mišinio mineralinių medžiagų projektines granulimetrinės sudėties kreives parenkamas mineralinės medžiagos mišinys taip, kad granulimetrinė sudėtis tenkintų nustatytas ribas. Mažiausias rišklio kiekis nurodytas dokumente TRA ASFALTAS 08 prie kiekvieno asfalto mišinio rūšies. Koreguotas mažiausias rišklio kiekis, apskaičiuojamas iš koeficiento α :

$$\beta_{min, kor} = \alpha \cdot \beta_{min} \quad (1.1)$$

$$\alpha = \frac{2,650}{\rho_a} \quad (1.2)$$

- čia: $\beta_{\min, \text{kor}}$ – koreguotas mažiausias rišiklio kiekis;
 $\beta_{\min}$ – minimalus bituminio kelių rišiklio kiekis, pagal asfalto mišinio rūšį;
 α – koeficientas, priklausantis nuo naudojamų mineralinių medžiagų mišinio tariamojo dalelių tankio ρ_a ;
 ρ_a – naudojamų mineralinių medžiagų mišinio tariamasis dalelių tankis.

Asfalto mišinių projektavimui Lietuvoje taikomas Maršalo metodas, kuomet lyginamos asfalto bandinių pagamintų pagal Maršalą, su skirtingu bituminio rišiklio kiekiu, fizikinės ir mechaninės savybės.

Iš pasirinkto mineralinių medžiagų mišinio su trimis arba daugiau skirtingais rišamosios medžiagos kiekiais pagaminami bandomieji mišiniai. Iš pagamintų bandomųjų mišinių, pagal LST EN 12697-30 standartą su smūginiu tankintuvu formuojami Maršalo bandiniai. Bandiniai kalami tokioje temperatūroje, kuri nustatoma pagal anksčiau nurodytą metodiką, po 50 smūgių iš abiejų pusių. Iš jų, pagal LST EN 12697-8 standartą, nustatoma oro tuštymių kiekis ir pagal LST EN 12697-5 standartą – didžiausias tankis. Taip pat iš jų, pagal LST EN 12697-34 standartą nustatomas pastovumas, takumas ir maršalo koeficientas, o pagal LST EN 12697-6 standartą nustatomas bandinių tariamasis tankis. Jeigu tyrimų rezultatai neatitinka reikalavimų, tuomet parenkamas ir ištiriamas kitos sudėties mišinys.

1.3. Įvairių šalių reikalavimų asfalto mišiniams analizė

Asfalto mišinio savybės apibūdinamos fizikiniais bei mechaniniais rodikliais. Fiziniams rodikliams priskiriami: oro tuštymių kiekis, asfalto mišinio tankis, asfalto tūrinis tankis, mineralinės medžiagos mišinio oro tuštymių kiekis, mineralinės medžiagos mišinio granulimetrinė sudėtis, bituminio rišiklio kiekis. Mechaniniams rodikliams priskiriami: bituminio rišiklio sukibimas su mineraline medžiaga, pastovumas pagal Maršalą, plastiškumas pagal Maršalą, Maršalo koeficientas, santykinis vėžės gylis (Tuminienė 2012).

Lietuvoje, pagal techninių reikalavimų aprašą TRA ASFALTAS 08, asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti taikomi reikalavimai šioms savybėms:

- aptrupėjusio ir skelto paviršiaus dalelių procentui;
- atsparumas trupinimui;
- atsparumas poliruojamumui;
- aptakumo koeficientui (fr. 0,063/2).

Taip pat, techninių reikalavimų apraše TRA ASFALTAS 08 nurodomi reikalavimai kitoms fizikinėms savybėms, tačiau asfaltbetonio mechaninėms savybėms reikalavimai nekeliami.

Švedijos techninis dokumentas, apibrėžiantis reikalavimus asfaltbetonio mišiniams yra „Allman teknisk beskrivning för vägkonstruktioner VAG 94. 6 Bitumenbunden lager“.

Išnagrinėjus anksčiau minėtą Švedijos techninį dokumentą asfalto mišiniams, nustatyta, kad pagrindinės asfaltbetonio mišinių savybės yra oro tuštymių kiekis bei bitumu užpildytų tuštymių kiekis. Šios savybės tiesiogiai priklauso nuo bituminio rišiklio kiekio. Projektuojant asfalto mišinius nėra privaloma nustatyti kitų fizinių ar mechaninių asfalto mišinių savybių.

Suomijos techniniame dokumente „Finish asphalt specifications 1995“ nurodyta, kad asfalto mišinių mineralinės medžiagos mišinių granulimetrinė sudėtis turi būti tolydi, kur 40–75 % mineralinės medžiagos mišinio turi sudaryti sijotos medžiagos. Asfaltbetonio mišiniams, naudojamiems asfalto dangos viršutiniam sluoksniui įrengti, gali būti naudojami bituminiai rišikliai, kurių rūšys yra: 50/70, 70/100, 100/150 ir 160/220.

Pagal Suomijos techninį dokumentą asfalto mišiniams pagrindiniai rodikliai yra mažiausias ir didžiausias rišiklio kiekis, bei oro tuštymių kiekis, kurie priklauso nuo asfalto mišinio projektinės klasės. Asfalto mišinių projektinės klasės nustatomos, pagal kelio paskirtį (miesto ar užmiesčio) ir vidutinį metinį paros eismo intensyvumą. Tačiau dokumente nurodyta, kad projektuojant asfalto mišinius, bei vertinant asfalto mišinių savybes, reikia taikyti empirinį, arba asfalto mišinio savybėmis paremtą metodą. Užmiesčio keliams, kurių vidutinis metinis paros eismo intensyvumas didesnis kaip 2500 aut./parą, ir miestų keliams, kurių vidutinis metinis paros eismo intensyvumas didesnis kaip 5000 aut./parą, asfalto mišiniai turi būti projektuojami remiantis asfalto mišinių savybėmis (9 lentelė).

9 lentelė. Asfalto mišinių savybės, kurias reikia nustatyti, atsižvelgiant į jų paskirtį įrengiant (Finnish... 1995)

Asfalto mišinio savybė	Asfalto dangos sluoksnis		
	Viršutinis– dėvimasis	Apatinis	Pagrindo
Atsparumas dėvėjimuisi	+	-	-
Atsparumas ilgalaikėms deformacijoms (atsparumas provėžų susidarymui)	+	+	+
Jautrumas vandeniui	+	+	+
Atsparumas skilimui žemoje temperatūroje	+	+	+
Standumas	+	+	+
Sendinimas	+	+	-
Nuovargio bandymas		+	+
Laidumas vandeniui	+	-	-

9 lentelėje matyti, kad projektuojant asfalto mišinius Suomijoje taikomi bandymo metodai, kuriais vertinamos kitos asfalto mišinių mechaninės savybės, nei Lietuvoje.

Jungtinių Amerikos Valstijų Asfalto instituto leidinyje „Asphalt handbook“ nurodyta, kad projektuojant asfalto mišinius laboratorijoje reikia analizuoti asfalto mišinių tikėtinas savybes, kurios yra:

- asfalto mišinio didžiausias tankis;
- oro tuštymių kiekis;
- tuštymių kiekis mineralinės medžiagos mišinyje;
- bitumu užpildytų tuštymių kiekis;
- bituminio rišiklio kiekis.

Projektuojant asfalto mišinius pagal Maršalo metodą, nustatomos anksčiau išvardintos savybės savybės, bei pastovumas ir takumas pagal Maršalą. Analizuojant, kaip keičiasi asfalto mišinio savybės, priklausomai nuo bituminio rišiklio kiekio, nustatomas optimalus bituminio rišiklio kiekis, su kuriuo asfalto mišinio savybės – optimaliausios.

Kiekviena šalis, rengdama techninius dokumentus asfalto mišiniams, kuriuose pateikti reikalavimai asfalto mišinių fizikinėms bei mechaninėms savybėms, remiasi savo šalies bei kitų šalių patirtimi naudojant asfalto mišinius asfalto dangai įrengti ir eksploatuoti. Taip pat, svarbų vaidmenį turi šalies klimatinės sąlygos ir transporto eismo sukeltos apkrovos.

1.4. Lietuvos automobilių kelių tiesybai naudojamų Lietuvos gamtinių išteklių analizė

Uolienos – kietos arba purios masės, iš kurių sudaryta žemės pluta. Uolieną gali sudaryti vienas, arba keli mineralai. Pavyzdžiui, marmurą sudaro kalcitas – kalcio karbonatas, o granitą sudaro putnagas, kvarcas ir žėrutis. Pagal kilmę skiriamos erupcinės, arba magminės uolienos (granitas, bazaltas) nuosėdinės (smiltainis, klintys) ir metamorfinės uolienos (gneisas, kristalinis skalūnas, marmuras, grafitas) (Agapovas *et al.*, 1972).

Pagal kilmę mineralinės medžiagos yra skirstomos į gamtines ir perdirbtas. Gamtinės mineralinės medžiagos gali būti: akmuo, rieduliai, gamtinis žvyras ir smėlis. Tačiau, šias medžiagas perdirbus galima išgauti šias medžiagas: akmenį, frakcinę, riedulį, sodrintą ir žvyro skaldą, žvyrą, gargždą, skaldytą ir sodrintą žvyrą, žvirgždą, atsijas, frakcines atsijas, frakcinį smėlį, skaldą, sodrintą smėlį, žvyro atsijas, aktyviuosius ir paprastuosius mineralinius miltelius, šlakus ir pelenus. Mineralinės medžiagos naudojamos visuose kelio konstrukciją sudarančiuose sluoksniuose bei žemės sankasoje.

Lietuvoje išgaunama kelios dešimtys naudingųjų iškasenų rūšių. Pagal susidarymo laiką jas įprasta grupuoti į priekvarterines ir kvarterines, tačiau tik 17 įtraukta į naudingųjų iškasenų balansą (10 lentelė).

10 lentelė. Lietuvos kietosios naudingosios iškasenos (Deltuva ir Vaitkevičius, 2006)

Nr.	Iškasenos	Susidarymo laikas	Telkiniai	Išnaudoti
1	Durpės	Holocenas	348	59
2	Sapropelis	Holocenas	3-6	-
3	Gėlavandenė klintis	Holocenas	3-10	-
4	Smėlis	Pleistocenas	118	-
5	Žvyras	Pleistocenas	304	-
6	Rieduliai	Pleistocenas		-
7	Molis	Pleistocenas	55-20	-
8	Kvarcinis smėlis	Neogenas	1	2 sklypai
9	Gintaras	Pleistocenas	1	-
10	Kreidos mergelis	Kreida	7 (9)	1 (2 uždaryti)
11	Opoka	Kreida	1	-
12	Molis	Devonas, triasas	2	1
13	Akmens druska	Permas	1	-
14	Anhidridas	Permas	1	-
15	Klintis	Permas	8	2
16	Gipsas	Devonas	1	3
17	Dolomitas	Devonas	11	2

Lietuvos gamtinį pamatą sudaro 17 naudingųjų iškasenų. Tai – gamtinės mineralinės medžiagos, esančios žemės gelmėse, kurias galima naudoti materialinėje gamyboje ar kitoms reikmėms. Pagal vertę ir gavybos bei naudojimo kiekį svarbiausios pasaulyje naudingosios iškasenos yra statybos pramonei ir kelių tiesimui skirta skalda, statybos ir apdailos akmuo, žvyras ir smėlis.

Iš Lietuvoje aptinkamų naudingųjų iškasenų, kelių tiesyboje naudojamas žvyras, smėlis ir dolomitas. 11 lentelėje pateikti šių naudingųjų iškasenų gavybos kiekiai 2014 metais.

11 lentelė. Lietuvoje išgaunamų naudingųjų iškasenų, naudojamų kelių tiesybai, kiekiai 2014 m. (Lietuvos... 2015)

Naudingos iškasenos rūšis	Mato vnt.	Išgauta išteklių 2014 m.
Žvyras	tūkst. m ³	6070
Smėlis	tūkst. m ³	2568
Dolomitas	tūkst. m ³	1291

Iš Lietuvoje išgaunamų naudingųjų iškasenų, skirtų kelių tiesybai, daugiausiai iškasama žvyro. Tuo tarpu dolomito gavybos kiekiai – mažiausi.

Žvyras – biri nuosėdinė klastinė uoliena. Jis yra susidaręs iš labai įvairaus skersmens grūdelių ir nuotrupų. Vyrauja smėlio (0,02–2 mm), žvirgždo (2–20 mm) ir gargždo (10–100 mm) dalelės. Dažnai būna didelių riedulių ir aleurito bei molio dalelių priemaišų. Pagal kilmę žvyras būna fluvio-glacialinis, upinis, jūrinis ir ežerinis. Lietuvos žvyras susidaręs iš kristalinių uolienų (daugiausia granito ir gneiso), karbonatų (mineralų) ir karbonatinių uolienų (klinties, dolomito), smiltainio nuotrupų, kvarco, feldšpatų grūdelių (Deltuva ir Vaitkevičius, 2006).

Smėlis – nuosėdinė klastinė psamitų grupės uoliena. Susideda iš 50–60% 0,05–2 mm skersmens įvairios formos (kampuotų, apzulinčių) mineralų grūdelių, daugiausia kvarco, feldšpatų, žėručių. Būna balkšvos spalvos (tai daugiausia priklauso nuo kvarco kiekio); kitokias spalvas lemia priemaišos: žalią – glaukonitas, geltoną, rudą, rausvą – geležies oksidų ir hidroksidų plėvelės, violetinę – granatai, pilką, juosvą – ilmenitas, anglingos organinės priemaišos. Smėlis birus, akytas (akytumas 26–49%). Tankis 2120–2900 kg/m³. Lietuvoje daugiausia yra devono, neogeno, kvartero sistemų smėlis. Iš kvartero smėlio labiausiai paplitęs – fluvio-glacialinis (Deltuva ir Vaitkevičius, 2006).

Visi žvyro ir smėlio, naudojamų kelių tiesimui, telkiniai yra susidarę kvartero periodo metu, o praktinę reikšmę turi tik tie, kurie slūgso negiliai ir lengvai prieinami eksploatuoti. Kvartero amžiaus žvyro ir smėlio nuogulų pasiskirstymą lėmė paleogeografijos ledyno tirpsmo sąlygos. Daugiausia išžvalgytų ir įvertintų žvyro ir smėlio telkinių išteklių yra ledyno tirpsmo vandens srautų suklostytų deltų, fluvio-glacialinių terasų ir lyguminių zandrų nuogulose, nors jų paplitimo plotai užima palyginti nedidelę Lietuvos teritorijos dalį. Šiose nuogulose išžvalgyti ištekliai sudaro apie 53% visų žvyro ir smėlio išteklių, beveik pusė jų – fluvio-glacialinių deltų nuogulos. Ženklaus smėlio ir žvyro ištekliai (15% visų išteklių) slūgso Lietuvos didžiųjų upių (Nemuno, Neries, Šventosios, Dubysos, Minijos) slėnių aliuvinėse nuogulose. Nemaži smėlio ištekliai (apie 7%) susiję su kontinentinių kopų nuogulomis. Didelėje Lietuvos teritorijos dalyje (21% teritorijos) surasti žvyro ir smėlio ištekliai yra maži, o apie 16% teritorijos jų praktiškai iš viso neaptinkama (Deltuva ir Vaitkevičius, 2006).

Dolomitas – nuosėdinės, rečiau hidroterminės kilmės karbonatinė uoliena, sudaryta iš dolomito mineralo 0,005–1 mm dydžio kristalų (CaMg(CO₃)₂) su nedidele (iki 25 %) kitų mineralų – kalcito, rečiau gipso, molio mineralų ir geležies oksidų – priemaiša. Dolomitas tankus, dažnai su kavernomis, poringas, supleišėjęs, rečiau birus (dolomitmilčiai). Būna balšvas, šviesiai pilkas su gelsvu atspalviu; įvairios priemaišos suteikia rausvą, violetinį, melsvą, žalsvą, tamsiai pilką ar juosvą atspalvį (Deltuva ir Vaitkevičius, 2006).

Dolomito klodų Lietuvoje aptinkama daugelio geologinių sistemų nuogulose, tačiau praktinę svarbą turi tik šiaurinėje dalyje negiliai žemės paviršiaus slūgsantis viršutinio devono Pliavinių, Įstro, Stipinų, Kruojos ir Žagarės svitų dolomitas. Šių svitų dolomitas skirtingos tekstūros, nevienodų fizinių ir mechaninių savybių, kiek mažiau skiriasi cheminė sudėtis (Deltuva, Vaitkevičius, 2006).

Pastaruosius 30 metų dolomito kokybė ir jo panaudojimo galimybės buvo vertinamos keturiais aspektais:

- kaip užpildas betonui gaminti;
- kaip užpildas kelių pagrindams įrengti;
- kaip užpildas asfalto pagrindo sluoksniams tiesti;
- kaip apdailos ir statybos akmuo.

Dėl nepakankamo dolomito atsparumo trupinimui ir skaldymui, bei dėvėjimui, ši medžiaga nėra naudojama asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti. Remiantis techninių reikalavimų aprašu TRA ASFALTAS 08, siekiant, kad dėvimasis asfalto dangos sluoksnis būtų pakankamai atsparus mechaniniams ir aplinkos veiksniams, jo užpildas turi būti pagamintas iš magminės kilmės uolienų (granitas, gabras, diabazas ir t.t.). Šios medžiagos minimalus atsparumas trupinimui ir skaldymui turi tenkinti LA_{20} bei SZ_{18} kategorijoms keliamus reikalavimus.

Lietuvoje kasmet sunaudojama 800 000 – 1 mln. t. ir daugiau granito skaldos (iš užsienio įvežamos žaliavos). Šos žaliavos kaina kaimyninėse Lietuvos šalyse viršija 14,50 Eurų už toną ir kol kas pastoviai auga. Tad po 14,5 mln. Eurų kasmet ir vis daugiau iškeliauja iš Lietuvos. Apie 30% dabar keliams naudojamos granito skaldos gali būti pakeista vietinė kiek silpnesnė bet pakankamai stipria ir gerokai pigesne dolomito arba žvirgždo skalda. Tada per dešimtmetį užsienio šalių ekonomikoms remti nebūtų sumokama per 200 mln.lt. O šie pinigai liktų šalies ekonomikos srautuose, didintų gyventojų perkamąją galią, mažintų biudžeto deficitą, augintų mokesťines pajamas (Laurinavičius ir Skrinskas 2008).

Dėl šios priežasties svarbu ekonominiais tyrimais pagrįsti arba paneigti dolomito mineralinės medžiagos, vietoj granito, panaudojimo galimybes, įrengiant asfalto dangos viršutinį sluoksnį.

1.5. Darbo tikslas ir uždaviniai

Magistro baigiamojo darbo tikslas – eksperimentiniais laboratoriniais tyrimais įvertinti aukštos kokybės dolomito skaldos panaudojimo galimybes asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti.

Darbo tikslui pasiekti sprendžiami šie uždaviniai:

- išnagrinėti asfalto dangos viršutinio sluoksnio mišiniams ir jo sudedamosioms dalims keliamus reikalavimus Lietuvoje ir užsienio šalyse;
- išnagrinėti asfalto mišinio komponentų įtaką asfalto mišinio savybėms;
- išanalizuoti užsienio šalių patirtį projektuojant viršutinio sluoksnio asfalto mišinius su skirtingos rūšies mineralinėmis medžiagomis;
- atlikti eksperimentinius laboratorinius tyrimus asfalto dangos viršutinio sluoksnio asfalto mišiniams su dolomito ir granito mineralinėmis medžiagomis;
- atlikti ekonominį vertinimą lyginant asfalto mišinių kainas su dolomito ir granito mineralinėmis medžiagomis.

2. ASFALTO VIRŠUTINIO SLUOKSNIO FUNKCIONAVIMĄ ĮTAKOJANČIŲ ASFALTO MIŠINIŲ SAVYBIŲ IR JO KOMPONENTŲ ANALIZĖ

2.1. Asfalto mišinio savybės įtakojančių faktorių analizė

Asfalto mišinys – daugiakomponentė konglomeratinė medžiaga, dažniausiai sudaryta iš kelių bitumo ar polimerais modifikuoto rišiklio, mineralinių medžiagų mišinio (mineralinių miltelių, smėlio, atsijų, mineralinės medžiagos), priedų (užpildo ir bitumo adheziją gerinančių medžiagų) ir oro (12 lentelė). Kai kuriais atvejais, siekiant pagerinti asfalto mišinio savybes, galimi ir kiti priedai, pavyzdžiui celiuliozė, plieno šlakai, smulkintos gumos gabalai ir stiklas. Šios medžiagos, kaip asfalto mišinio priedai yra naudojami, siekiant pagerinti tam tikrą asfalto mišinio savybę, pvz. pagerinti adheziją, standumą, ar atsparumą ilgalaikiam klimato poveikiui.

12 lentelė. Asfalto komponentai (Partl *et al.* 2012)

Rišikliai	Priedai	Užpildas	Oro poros
Karštieji mišiniai: ○ kelių bitumas; ○ polimerais; ○ modifikuotas bitumas (elastomerai, plastomerai, natūralus lateksas, perdirbta sintetinė guma); ○ sintetiniai rišikliai spalvotajam asfaltui.	○ Bitumo ryšius pagerinantys priedai (gesinta kalkė, Amino derivatas,...); ○ hidraulinis cementas; ○ gamtinis asfaltas (Gilsonite, Trinidad Lake Asphalt); ○ emulsikliai; ○ mišinį atnaujinančios medžiagos (naudoto asfalto granulės); ○ oksidantai; ○ antioksidantai; ○ polimeriniai priedai; ○ reaktyvios nano plokštelės; ○ neužstingstantys priedai (CaCl sluoksniai).	Mikro/nano dalelės: ○ užpildas (mineraliniai milteliai, pelenai); ○ pluoštai (celiuliozė, polimerai, mineraliniai); ○ pigmentai; ○ smulkinta guma.	○ Uždaros poros; ○ tarpusavyje susijungiančios poros, sudarančios porų tinklą.
		Makro dalelės: ○ smėlis, smulkinti akmenys; ○ smulkintas stiklas; ○ šlakas; ○ perdirbtos padangų dalys; ○ pluoštai (metalo, stiklo pluošto, polisterio...); ○ naudoto asfalto granulės.	

Asfalto mišinio struktūrą apibūdina užpildo (mineralinių medžiagų mišinio) granulimetrinė sudėtis, mineralinių medžiagų savybės, rišančiosios medžiagos sudėtis ir savybės, taip pat – rišklio ir mineralinių medžiagų tarpusavio ryšys (Lu *et al.* 2012). Asfalto mišinio užpildas sudaro 94–95 % viso mišinio, likusieji 5–6 % yra rišklio. Bet kokie naudojami priedai, siekiant pagerinti tam tikras dangos, užpildo ar bitumo mechanines, ar fizikines savybes, dažniausiai yra dedami į bitumą ir bendro masių santykio nekeičia.

Asfalto dangos funkcionavimui didžiausią įtaką turi asfalto mišinio:

- granulimetrinė sudėtis;
- oro tuštymių asfalto mišinyje kiekis;
- oro tuštymių kiekis mineralinėje medžiagoje;
- bituminio rišklio plėvelės ant užpildo dalelių storis.

Asfalto mišinio analizė atliekama masės, arba tūrio atžvilgiu. Masės atžvilgiu dažniausiai vertinama mineralinės medžiagos mišinys ir bituminis rišklio. Tuo tarpu, oro tuštymės sąlyginai neturi masės, dėl to jos vertinamos nuo asfalto mišinio tūrio.

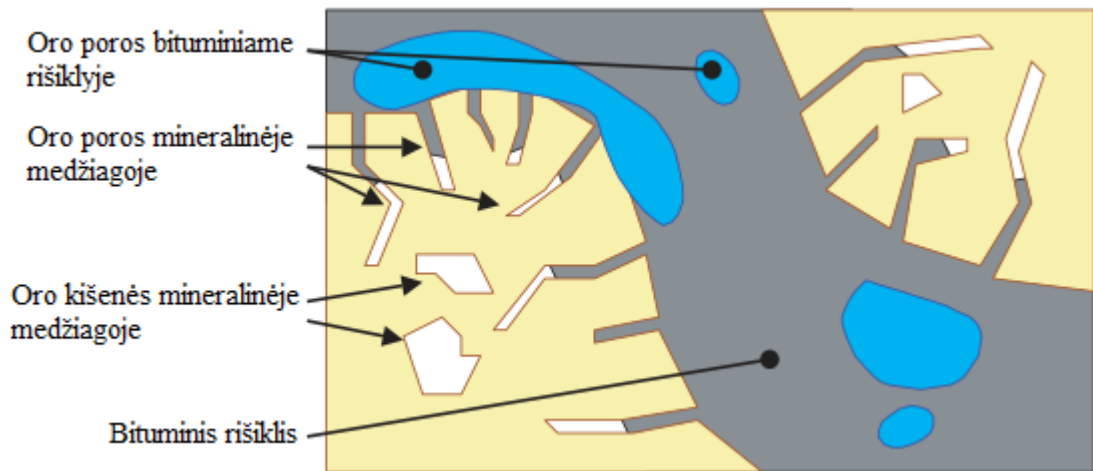
Viena iš labiausiai pabrėžiamų asfalto mišinio mineralinių medžiagų užpildo fizikinių savybių, kuriai yra keliami reikalavimai techninių reikalavimų apraše TRA ASFALTAS 08, – granulimetrinė sudėtis. Ji yra viena iš svarbiausių savybių, siekiant suprojektuoti kokybišką asfalto mišinį. Maksimalus dalelių kiekis turi būti priderintas prie asfalto sluoksnio storio. Priešingu atveju, neįmanoma kokybiškai įrengti asfalto mišinio. Jo granulimetrinė sudėtis turi būti optimali, kad būtų pasiektas norimas asfalto dangos oro tuštymių ir bituminio rišklio kiekis.

Kadangi naudojamo mineralinių medžiagų mišinio forma ir tekstūra gali būti įvairi, priklausomai nuo naudojamos uolienos tipo ir jos išgavimo procesų įvairovės. Todėl siekiant užtikrinti optimalias asfalto mišinio savybes, granulimetrinė sudėtis gali kisti labai plačiose ribose.

Oro tuštymės (4 pav.) – tai tuščios ertmės asfalto mišinyje tarp mineralinėje medžiagoje. Užtikrinti tinkamą oro tuštymių kiekį asfalto mišinyje yra svarbu dėl kelių priežasčių. Kai oro tuštymių kiekis yra per didelis, asfalto mišinys gali būti per daug laidus vandeniui. Ši priežastis gali sąlygoti per didelį vandens ir šalčio poveikį asfalto dangai. Taip pat, per didelis oro tuštymių kiekis gali lemti greitesnį asfalto mišinio senėjimą. Kai oro tuštymių kiekis yra per mažas, bituminio rišklio kiekis dangoje gali būti per didelis. Ši priežastis gali įtakoti greitą asfalto dangos degradaciją: joje gali pradėti greitai vystytis plastinės deformacijos (Pedersen *et al.* 2011).

Daugelyje užsienio šalių, asfalto mišiniai projektuojami Superpave metodu, kuris užtikrina konkretų norimą asfalto mišinių oro tuštymių kiekį. Jungtinėse Amerikos Valstijose jis siekia 4 %. Tačiau kitose užsienio šalyse jis kinta nuo 3 % iki 5 % priklausomai nuo asfalto mišinio paskirties ir eksploatacinių sąlygų (Pedersen *et al.* 2011). Lietuvoje, priklausomai nuo asfalto mišinio, oro

tuštymių kiekio minimali riba gali siekti 2 %, kas gali įtakoti spartesnį asfalto mišinio provėžų susidarymą.



4 pav. Oro tuštymės asfalto mišinyje (Pedersen *et al.* 2011)

Dažniausiai realus asfalto mišinių oro tuštymių kiekis yra mažesnis, nei projektinis po tam tikro eksploatacinio periodo. Taip yra, nes prasidėjus kelio eksploatacijai, dėl transporto eismo asfalto danga tankėja.

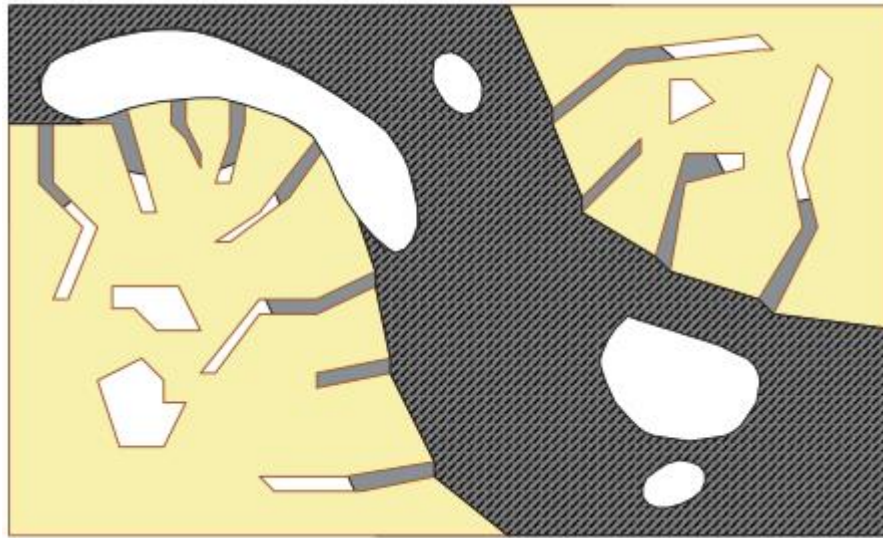
Oro tuštymių kiekis taip pat įtakoja mineralinės medžiagos tarpusavio sukibimą. Esant per mažam oro tuštymių kiekiui, asfalto mišinyje esančios mineralinės medžiagos negali tarpusavyje sukibti dėl storos bituminio rišklio plėvelės. Tokiu atveju, mineralinės medžiagos tarpusavyje užuot sukibę, tiesiog praslysta viena kitos atžvilgiu taip lemdamos padidėjusį provėžų susidarymo greitį asfalto dangoje.

Bituminio rišklio kiekis yra viena iš svarbiausių charakteristikų, apibūdinančių asfalto mišinį. Per mažas bituminio rišklio kiekis asfalto mišinyje gali lemti sausą, standų asfalto mišinį, kurį bus sunku pakloti ir sutankinti. Šis asfalto mišinys bus neatsparus nuovargio deformacijoms. Dažniausiai bituminio rišklio kiekis asfalto mišinyje siekia 4–6 %. Šis kiekis gali kisti, priklausomai nuo tikėtinos asfalto mišinio tarnavimo trukmės ir transporto eismo, bei klimatinių sąlygų.

Pedersen *et al.* (2011) teigia, kad bituminio rišklio kiekį taip pat įtakoja naudojamos mineralinės medžiagos tankis. Nors dviejų mineralinių medžiagų mišinių granuliomerinė sudėtis gali būti identiška, tačiau įpylus vienodą kiekį bituminio rišklio, jo kiekis asfalto mišiniuose gali ženkliai skirtis. Taip yra, nes nors mineralinių medžiagų tūris yra identiškas, jų masė skiriasi, o bituminis riškis apibrėžiamas pagal asfalto mišinio komponentų masę. Dėl to, bituminio rišklio kiekis vis dažniau pateikiamas kaip funkcija nuo mineralinės medžiagos tankio, o ne asfalto mišinio komponentų kiekio procentais.

Kita priežastis, dėl ko vienodas bituminio rišklio kiekis gali sąlygoti skirtingas asfalto dangos, su skirtingomis mineralinėmis medžiagomis, eksploatacines savybes, yra oro poros mineralinėje

medžiagoje. Mineralinė medžiaga turi savybę absorbuoti bituminį rišiklį. Šis kiekis gali kisti, priklausomai nuo naudojamo užpildo rūšies. Tankios, magminės kilmės, mineralinės medžiagos dažniausiai absorbuoja keliomis dešimtimis kartų mažiau bituminio rišiklio, nei nuosėdinės kilmės uolienos. Terminas „efektyvus bituminio rišiklio kiekis“ (5 pav.) apibūdina bituminio rišiklio kiekį, kuris asfalto mišinyje nėra absorbuotas mineralinių medžiagų (Pedersen *et al.* 2011).

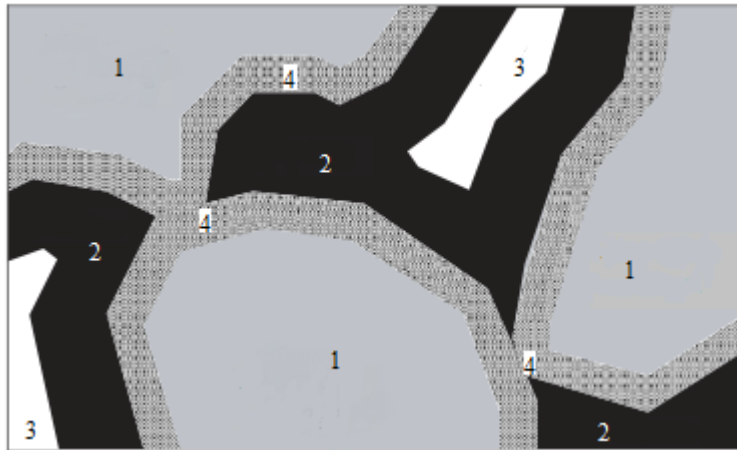


5 pav. Efektyvus bituminis rišiklis (užtušuotas) (Pedersen *et al.* 2011)

5 paveiksle matyti, kad nors mineralinėje medžiagoje esančios poros yra dalinai užsipildžiusios bituminiu rišikliu. Tačiau šis bitumas nėra priskiriamas efektyviam bituminiui rišikliui, nes jis neatlieka mineralinių medžiagų tarpusavio surišimo funkcijos. Tik bituminis rišiklis esantis tarp skirtingų mineralinių medžiagų yra efektyvus. Dėl to galima daryti išvadą, kad bituminio rišiklio nuostoliai asfalto mišiniuose yra neišvengiami.

Kitas svarbi asfalto mišinio savybė – aktyvus bituminio rišiklio plėvelės storis ant mineralinės medžiagos dalelių paviršiaus (6 pav.). Ji yra išreiškiama bituminės plėvelės storio ir matuojama mikrometrais. Įvairūs šaltiniai (Campen *et al.* 1959; Goode ir Lufsey 1965; Kumar ir Goetz 1977; Radovskiy 2003; Pederson *et al.* 2011) siūlo skirtingas metodikas, kaip galima apskaičiuoti šį rodiklį.

Asfalto mišinių aktyvaus bituminio rišiklio plėvelės storis yra Hveem asfalto mišinių projektavimo metodo dalis. Hveem teigė, kadkiekviena mineralinių medžiagų mišinio dalelė turi būti padengta optimaliu bituminio rišiklio kiekiu. Pagal Hveem projektavimo metodiką, mineralinių medžiagų mišinio, asfalto mišinyje, tariamasis dalelių paviršiaus kiekis yra pagrindinis faktorius, kuriuo remiantis parenkamas bituminio rišiklio kiekis.



6 pav. Asfalto mišinio kompozicija mikro mastelyje. Čia: 1 – mineralinė medžiaga; 2 – bituminio rišiklio plėvelė; 3 – oro tuštymė; 4 – mineralinės medžiagos absorbuojama zona (Pedersen *et al.* 2011)

Asfalto mišiniai su plonu efektyvios bituminio rišiklio plėvelės storio yra trapūs ir neatsparūs mechaniniam apkrovų poveikiui. Tuo tarpu asfalto mišiniai, kuriuose šis rodiklis viršina optimalų sotrį, yra neatsparūs provėžų ir plyšių susidarymui (Pedersen *et al.* 2011). Egzistuoja įvairios diskusijos dėl optimalaus efektyvaus bituminio rišiklio plėvelės storio, tačiau dauguma mokslininkų sutinka, kad šis rodiklis yra optimalus, kai siekia 6–9 mikronus. Vertės, esančios žemiau 6 ir aukščiau 10 mikronų turėtų būti vengiamos. Nors tiesioginis santykis tarp efektyvios bitumo plėvelės storio ir asfalto mišinio nėra įrodytas, tačiau tai – geras įrankis, siekiant užtikrinti tinkamą bituminio rišiklio kiekį asfalto mišinyje, bei įvertinant mineralinės medžiagos absorbuojamą rišiklio kiekį.

2.2. Asfalto mišinio užpildo įtaka dangos funkcionavimui

Klaus (2003) tyrimais nustatė, kad asfalto mišinių atsparumas provėžų susidarymui priklauso nuo mineralinės medžiagos mišinio struktūros asfalto mišinyje – mineralinės medžiagos mišinio granulimetrinė sudėtis ir formos rodiklis pripažinti kaip svarbiausi veiksniai, kurie įtakoja asfalto dangos atsparumą plastinėms deformacijoms.

Mineralinių medžiagų mišinys sudaro apie 80–90 % viso asfalto mišinio tūrio, arba 90–96 % visos asfalto mišinio masės. Dėl šios priežasties svarbu užtikrinti optimalią mineralinių medžiagų kokybę, jos kainos atžvilgiu. Kitaip sakant, mineralinių medžiagų užpildo kokybė turi tenkinti jai keliamus reikalavimus. Taip pat, parinkta mineralinė medžiaga turėtų pateisinti savo kokybę ekonominiame kontekste.

Išskiriamos šios asfalto mišinio užpildo fizikinės ir mechaninės savybės:

- absorbcija, poringumas ir pralaidumas – vidinių porų charakteristika yra labai svarbi užpildo savybė. Porų dydis, kiekis ir vientisumas gali smarkiai paveikti užpildo stiprumą, atsparumą šlifavimui, paviršiaus tekstūrą, surišimo su rišiklio savybes, bei užšalimo ir atšalimo atsparumą;

- paviršiaus tekstūra – nusako užpildo dalelės, ar jų masės šiuurškumą, ar švelnumą. Paviršiaus tekstūra vaidina didelį vaidmenį kuriant vidinius bitumo ir užpildo ryšius nano mastelyje;
- stiprumas ir elastingumas – tai užpildo savybė išlaikyti savo pradinę formą veikiant gniuždančiosioms bei tempiančiosioms jėgoms;
- tankumas ir specifinė gravitacija – medžiagos tankis apibūdinamas svoriu tenkančiu kubiniam atstumo vienetui; specifinė gravitacija – medžiagos ir vandens tankio santykis;
- tuštymėtumas – oro tarpai tarp užpildo dalelių;
- kietumas – mineralo nano dalelių susicementavimo kokybė, kuri pasireiškia atsparumu įbrėžimams, šlifavimui ir kitiems panašaus tipo aplinkos poveikiams;
- dalelių forma – nusako ant kiek dalelė apvali, ar kampuota;
- apvaskalas – mineralinės medžiagos substancija dengianti dalį, ar visą paviršių.

Taip pat išskiriamos neigiamos mineralinių medžiagų savybės:

- 1) nepatvarios, minkštos ar struktūriškai silpnos dalelės;
- 2) sulipusio molio gabalai;
- 3) plokščios ar pailgos dalelės;
- 4) organinio pobūdžio dalelės;
- 5) lengvasvoriai silicio skalūnai.

Mineralinių medžiagų mišinio įtaka asfalto mišiniui yra labai didelė, tačiau yra sunku atskirti atskirų jos savybių įtaką asfalto mišinio eksploatacinėms savybėms. Taip pat, galima daryti hipotezę, kad vienus mineralinių medžiagų mišinio savybių trūkumus galima kompensuoti kitais jos privalumais.

Padidinus trupintų – skaldytų dalelių kiekį mineralinės medžiagos mišinyje sumažėja asfalto dangos provėžų susidarymas. Taip yra, nes tarpusavyje saveikaujant trupintiems mineralinių medžiagų dalelių paviršiams, atsiranda papildoma sukibimo jėga. Taip pat, tą patį efektą galima išgauti keičiant stambiojo mineralinių medžiagų mišinio oro tuštymų kiekį. Jos padidina dalelių formas, kampuotumo ir tekstūros sukibimo efektą, mažinant asfalto mišinyje esančių dalelių judėjimą tarpusavyje, didinant dalelių tarpusavio sukibimą.

Jayawickrama (1996) nustatė, kad skaldytų mineralinių medžiagų naudojimas asfalto mišinių gamybai pagerina ne tik trintį tarp dalelių, bet ir sukibimą tarp transporto priemonės ratų ir kelio asfalto dangos.

Formos rodiklis – viena svarbiausių mineralinių medžiagų dalelių savybių, siekiant gauti atsparų plastinėms deformacijoms asfalto mišinį. Prowell *et al.* (2005) teigia, kad mineralinės medžiagos dalelių, kurių formos santykis – 5:1, kiekis mišinyje neturėtų viršyti daugiau, nei 10 %

masės. Kai šis kiekis viršina minėtą normą, eksploatacijos metu ženkliai pagausėja sutrupėjusių mišinio dalelių.

Remiantis standartu LST EN 933-4 „Dalelių formos nustatymas. Formos rodiklis“, Lietuvoje formos rodiklis nustatomas tik 3:1 dalelėms, tačiau pagal Prowell *et al.* (2005) matyti, kad šį rodiklį vertėtų nustatyti ir 2:1 ir 5:1 dalelių formos santykiui. Turint šiuos duomenis būtų galima labiau kontroliuoti provėžų susidarymą, atsirandantį asfalto dangoje.

McGennis *et al.* (1994) atlikti tyrimai parodė, kad mineralinės medžiagos užpildo apvalios arba su mažesniu skelto paviršiumi užpildo dalelės slenka viena kitos atžvilgiu, todėl neužtikrinama pakankama vidinė trintis tarp jų, o tai lemia asfalto mišinių šlyties stiprį ir atsparumą provėžų susidarymui. Tyrimais įrodyta, kad siekiant asfalto mišinių atsparumo provėžų susidarymui mineralinės medžiagos dalelės turi būti kuo didesniu skeltu paviršiumi, dalelės kubinės, tolydžios granulimetrinės sudėties, kad užtikrinti tinkamą užpildo dalelių vidinę trintį (Button *et al.* 1990; Sousa *et al.* 1991; Brown and Bassett 1990; Ahlrich 1996; Kandhal ir Mallick 2001; Marks *et al.* 2001).

Arasan *et al.* (2012) nagrinėjo, kaip mineralinės medžiagos dalelių formos įtakoja asfalto mišinio mechanines savybes. Tyrimais nustatyta, kad asfalto mišinio su apvalių formų mineralinėmis medžiagomis pastovumas pagal Maršalą didesnis nei asfalto mišinio su lygaus paviršiaus mineralinėmis medžiagomis. Panašūs rezultatai gauti Chen *et al.* (2001) ir Siswosoebrotho *et al.* (2005) atliktais tyrimais, kur nustatyta, kad dėl lygaus paviršiaus mineralinių medžiagų asfalto mišinių pastovumas pagal Maršalą mažesnis nei su kitų formų dalelėmis.

Ne ką mažiau svarbus ir mineralinių medžiagų asfalto mišinio smulkusis užpildas. Įvairūs tyrimai parodė, kad smulkiojo užpildo komponentų savybės gali turėti net dominuojančią įtaką asfalto mišinio provėžų susidarymui ir nuovargio plyšių susidarymui (Kandhal ir Parker 1998, Huber *et al.* 1998). Smulkojo užpildo įtaką asfalto mišinio kokybei lemia dvi pagrindinės jo savybės: tekstūra ir dalelių kampuotumas. Didesnis dalelių kampuotumas nusako didesnę trintį. Keičiantis šiai savybei gali ženkliai pakisti ir asfalto mišinio oro tuštymių kiekis. Tuo tarpu, kintant medžiagos tekstūrai, oro tuštymių kiekis nekinta, o atsparumas provėžoms ženkliai padidėja (Prowell *et al.* 2005).

Skaldos dalelės asfalto mišinyje užtikrina tinkamą tarpusavio susikabinimą. Tai užtikrina stiprų asfalto mišinio karkasą ir lemia asfalto mišinio stiprumą. Skaldos kiekis asfalto mišinyje turi svarbią įtaką mišinio savybėms. Esant nedideliame skaldos kiekiui asfalto mišinyje, jis gauna 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 (Сакалайскас *et al.* 1983, Monismith 2004, Arasan *et al.* 2012, Singh *et al.* 2012).

Smėlis, kaip ir skalda, atlieka asfalto mišinio struktūros sudarymo ir formavimo vaidmenį, formuodamas kietą, šiurkštų, erdvų karkasą, garantuojantį asfalto stiprio savybes. Bet kokie šių komponentų nuokrypiai nuo jų optimalių verčių (netolygi granulimetrinė sudėtis) sąlygoja blogesnes asfalto mišinio savybes (Lu *et al.* 2012). Tačiau smėlis ne visada naudojamas, nes jo dalelės mažiau kampuotos, daugeliu atveju apvalios, kas sumažina dalelių susikabinimą tarpusavyje, trintį, o tai lemia asfalto dangos atsparumą nuovargiui bei plastinių deformacijų susidarymą. Todėl smėlis naudojamas asfalto mišiniams, kurie taikomi visų asfalto dangų konstrukcijų apatiniams, pagrindo, pagrindo-dangos sluoksniams. Kituose atvejuose vietoj smėlio naudojamos skaldos atsijos (Tuminienė 2012).

Mineraliniai milteliai (mikroužpildas) yra trečias asfalto mišinio mineralinės medžiagos mišinio komponentas. Skirtingai nuo smėlio ir dar labiau nuo skaldos, mineraliniai milteliai turi didžiausią paviršiaus plotą, kuris sudaro iki 90–95 % visų į asfalto mišinio sudėtį įeinančių mineralinių medžiagų mišinio paviršiaus ploto. Ši savybė lemia rišiklio kiekį, nes reikia padengti rišikliu visas mineralinės medžiagos mišinio daleles, todėl mineralinių miltelių kiekis asfalto mišinyje yra iki 10 %. Nustatyta, kad esant optimaliam bituminio rišiklio ir mineralinių miltelių santykiui, gaunamas didžiausias struktūrinės dispersinės sistemos, sudarytos iš šių medžiagų, stipris. Esant tam tikrai mineralinių miltelių koncentracijai, žymiai sumažėja bituminio rišiklio ant mineralinių medžiagų dalelių sluoksnių storis, todėl atsiranda aukštas bituminio rišiklio struktūros lygis, o tai reiškia, kad kontaktai tarp dalelių sustiprėja (Chun *et al.* 2012). Mineralinių miltelių kiekio sumažinimas padeda padidinti asfalto atsparumą nuovargiui, bet sumažina atsparumą plastinėms deformacijoms (Kim *et al.* 2006, Guarín 2009).

2.3. Bituminio rišiklio įtaka asfalto funkcionavimui

Bituminis riškis yra pagrindinė asfalto mišinio rišančioji medžiaga, kuri sujungia mineralinės medžiagos mišinio daleles į vientisą monolitą, kuris sugeba atsispirti išorinių jėgų poveikiui (Сакалаяцкac *et al.* 1983, Peterson 2009, Lu *et al.* 2012, Chun *et al.* 2012).

Organinės rišančiosios medžiagos (bitumas, derva) – tai sudėtinga daugiamolekulinių angliavandenilių ir nemetalinių junginių su siera, deguonimi ir azotu mišiniai, kurių fizikinės ir mechaninės savybės keičiasi kintant temperatūrai (Gulbinas 2005).

Asfalto mišinių projektavimo praktika parodė, kad didinant bituminio rišiklio kiekį asfalto mišinyje, jo stipris didėja tik iki tam tikros ribos. Didinant bituminio rišiklio kiekį dar labiau, asfalto stipris mažėja, nes didėja atstumas tarp apveltų mineralinės medžiagos dalelių, kur susidaro laisvojo bituminio rišiklio, kuris laisvina asfalto mišinio struktūrinius ryšius. Tokiu būdu, reguliuojant mineralinių medžiagų oro tuštymių kiekį, reguliuojamas ir laisvojo bitumo kiekis. Padidėjęs laisvojo bitumo kiekis gadina asfalto mišinio struktūrą, fizikines ir mechanines savybes – padidėja

plastiškumas, o dėl to sumažėja asfalto atsparumas deformacijoms esant didelėms temperatūroms vasaros metu, sumažėja mišinio stipris, trukdoma mineralinės medžiagos mišinio dalelių suartėjimui, t. y. sunku gauti tankesnę asfaltą (Cakarayckac *et al.* 1983, Laurinavičius ir Čygas 2003, Čygas *et al.* 2004, 2007).

Bituminio rišiklio kokybę nusako šios savybės (Gulbinas 2005):

- penetracija – savybė, nusakanti bitumo kietumą. Kuo mažesnė bituminio rišiklio penetracija esant nustatytai minkštėjimo temperatūrai, tuo didesnis bituminio rišiklio tūluminis stabilumas;
- minkštėjimo temperatūra – temperatūra, prie kurios bituminis rišiklis tampa plastiškai minkštu;
- bitumo adhezinės savybės – charakterizuoja lipnumą ir klijuojančias savybes;
- tūsumo rodiklis – charakterizuojamas atstumu, kuriuo galima ištempti bitumą iki siūlo, jam nenutrūkstant;
- klampa – charakterizuoja bitumo konsistensiją esant skirtingoms panaudojimo temperatūroms.

Monismith (2003) analizavo, kaip asfalto mišinio savybės keičiasi dėl per didelio bituminio rišiklio, smulkiosios mineralinės medžiagos ir apvalių dalelių kiekio. Nustatyta, kad šie faktoriai labiausiai įtakoja deformacijų susidarymą asfalto dangoje.

Bituminis rišiklis asfalto mišiniuose įtakoja asfalto atsparumą provėžų susidarymui, bet mažiau nei užpildo savybės. Asfalto mišinys pagamintas su minkštesniu bitumu bus mažiau atsparus provėžų susidarymui prie aukštos temperatūros lyginant su asfalto mišiniu, kuriam naudotas klampesnis bituminis rišiklis. Provėžos asfalto dangoje įprastai atsiranda pirmaisiais eksploataavimo metais, kai asfalto rišiklio klampumas yra palyginus mažas. Tuo tarpu, provėžų susidarymas kelio dangoje mažiau tikėtinas, kai bitumas senesnis ar oksidavęsis (Hafeez 2009).

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 paprastas kelių bitumas (Ponniah ir Kennepohl 1995, Prowell 2001, Kanitong 2005).

Polimerais modifikuotų bitumų ir tik skaldytų mineralinių medžiagų naudojimas asfalto mišiniuose padeda išvengti plastinių deformacijų susidarymo asfalto dangose, kai būna aukštos dangos temperatūros bei intensyvus transporto eismas. Polimerais modifikuoti bitumai apsaugo asfalto dangas nuo plyšių susidarymo žiemą ir suteikia kitų teigiamų savybių.

Kamal (2005) nagrinėjo asfalto mišinių, kuriems naudotas kelių bitumas ir polimerais modifikuotas bitumas savybes, esant tai pačiai temperatūrai bei dangos apkrovimo sąlygoms, bei lygino standumą (atliekant netiesioginio tempimo bandymą) ir atsparumą nuovargiui (atliekant pasikartojančio

vienaašio apkrovimo deformacijos bandymą). Nustatyta, kad asfalto bandinių su kelių standumas mažesnis iki 85 % lyginant su asfalto bandiniais su polimerais modifikuotu bitumu, nors bandymo temperatūra didinta nuo 25 °C iki 40 °C.

Asfalto su mažos penetracijos (20/30, 35/50, 50/70) bituminiu rišikliu naudojimas esant mažesnei nei 10 °C temperatūrai netinkamas dėl mažo atsparumo deformacijų susidarymui. Naudojant didesnės penetracijos (70/100, 100/150) bituminius rišiklius problema išsprendžiama, tačiau atsiranda provėžų susidarymo galimybė temperatūrose didesnėse nei 30 °C. Tokiais atvejais geriausia naudoti polimerais modifikuotus bituminius rišiklius (Read *et al.* 2010). Polimerais modifikuotas bituminis riškis lemia asfalto visko-elastines, nuo kurių priklauso asfalto dangos eksploatacinės savybės, plastinių deformacijų ir nuovargio plyšių susidarymas.

Awanti *et al.* (2008) nustatė, kad skaldos ir mastikos asfalto (SMA) bandinių, kuriems naudotas polimerais modifikuotas bitumas, takumo ir pastovumo pagal Maršalą rezultatai geresni – mažesnis takumas pagal Maršalą ir didesnis pastovumas pagal Maršalą. Xiao *et al.* (2007) atliktais tyrimais nustatė, kad asfaltas su polimerais modifikuotu bituminiu rišikliu atsparus nuovargio plyšių susidarymui. SMA mišinių atsparumo provėžų susidarymui rezultatai geresni nei paprasto asfalto mišinio. Taip pat nustatyta, kad SMA dangos atsparesnės nuovargiui dėl geros asfalto mišinio struktūros (Nejad *et al.* 2010).

2.4. Tyrimų, susiejusių su įvairių rūšių mineralinių medžiagų panaudojimu asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti, apžvalga

Lietuvoje tyrimai, kuriais siekiama pagrįsti įvairių mineralinių medžiagų panaudojimą asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti, pradėti 2004 metais. Siekiant sužinoti jų kokybę, tikslinga nustatyti atsparumą šaldymui ir atšildymui bei atsparumą trupinimui ir skaldymui. Bulevičius *et al.* (2010) tyrimais nustatė 3 rūšių mineralinių medžiagų – granito, dolomito skaldos ir žvyro atsparumą šaldymui ir atšildymui, bei atsparumą trupinimui ir skaldymui.

Gauti bandymų rezultatai parodė, kad granito ir dolomito mineralinės medžiagos gali būti priskirtos F_1 atsparumo šalčiui klasei, kuri yra privaloma asfalto viršutinio sluoksnio mišiniams įrengti. Žvyro atsparumas šalčiui svyravo tarp F_1 ir F_2 klasių.

Atlikus 49 bandymų su tų pačių rūšių mineralinių medžiagų mišiniais, 94 % iš tirtų granito bandinių tenkino atsparumo trupinimui rodiklį LA_{20} , kuris keliamas aukštos kokybės mineralinėms medžiagoms. Tuo tarpu šios kategorijos reikalavimų netenkino 50 % dolomito mineralinių medžiagų mišinių, o iš žvyro nei vienas bandinys netenkino LA_{20} kategorijos.

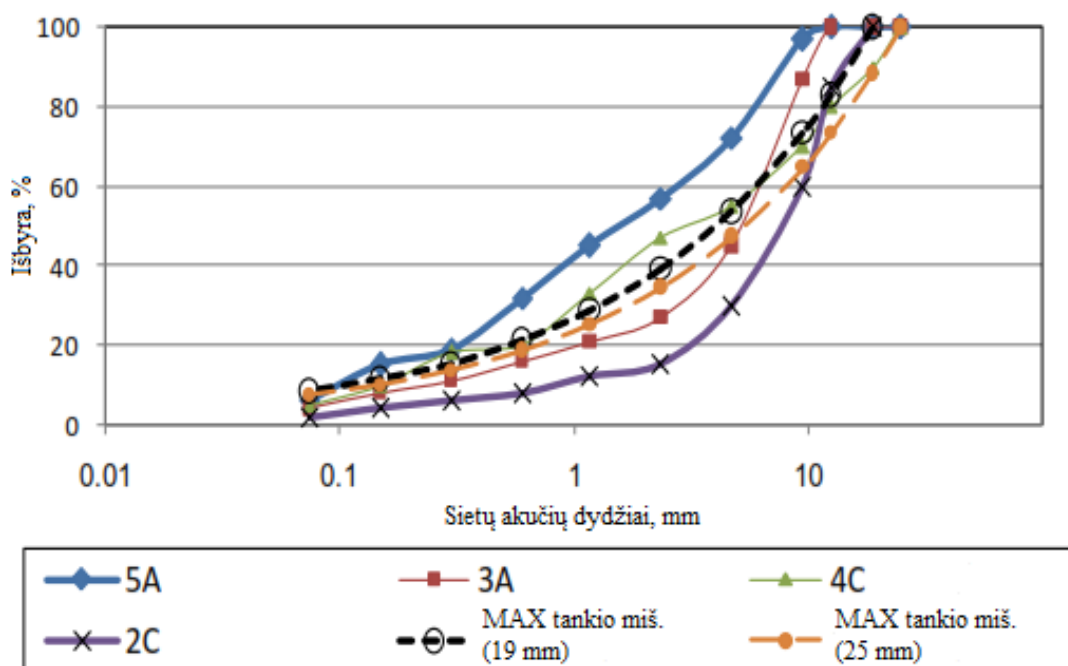
Ištyrus 190 bandinių aibę, paaiškėjo, kad atsparumo skaldymui SZ_{18} kategorijos ribą tenkino 73 % tirtų granito bandinių, ir 0 % dolomito bei žvyro bandinių.

Remiantis atliktais tyrimais nustatyta, kad silpnų uolienų mineraliniai mišiniai turi pakankamą atsparumą atšildymui ir šaldymui. Tuo tarpu atsparumo trupinimui ir skaldymui bandymas parodė, kad dolomito ir žvyro mineralinės medžiagos yra santykinai silpnesnės, nei granito.

El-Basyouny ir Mamlouk (1999) atliko tyrimą, kurio metu siekė įvertinti mineralinės medžiagos užpildo granulimetrinės sudėties įtaką asfalto mišinių eksploatacinėms savybėms. Nustatyta, kad tiek užpildo granulimetrinė sudėtis, tiek nominalios asfalto mišinio granulimetrinės sudėties didžiausios dalelės dydis darė ženkliai įtaką asfalto mišinio atsparumui plastinėms deformacijoms. Paaiškėjo, kad asfalto mišiniai, kurių granulimetrinės sudėties kreivė yra žemiau leistinos ribos, yra atsparesni provėžų susidarymui, nei mišiniai su standartinėmis granulimetrinėmis kreivėmis. Tai reiškia, kad yra tikėtina, jog asfalto mišiniai su stambesnėmis dalelėmis bus atsparesni provėžų susidarymui, nei mišiniai su smulkiomis dalelėmis (Gabra 2002).

Kiti mokslininkai (Gabra 2002 ir Cross *et al.* 1999) bandė nustatyti skirtingų granulimetrinių sudėčių tipų poveikį asfalto eksploatacinėms savybėms. Buvo suformuotos 2 mineralinių medžiagų granulimetrinių sudėčių kreivės: viena – „S“ formos, kur iš pradžių kreivė yra žemiau apatinės ribos, o gale – virš viršutinės ribos; kita – tolygios formos, einanti žemiau žemutinės ribos. Asfalto mišiniai buvo tirti naudojant rato riedėjimo vėžės metodą. Priimta išvadą, kad asfalto mišiniai su tolydžia granulimetrine sudėtimi turėjo didesnę atsparumą provėžų susidarymui.

Ahmed ir Attia (2013) atliko tyrimą, kurio metu siekta įvertinti užpildo rūšies ir jo granulimetrinės sudėties poveikį asfalto mišinio savybėms. Bandymui atlikti naudota 3 rūšių mineralinės medžiagos (bazaltas, dolomitas ir klintis) ir 4 skirtingos mineralinių medžiagų granulimetrinės kreivės (7 pav.).

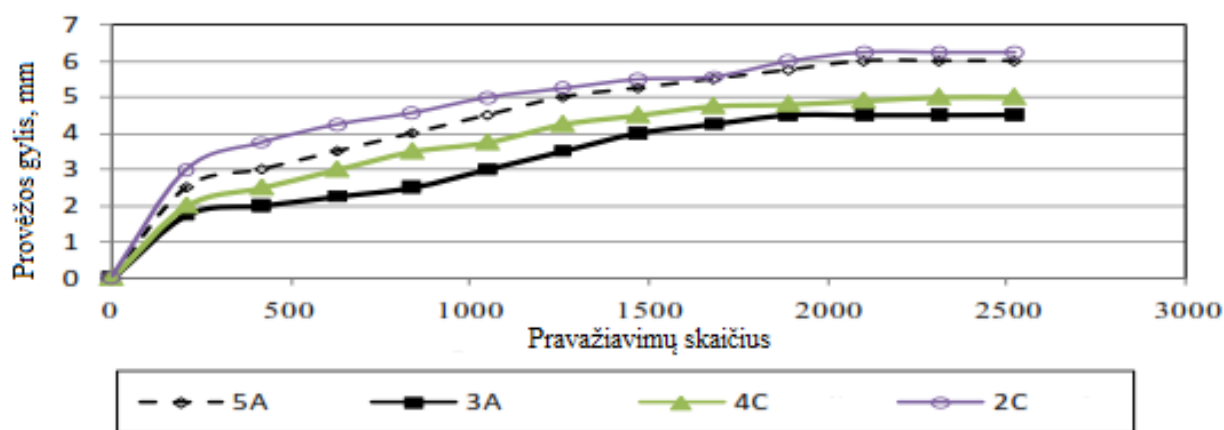


7 pav. Granulimetrinių sudėčių kreivės (Ahmed, Attia 2013)

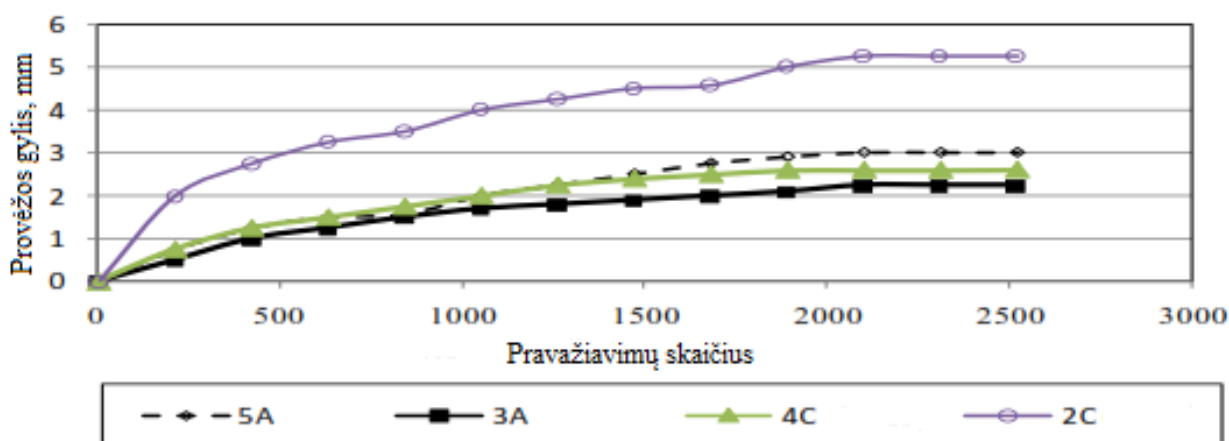
Granulimetrinių sudėčių kreivės ir jų žymėjimas parinkti remiantis Egipto norminiais dokumentais (Egyptian Standard... 2001):

- 5A – dominuoja smulkios dalelės;
- 3A – dominuoja stambesnės dalelės;
- 4C – tolydi sudėtis, siekiant išgauti maksimalų asfalto mišinio tankį;
- 2C – dominuoja stambios dalelės.

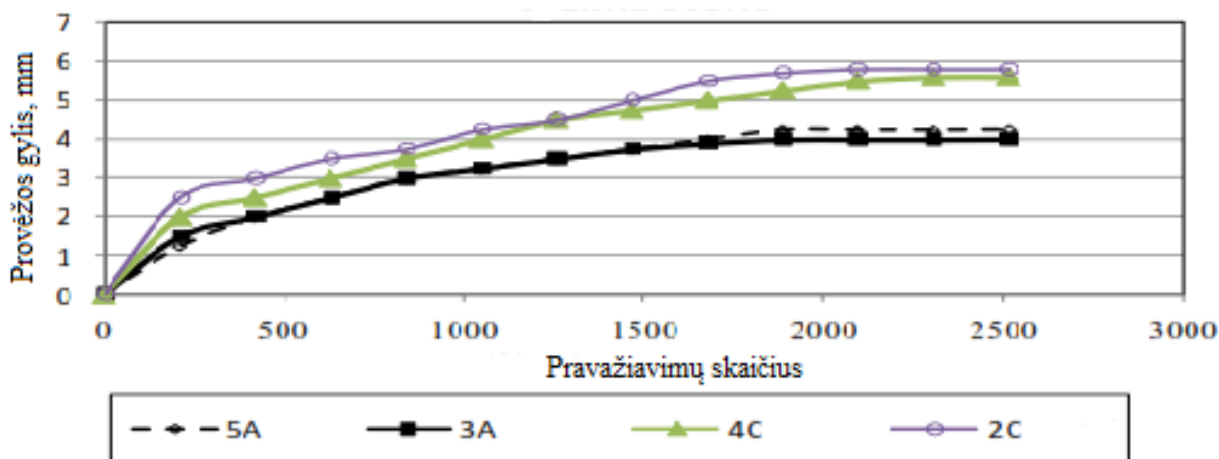
Kiekvienai iš šių granulimetrinių sudėčių ir mineralinių medžiagų tipui sumaišyti asfalto mišiniai ir atlikta atsparumo provėžų susidarymui bandymai (iš viso – 12). Jų rezultatai pateikti 8–10 paveiksluose.



8 pav. Rato riedėjimo vėžės bandymo rezultatai su bazalto mineralinių medžiagų užpildu (Ahmed, Attia 2013)



9 pav. Rato riedėjimo vėžės bandymo rezultatai su dolomito mineralinių medžiagų užpildu (Ahmed, Attia 2013)

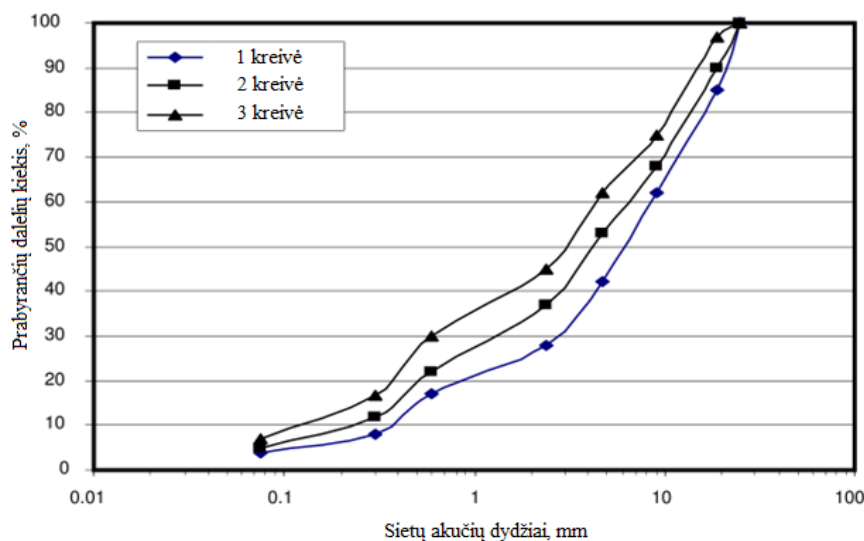


10 pav. Rato riedėjimo vėžės bandymo rezultatai su klinties mineralinių medžiagų užpildu (Ahmed, Attia 2013)

Tyrimais nustatyta, kad atspariausi provėžų susidarymui yra asfalto mišiniai, su dolomito mineralinėmis medžiagomis. Mažiausiai atsparūs provėžų susidarymui asfalto mišiniai su bazalto mineralinėmis medžiagomis. Magminės uolienos (bazalto) kilmė dar nebūtinai turi nurodyti asfalto mišinio su šia medžiaga aukštą atsparumą provėžų susidarymui. Tyrime geriausius rezultatus parodęs asfalto mišinys su dolomito mineralinėmis medžiagomis. Tai – nuosėdinė uoliena, kuri teoriškai turėtų būti silpnėsė, nei magminės uolienos. Galima daryti išvadą, kad siekiant panaudoti tam tikro tipo mineralinių medžiagų mišinį asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti, nebūtina atsižvelgti į uolienos kilmę. Kur kas svarbiau atlikti tyrimus, kuriais būtų įrodytas arba paneigtas tam tikros rūšies mineralinių medžiagų mišinio tinkamumas asfalto mišiniui gaminti.

Afaf (2014) atliko tyrimą, kurio metu siekta nustatyti mineralinės medžiagos ir jos granulimetrinės sudėties įtaką asfalto mišinių savybėms. Tyrimų metu naudotos tokios mineralinės medžiagos: klintis; dolomitas; bazaltas. Naudotas 60/70 bituminis rišiklis.

Tyrimui naudota trijų skirtingų granulimetrinių sudėčių mineralinės medžiagos (11 pav.).



11 pav. Tirtų mineralinių medžiagų mišinių granulimetrinės kreivės (Afaf, 2014)

Remiantis 11 paveiksle pateiktomis kreivėmis, su kiekvienam mineraline medžiaga paruošti 9 asfalto mišiniai. Atliktų bandymų rezultatai pateikti 13–15 lentelėse.

13 lentelė. Asfalto mišinių, su klinčių mineralinėmis medžiagomis, savybės (Afaf, 2014)

Savybė	Granulimetrinės sudėties kreivė		
	1	2	3
Optimalus rišklio kiekis, %	5,4	5,2	5,0
Pastovumas pagal maršalą, kN	11,27	13,53	14,13
Optimalusis tankis, Mg/m ³	2,38	2,40	2,41
Oro tuštymių kiekis (%)	4,5	4,0	3,5
Takumas pagal Maršalą, mm	3,65	3,88	3,94

14 lentelė. Asfalto mišinių, su dolomito mineralinėmis medžiagomis, savybės (Afaf, 2014)

Savybė	Granulimetrinės sudėties kreivė		
	1	2	3
Optimalus rišklio kiekis, %	5,2	5,0	4,8
Pastovumas pagal maršalą, kN	14,51	13,93	13,80
Optimalusis tankis, Mg/m ³	2,46	2,47	2,45
Oro tuštymių kiekis (%)	3,8	3,8	4,1
Takumas pagal Maršalą, mm	3,65	3,60	3,30

15 lentelė. Asfalto mišinių, su bazalto mineralinėmis medžiagomis, savybės (Afaf, 2014)

Savybė	Granulimetrinės sudėties kreivė		
	1	2	3
Optimalus rišklio kiekis, %	5,0	4,8	4,6
Pastovumas pagal maršalą, kN	13,73	13,53	13,04
Optimalusis tankis, Mg/m ³	2,384	2,399	2,413
Oro tuštymių kiekis (%)	4,5	4,0	3,5
Takumas pagal Maršalą, mm	3,65	3,48	3,01

13–15 lentelėse matyti, kad didžiausias pastovumas pagal Maršalą gautas su dolomito mineralinių medžiagų mišiniu. Šio asfalto mišinio takumo riba siekė 3,65 mm, o oro tuštymių kiekis

siekė 3,8 %. Remiantis literatūros apžvalga, galima teigti, kad oro tuštymų kiekis pakankamas, siekiant išgauti provėžoms atsparų asfalto mišinį.

Haritonovs *et al.* (2013) nustatė netradicinių mineralinių medžiagų panaudojimo galimybes asfalto mišinių gamybai. Tyrime nagrinėta dolomito atsijų mišinys, kaip smulkusis užpildas ir plieno šlakai, kaip stambusis užpildas, siekiant išgauti patvarius asfalto mišinius, naudojant šalutinius plieno ir statybos pramonės produktus.

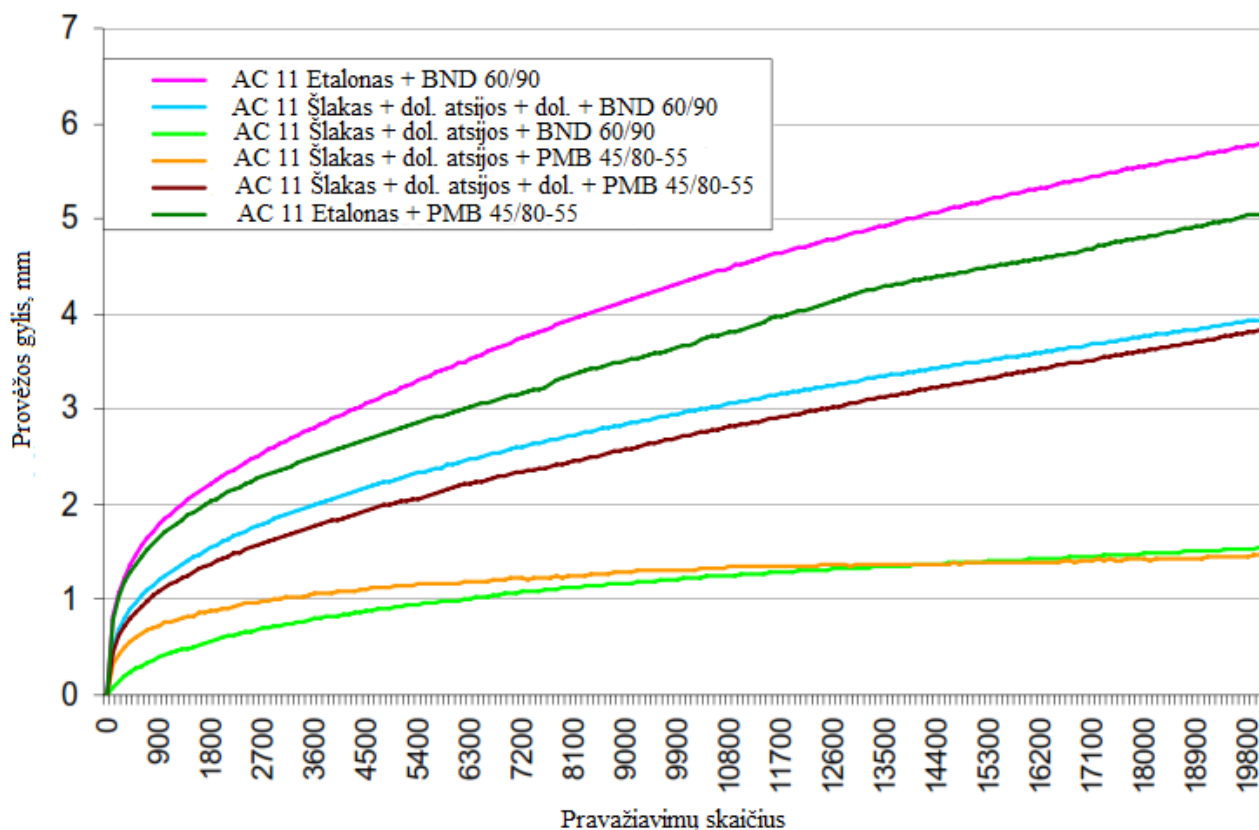
Tyrimo naudotos šios mineralinių medžiagų mišinių kombinacijos:

- etaloninis mišinys su dolomito mineralinėmis medžiagomis;
- atsijų ir plieno šlako kombinacija;
- atsijų, plieno šlako ir dolomito kombinacija.

Tyrimo naudoti šie bituminiai rišikliai:

- BND 60/90;
- PMB 45/80-55.

Rato riedėjimo vėžės bandymo rezultatai pateikti 12 paveiksle.

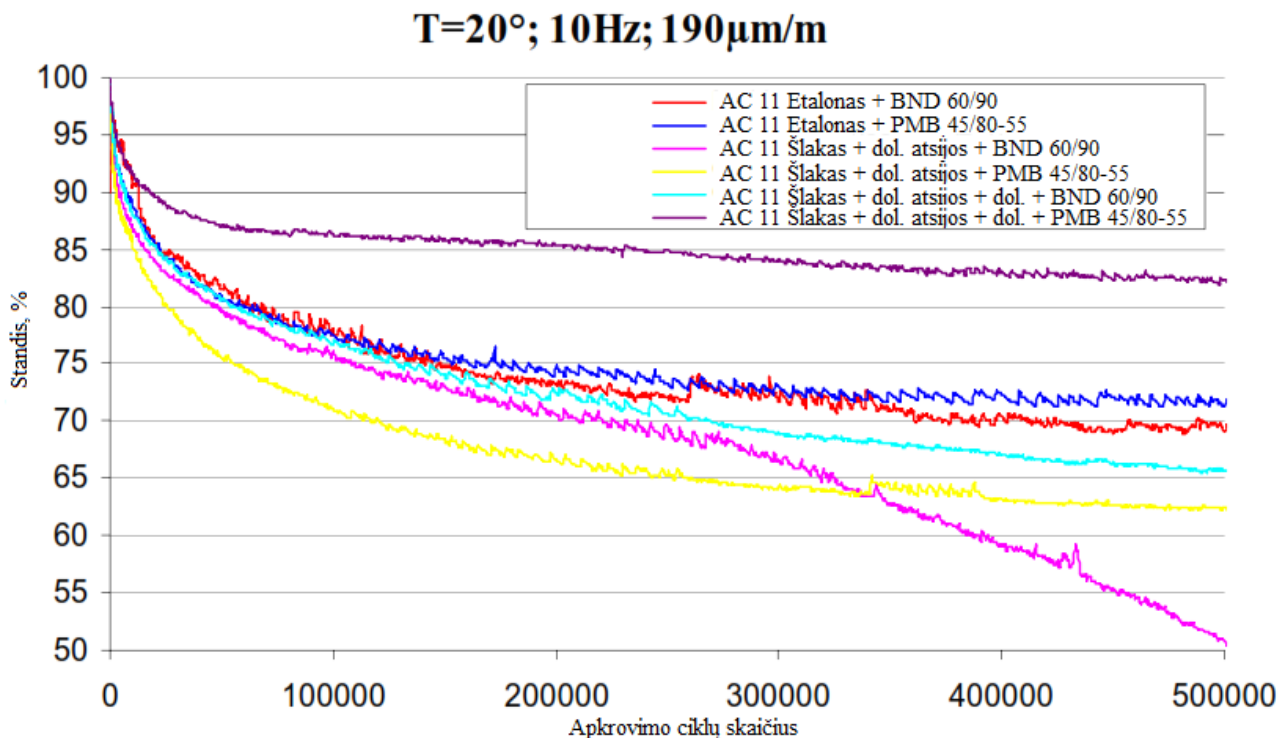


12 pav. Rato vėžės gylis rezultatai (Haritonovs *et al.* 2013)

Haritonovs *et al.* (2013) tyrimais nustatė, kad provėžų susidarymui atspariausi asfalto mišiniai – su plieno šlako ir dolomito atsijų mišiniu. Rato vėžės formavimosi pradžioje asfalto mišinys AC 11 su polimerais modifikuotu bituminiu rišikliu PMB 45/80-55 buvo mažiau atsparus

provėžų susidarymui, tačiau, ties 15000 pravažiavimų to paties asfalto mišinio su bituminiu rišikliu BND 60/90 provėžos gylis aplenkė anksčiau minėtą asfalto mišinį. Tuo tarpu standartiniai etaloniniai bandiniai parodė mažiausią atsparumą provėžų susidarymui.

Nuovargiui nustatyti atliktas bandymas pagal standartą LSV EN 12697-24 (keturašis lekimas, 20 °C, 30 Hz, 190 μm/m). Bandiniai – 50 mm aukščio ir pločio, 400 mm ilgio asfalto sijos, išpjautos iš plokštės. Bandymo riba – 500000 apkrovimo ciklų, arba 50 % pradinio standžio praradimo. Bandymo rezultatai pateikti 13 paveiksle.



13 pav. Nuovargio bandymo rezultatai (Haritonovs *et al.* 2013)

Asfalto bandiniai su plieno šlaku, dolomito atsijomis, dolomito skalda ir polimerais modifikuotu bituminiu rišikliu PMB 45/80-55 parodė didžiausią atsparumą nuovargiui. Šis bandinys – vienintelis, kurio atsparumas nuovargiui yra didesnis, nei etaloninių bandinių. To paties asfalto mišinio su bituminiu rišikliu BND 60/90 atsparumas nuovargiui yra ženkliai blogesnis. Mažiausiai atsparūs nuovargiui yra bandiniai su plieno šlaku ir dolomito atsijomis (Haritonovs *et al.* 2013).

Įvertinus šiuos bandymo rezultatus priimta išvada, kad asfalto mišinių su plieno šlakais ir mineralinėmis medžiagomis panaudojimas kelių tiesyboje yra galimas. Su dolomito mineralinių medžiagų stambiojo ir smulkiojo užpildo ir plieno šlako mišiniu galima pagaminti asfalto mišinius, kurių atsparumas provėžų susidarymui ir nuovargiui būtų didesnis, nei su tradiciniais asfalto mišiniais.

Išnagrinėjus Lietuvoje ir užsienio šalyse atliktus tyrimus su įvairiomis mineralinėmis medžiagomis daroma išvada, kad viršutiniojo sluoksnio asfalto mišiniai neprivalo būti pagaminti iš tradicinių magminės kilmės mineralinių medžiagų. Tačiau, labai svarbu šiuos mišinius optimizuoti ir

kruopščiai ištirti laboratorijoje, nes netradicinių mineralinių medžiagų panaudojimas asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti reikalauja netradicinių granuliometrinių sudėčių, bituminio rišiklio kiekio ir oro tuštymių kiekio, kuris užtikrintų optimalų asfalto viršutiniojo sluoksnio tarnavimą.

2.5. Antro skyriaus išvados

1. Asfalto mišinių atsparumas deformacijų susidarymui priklauso nuo mineralinės medžiagos užpildo savybių, bituminio rišiklio rūšies ir jo kiekio. Šių pagrindinių asfalto mišinio komponentų sąveika lemia asfalto mišinio fizikines ir mechanines savybes, iš kurių oro tuštymių kiekis asfalto mišinyje yra pagrindinė savybė, pagal kurią Lietuvoje projektuojami asfalto mišiniai.
2. Didžiausią įtaką asfalto mišinio savybėms turi jo mineralinės medžiagos, kurios turi įvairias savybes, galinčias nulemti spartesnę asfalto dangos pažaidų formavimąsi. Tačiau, remiantis užsienio šalių patirtimi galima teigti, kad mineralinių medžiagų mišinio savybių trūkumus galima kompensuoti jų privalumais.
3. Asfalto mišinio savybes įtakoja ne tik bituminio rišiklio savybės, bet ir jo kiekis asfalto mišinyje. Parinkus tinkamą bituminio rišiklio kiekį, ne tik pasiekiamos optimaliausios asfalto mišinio savybės, bet taip pat užtikrinamas jo ilgalaikiškumas. Optimalų bituminio rišiklio kiekį įtakoja įvairūs mikro ir makro veiksniai, toki kaip mineralinių medžiagų mišinio granuliometrinė sudėtis, dalelių viduje esančių oro ertmių kiekis ir paviršiaus tekstūra, bei mineralinių medžiagų mišinio dalelių paviršiaus plotas.
4. Viršutiniojo sluoksnio asfalto mišiniai neprivalo būti pagaminti iš tradicinių magminės kilmės mineralinių medžiagų. Tačiau, labai svarbu šiuos mišinius optimizuoti ir kruopščiai ištirti laboratorijoje, nes netradicinių mineralinių medžiagų panaudojimas asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti reikalauja netradicinių granuliometrinių sudėčių, bituminio rišiklio kiekio ir oro tuštymių kiekio, kuris užtikrintų optimalų asfalto viršutiniojo sluoksnio tarnavimą.

3. AUKŠTOS KOKYBĖS DOLOMITO SKALDOS PANAUDOJIMO AUTOMOBILIŲ KELIŲ ASFALTO DANGOS VIRŠUTINIAM SLUOKSNIUI ĮRENGTI EKSPERIMENTINIS TYRIMAS

3.1. Tyrimo objektas ir metodika

Kelio dangos konstrukcijos laikomoji geba ir ilgaamžiškumas priklauso nuo projektinio sprendinio, apkrovos sąlygų, aplinkos veiksnių, panaudotų medžiagų ir įrengimo kokybės. Mineralinių medžiagų mišinio savybės tiesiogiai įtakoja asfalto mišinio eksploatacines charakteristikas.

Panaudotos medžiagos ir jų tinkamumas yra vienas svarbiausių veiksnių, nulemiantis asfalto dangos eksploatacines savybes. Remiantis norminio dokumento TRA MIN 07 reikalavimais, viršutinio asfalto sluoksnio asfalto mišinių gamybai gali būti naudojamos mineralinės medžiagos iš trupinto granito, porfyro, bazalto, diabazo, gabro ir kitų magminių uolienų. Lietuvoje asfalto viršutinio sluoksnio mišinių mineralinė medžiaga dažniausiai yra granito skalda, kuri importuojama iš užsienio šalių. Tačiau Lietuvoje taikant specialią gavybos technologiją yra išgaunama ir gaminama aukštos kokybės dolomito skalda, kurios mechaninės savybės ne prastesnės nei granito

Dolomito skalda Lietuvoje įprastai naudojama asfalto apatinių, pagrindo ar pagrindo – dangos sluoksnių įrengimui. Kadangi aukštos kokybės dolomito skaldos mechaninės savybės ne prastesnės nei granito, todėl siekiant racionaliau naudoti vietines iškastines medžiagas būtina įvertinti aukštos kokybės dolomito skaldos panaudojimą asfalto viršutinio sluoksnio įrengimui.

Pagal techninių reikalavimų aprašą TRA ASFALTAS 08, asfalto dangos viršutiniam sluoksniui įrengti naudojama asfaltbetonio, skaldos ir mastikos, mastikos ir poringojo asfalto mišiniai. Remiantis praktika, dangos konstrukcijos viršutiniam sluoksniui įrengti dažniausiai naudojamas asfalto AC 11 VS mišinys. Siekiant įvertinti šio asfalto mišinio kokybę su aukštos kokybės dolomito mineralinių medžiagų užpildu, taip pat atlikti asfalto mišinio AC 11 VS su granito mineralinėmis medžiagomis tyrimai. Pagal dokumentą „Automobilių kelių dangos konstrukcijos asfalto sluoksnių įrengimo taisyklės IT ASFALTAS 08“, asfalto mišiniui AC 11 VS naudojamas polimerais modifikuotas bituminis rišiklis PMB 45/80-55, arba bituminis rišiklis 50/70. Remiantis praktika asfalto mišinio gamybai dažniausiai naudojamas polimerais modifikuotas bituminis rišiklis PMB 45/80-55, kuris pasirinktas asfalto AC 11 VS mišinių projektavimui ir gamybai.

Asfalto AC 11 VS mišiniai su granito ir aukštos kokybės dolomito skalda bei polimerais modifikuotu bitumu PMB 45/80-55 projektuoti, gaminti ir bandyti Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos inžinerijos fakulteto Kelių tyrimo instituto Automobilių kelių mokslo laboratorijoje.

Siekiant tinkamai suprojektuoti asfalto AC 11 VS mišinius, pradžioje nustatytos šio asfalto mišinio komponentų savybės ir įvertintas jų atitikimas techninių dokumentų reikalavimams.

Eksperimentinį laboratorinį tyrimą sudarė šie etapai:

- 1) mineralinės medžiagos savybių tyrimas;
- 2) rišiklio savybių tyrimas;
- 3) asfalto mišinio sudėties projektavimas;
- 4) suprojektuoto asfalto mišinio maišymas ir bandinių paruošimas;
- 5) asfalto mišinių savybių tyrimas ir analizė.

Granito ir dolomito mineralinėms medžiagoms nustatytos šios savybės:

- atsparumas šildymui ir atšaldymui (LST EN 1367-1:2007);
- plokštumo rodiklis (LST EN 933-3:2012);
- formos rodiklis (LST EN 933-4:2008);
- atsparumas trupinimui (LST EN 1097-2:2010);
- atsparumas dėvėjimui (LST EN 1097-1:2011);
- atsparumas poliruojamumui (LST EN 1097-8:2009);
- granuliometrinės sudėties nustatymas (LST EN 933-1).

Polimerais modifikuotam bitumiui rišikliui PMB 45/80-55 nustatytos šios savybės:

- penetracija (LST EN 1426-2007);
- minkštėjimo temperatūra (LST EN 1427-2007);
- tamprioji atstata (LST EN 13398:2010);
- adhezija su dolomito ir granito mineralinėmis medžiagomis (LST EN 1362:23).

Asfaltbetonio AC 11 VS mišiniams nustatytos fizikinės ir mechaninės savybės:

- tariamasis tankis (LST EN 12697-6:2012);
- didžiausias tankis (LST EN 12697-5:2010);
- oro tuštymių kiekis (LST EN 12697-8:2003);
- pastovumas ir takumas pagal Maršalą (LST EN 12697-34:2012);
- jautrumas vandeniui (LST EN 12697-12:2008);
- skeliamasis stipris (LST EN 12697-23:2003);
- standis (LST EN 12697-26:2012);
- atsparumas plastinėms deformacijoms (LST EN 12697-22+A1:2007).

Maršalo bandymu yra nustatomas asfalto bandinių pastovumas, takumas ir Maršalo koeficientas. Pastovumas – suformuoto asfalto bandinio didžiausias atsparumas deformacijai, išreikštas kiloniutonais (kN). Takumas – suformuoto asfaltbetonio bandinio deformacija milimetrais (mm), kai yra didžiausioji apkrova, minus nominalioji deformacija, gauta ekstrapoliuojant apkrovos priklausomybės nuo deformacijų kreivės liestinę iki nulinės apkrovos. Maršalo koeficientas yra

pastovumo ir takumo santykis. Tam, kad nustatyti šias savybes, pagal standartą LST EN 12697-30 suformuoti keturi bandiniai. Bandymas atliktas pagal standartą LST EN 12697-34.

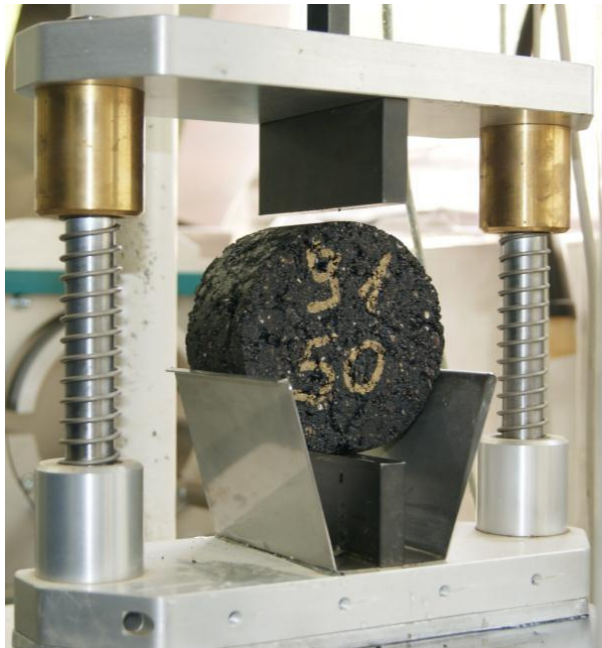
Sutankinti ir išimti iš formos bandiniai išbandyti po 18 valandų. Kiekvieno bandinio išmatuojamas pagal standartą LST EN 12697-29. Paruošti cilindriniai bandiniai panardinti į vandenį jų plokščiaja puse 40 minučių. Vonioje palaikyta 60 °C vandens temperatūra. Po to bandinys išimtas iš vonelės ir ant šono padėtas į specialią, ne trumpiau kaip 30 min 60±1 °C temperatūroje vandenį vonioje arba 1 val. krosnyje, pakaitintą formą. Bandinys gniuždytas 50 mm/min deformacijos sparta tol, kol pasiekta didžiausia gniuždymo jėga. Ji yra pakoreguotas pastovumo rodiklis pagal Maršalą. Gniuždymo forma pavaizduota 14 paveiksle.



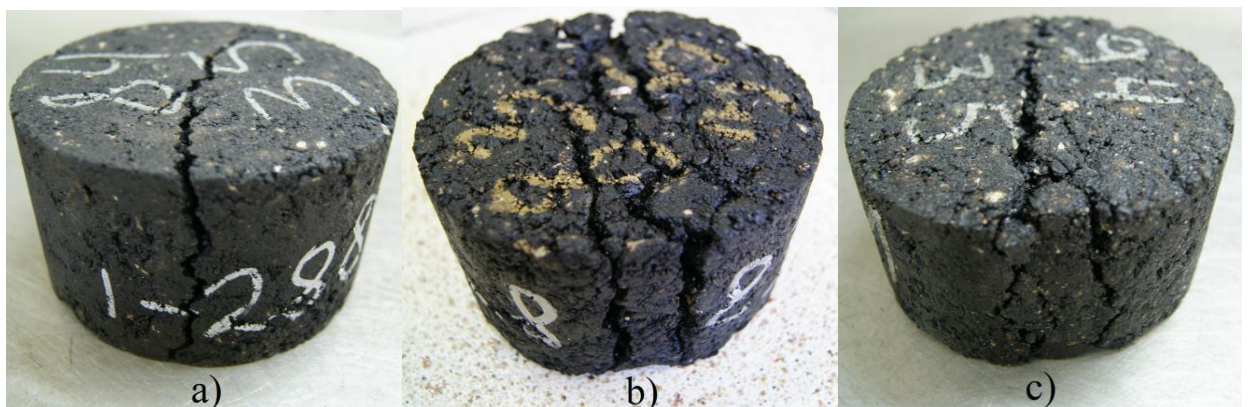
14 pav. Maršalo bandymo bandinys įdėtas į gniuždymo formą.

Skeliamojo stiprio bandymas parodo mišinio kohezines savybes, t. y. mišinio sudedamųjų dalių sukibimo stiprumą. Skeliamasis stiprumas nustatytas netiesioginio tempimo stiprumo (ITS) bandymu, kuomet nustatoma didžiausia cilindrinio bandinio tempimo jėga, nustatytoje temperatūroje ir apkraunama gniuždymo įrenginio nustatytu greičiu. Tam, kad nustatyti šias savybes, pagal LST EN 12697-30 standartą, po 50 smūgių iš abiejų bandinio pusių, kaip reikalaujama buvo suformuoti trys bandiniai. Jų aukštis ir skersmuo išmatuoti pagal LST EN 12697-29 standartą. Kadangi bandinių skersmuo mažesnis už 150 mm tai jie 2 valandas laikyti 25 °C temperatūroje. Atliekant bandymą, bandymo forma buvo 25 °C temperatūros. Pagal reikalaujamas sąlygas išlaikytas bandinys dėtas į 15 pav. pavaizduotą formą ir gniuždytas pastoviu 50 mm/min greičiu tol, kol pasiekta didžiausia jėga

ir bandinys suira. Suirimo variantai skiriami į tris tipus: skilimas, deformacija ir jų dviejų kombinaciją. Jų variantai pateikti 16 pav. Bandymas atliktas pagal LST EN 12697-23 standartą.



15 pav. Bandinių skeliamojo stiprio nustatymo bandymo forma su Maršalo bandiniu



16 pav. Bandinių suirimo tipai: a) skilimas; b) deformacija; c) kombinacija.

Netiesioginis tempimo stiprumas ITS apskaičiuojamas pagal 3.1 formulę:

$$ITS = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot H} \quad (3.1)$$

- čia:
- ITS – netiesioginis tempimo stiprumas išreikštas gigapaskaliais (GPa) ir suapvalintas iki trijų reikšminių skaičių;
 - P – didžiausia jėga išreikšta kiloniutonais (kN) ir suapvalinta iki trijų reikšminių skaičių;
 - D – bandinio skersmuo išreikštas milimetrais (mm), 0,1 mm tikslumu;
 - H – bandinio aukštis išreikštas milimetrais (mm), 0,1 mm tikslumu.

Bandinių jautrumas vandeniui atliekamas pagal LST EN 12697-12 standartą. Bandinių jautrumą vandeniui apibūdina netiesioginio tempimo stiprumo santykis ITSR. Tai santykis tarp drėgnų ir sausų bandinių netiesioginio tempimo stiprumo, išreikštas procentais. Šio rodiklio nustatymui galimi trys metodai. Bandymas atliktas A metodu nustatinėjama cilindrinų bandinių netiesioginio tempimo stiprumas.

Pagal LST EN 12697 – 30 standartą suformuoti 6 bandiniai, po 35 smūgius iš abiejų bandinio pusių. Bandinių matmenys ir tankis išmatuoti atitinkamai pagal LST EN 12697-29 ir LST EN 12697-6 standartus. Bandiniai padalinami į dvi lygias grupes, kuriose bandinių aukštis ir tankis nuo bendro vidurkio nesiskytė atitinkamai daugiau, kaip 5 mm ir 15 kg/m³. Viena bandinių grupė laikyta sausai, kambario (20±5 °C) temperatūroje, o kita – vandenyje. Drėgni bandiniai įdėti į vakuumo aparatą, pripildytą distiliuotu vandeniu, kad bandiniai būtų apsemti mažiausiai 20 mm virš bandinio paviršiaus. Vakuumo inde 6,7±0,3 kPa slėgis pasiektas per 10 min ir išlaikytas dar 30 min. Praėjus šiam laikui kameros slėgis suvienodintas su atmosferos slėgiu, lėtai į vidų įleidžiant orą, ir bandiniai palikti mirkti 30 min vandenyje. Pasibaigus šiam ciklui bandiniai įdėti į vandens vonią 72 valandų laiko tarpui, kurioje palaikyta 40 °C temperatūra. Toliau bandymo procedūra vykdyta anksčiau aprašyta netiesioginio tempimo stiprumo bandymo tvarka pagal LST EN 12697-23 standartą. Netiesioginio tempimo stiprumo santykis ITSR apskaičiuojamas pagal 3.2 formulę:

$$ITSR = \frac{ITS_w}{ITS_d} \cdot 100 \quad (3.2)$$

čia: ITSR – netiesioginio tempimo stiprumo santykis, procentais (%);

ITS_w – drėgnų bandinių grupės netiesioginio tempimo stiprumo vidurkis kilopaskaliais (kPa);

ITS_d – sausų bandinių grupės netiesioginio tempimo stiprumo vidurkis kilopaskaliais (kPa).

Didžiausias mišinio tankis – tai mišinio masė turio vienete be oro tuštymių, žinomoje temperatūroje. Bandymas atliktas pagal LST EN 12697-5 standartą. Tankis nustatytas tūriniu metodu, pagal išstumto vandens kiekį piknometre. Bandiniai atrenkami ir paruošiami pagal standartą LST EN 12697-27. Pasverta ir 0,1 g tikslumu užrašoma tuščio piknometro ir piknometro su sausu bandiniu masė. Piknometras pripildytas distiliuotu vandeniu 30 mm iki piknometro galvutės jungties. Piknometras su bandiniu įdėtas į vakuumo įrenginį, kuriame pasiektas 4 kPa slėgis ir išlaikytas 15±1 min. Po to piknometras su bandiniu įmerktas į vandens vonelę su 25 °C vandeniu ir ten laikytas 60 minučių. Išlaikius bandinį uždėta piknometro galvutė ir pripilyta vandens iki žymos. Piknometras su

vandeniu ir bandiniu pasvertas jį kruopščiai nuvalius ir nusausinus. Didžiausias tankis apskaičiuojamas pagal 3.3 formulę.

$$\rho_{mv} = \frac{(m_2 - m_1)}{10^6 \cdot V_P - (m_3 - m_2)/\rho_w} \quad (3.3)$$

čia: ρ_{mv} – didžiausias mišinio tankis išreikštas megagramais kubiniame metre (Mg/m^3) ir suapvalintas 0,001 Mg/m^3 tikslumu;

m_1 – tuščio piknometro masė gramais (g);

m_2 – piknometro su bandiniu masė gramais (g);

m_3 – piknometro su bandiniu ir vandeniu masė gramais (g);

V_P – piknometro tūris kubiniais metrais (m^3);

ρ_w – vandens tankis, apskaičiuotas pagal 3.4 formulę, išreikštas megagramais kubiniame metre (Mg/m^3) ir suapvalintas 0,0001 Mg/m^3 tikslumu.

$$\rho_w = 1,00025205 + \left(\frac{7,59 \cdot t - 5,32 \cdot t^2}{10^6} \right) \quad (3.4)$$

čia: t – vandens temperatūra laipsniais Celcijaus ($^{\circ}\text{C}$).

Tariamasis tankis - tai bandinio masė tūrio vienetu su oro tuštymėmis, žinomoje temperatūroje. Jis nustatomas pagal LST EN 12697-6 standartą. Galimi keturi bandymo metodai. Šio tyrimo metu buvo taikomas sausasis su prisotintu vandens paviršiumi (toliau – SSD metodas).

Sausi ir švarūs bandiniai pasverti ir įmerkti į vandens vonią su žinoma vandens temperatūra. 60 min leista bandiniams mirkti, kol nusistovėjo pastovi masė. Kai masė nebekito, bandiniai pasverti vandenyje ir ore, juos nusausinant drėgna, zomšine šluoste. Tariamasis tankis apskaičiuojamas pagal 3.5 formulę.

$$\rho_{bssd} = \left(\frac{m_1}{m_3 - m_2} \right) \cdot \rho_w \quad (3.5)$$

čia: ρ_{bssd} – bandinio tankis (SSD) kilogramais kubiniam metrui (kg/m^3);

m_1 – sauso bandinio masė gramais (g);

m_2 – bandinio masė vandenyje gramais (g);

m_3 – drėgno ir nusausinto bandinio masė gramais (g);

ρ_w – vandens tankis žinomoje temperatūroje kilogramais kubiniam metrui (kg/m^3), suaovalintas 0,1 kg/m^3 tikslumu.

Oro tuštymų kiekis – tai oro tuštymų bandinyje tūris, išreikštas bandinio visuminio tūrio procentais ir žymimas V . Jis nustatytas pagal LST EN 12697-8 standartą. Bandinio oro tuštymų kiekis apskaičiuotas pagal mišinio maksimalųjį tankį ir bandinio tariamąjį tankį. Skaičiavimams taikyta 3.6 formulė.

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \quad (3.6)$$

čia: V_m – oro tuštymų kiekis 0,1 procento tikslumu (tūrio);
 ρ_m – didžiausias mišinio tankis kilogramais kubiniam metrui (kg/m^3);
 ρ_b – bandinio tariamasis tankis kilogramais kubiniam metrui (kg/m^3).

Asfalto mišinių standžio nustatymas atliktas pagal standartą LST EN 12697-26:2012, C priedą. Šis bandymo metodas skirtas nustatyti iš asfalto mišinių suformuotų cilindrinį bandinių elastinį standį. Tiriami bandiniai gali būti suformuoti Maršalo metodu, arba išpjauti iš asfalto dangos, ar suformuotų asfalto plokščių. Bandymo metu tiriami 4 vieno asfalto mišinio bandiniai. Remiantis bandymo standartu, rekomenduojama, kad bandinių storis būtų kaip įmanoma artimesnis nominaliam dangos storiui. Tyrimė suformuoti asfalto bandiniai, kurių storis – 40 mm.

Prieš bandymą, cilindriniai bandiniai paliekami klimatinėje krosnyje, atvėsintoje/įkaitintoje iki 20 °C temperatūros 4 valandoms. Po to jie turi būti įstatyti į specialią formą, su kuria yra įdedami į bandymo įrenginį. Užtikrinus, kad uždaro įrenginio viduje temperatūra nusistovėjo iki 20 °C, galima pradėti bandymą.

Bandymo esmė – įstatyti į bandymo formą (17 pav.), specialiame įrenginyje (18 pav.), cilindriniai bandiniai apkraunami 124 ± 4 ms trukmės cikline apkrova. Per 10 pradinių apkrovimo ciklą turi būti atrastas toks apkrovos didumas, prie kurio bandinys deformuotųsi $0,005 \pm 0,001$ % nuo cilindrinio bandinio skersmens. Atlikus privalomus 10 pradinių apkrovimų ir jų metu nustačius tinkamą bandymo apkrovą, atliekami pagrindiniai 5 bandymo apkrovimai, kurių metu fiksuojama apkrova. Bandymui pasibaigus, apskaičiuojamas bandinio standumo modulis.

$$E = \frac{F \cdot (v + 0,27)}{z \cdot x} \quad (3.7)$$

čia: E – tiriamo cilindrinio bandinio standumo modulis (MPa);
 F – maksimali bandymo apkrova (N);
 z – horizontalios deformacijos amplitudė (mm);
 v – Poissono koeficientas.



17 pav. Standumo nustatymo forma su įtvirtintu cilindrinio Maršalo bandiniu



18 pav. Hidraulinis presas su klimatine kamera

Atsparumo plastinėms deformacijoms bandymas atliktas pagal standartą LST EN 12697-22+A1:2007, B metodą. Specialiu įrenginiu (19 pav.), bandant po 2 bandinius, nustatomas asfalto mišinių atsparumas provėžų susidarymui. Rezultatų analizei naudojamas dviejų bandinių rato vėžės gylio tyrimo rezultatų vidurkis. Bandymo procedūra atliekama ore, prie 60 °C temperatūros, bandinius apkraunant 10000 ciklą (20000 pravažiavimų). Bandymo metu fiksuojamas rato vėžės

gylis ir vėžės formavimosi greitis. Atlikus bandymą apskaičiuojamas santykinis rato vėžės gylis, kuris išreiškiamas procentais nuo faktinio plokštės storio.



19 pav. Rato vėžės gylio nustatymo įrenginys

3.2. Mineralinės medžiagos savybių tyrimas

Granito ir dolomito mineralinių medžiagų tyrimų rezultatai pateikti 16 lentelėje.

16 lentelė. Mineralinių medžiagų savybių nustatymo bandymo rezultatai

Rodiklio pavadinimas	Dolomito skalda		Granito skalda		Reikalaujama kategorija
	Rodiklio vertė	Kategorija	Rodiklio vertė	Kategorija	
Granulimetrinė sudėtis	–	$G_{C90/15}$	–	$G_{C90/15}$	$G_{C90/15}$
Plokštumo rodiklis	$\leq 9 \%$ masės	FI_{15}	$\leq 10 \%$ masės	FI_{10}	FI_{20}
Formos rodiklis	$\leq 9 \%$ masės	SI_{15}	$\leq 15 \%$ masės	SI_{15}	SI_{20}
Atsparumas trypinimui	$\leq 20 \%$ masės	LA_{20}	$\leq 20 \%$ masės	LA_{20}	LA_{20}
Atsparumas smūgiams (smūginis trypis)	$\leq 18 \%$ masės	SZ_{18}	$\leq 18 \%$ masės	SZ_{18}	SZ_{18}
Atsparumas dėvėjimuisi	$\leq 13 \%$ masės	M_{DE15}	$\leq 10 \%$ masės	M_{DE10}	M_{DE15}
Mineralinių dulkių (smulkelių) kiekis	$\leq 0,5 \%$ masės	$f_{0,5}$	$\leq 1 \%$ masės	$f_{1,0}$	$f_{0,5}$
Atsparumas poliruojamumui	$\geq 50 \%$	PSV_{50}	$\geq 50 \%$	PSV_{50}	PSV_{50}
Atsparumas šaldymui ir atšildymui	$\leq 1 \%$	F_1	$\leq 1 \%$	F_1	F_1

Tyrimais nustatyta, kad dolomito ir granito mineralinės medžiagos tenkina nurodytus reikalavimus techninių reikalavimų apraše TRA ASFALTAS 08 asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti. Nors nustatytas granito skaldos mineralinių dulkių kiekis didesnis nei 0,5 %, tačiau ši medžiaga laboratoriniams eksperimentiniams tyrimams tinkama, nes projektuojant asfalto mišinio mineralinių medžiagų granulimetrinę sudėtį įvertinama kiekvienos mineralinės medžiagos frakcijos sudėtis.

Taip pat tyrimais nustatyta, kad dolomito mineralinės medžiagos yra atsparios trupinimui ir skaldymui, o jų poliruojamumas tenkina reikalavimus, keliamus asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti. Įvertinus šias mechanines mineralinių medžiagų savybes daroma išvada, kad dolomito mineralinės medžiagos – tinkamos asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti.

3.3. Bituminio rišiklio tyrimas

Polimerais modifikuoto bituminio rišiklio PMB 45/80-55 tyrimų rezultatai pateikti 17 lentelėje.

17 lentelė. Bituminių rišiklių savybių nustatymo bandymų rezultatai

Savybė	Matavimo vienetai	Bituminis rišiklis	
		PMB 45/80-55	
		Nustatyta vertė	Reikalaujama vertė
Penetracija	0,1 mm	71,9	45–85
Minkštėjimo temperatūra	°C	65,1	≥55
Tamprioji atstata	%	89,4	≥50

Tyrimais nustatyta, kad eksperimentui parinktas polimerais modifikuotas bituminis rišiklis PMB 45/80-55 tenkina techninių reikalavimų apraše TRA BITUMAS 08/14 šios rūšies bitumui nurodytus reikalavimus.

Nustačius anksčiau minėtus bandymus, taip pat atlikta bituminio rišiklio ir mineralinės medžiagos sukibimo vertinimas. Vertinimo metu vizualiai nustatytas mineralinių medžiagų padengimas bitumo plėvele, po virimo vandenyje, taikant vertinimo lentelę pateiktą standarte LST 1362:23 (18 lentelė).

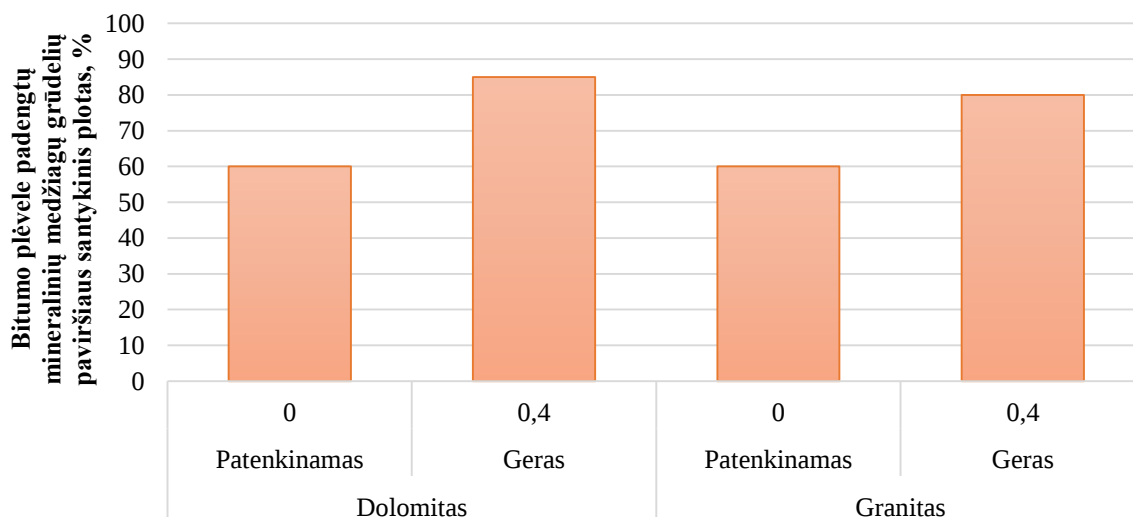
18 lentelė. Sukibimo kokybės vertinimo normos (LST 1362.23)

Bitumo plėvelės, ant mineralinių medžiagų paviršiaus, apibūdinimas	Sukibimo rodiklis
Visiškai išlikusi bitumo plėvelė	Labai geras >90 %
Gera išlikusi bitumo plėvelė	Geras (75 – 90 %)
Bitumo plėvelė paveikta vandens. Matomi kai kurių grūdelių atidengti paviršiai arba atskiri paviršiaus plotai (apie 50%)	Patenkinamas (50 – 75 %)
Bitumo plėvelė visiškai arba beveik visiškai nuplauta vandens. Matomas beveik visiškas mineralinių grūdelių atidengimas su smulkiais bitumo lašeliais arba išplaukęs bitumas	Blogas <50 %

Bandymas atliktas naudojant 8/11 frakcijos granito ir aukštos kokybės dolomito skaldą, polimerais modifikuotą bituminį rišiklį PMB 45/80-55, bei adhezinį priedą Adhezin ir be jo. Sukibimo tarp bituminio rišiklio PMB 45/80-55 ir granito bei aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis rezultatai pateikti 19 lentelėje ir 20 paveiksle.

19 lentelė. Bituminių rišiklių adhezijos su granito ir aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis rezultatai

Mineralinės medžiagos rūšis	Bituminis rišiklis	Adhezin kiekis (nuo bituminio rišiklio kiekio), %	Bitumo plėvele padengtų mineralinių medžiagų grūdelių paviršiaus santykinis plotas, %	Sukibimo rodiklis
Dolomitas	PMB 45/80-55	0,0	60	Patenkinamas
		0,4	85	Geras
Granitas	PMB 45/80-55	0,0	60	Patenkinamas
		0,4	80	Geras


20 pav. Sukibimo tarp bituminio rišiklio ir mineralinių medžiagų priklausomybė nuo adhezinio priedo kiekio

Tyrimais nustatyta, kad aukštos kokybės dolomito skaldos sukibimas su bitumu, bei adhezinio priedu ir be jo, yra geresnis nei su granito.

Dokumento TRA ASFALTAS 08 bendruosiuose reikalavimuose asfalto mišiniams nurodyta, kad tarp mineralinės medžiagos ir rišiklio turi būti pakankamas suderinamumas ir sukibimas (adhezija). Tačiau nėra nurodyta koku metodu bitumo sukibimas su mineralinėmis medžiagomis turi būti nustatytas, bei kokia galima ribinė minimali sukibimo vertė. Asfalto mišinių projektavimo praktikoje priimta, kad bitumo adhezija su mineralinėmis medžiagomis turi būti ne mažesnė kaip 80 %. Todėl, atsižvelgiant į šią sąlygą priimta, kad asfaltbetonio mišinių AC 11 VS projektavimui ir gamybai, o vėliau ir tyrimams, pasirenkamas bituminis rišiklis PMB 45/80-55 su 0,4 % adhezinio priedo Adhezin nuo bituminio rišiklio kiekio.

3.4. Asfalto mišinio sudėties projektavimas

Asfaltbetonio AC 11 VS mišiniai projektuoti Maršalo metodu, pagal asfalto bandinių rišiklio kiekį; t.y. parenkant optimalų bituminio rišiklio kiekį.

Asfalto mišiniai projektuoti taip, kad tenkintų granulimetrinės sudėties, bituminio rišiklio bei oro tuštymių kiekio reikalavimus pagal dokumentą TRA ASFALTAS 08. Pagal dokumentą, asfaltbetonio AC 11 VS mišinio oro tuštymių kiekis turi būti nuo 2,0 iki 4,0 %. Tačiau, remiantis užsienio šalių literatūros analize, didžiausią atsparumą provėžoms įgauna asfalto mišiniai, kurių oro tuštymių kiekis – ne mažesnis, kaip 3 %.

Pagal dokumentą TRA ASFALTAS 08 suprojektuoto asfaltbetonio AC 11 VS mišinio su aukštos kokybės dolomito skalda projekcinė – laboratorinė sudėtis pateikta 20 lentelėje.

20 lentelė. Asfaltbetonio mišinio AC 11 VS (dol. 1 var.) projekcinė – laboratorinė sudėtis.

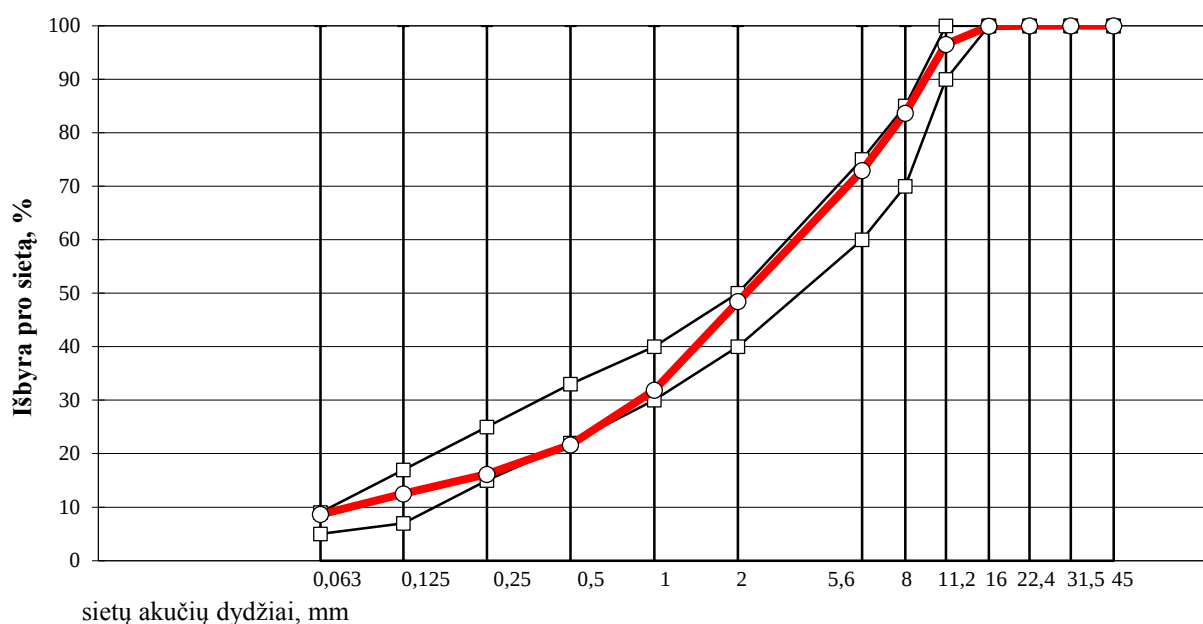
Naudojamos medžiagos	Kiekis, %	
Dolomito skalda fr. 11/16	3,00	2,86
Dolomito skalda fr. 8/11	14,00	13,34
Dolomito skalda fr. 5/8	12,00	11,44
Dolomito skalda fr. 2/5	21,00	20,01
Dolomito skaldos atsijos fr. 0/2	41,00	39,07
Mineraliniai milteliai	9,00	8,58
Bitumas PMB 45/80-55	–	4,70
Adhezinis priedas Adhezin (nuo bituminio rišiklio kiekio)	–	0,40
Viso:	100,0	100,0

Bituminio rišiklio kiekis asfalto mišinyje skaičiuotas nuo mineralinių medžiagų kiekio. Priedas Adhezin skaičiuotas nuo bituminio rišiklio kiekio ir su juo maišomas atskirai, prieš bendrą asfalto mišinio maišymą.

21 lentelėje ir 21 paveiksle pateikta asfaltbetonio AC 11 VS mišinio mineralinių medžiagų granulimetrinė sudėtis.

21 lentelė. Asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinio mineralinių medžiagų mišinių granulimetrinė sudėtis

Asfalto mišinys	Išbiros pro sietą, %										
	Sieto akutės dydis, mm										
	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	5,6	8,0	11,2	16,0	22,4
AC 11 VS (dol. 1 var.)	8,6	12,5	16,2	21,7	31,9	48,4	72,9	83,7	96,5	99,9	100,0



21 pav. Asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinio granulimetrinė sudėtis

Tyrimais nustatyta, kad suprojektuoto asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinio optimalus bituminio rišiklio kiekis siekė 4,7 % ir netenkino minimalaus reikalavimo (5,6 %). Dėl to projektuotas kitas asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinys, kuris tenkintų šį reikalavimą.

Antrojo asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio projektinė – laboratorinė sudėtis pateikta 22 lentelėje.

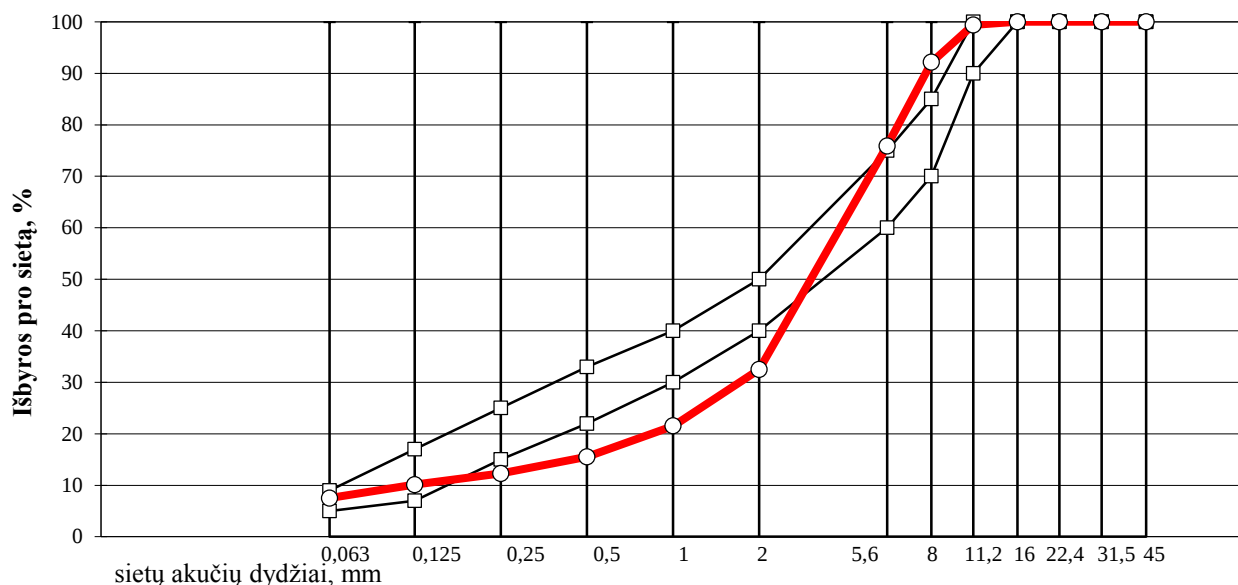
22 lentelė. Asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio projektinė – laboratorinė sudėtis.

Naudojamos medžiagos	Kiekis, %	
Dolomito skalda fr. 8/11	8,00	7,55
Dolomito skalda fr. 5/8	19,00	17,94
Dolomito skalda fr. 2/5	41,00	38,70
Dolomito skaldos atsijos fr. 0/2	24,00	22,66
Mineraliniai milteliai	8,00	7,55
Bitumas PMB 45/80-55	–	5,60
Adhezinis priedas Adhezin (nuo bituminio rišiklio kiekio)	–	0,40
Viso:	100,0	100,0

Asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio mineralinių medžiagų mišinio granulimetrinė sudėtis pateikta 23 lentelėje ir 22 paveiksle.

23 lentelė. Asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio mineralinių medžiagų mišinio granulimetrinė sudėtis

Asfalto mišinys	Išbiros pro sietą, %										
	Sieto akutės dydis, mm										
	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	5,6	8,0	11,2	16,0	22,4
AC 11 VS (1 var.)	7,5	10,1	12,3	15,5	21,5	32,5	75,9	92,1	99,4	100	100,0


22 pav. Asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio granulimetrinė sudėtis

Nors 22 paveiksle matyti, kad asfaltbetonio mišinio AC 11 VS (2 var.) granulimetrinė sudėtis netenkina jai keliamų reikalavimų pagal dokumentą TRA ASFALTAS 08, tačiau jo oro tuštymų kiekis yra 3,8 %, o bituminio rišiklio kiekis 5,6 %, t.y. tenkina dokumente TRA ASFALTAS 08 nurodytus reikalavimus.

Taip pat suprojektuotas asfaltbetonio AC 11 VS mišinys su granito mineralinėmis medžiagomis, kurio projektinė – laboratorinė sudėtis pateikta 24 lentelėje.

24 lentelė. Asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišinio projektinė – laboratorinė sudėtis

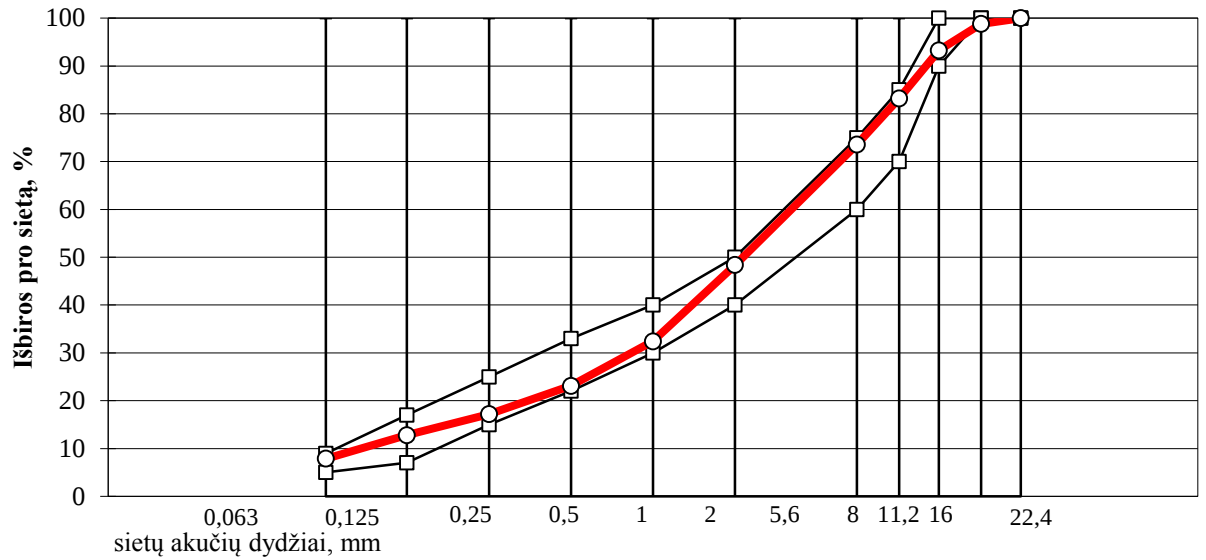
Naudojamos medžiagos	Kiekis, %	
Granito skalda fr. 11/16	8,0	7,55
Granito skalda fr. 8/11	10,0	9,44
Granito skalda fr. 5/8	10,0	9,44
Granito skalda fr. 2/5	16,0	15,10
Granito skaldos atsijos fr. 0/2	52,0	49,09
Mineraliniai milteliai	4,0	3,78
Bitumas PMB 45/80-55	–	5,60
Adhezinis priedas Adhezin (nuo bituminio rišiklio kiekio)	–	0,40
Viso:	100,0	100,0

Asfaltbetonio AC 11 VS mišinio, su granito mineralinėmis medžiagomis, granulimerinė sudėtis ir jos kreivė pateikta 25 lentelėje ir 23 paveiksle.

25 lentelė. Asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišinio mineralinių medžiagų mišinių granulimetrinė sudėtis

Asfaltbetonio mišinys	Išbiros pro sietą, %										
	Sieto akutės dydis, mm										
	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	5,6	8,0	11,2	16,0	22,4
AC 11 VS (gr.)	7,9	12,8	17,2	23,1	32,4	48,4	73,5	83,2	83,3	98,8	100,0

Suprojektuotiems ir pagamintiems aukščiau aprašytiems asfaltbetonio AC 11 VS mišiniams nustatytos fizikinės ir mechaninės savybės, kurių tyrimams taikyta principinė schema pateikta 26 lentelėje.



23 pav. Asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišinio granuliometrinė sudėtis

26 lentelė. Asfaltbetonio AC 11 VS mišinių principinė schema

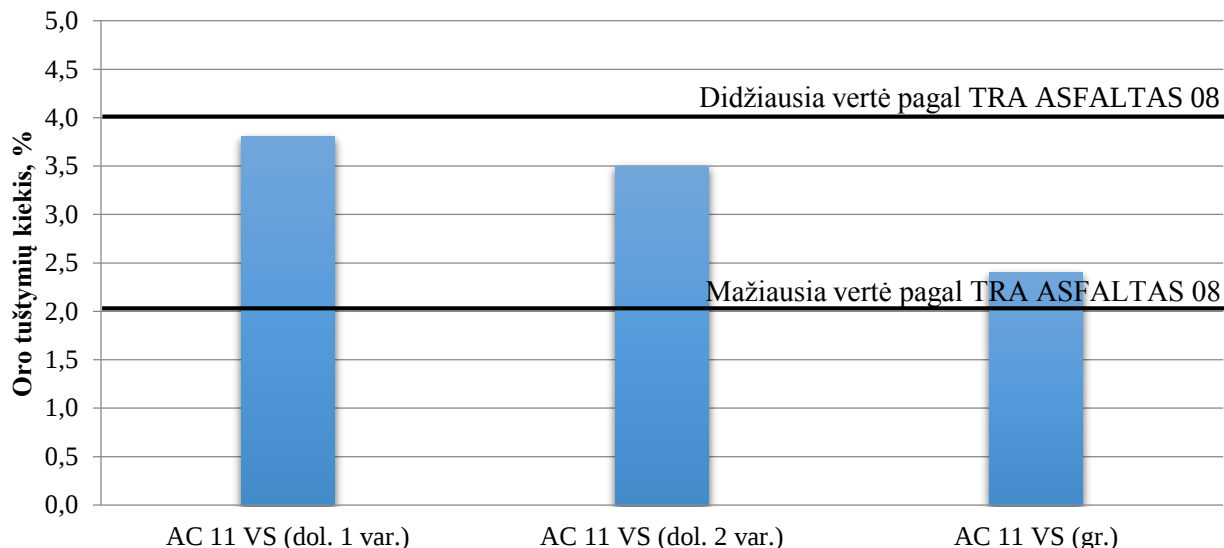
Asfalto mišinys	Mineralinės medžiagos rūšis	Ar granuliometrinė sudėtis tenkina reikalavimus? ¹	Ar oro tuštymių kiekis tenkina reikalavimus? ²	Ar bitumo kiekis tenkina reikalavimus? ¹
AC 11 VS (dol. 1 var.)	Dolomitas	Taip	Taip	Ne
AC 11 VS (dol. 2 var.)	Dolomitas	Ne	Taip	Taip
AC 11 VS (gr.)	Granitas	Taip	Taip	Taip

¹ pagal techninių reikalavimų aprašą TRA ASFALTAS 08;

² pagal techninių reikalavimų aprašą TRA ASFALTAS 08 ir užsienio šalių patirtį ($\geq 3\%$).

3.6. Tyrimo rezultatų analizė

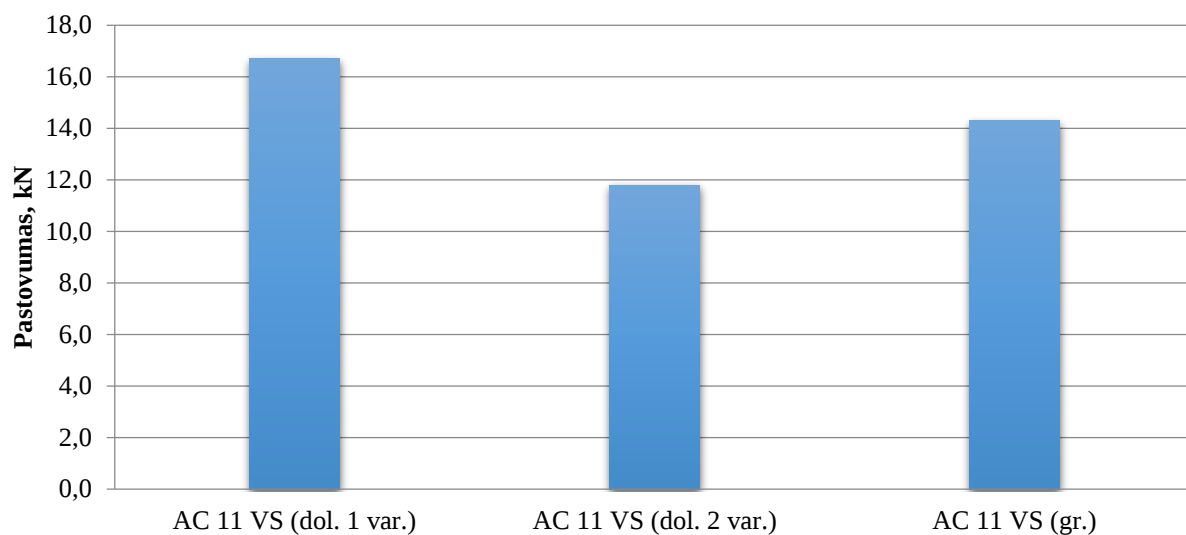
Tyrimais nustatyta, kad asfaltbetonio AC 11 VS mišinių su aukštos kokybės dolomito skalda oro tuštymių kiekis didesnis nei 3 % – atitinkamai: AC 11 VS (dol. 1 var.) – 3,8 %; AC 11 VS (dol. 2 var.) – 3,5 %. To paties asfaltbetonio AC 11 VS mišinio su granito mineralinėmis medžiagomis oro tuštymių kiekis – 2,4 % (žr. 24 pav.)



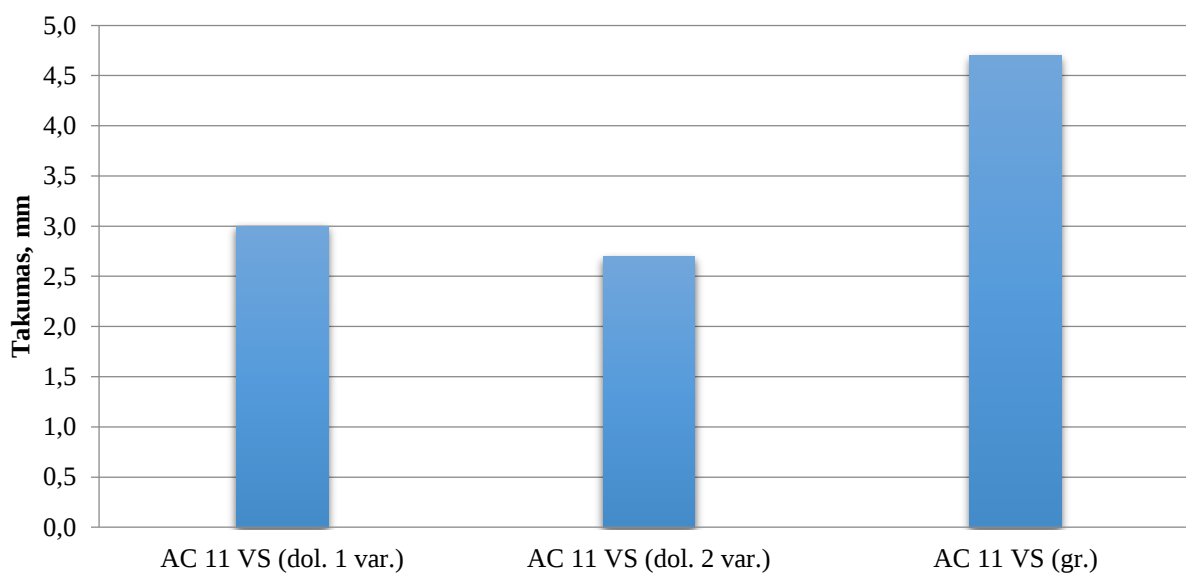
24 pav. Asfaltbetonio mišinių AC 11 VS oro tuštymių kiekis

Asfaltbetonio AC 11 VS mišinių oro tuštymių kiekio rezultatai rodo, kad jis yra pakankamas ir tenkina techninių reikalavimų apraše TRA ASFALTAS 08 keliamus reikalavimus. Asfaltbetonio AC 11 VS mišiniai su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis suprojektuoti taip, kad tenkintų užsibrėžtą minimalią 3 % oro tuštymių ribą. Asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišiniui šis reikalavimas nebuvo taikomas, nes tai – etaloninis mišinys, skirtas palyginamajai analizei atlikti.

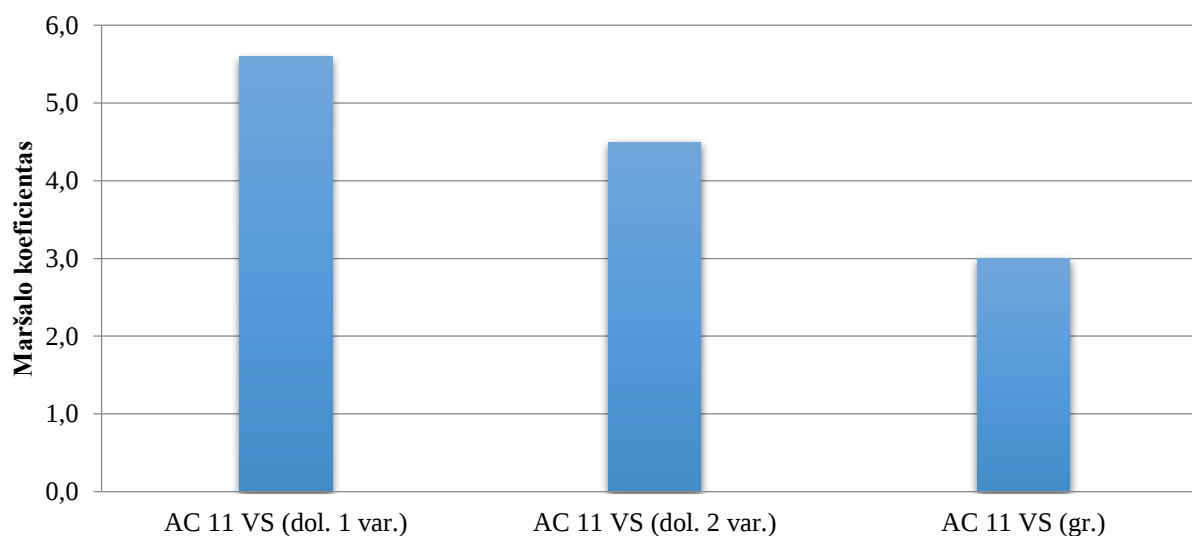
Maršalo bandymais rezultatus (25–27 pav.) nustatyta, kad asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinio pastovumo rezultatai yra 16,8 % didesni, o AC 11 VS (dol. 2 var.) – 17,5 % mažesni nei asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišinio. Asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinio takumo reikšmė yra 36,2 %, o asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio – 42,6 % mažesnės, nei asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišinio. Asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinio Maršalo koeficientas yra 82 % didesnis už asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišinio, o AC 11 VS (gr.) – 50 % didesnis už tą patį asfaltbetonio mišinį su granito mineralinėmis medžiagomis.



25 pav. Suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių pastovumo rezultatai



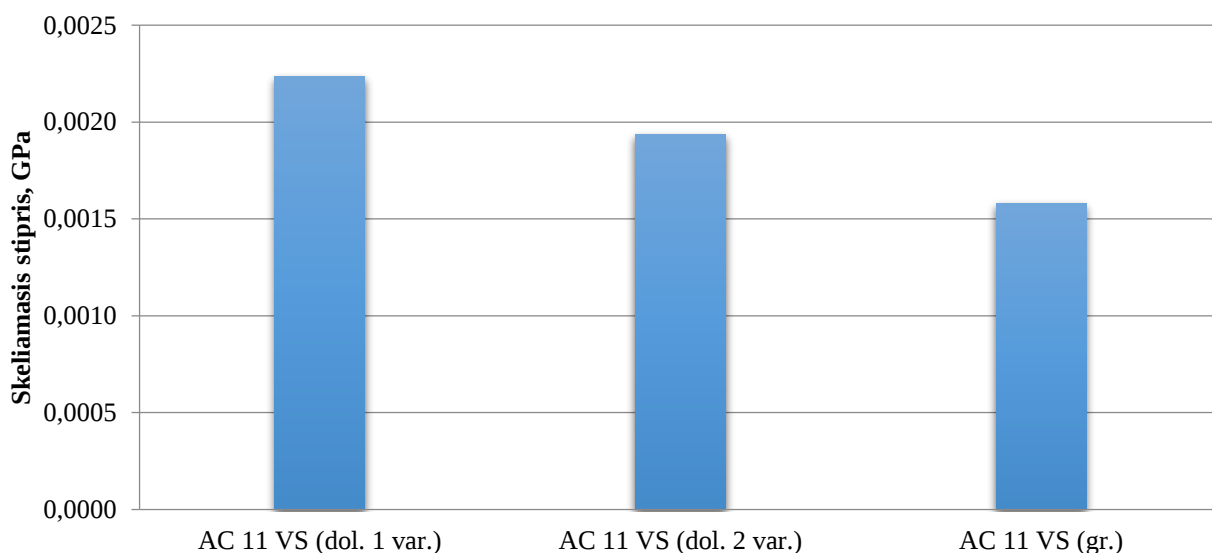
26 pav. Suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių takumo rezultatai



27 pav. Suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių Maršalo koeficiento rezultatai

Maršalo bandymo rezultatai rodo, kad esant bandymo sąlygoms (bandiniai laikyti 40 minučių 60 °C temperatūros vandenyje) asfaltbetonio AC 11 VS mišinių takumas yra mažesnis (susidaro mažesnė deformacija) nei AC 11 VS (gr.). Tačiau, deformacijai bandiniuose formuotis palankios sąlygos susidaro tada, kai bandiniai apkraunami didesne apkrova, nei asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišinio bandiniai. Remiantis Maršalo bandymu, priimama išvada kad, asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinys yra atspariausias apkrovos poveikiui.

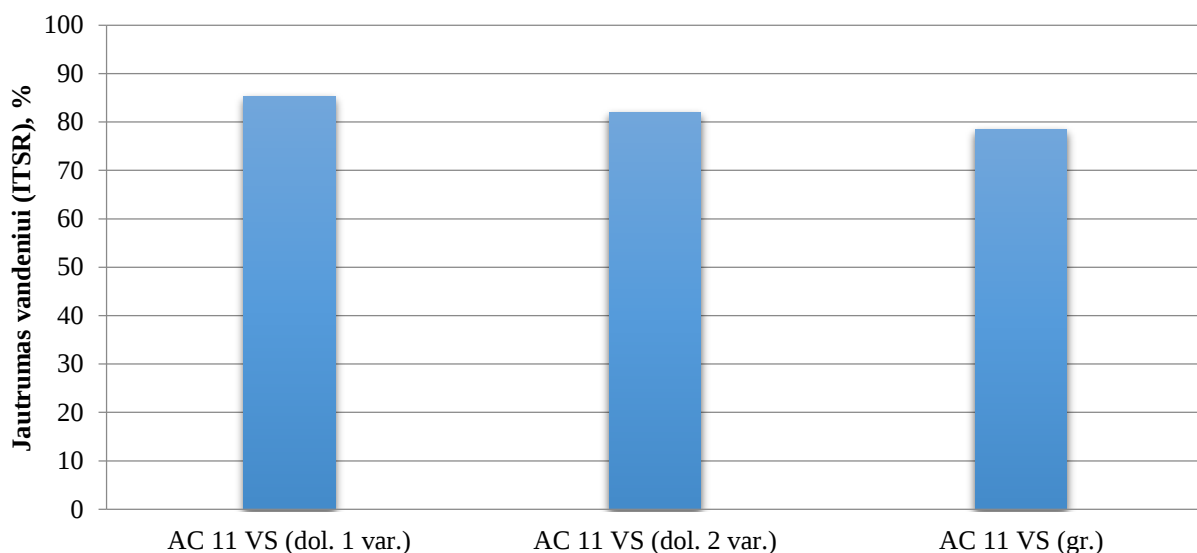
Vertinant asfaltbetonio AC 11 VS mišinių skeliamojo stiprio bandymų rezultatus (28 pav.) nustatyta, kad asfaltbetonio AC 11 VS mišinių su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis skeliamasis stipris yra didesnis nei asfaltbetonio AC 11 VS mišinio su granito mineralinėmis medžiagomis: AC 11 VS (dol. 1 var.) – 41,5 %; AC 11 VS (dol. 2 var.) – 22,4 %.



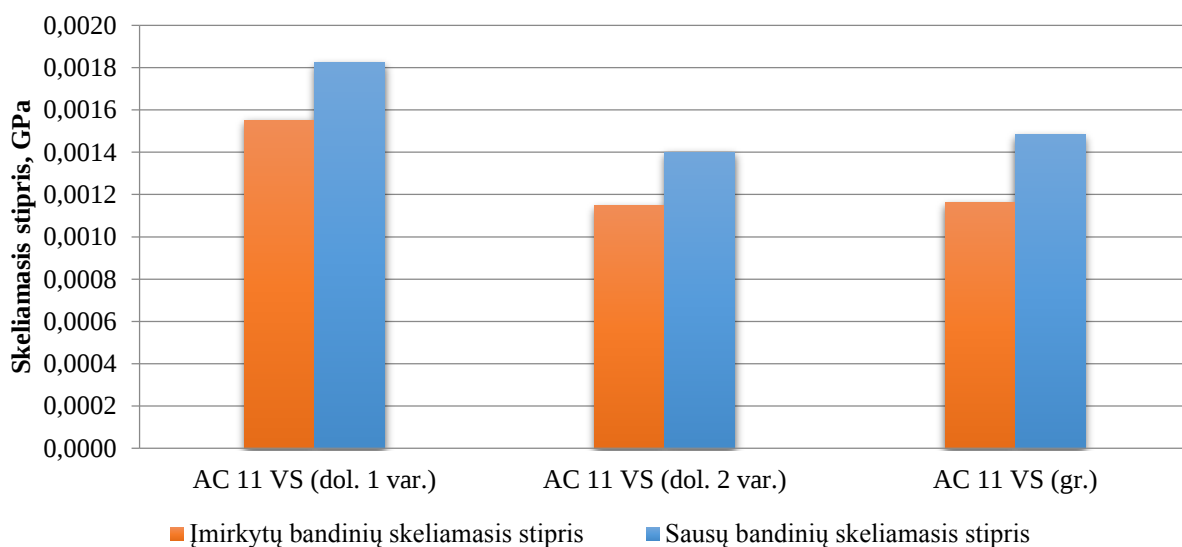
28 pav. Suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių skeliamojo stiprio rezultatai

Tyrimais nustatyta, kad asfaltbetonio AC 11 VS mišiniai su aukštos kokybės dolomito mineralinių medžiagų mišiniais yra atsparesnės skeliamajam stipriui.

Atlikais jautrumo vandeniui bandymais (29 paveikslas) nustatyta, kad asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinys yra 8,7 %, o asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinys – 4,4 % atsparesnis vandens poveikiui. Analizuojant sausų bandinių skeliamojo stiprio rezultatus (30 pav.) nustatyta, kad asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinio skeliamasis stipris yra 22,9 % didesnis, o asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio – 5,6 % mažesnis už asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišinį. Įmirkytų asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinio bandinių skeliamojo stiprio rezultatai (30 pav.) 33,6 % didesni už asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišinio rezultatus. Asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio įmirkytų bandinių skeliamojo stiprio rezultatai yra 1,4 % silpnesni, nei asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišinio.



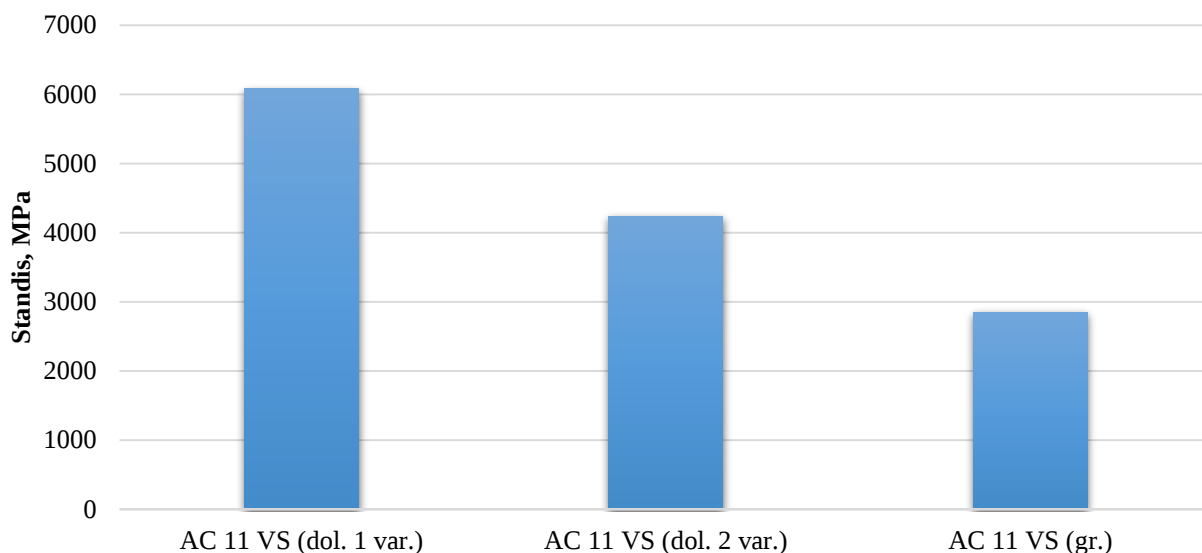
29 pav. Suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių jautrumo vandeniui rezultatai



30 pav. Suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių įmirkytų ir sausų bandinių skeliamąjo stiprio rezultatai

Jautrumo vandeniui rezultatai parodė, kad bandiniai su dolomito mineralinėmis medžiagomis yra ženkliai atsparesni už bandinius su granito mineralinėmis medžiagomis. Tačiau, nagrinėjant sausų ir įmirkytų bandinių skeliamąjo stiprio rezultatus nustatyta, kad asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinys yra mažiau atsparus skeliamajai apkrovai, nei asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinys.

Nustatytas asfaltbetonio AC 11 VS standis (31 pav.) rodo, kad lyginant su asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišiniu, asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinio standumas yra 113,4 % didesnis, o asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio – 48,9 % didesnis.



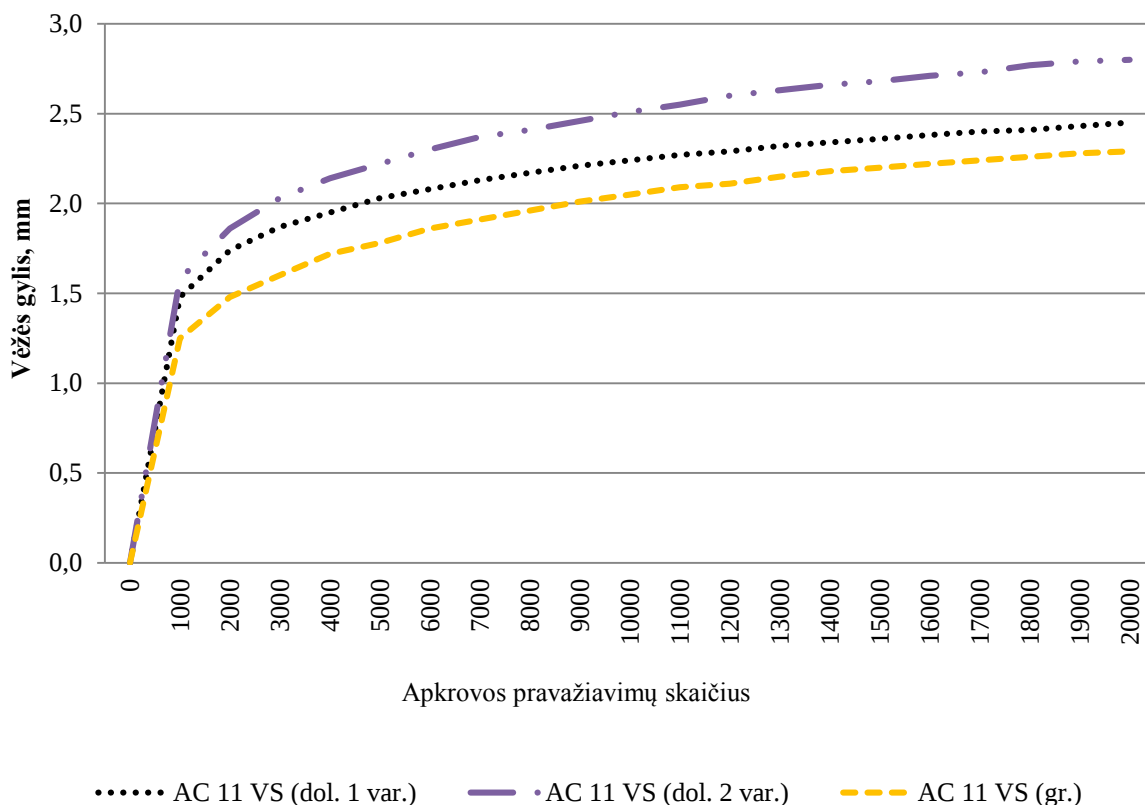
31 pav. Suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių standžio rezultatai

Rato vėžės gylio tyrimas atliktas bandant po 2 bandinius pagamintų iš tiriamų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių. Rezultatų analizei naudojamas dviejų bandinių rato vėžės gylio tyrimo rezultatų vidurkis (32 pav., 27 lentelė).

27 lentelė. Rato vėžės gylio bandymo rezultatai

	AC 11 VS (1 var.)	AC 11 VS (2 var.)	AC 11 VS (gr.)
Vėžės gylis RD_{AIR}, mm	2,8	2,5	2,4
Santykinis vėžės gylis WTS_{AIR}, %	6,4	7,1	5,9
Vėžės formavimosi greitis WTS_{AIR}, mm/1000 ciklų	0,06	0,05	0,05

Asfaltbetonio mišinio AC 11 VS su granito mineralinėmis medžiagomis provėžos gylis po 10000 apkrovimo ciklų siekė 2,29 mm. Po tokio pačio apkrovimų ciklo, asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinio provėžos gylis buvo 7,0 %, o AC 11 VS (2 var.) – 22,3 % didesnis, nei asfaltbetonio AC 11 VS (gr.). Analizuojant tirtų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių provėžų formavimosi greitį (27 lentelė), paaiškėjo, kad plastinės deformacijos asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) formavosi 20 % greičiau, nei asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišinyje. Asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) ir AC 11 VS (gr.) vėžės formavimosi greitis buvo vienodas ir siekė 0,05 mm/100 ciklų.



32 pav. Asfaltbetonio mišinių AC 11 VS dol. ir AC 11 VS gr. rato vėžės gylio rezultatai

Atlikti rato vėžės gylio bandymai parodė, kad asfaltbetonio AC 11 VS mišiniai su dolomito mineralinėmis medžiagomis yra tik neženkliai jautresni provėžų susidarymui po 20000 pravažiavimų.

3.6. Trečio skyriaus išvados

1. Laboratoriniame tyrime naudotos granito ir aukštos kokybės dolomito mineralinės medžiagos tenkina keliamus reikalavimus pagal techninių reikalavimų aprašą TRA MIN 07.
2. Aukštos kokybės dolomito mineralinių medžiagų atsparumas trupinimui ir skaldymui atitinka SZ₁₈, bei LA₂₀ kategorijas, o atsparumas poliruojamumui – PSV₅₀ kategoriją, o t. y. medžiagos savybės ne prastesnės nei granito.
3. Bituminio rišiklio PMB 45/80-55 penetracija, minkštėjimo temperatūra ir tamprioji atstata tenkina dokumente TRA BITUMAS 08/14 nurodytus reikalavimus.
4. Geriausias bitumo sukibimo rodiklis gautas su aukštos kokybės dolomito skalda ir bituminiu rišikliu PMB 45/80-55 bei 0,4 % adhezinio priedo Adhezin.
5. Nustatyta, kad suprojektuoto asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinio su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis mechaninės savybės yra geresnės, nei asfaltbetonio AC 11 VS mišinio su granito mineralinėmis medžiagomis, išskyrus atsparumą provėžų susidarymui:
 - Maršalo koeficientas didesnis 82,0 %;

- takumas pagal Maršalą didesnis 36,2 %;
 - pastovumas pagal Maršalą didesnis 16,8 %;
 - netiesioginio tempiamojo stiprio rodiklis 41,5 %;
 - atsparumas vandens poveikiui didesnis 8,7 %;
 - standumas didesnis 113,4 %;
 - rato vėžės gylio vidurkis po 10000 apkrovimo ciklų didesnis 7,0 %;
 - santykinis vėžės gylis po 10000 apkrovimo ciklų didesnis 0,5 %;
 - vėžės formavimos greitis didesnis 20 %.
6. Suprojektuoto asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio savybės, lyginant su asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišiniu buvo tokios:
- Maršalo koeficientas didesnis 50 %;
 - takumas pagal Maršalą mažesnis 42,6 %;
 - pastovumas pagal Maršalą mažesnis 17,5 %;
 - netiesioginio tempiamojo stiprio rodiklis 22,4 %;
 - atsparumas vandens poveikiui didesnis 4,4 %;
 - standumas didesnis 48,9;
 - rato vėžės gylio vidurkis po 10000 apkrovimo ciklų didesnis 22,3 %;
 - santykinis vėžės gylis po 10000 apkrovimo ciklų didesnis 1,2 %;
 - vėžės formavimos greitis – toks pats.

4. EKONOMINIS PAGRINDIMAS DĖL AUKŠTOS KOKYBĖS DOLOMITO SKALDOS PANAUDOJIMO AUTOMOBILIŲ KELIŲ ASFALTO DANGOS VIRŠUTINIAM SLUOKSNIUI ĮRENGTI

4.1. Asfalto viršutinio sluoksnio su aukštos kokybės dolomito skalda įrengimo ir eksploatacijos ekonominė analizė

Siekiant ekonomiškai pagrįsti ir įvertinti aukštos kokybės dolomito skaldos panaudojimą automobilių kelių asfalto dangos viršutiniam sluoksniui įrengti, nagrinėjamas praktinis automobilio kelio įrengimas, kai atliekama ekonominė analizė parenkant vieną racionalų variantą iš trijų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių.

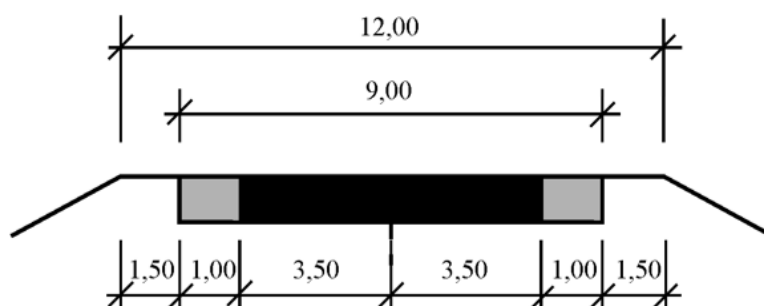
Ekonominė analizė paremta medžiagų kainų skaičiavimu. Asfalto mišinių sudedamųjų dalių kainos yra tikros ir paremtos keturių firmų, kurios tiekia mineralines medžiagas, bituminius rišiklius, mikro užpildą ir cheminius priedus asfalto mišinių gamybai, kainomis.

Ekonominėje analizėje nevertinama:

- dangos konstrukcijos sluoksnių, esančių po viršutiniu asfalto sluoksniu, rekonstravimo darbai;
- rangovo atliktų darbų kaina;
- kitų kelio konstrukcijos elementų įrengimo, ar rekonstravimo kaina;
- visuomenės patiriami nuostoliai, dėl kelio degradacijos.

Skaičiavimai atlikti priimant, kad vykdoma 1 km, II kategorijos kelio ruožo (33 pav.) viršutinio asfalto dangos sluoksnio atnaujinimas. Kiti asfalto sluoksniai neatnaujinami. Priimami trys kelio rekonstrukcijos variantai, kai asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti naudojami:

- asfaltbetonio AC 11 VS mišinys su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis ir bituminiu rišikliu PMB 45/80-55 (AC 11 VS (dol. 1 var.));
- asfaltbetonio AC 11 VS mišinys su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis ir bituminiu rišikliu PMB 45/80-55 (AC 11 VS (dol. 2 var.));
- asfaltbetonio AC 11 VS mišinys su granito mineralinėmis medžiagomis ir bituminiu rišikliu PMB 45/80-55 (standartinis, praktikoje sutinkamas, variantas; AC 11 VS (gr.)).



33 pav. II kategorijos kelio skersinio pjūvio parametrai

33 paveiksle matyti, kad nagrinėjamo kelio asfalto dangos plotis – 9 m. Kadangi nagrinėjamas kelias priklauso II kategorijai, pagal kelių projektavimo taisyklės KPT SDK 07, visų šiai kategorijai priklausančių dangos konstrukcijų asfalto viršutinis sluoksnis – 4 cm.

Suprojektuotų asfaltbetonio mišinių projekcinės – laboratorinės sudėtys pateiktos 28 lentelėje.

28 lentelė. Asfaltbetonio mišinių AC 11 VS projekcinės – laboratorinės kreivės

Naudojamos medžiagos	Kiekis, %					
	AC 11 VS (dol. 1 var.)		AC 11 VS (dol. 2 var.)		AC 11 VS (gr.)	
Skalda fr. 11/16	3,00	2,86	–	–	8,0	7,55
Skalda fr. 8/11	14,00	13,34	8,00	7,55	10,0	9,44
Skalda fr. 5/8	12,00	11,44	19,00	17,94	10,0	9,44
Skalda fr. 2/5	21,00	20,01	41,00	38,70	16,0	15,10
Skaldos atsijos fr. 0/2	41,00	39,07	24,00	22,66	52,0	49,09
Mineraliniai milteliai	9,00	8,58	8,00	7,55	4,0	3,78
Bitumas PMB 45/80-55	–	4,70	–	5,60	–	5,60
Adhezinis priedas Adhezin (nuo bituminio rišiklio kiekio)	–	0,40	–	0,40	–	0,40
Viso:	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Suprojektuotiems asfaltbetonio AC 11 VS mišiniams įrengti naudojamos įvairios siaurųjų frakcijų mineralinės medžiagos, kurios atitinka asfalto viršutiniam sluoksniui įrengti naudojamo užpildo kokybės reikalavimus. Mineralinių medžiagų kainos pateiktos 29 lentelėje.

29 lentelė. Dolomito ir granito mineralinių medžiagų kainos

Naudojamos mineralinės medžiagos	Kaina, €/t	
	Dolomito	Granito
Skalda fr. 11/16	9,98	25,49
Skalda fr. 8/11	11,59	26,65
Skalda fr. 5/8	11,59	26,65
Skalda fr. 2/5	8,40	20,18
Skaldos atsijos fr. 0/2	7,10	15,35
Mineraliniai milteliai (aktyvuoti)	52,90 €/t	

Aukštos kokybės dolomito mineralinės medžiagos yra dvigubai pigesnės, nei granito. Taip yra, nes dolomito mineralinės medžiagos išgaunamos Lietuvoje, o granito – importuojamos iš užsienio šalių.

Polimerais modifikuoto bituminio rišiklio PMB 45/80-55 ir adhezinio priedo Adhezin kainos pateiktos 30 lentelėje.

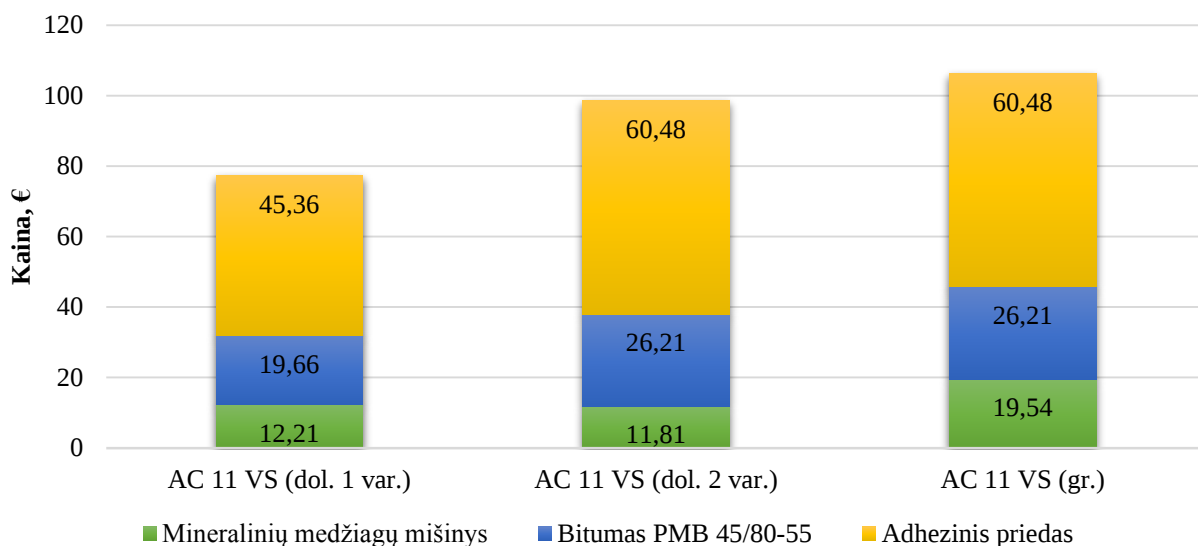
30 lentelė. Bituminio rišiklio ir adhezinio priedo kainos

Naudojamos medžiagos	Kaina
Bitumas PMB 45/80-55	470 €/t
Adhezinis priedas Adhezin	270 €/kg

Remiantis aukščiau pateiktomis mineralinių medžiagų (29 lentelė), bituminio rišiklio ir adhezinio priedo (30 lentelė) kainomis, apskaičiuota 1 t asfalto mišinio kaina, kuri pateikta 31 lentelėje ir 34 paveiksle.

31 lentelė. Suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių 1 t sudedamųjų dalių ir bendra kainos

Naudojamos medžiagos	Kiekis, %					
	AC 11 VS (dol. 1 var.)		AC 11 VS (dol. 2 var.)		AC 11 VS (gr.)	
	Kiekis, g	Kaina, €	Kiekis, g	Kaina, €	Kiekis, g	Kaina, €
Skalda fr. 11/16	28740	0,29	-	-	75520	1,93
Skalda fr. 8/11	134120	1,55	75520	0,88	94400	2,52
Skalda fr. 5/8	114960	1,33	179360	2,08	94400	2,52
Skalda fr. 2/5	201180	1,69	387040	3,25	151040	3,05
Skaldos atsijos fr. 0/2	392780	2,79	226560	1,61	490880	7,54
Mineraliniai milteliai	86220	4,56	75520	4,00	37760	2,00
Bitumas PMB 45/80-55	41832	19,66	55776	26,21	55776	26,21
Adhezinis priedas Adhezin	168	45,36	224	60,48	224	60,48
Suma:	1000000	77,23	1000000	98,50	1000000	106,23



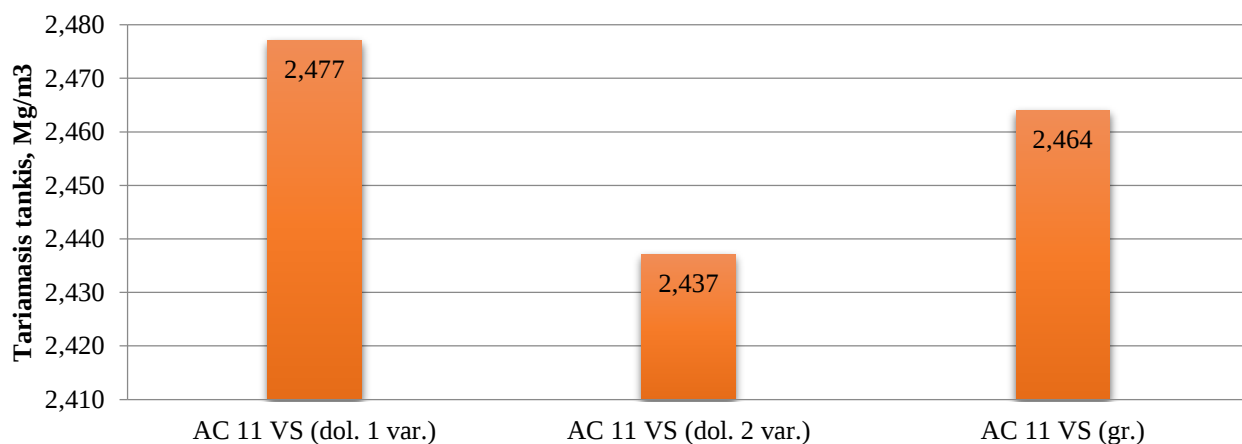
34 pav. Asfaltbetonio mišinių AC 11 VS 1 t komponentų kainos

34 paveiksle matyti, kad pagaminti 1 t asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinio kainuoja 27,3 %, o AC 11 VS (dol. 2 var.) – 7,3 % mažiau, nei to paties asfalto mišinį su granito mineralinėmis medžiagomis. Taip yra dėl to, nes asfaltbetonio mišinio AC 11 VS (dol. 2 var.) bituminio rišiklio kiekis (28 lentelė) yra 0,90 % didesnis, nei asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio. Taip padidėja ne tik bituminio rišiklio, bet ir adhezinio priedo kaina. Nagrinėjant asfalto mišinių komponentų kainas, nustatyta, kad per 50 % asfalto mišinio kainos sudaro bituminio rišiklio adhezinio priedo Adhezin kaina.

Kadangi nagrinėjamo kelio ruožas yra 1 km (1000 m) ilgio, todėl atliekame asfalto mišinių kainų skaičiavimus trimis variantams. Rekonstruojamo kelio asfalto viršutinio sluoksnio tūris yra:

$$V = 1000,00 \cdot 9,00 \cdot 0,04 = 360 \text{ m}^3 \quad (4.1)$$

Asfaltbetonio AC 11 VS mišinių tariamieji tankiai pateikti 35 paveiksle.



35 pav. Suprojektuotų AC 11 VS asfaltbetonio mišinių tariamojo tankio rezultatai

Remiantis šiais duomenimis atlikti skaičiavimai (4.2 formulė) reikiamai asfalto mišinių masei apskaičiuoti, siekiant įrengti rekonstruojamą kelio ruožą.

$$m = \rho \cdot V \quad (4.2)$$

čia: ρ – suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių tariamasis tankis;

V – rekonstruojamo kelio asfalto viršutinio sluoksnio tūris.

Reikalingo asfaltbetonio AC 11 VS mišinių kiekiai ir jų kainos pateikti 32 lentelėje.

32 lentelė. Asfalto mišinių kiekiai ir jų kainos, nagrinėjamam kelio ruožui įrengti

	AC 11 VS (dol. 1 var.)	AC 11 VS (dol. 2 var.)	AC 11 VS (gr.)
Reikalingas kiekis, t	891,720	877,320	887,040
Visa mišinio kaina, €	688714,51	864190,90	942318,10

Skaičiuojamajai ekonominei analizei atlikti priimama, kad nagrinėjamo kelio ruožo asfalto viršutinis sluoksnis būtų įrengtas, su granito mineralinėmis medžiagomis, asfalto dangos atnaujinimą reikėtų atlikti dvyliktais ir šešioliktais jo eksploatacijos metais, o dvidešimtais metais – kapitalinį dangos konstrukcijos remontą, nes pagal projektą, kelias įrengiamas dvidešimties metų eksploataciniam laikotarpiui. Priimta, kad asfalto dangos remonto kaina sudarys 40 % jos įrengimo kainos. Taip pat, į kaštų analizę įtraukta ir eksploatacinės išlaidos, kurios pirmais eksploatacijos metais sudarys 0,5 % nuo asfalto viršutinio sluoksnio kainos. Toliau eksploataciniai kaštai kas metus augs po 3 % nuo praeitų metų sumos. Skaičiavimuose taikoma diskonto norma – 6 %.

Bandymais nustatyta, kad provėžų formavimasis (žr. 32 pav.) asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinyje, lyginant su asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišiniu, bus 7,0 %, o asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinyje – 22,3 % spartesnis. Remiantis pateiktais duomenimis numatoma, kad šiuose asfaltbetonio AC 11 VS mišiniuose pažaidos vystysis greičiau ir asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio atnaujinimas bus atliekamas 11 ir 16 metais, o asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio atnaujinimas bus atliekamas 10, 15 ir 19 eksploatacijos metais, tačiau jų kaina su šiuo mišiniu bus 30 % pradinės rekonstrukcijos kainos, kadangi atnaujinimas bus vykdomas dažniau.

Kaštų analizės rezultatai pateikti 33–35 lentelėse.

33 lentelė. Kaštų analizė 1 km ilgio kelio ruožui su asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) viršutiniu sluoksniu

Metai	KAŠTAI, €				Diskonto faktorius
	Investiciniai kaštai, €	Eksploataciniai kaštai (po rekonstrukcijos)	Iš viso		
			nediskontuota	diskontuota	
2015	942 318,10	0,00	942 318,10	942 318,10	1,0000
2016	0,00	4 711,59	4 711,59	4 444,90	0,9434
2017	0,00	4 852,94	4 852,94	4 319,10	0,8900
2018	0,00	4 998,53	4 998,53	4 196,86	0,8396
2019	0,00	5 148,48	5 148,48	4 078,08	0,7921
2020	0,00	5 302,94	5 302,94	3 962,66	0,7473
2021	0,00	5 462,02	5 462,02	3 850,51	0,7050
2022	0,00	5 625,89	5 625,89	3 741,54	0,6651
2023	0,00	5 794,66	5 794,66	3 635,64	0,6274
2024	0,00	5 968,50	5 968,50	3 532,75	0,5919
2026	0,00	6 147,56	6 147,56	3 432,76	0,5584
2027	0,00	6 331,98	6 331,98	3 335,61	0,5268
2028	376 927,24	6 521,94	383 449,18	190 562,50	0,4970
2029	0,00	6 717,60	6 717,60	3 149,47	0,4688
2030	0,00	6 919,13	6 919,13	3 060,34	0,4423
2031	0,00	7 126,70	7 126,70	2 973,72	0,4173
2032	376 927,24	7 340,50	384 267,74	151 265,57	0,3936
2033	0,00	7 560,72	7 560,72	2 807,78	0,3714
2034	0,00	7 787,54	7 787,54	2 728,32	0,3503
2035	0,00	8 021,17	8 021,17	2 651,10	0,3305
2036	0,00	8 261,80	8 261,80	2 576,07	0,3118
Iš viso	1 696 172,58	126 602,20	1 822 774,78	1 346 623,38	
Dabartinė kaštų vertė (DKV): 1 346 623,38 €					
Diskonto norma: 6%					

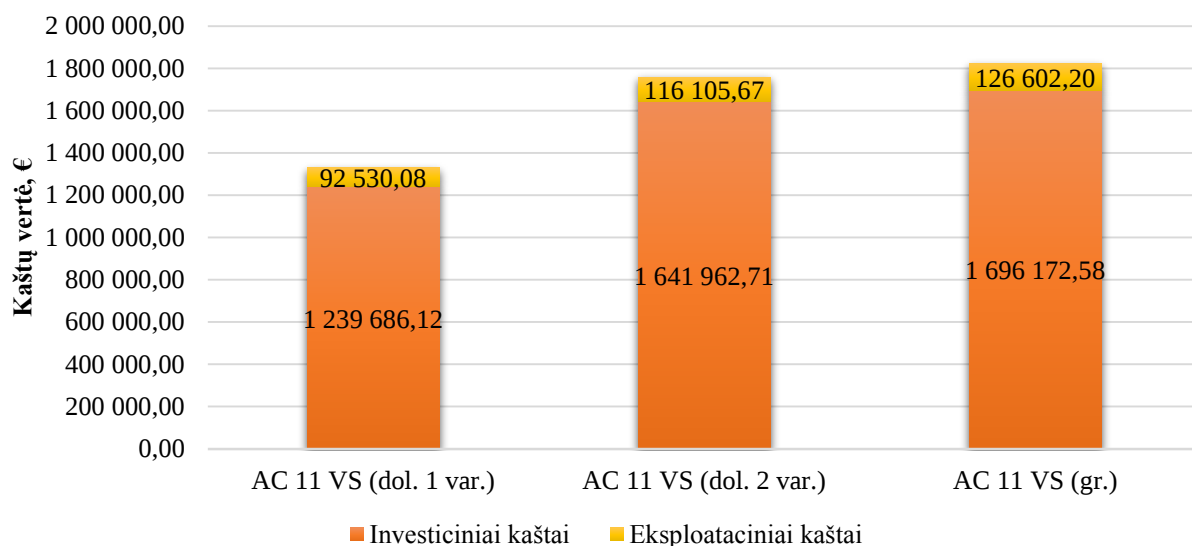
34 lentelė. Kaštų analizė 1 km ilgio kelio ruožui su asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) viršutiniu sluoksniu

Metai	KAŠTAI, €				Diskonto faktorius
	Investiciniai kaštai, €	Eksplotaciniai kaštai (po rekonstrukcijos)	Iš viso		
			nediskontuota	diskontuota	
2015	688 714,51	0,00	688 714,51	688 714,51	1,0000
2016	0,00	3 443,57	3 443,57	3 248,65	0,9434
2017	0,00	3 546,88	3 546,88	3 156,71	0,8900
2018	0,00	3 653,29	3 653,29	3 067,37	0,8396
2019	0,00	3 762,88	3 762,88	2 980,56	0,7921
2020	0,00	3 875,77	3 875,77	2 896,20	0,7473
2021	0,00	3 992,04	3 992,04	2 814,23	0,7050
2022	0,00	4 111,81	4 111,81	2 734,59	0,6651
2023	0,00	4 235,16	4 235,16	2 657,19	0,6274
2024	0,00	4 362,21	4 362,21	2 581,99	0,5919
2026	0,00	4 493,08	4 493,08	2 508,91	0,5584
2027	275 485,80	4 627,87	280 113,68	147 560,39	0,5268
2028	0,00	4 766,71	4 766,71	2 368,91	0,4970
2029	0,00	4 909,71	4 909,71	2 301,86	0,4688
2030	0,00	5 057,00	5 057,00	2 236,72	0,4423
2031	0,00	5 208,71	5 208,71	2 173,41	0,4173
2032	275 485,80	5 364,97	280 850,78	110 555,86	0,3936
2033	0,00	5 525,92	5 525,92	2 052,13	0,3714
2034	0,00	5 691,70	5 691,70	1 994,05	0,3503
2035	0,00	5 862,45	5 862,45	1 937,62	0,3305
2036	0,00	6 038,33	6 038,33	1 882,78	0,3118
Iš viso	1 239 686,12	92 530,08	1 332 216,20	992 424,65	
Dabartinė kaštų vertė (DKV): 992 424,65 €					
Diskonto norma: 6 %					

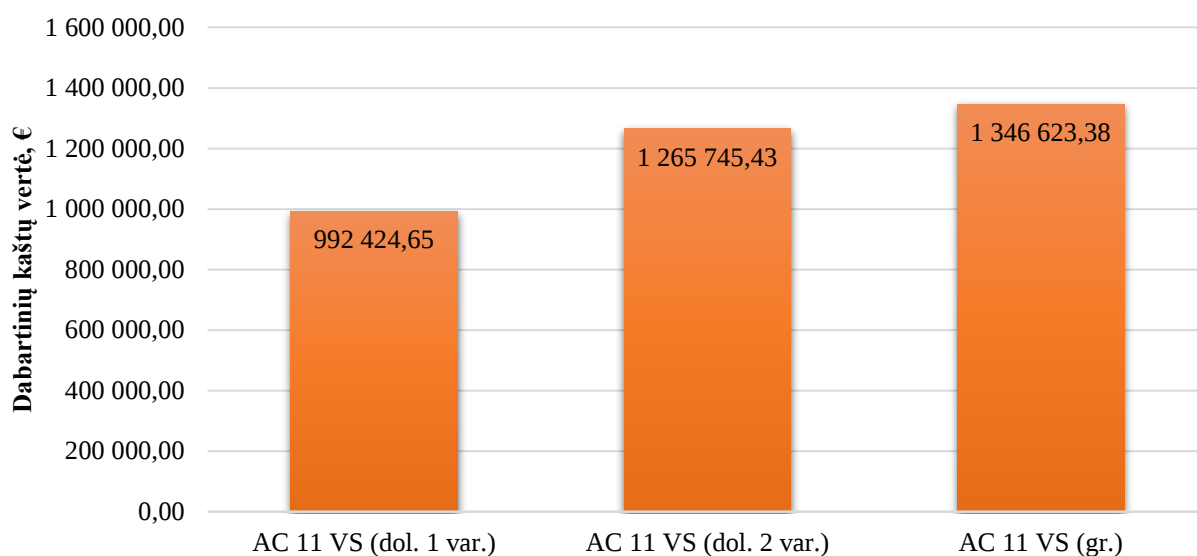
35 lentelė. Kaštų analizė 1 km ilgio kelio ruožui su asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) viršutiniu sluoksniu

Metai	KAŠTAI, €				Diskonto faktorius
	Investiciniai kaštai, €	Eksploataciniai kaštai (po rekonstrukcijos)	Iš viso		
			nediskontuota	diskontuota	
2015	864 190,90	0,00	864 190,90	864 190,90	1,0000
2016	0,00	4 320,95	4 320,95	4 076,37	0,9434
2017	0,00	4 450,58	4 450,58	3 961,00	0,8900
2018	0,00	4 584,10	4 584,10	3 848,90	0,8396
2019	0,00	4 721,62	4 721,62	3 739,97	0,7921
2020	0,00	4 863,27	4 863,27	3 634,12	0,7473
2021	0,00	5 009,17	5 009,17	3 531,27	0,7050
2022	0,00	5 159,45	5 159,45	3 431,33	0,6651
2023	0,00	5 314,23	5 314,23	3 334,21	0,6274
2024	0,00	5 473,66	5 473,66	3 239,85	0,5919
2026	259 257,27	5 637,87	264 895,14	147 916,06	0,5584
2027	0,00	5 807,00	5 807,00	3 059,06	0,5268
2028	0,00	5 981,21	5 981,21	2 972,48	0,4970
2029	0,00	6 160,65	6 160,65	2 888,35	0,4688
2030	0,00	6 345,47	6 345,47	2 806,61	0,4423
2031	259 257,27	6 535,83	265 793,10	110 906,17	0,4173
2032	0,00	6 731,91	6 731,91	2 649,99	0,3936
2033	0,00	6 933,86	6 933,86	2 574,99	0,3714
2034	0,00	7 141,88	7 141,88	2 502,11	0,3503
2035	259 257,27	7 356,14	266 613,41	88 119,20	0,3305
2036	0,00	7 576,82	7 576,82	2 362,49	0,3118
Iš viso	1 641 962,71	116 105,67	1 758 068,38	1 265 745,43	
Dabartinė kaštų vertė (DKV): 1 265 745,43 €					
Diskonto norma: 6 %					

Atlikta kaštų analizė rodo, kad brangiausias asfaltbetonio AC 11 VS mišinys – su granito mineralinėmis medžiagomis, kuris lygiant su asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišiniu yra 26,9 %, o AC 11 VS (dol. 2 var.) – 3,2 % brangesnis. Asfalto dangos, įrengtos iš suprojektuotų asfalto AC 11 VS mišinių, eksploatacinės išlaidos pateiktos 36 pav.



36 pav. Asfaltbetonio AC 11 VS mišinių kaštų vertės



37 pav. Asfaltbetonio mišinių AC 11 VS diskontuotų kaštų vertės

Lyginant tarpusavyje diskontuotų kaštų vertes nustatyta, kad pigiausias asfaltbetonio AC 11 VS mišinys įrengti ir eksploatuoti yra AC 11 VS (dol. 1 var.). Jo dabartinė kaštų vertė sudaro 73,7 %, lyginant su asfaltbetonio AC 11 VS mišiniu, kurio užpildas – granito mineralinių medžiagų mišinys. Asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinys sudaro 94,0 % to paties asfaltbetonio AC 11 VS mišinio su granito mineralinėmis medžiagomis dabartinės kaštų vertės. Lyginant tarpusavyje asfaltbetonio AC 11 VS mišinius su dolomito mineralinėmis medžiagomis, pigesnis asfaltbetonio

AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinys, kurio kaštų vertė yra 21,6 % mažesnė, nei asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio.

4.2. Ketvirto skyriaus išvados

1. Vienos tonos suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis kainos, lyginant su asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišiniu, yra:
 - asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) kaina sudaro 72,7 %;
 - asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) kaina sudaro 92,7 %.
2. Atlikta kaštų analizė rodo, kad suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis kaštų vertė (įvertinant investicines ir eksploatacines išlaidas), įrengiant 1 km II kategorijos kelio ruožą, palyginus su asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišiniu yra:
 - asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinio kaštų vertė sudaro 73,1 %;
 - asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio kaštų vertė sudaro 96,8 %.
3. Lyginant asfaltbetonio AC 11 VS mišinių su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis ir asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišinio dabartinių kaštų vertes, įrengiant 1 km II kategorijos kelio ruožą, gautos vertės sudaro:
 - asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinio dabartiniai kaštai sudaro 73,7 %;
 - asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio dabartiniai kaštai sudaro 94,0 %.

5. BENDROS IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Asfalto viršutinio sluoksnio funkcionavimas užtikrinamas parinkus tinkamą asfalto mišinį, kurio fizikinės ir mechaninės savybės atitinka reikiamą šio sluoksnio paskirtį. Asfalto mišinio užpildas yra vienas iš pagrindinių komponentų, kuris formuoja asfalto mišinio karkasą bei turi būti atsparus trupinimui, skaldymui, nusidėvėjimui ir poliruojamumui, todėl jam naudojamos magminės kilmės uolienos (granitas, gabras, diabazas ir kt.).
2. Didėjantis transporto priemonių eismo intensyvumas, sunkio transporto sukeltos apkrovos asfalto dangai bei racionalus vietinių naudingųjų iškasenų panaudojimo skatinimas iššaukia ieškoti naujų sprendinių ir metodų projektuoti ir gaminti asfalto viršutinio sluoksnio mišinius su vietinėmis, silnesnėmis nei magminės kilmės uolienos, mineralinėmis medžiagomis. Šiam tikslui naudojamos optimizuotos granulimetrinės sudėties mineralinių medžiagų mišiniai, didinamas asfalto mišinio oro tuštymių kiekis, naudojamas aukštesnio polimerizavimo bitumas tam, kad asfalto viršutinio sluoksnio mišinys būtų atsparus plastinių deformacijų susidarymui.
3. Atlikus užsienio šalių mokslininkų tyrimų apžvalgą nustatyta, kad asfalto viršutinio sluoksnio mišinys atsparus plastinių deformacijų susidarymui, kai mineralinių medžiagų mišinį sudaro kuo mažiau smulkių ir kuo daugiau stambių dalelių; kai asfalto mišinio oro tuštymių kiekis ne mažesnis kaip 3 %; kai naudojamas polimerais modifikuotas bitumas.
4. Tyrimais nustatyta, kad suprojektuoto asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinio su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis mechaninės savybės yra geresnės, nei asfaltbetonio AC 11 VS mišinio su granito mineralinėmis medžiagomis, išskyrus atsparumą provėžų susidarymui:
 - Maršalo koeficientas didesnis 82,0 %;
 - takumas pagal Maršalą didesnis 36,2 %;
 - pastovumas pagal Maršalą didesnis 16,8 %;
 - netiesioginio tempiamojo stiprio rodiklis 41,5 %;
 - atsparumas vandens poveikiui didesnis 8,7 %;
 - standumas didesnis 113,4 %;
 - rato vėžės gylio vidurkis po 10000 apkrovimo ciklų didesnis 7,0 %;
 - santykinis vėžės gylis po 10000 apkrovimo ciklų didesnis 0,5 %;
 - vėžės formavimos greitis didesnis 20 %.
5. Suprojektuoto asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio savybės, lyginant su asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišiniu yra tokios:
 - Maršalo koeficientas didesnis 50 %;

- takumas pagal Maršalą mažesnis 42,6 %;
 - pastovumas pagal Maršalą mažesnis 17,5 %;
 - netiesioginio tempiamojo stiprio rodiklis 22,4 %;
 - atsparumas vandens poveikiui didesnis 4,4 %;
 - standumas didesnis 48,9;
 - rato vėžės gylis vidurkis po 10000 apkrovimo ciklų didesnis 22,3 %;
 - santykinis vėžės gylis po 10000 apkrovimo ciklų didesnis 1,2 %;
 - vėžės formavimos greitis – toks pats.
6. Atlikta kaštų analizė rodo, kad suprojektuotų asfaltbetonio AC 11 VS mišinių su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis kaštų vertė (įvertinant investicines ir eksploatacines išlaidas), įrengiant 1 km II kategorijos kelio ruožą, palyginus su asfaltbetonio AC 11 VS (gr.) mišiniu yra:
- asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 1 var.) mišinio kaštai sudaro 73,1 %;
 - asfaltbetonio AC 11 VS (dol. 2 var.) mišinio kaštai sudaro 96,8 %.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Afif, A. H. M. 2014. Effect of aggregate gradation and type on hot asphalt concrete mix properties. *Journal of Engineering Sciences. Assiut University*. Vol. 42. No. 3: 567-574. 7p.
- Agapovas, S., Sokolovas, S., Tichomirovas, D. 1972. *Geografijos žodynas*. Kaunas: Šviesa. 270 p.
- Ahlich, R. C. 1996. Influence of Aggregate Properties on Performance of Heavy-Duty Hot-Mix Asphalt Pavements. *Transportation Research Record* 1547: 7–14. 7p.
- Ahmad, H. Alijassar; Sayed, M.; Mohammad A. A. 2004. Effect of Filler Types on Marshall Stability and Retained Strength of Asphalt Concrete. *International Journal of Pavement Engineering* 5(1): 47–51. 4p.
- Arasan, S.; Yenera, E.; Hattatoglu, F.; Hınıslıoglu, 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. 23p.
- Arasan, S.; Yenera, E.; Hattatoglu, F.; Hınıslıoglu, S.; Akbuluta, S. 2011. Correlation Between Shape of Aggregate and Mechanical Properties of Asphalt Concrete. *Road Materials and Pavement Design* 12(2): 239–262. 23p.
- Automobilių kelių asfalto mišinių techninių reikalavimų aprašas. TRA ASFALTAS 08. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos, Vilnius, 2009. 61 p.
- Automobilių kelių bitumų ir polimerais modifikuotų bitumų techninių reikalavimų aprašas. TRA BITUMAS 08/14. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos, Vilnius, 2014. 18 p.
- Automobilių kelių dangos konstrukcijos asfalto sluoksnių įrengimo taisyklės. IT ASFALTAS 08. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos, Vilnius, 2009. 62 p.
- Automobilių kelių mineralinių medžiagų techninių reikalavimų aprašas. TRA MIN 07. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos, Vilnius, 2007. 27 p.
- Awanti, S. S.; Amarnath, M. S.; Veeraragavan, A. 2008. Laboratory Evaluation of SBS Modified Bituminous Paving Mix. *Journal of Materials in Civil Engineering* 20(4): 327–330. 3p.
- Brown, R. R.; Bassett, C. E. 1990. Effects of Maximum Aggregate Size on Rutting Potential and Other Properties of Asphalt – Aggregate Mixtures. *Transportation Research Record* 1259: 107–119. 12p.

- Bulevičius, M., Petkevičius, K., Žilionienė, D., Drozdova, K. 2010. Testing of Physical-Mechanical Properties of Coarse Aggregate, Used for Producing Asphalt Mixtures and Analysis of Test Results. *Modern Building Materials, Structures and Techniques*. VGTU. 5p.
- Button, J. W.; Perdomo, D.; Lytton, R. L. 1990. Influence of Aggregate on Rutting in Asphalt Concrete Pavements, *Transportation Research Record* 1259: 141–152. 11p.
- Campen, W. H.; Smith, J. R.; Erickson, L. G.; Mertz, L. R. 1959. The Relationship between Voids, Surface Area, Film Thickness, and Stability in Bituminous Paving Mixtures. *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 28.
- Chen, J. S.; Shiah, M. S.; Chen, H. J. 2001. Quantification of Coarse Aggregate Shape and Its Effect on Engineering Properties of Hot-Mix Asphalt Mixtures. *Journal of Testing and Evaluation* 29(6): 513–519. 6p.
- Chun, S., Zou, J., Roque, R., Lopp, G. 2012. Predictive Relationships for HMA Fracture Properties Based on Mixture Component Characteristics, *Road Materials and Pavement Design* 13(1): 140–160. doi:10.1080/14680629.2012.657039. 20p.
- Cross, S.A., Adu-Osei, A., and Hainin, M.R. 1999. Effect of gradation on performance of asphalt mixtures. 78 annual meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C. 9p.
- Čygas, D., Laurinavičius, A., Vaitkus, A., Tuminienė, F. 2007. Implementation of Special Requirements for Asphalt Concrete Street Pavement. *Строительная наука и техника: научно-технический журнал* 3(12): 91–95. ISSN 1818-9792. 4p.
- Čygas, D.; Laurinavičius, A., Juknevičiūtė, L.; Vaitkus, A. 2004. Investigations of Pavement Structure of Public Transport Stops on Vilnius City Streets. In *proc. of the 8th International Conference Environmental Engineering*, May 19–22, Vilnius, Lithuania. 7 p.
- Deltuva, J., Vitkevičius, V. 2006. *Statybinių nerūdinių medžiagų gavyba, perdirbimas ir naudojimas*. Kaunas: Technologija. 276 p.
- Egyptian Standard Specification for Highways. General Authority for Roads, Bridges and Land Transportations (GARBLT). 2001. Egiptas.
- El-Basyouny, M.M. and Mamlouk, M.S. 1999. Effect of aggregate gradation on rutting potential of Superpave mixes. 78 annual meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C. 10p.
- Garba, R. 2002. Permanent Deformation Properties of Asphalt Concrete Mixtures. PhD Dissertation. Department of Road and Railway Engineering. Norwegian University of Science and Technology. 201p.
- Goode, J. F.; Lufsey, L. A. 1965. Voids, Permeability, Film Thickness vs. Asphalt Hardening. *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 34.

- Guarin, A. 2009. Interstitial Component Characterization to Evaluate Asphalt Mixture Performance. Daktaro disertacija, Floridos universitetas, Gainesville, Florida. 171p.
- Gulbinas, G. 2005. Asfaltbetonio mišinių gamybos technologinio proceso analizė. Baigiamasis magistro darbas, Vilniaus Gedimino technikos universitetas. 141p.
- Hafeez, I. 2009. Impact of Hot Mix Asphalt Properties on its Permanent Deformation Behaviour, Ph. D. Thesis, University of engineering and technology, Taxila. 6p.
- Haritonovs, V., Zaumanis, M., Brencis, G., Smirnovs, J. 2013. Use of Unconventional Aggregates in Hot Mix Asphalt Concrete. The XXVIII International Baltic Road Conference. 9p.
- Huber, G.A., J.C. Jones, P.E. Messersmith, and N.M. Jackson. Contribution of Fine Aggregate Angularity and Particle Shape to Superpave Mixture Performance. Transportation Research Board. Washington, DC, 1998; pp. 28–35. 7p.
- Jayawickrama, P. W.; Prasanna, R.; Senadheera, R. P. 1996. Survey of State Practices to Control Skid Resistance on Hot-Mix Asphalt Concrete Pavements, Transportation Research Record 1536: 52–58. 6p.
- Kamal, M. A.; Shahzeb, F.; Baber, Y. 2005. Resilient Behaviour of Asphalt Concrete under repeated loading & effects of temperature. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies 6: 1329–1343. 14p.
- Kandhal, P.S., and F. Parker, Jr. Aggregate Tests Related to Asphalt Concrete Performance in Pavements. Transportation Research Board. Washington, DC, 1998.
- Kandhal, S. P.; Mallick, R. B. 2001. Effects of Mix Gradation on Rutting Potential of Dense-Graded Asphalt Mixtures, Transportation Research Record 1767: 146–151. 5p.
- Kanitong, K.; Bahia, H. 2005. Relating adhesion and cohesion of asphalts to the effect of moisture on laboratory performance of asphalt mixtures. Transportation Research Record 1901: 33–43. 10p.
- 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. 25p.
- Kumar, A.; Goetz, W. H. 1977. Asphalt Hardening as Affected by Film Thickness, Voids and Permeability in Asphaltic Mixtures. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 46. 571p.
- Klaus, D. 2003. Asphalt Flow Improvers – A New Technology for Reducing Mixing Temperature of Asphalt Concrete Mixes with High-Resistance Against Permanent Deformation, Proceedings of the 22nd PIARC World Road Congress. 7p.

Laurinavičius, A., Čygas, D. 2003. Thermal Conditions of Road Pavements and Their Influence on Motor Traffic. Transport 18(1): 23–31.

LST 1362.23:1996 „Automobilių kelių asfaltbetonis ir jo mišiniai. Bitumo bandymas. Bitumo sukibimo su mineralinėmis medžiagomis nustatymas“.

LST EN 1097-1:2011 „Bandymai užpildų mechaninėms ir fizikinėms savybėms nustatyti. 1 dalis. Atsparumo dėvėjimuisi nustatymas (Devalio metodas)“.

LST EN 1097-2:2010 „Bandymai užpildų mechaninėms ir fizikinėms savybėms nustatyti. 2 dalis. Atsparumo trupinimui nustatymo metodai“.

LST EN 1097-8:2009 „Bandymai užpildų mechaninėms ir fizikinėms savybėms nustatyti. 8 dalis. Akmens poliruojamumo nustatymas“.

LST EN 12697-12:2008 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 12 dalis. Bituminių bandinių jautrumo vandeniui nustatymas“.

LST EN 12697-22+A1:2007 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 22 dalis. Rato riedėjimo vėžė“.

LST EN 12697-23:2003 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 23 dalis. Bituminių bandinių skeliamojo stiprio nustatymas“.

LST EN 12697-26:2012 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 26 dalis. Standis“.

LST EN 12697-33+A1:2007 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 33 dalis. Bandinio paruošimas voliniu tankintuvu“.

LST EN 12697-34:2012 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 34 dalis. Maršalo bandymas“.

LST EN 12697-35+A1:2007 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 35 dalis. Maišymas laboratorijoje“.

LST EN 12697-5:2010 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 5 dalis.

Didžiausio tankio nustatymas“.

LST EN 12697-6:2012 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 6 dalis. Bituminių bandinių tariamojo tankio nustatymas“.

LST EN 12697-8:2003 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 8 dalis. Bituminių bandinių tuštymėtumo rodiklių nustatymas“.

LST EN 13398:2010 „Bitumas ir bituminiai rišikliai. Modifikuoto bitumo tampriosios atstatos nustatymas“.

LST EN 1367-1:2007 „Užpildų šiluminių savybių ir atsparumo atmosferos poveikiams nustatymo metodai. 1 dalis. Atsparumo šaldymui ir atšildymui nustatymas“.

LST EN 1426-2007 „Bitumas ir bituminiai rišikliai. Penetracijos adatos būdu nustatymas“.

LST EN 1427-2007 „Bitumas ir bituminiai rišikliai. Minkštėjimo temperatūros nustatymas. Žiedo ir rutulio metodas“.

LST EN 933-3:2012 „Bandymai užpildų geometrinėms savybės nustatyti. 3 dalis. Dalelių formos nustatymas. Plokštumo rodiklis“.

LST EN 933-4:2012 „Užpildų geometrinių savybių nustatymo metodai. 4 dalis. Dalelių formos nustatymas. Formos rodiklis“.

Laurinavičius, A.; Skirinskas, S. 2008. Mineraliniai ištekliai – racionalus naudojimas ir šalies visuomenės gerovė. [Interaktyvus]. [žiūrėta 2015 balandžio 16 d.]. Prieinama internetu: <http://nsm.lt/mpranesimas_20081028.ppt>.

Lietuvos geologijos tarnyba. 2015. 2014 metų veiklos rezultatai. Metinė ataskaita. ISSN 1392-7272. 133p.

Lu, X.; Redelius, P.; Soenen, H.; Thau, M. 2011. Material Characteristics of Long Lasting Asphalt Pavements, Road Materials and Pavement Design. 12(3): 567–585. doi:10.3166/RMPD.12.567-585. 18p.

- Lu, X.; Redelius, P.; Soenen, H.; Thau, M. 2011. Material Characteristics of Long Lasting Asphalt Pavements. *Road Materials and Pavement Design* 12(3): 567–585. doi:10.3166/RMPD.12.567-585. 18p.
- Manal, A. Ahmed ir Mohamed, I. E. Attia. 2013. Impact of Aggregate Gradation and Type on Hot Mix Asphalt Rutting In Egypt. *International Journal of Engineering Research and Applications*. Vol. 3, Issue 4, Jul-Aug: 2249-2258. 9p.
- Marks, V. J.; Monroe, R. W.; Adam, J. F. 2001. Relating Creep Testing to Rutting of Asphalt Concrete Mixes, For presentation at the Transportation Research Board 7-th Annual Meeting January 13-17. Washington, D.C.
- McGennis, R. B.; Anderson, R. M.; Kennedy, T. W.; Solaimanian, M. 1994. Background of Superpave Asphalt Mixture Design and Analysis. Report SA-95-003. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.
- Monismith, C. L. 2004. Evaluation of Long-Lasting Asphalt Pavement Design Methodology: A Perspective, ISAP International Symposium on Design and Construction of Long Lasting Asphalt Pavements, June 7–9, Auburn University, Alabama, USA. 9p.
- Monismith, C. L. 2004. Evaluation of Long-Lasting Asphalt Pavement Design Methodology: A Perspective, ISAP International Symposium on Design and Construction of Long Lasting Asphalt Pavements. June 7–9, Auburn University, Alabama, USA.
- Nejad, F. M.; Aflaki, E.; Mohammadi, M. A. 2010. Fatigue Behaviour on SMA and HMA Mixtures. *Construction and Building Materials* 24: 1158–1165p. 7p.
- Partl, M.N., Gubler, R., Hugener, M.. 2012. NANO-SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR ASPHALT PAVEMENTS. Dübendorf.
- Pedersen, N.; Rosenbloom, S.; Skinner, R. 2011. A manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary. NCHRP Report 673. Transport Research Board. 285p.
- Ponniah, J.; Kennepohl, G. 1996. Polymer-Modified Asphalt Pavements in Ontario: Performance and Cost Effectiveness, *Transportation Research Record* 1545: 9p.
- 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. 7p.
- Prowell, D. B., Zhang, J., Brown, E. R. 2005. Aggregate Properties and the Preformance of Superpave - Designed Hot Mix Asphalt. *Transportation Research Board*. Washington, D.C. 101 p.
- Prowell, D. B., Zhang, J., Brown, E. R. 2005. Aggregate Properties and the Preformance of Superpave - Designed Hot Mix Asphalt. *Transportation Research Board*. Washington, D.C. 101 p.
- Read, J.; Whiteoak, D. 2010. *Shell Bitumen Handbook*, The 5th Edition. 460p.

- Radovskiy, B. 2003. Analytical Formulas for Film Thickness in Compacted Asphalt Mixture. Transport Research Board 82nd Annual Meeting. Washington, D.C. 15p.
- 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. 17p.
- Siswosoebrotho, B. I.; Ginting, K.; Soedirdjo, T. L. 2005. Workability and Resilient Modulus of Asphalt Concrete Mixtures Containing Flaky Aggregate Shape. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies 6: 1302–1312. 10p.
- Sousa, J. B.; Craus, J.; Monismith, C. L. 1991. Summary Report on Permanent Deformation in Asphalt Concrete. Strategic Highways Research Program IR-91-104.
- Tuminienė, F. 2012. Asfalto mišinių gatvių dangoms normatyvinių parametrų tyrimai Lietuvos sąlygomis. Daktaro disertacija, Vilniaus Gedimino technikos universitetas. 113 p.
- Xiao, F.; Amirkhanian, S.; Juang, C. H. 2007. Rutting Resistance of Rubberized Asphalt Concrete Pavements Containing Reclaimed Asphalt Pavement Mixtures. Journal of Materials in Civil Engineering 19(6): 475–483. 8p.
- Сакалаускас, К. А.; Станкус, Е. А.; Рокас, С. Ю. 1983. Исследования точности и стабильности технологического процесса приготовления асфальтбетонных смесей, Отчет о научно – исследовательской работе [Sakalauskas, K.A., Stankus, E.A., Rokas, S.J. Asfaltbetonio mišinių gaminimo technologinio proceso tikslumo ir stabilumo tyrimas, Mokslinio tiriamojo darbo ataskaita], 263p.

DOLOMITO SKALDOS PANAUDOJIMO AUTOMOBILIŲ KELIŲ ASFALTO DANGOS VIRŠUTINIAM SLUOKSNIUI ĮRENGTI VERTINIMAS

Pranas Varaneckas¹, Robertas Želvys², Ovidijus Šernas³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

¹pranas.varaneckas@vgtu.lt, ²robertas.zelvys@vgtu.lt, ³ovidijus.sernas@vgtu.lt

Santrauka. Lietuvoje viršutinio asfalto sluoksnio įrengimui naudojamų asfalto mišinių gamybai dažniausiai naudojamos granito mineralinės medžiagos, kurios yra importuojamos iš užsienio šalių. Vienas iš Lietuvos mineralinių medžiagų gamintojų, pritaikius specialią technologiją, išgauna aukštos kokybės dolomito skaldą, kurios mechaninės savybės ne prastesnės, nei granito. Šiame straipsnyje pateikiami aukštos kokybės dolomito skaldos kaip asfalto viršutinio sluoksnio mišinio mineralinės medžiagos tyrimai. Taip pat, suprojektuoti ir pagaminti AC 11 VS asfalto mišiniai su granito ir dolomito (aukštos kokybės) mineralinėmis medžiagomis. AC 11 VS asfalto mišiniams nustatytos tipinės ir eksploatacinės savybės, laboratorijoje imituojančios transporto apkrovų ir aplinkos sąlygas. Tyrimais nustatyta, kad asfalto mišinio AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis mechaninės savybės geresnės, negu asfalto mišinio AC 11 VS su granito mineralinėmis medžiagomis. Remiantis tyrimo rezultatais pateikiamos išvados ir rekomendacijos dėl aukštos kokybės dolomito skaldos panaudojimo asfalto viršutinio sluoksnio asfaltbetonio mišiniams.

Reikšminiai žodžiai: dolomitas, asfalto mišinys, santykinė deformacija, mineralinė medžiaga, mechaninės savybės, fizikinės savybės.

Įvadas

Kelio dangos konstrukcijos laikomoji geba ir ilgaamžiškumas priklauso nuo projekcinio sprendinio, apkrovos sąlygų, aplinkos veiksnių, panaudotų medžiagų ir įrengimo kokybės. Mineralinių medžiagų mišinio savybės tiesiogiai įtakoja asfalto mišinio eksploatacines charakteristikas.

Panaudotos medžiagos ir jų tinkamumas yra vienas svarbiausių veiksnių. Remiantis norminio dokumento „Automobilių kelių mineralinių medžiagų techninių reikalavimų aprašas TRA MIN 07“ reikalavimais, viršutinio asfalto sluoksnio asfalto mišinių gamybai gali būti naudojamos medžiagos iš trupinto granito, porfyro, bazalto, diabazo, gabro ir kitų magminių uolienų. Lietuvoje asfalto viršutinio sluoksnio mišinių mineralinė medžiaga dažniausiai yra granito skalda, kuri importuojama iš užsienio šalių. Tačiau Lietuvoje taikant specialią gavybos technologiją yra išgaunama ir gaminama aukštos kokybės dolomito skalda, kurios mechaninės savybės ne prastesnės nei granito. Todėl iškyla aukštos kokybės dolomito skaldos panaudojimo viršutinio asfalto dangos sluoksnio mišinių gamybai tinkamumo klausimas. VGTU AIF KTI Automobilių kelių mokslo laboratorijoje buvo atliktas laboratorinis tyrimas, kurio tikslas – įvertinti aukštos kokybės dolomito skaldos panaudojimą ir tinkamumą automobilių kelių asfalto dangos viršutinio sluoksnio įrengimui.

Asfalto mišinio mineralinių medžiagų užpildo įtaka eksploatacinėms savybėms

Mineralinės medžiagos sudaro apie 80–90 % viso asfalto mišinio tūrio, arba 90–96 % visos asfalto mišinio masės.

Klaus (2003) tyrimais nustatė, kad asfalto mišinių atsparumas liekamųjų deformacijų susidarymui priklauso nuo mineralinės medžiagos užpildo struktūros asfalto mišinyje – mineralinės medžiagos užpildo granulimetrinė sudėtis ir formos rodiklis pripažinti kaip svarbiausi veiksniai, kurie įtakoja asfalto mišinių atsparumą liekamosioms deformacijoms.

Mineralinių medžiagų įtaka asfalto mišiniui yra labai didelė, tačiau yra sunku atskirti atskirų savybių įtaką asfalto mišinio eksploatacinėms charakteristikoms. Taip pat, galima daryti prielaidą, kad mineralinių medžiagų savybių trūkumus galima kompensuoti privalumais. Tarpusavyje saveikaujant trupintiems mineralinių medžiagų užpildo paviršiams, atsiranda papildoma sukibimo jėga. Todėl, padidinus trupintų/skaldytų dalelių kiekį, taip pat padidėja asfalto mišinio atsparumas liekamosioms deformacijoms. Tą patį efektą galima išgauti keičiant stambiojo mineralinių medžiagų užpildo oro tuštymių kiekį. Jos padidina dalelių formos, kampuotumo ir tekstūros sukibimo efektą,

mažinant asfalto mišinyje esančių dalelių judėjimą tarpusavyje, didinant dalelių tarpusavio sukibimą (Prowell *et al.* 2005).

Jayawickrama (1996) nustatė, kad skaldytų mineralinių medžiagų naudojimas asfalto mišinių gamybai pagerina ne tik trintį tarp dalelių, bet ir sukibimą tarp transporto priemonės ratų ir kelio asfalto dangos.

Stambiojo užpildo formos rodiklis – viena svarbiausių mineralinių medžiagų užpildo asfalte savybė, siekiant gauti atsparų liekamosioms deformacijoms mišinį. Prowell *et al.* (2005) teigia, kad mineralinės medžiagos dalelių, kurių formos santykis – 5:1, kiekis mišinyje neturėtų viršyti daugiau, nei 10 % masės. Kai šis kiekis viršina minėtą reikalavimą, eksploatacijos metu ženkliai pagausėja sutrupėjusių mišinio dalelių.

Remiantis standartu LST EN 933-4 „Dalelių formos nustatymas. Formos rodiklis“, Lietuvoje formos rodiklis nustatomas tik 3:1 dalelėms, tačiau remiantis užsienio literatūra matyti, kad šį rodiklį vertėtų nustatyti ir 2:1 bei 5:1 dalelių formos santykiui. Turint šiuos duomenis būtų galima labiau kontroliuoti provėžų susidarymą, atsirandantį asfalto dangoje.

McGennis *et al.* (1994) atlikti tyrimai parodė, kad mineralinės medžiagos užpildo apvalios arba su mažesniu skelto paviršiumi užpildo dalelės slenka viena kitos atžvilgiu, todėl tarp jų neužtikrinama pakankama vidinė trintis, o tai lemia asfalto mišinių šlyties stiprio praradimą ir nepakankamą atsparumą provėžoms. Tyrimais įrodyta, kad siekiant asfalto mišinių atsparumo provėžų susidarymui mineralinės medžiagos užpildas turi būti kuo didesniu skeltu paviršiumi, dalelės kubinės, tolydžios granulimetrinės sudėties, kad užtikrintų tinkamą užpildo dalelių vidinę trintį (Button *et al.* 1990; Sousa *et al.* 1991; Brown and Bassett 1990; Ahlrich 1996; Kandhal ir Mallick 2001; Marks *et al.* 2001).

Arasan *et al.* (2012) nagrinėjo, kaip mineralinės medžiagos dalelių formos įtaką asfalto mišinio mechanines savybes. Tyrimais nustatyta, kad asfalto mišinio su kampuotos formos mineralinių medžiagų mišiniu pastovumas pagal Maršalą didesnis nei asfalto mišinio su lygaus paviršius mineralinėmis medžiagomis. Panašūs rezultatai gauti Chen *et al.* (2001) ir Siswosebrotho *et al.* (2005) atliktais tyrimais, kur nustatyta, kad dėl lygaus paviršiaus mineralinių medžiagų asfalto mišinių pastovumas pagal Maršalą mažesnis nei su kitų formų dalelėmis.

Ne ką mažiau svarbus ir asfalto mišinio smulkusis užpildas. Įvairūs tyrimai parodė, kad smulkiojo užpildo komponentų savybės gali turėti netgi dominuojančią įtaką asfalto mišinio provėžų susidarymo atsparumui ir nuovargio plyšių susidarymui (Kandha *et al.* 1998; Huber *et al.* 1998). Smulkojo užpildo įtaką asfalto mišinio kokybei lemia 2 pagrindinės jo savybės: tekstūra ir dalelių kampuotumas. Didesnis dalelių kampuotumas nulemia didesnę trintį. Keičiantis šiai savybei gali ženkliai pakisti ir asfalto mišinio oro tuštymų kiekis. Tuo tarpu, kintant medžiagos tekstūrai, oro tuštymų kiekis nekinta, o atsparumas provėžoms ženkliai padidėja (Prowell *et al.* 2005).

Turint omenyje visas šias savybes yra aišku, kad asfalto mišinio projektavimas sudėtingas procesas, kurio esmė ne tik tenkinti granulimetrinės sudėties ir oro

tuštymų, bei bitumo kiekio reikalavimus, bet taip pat naudoti tinkamas mineralines medžiagas, kurių pagalba būtų galima suprojektuoti ne tik ilgaamžes bet ir patvarias dangas.

Eksperimentinis tyrimas

Dažniausiai asfalto dangos viršutiniam sluoksniui įrengti naudojamas skaldos ir mastikos asfalto mišinys SMA 11 S ir AC 11 VS, priklausomai nuo dangos konstrukcijos klasės. Šių mišinių gamybai naudojamos aukštos kokybės mineralinės medžiagos, dažniausiai – granito. Pagal dokumentą „Automobilių kelių dangos konstrukcijos asfalto sluoksnių įrengimo taisyklės IT ASFALTAS 08“ skaldos ir mastikos asfalto mišinio SMA 11 S gamybai dažniausiai naudojamas polimerais modifikuotas bitumas PMB 45/80-55, o asfaltbetonio mišinio AC 11 VS – kelių bitumas 50/70 arba polimerais modifikuotas bitumas PMB 45/80-55. Tyrimo objektu pasirinktas asfaltbetonio mišinys AC 11 VS su polimerais modifikuotu bitumu PMB 45/80-55, kaip labiausiai tikėtinas asfalto mišinys, kuriam galima naudoti aukšto kokybės dolomito mineralines medžiagas.

Siekiant įvertinti aukštos kokybės dolomito skaldos tinkamumą gaminant asfalto viršutinio sluoksnio mišinius, bei palyginti šių asfalto mišinių fizikines ir mechanines savybes, laboratoriniams eksperimentiniams tyrimams atlikti pasirinkta aukštos kokybės dolomito skalda ir įprastai asfalto viršutinio sluoksnio mišiniams gaminti naudojama granito skalda.

Laboratorijoje suprojektuoti ir pagaminti 2 asfalto mišiniai: AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis (toliau – AC 11 VS dol.) ir AC 11 VS su granito mineralinėmis medžiagomis (toliau – AC 11 VS gr.).

Tyrimams atlikti naudota metodika pateikta 1 lentelėje.

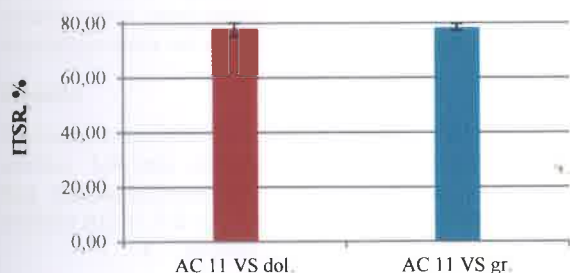
1 lentelė. Tyrimo metu naudota metodika

Savybė	Bandymo metodas
Oro tuštymų kiekis	LST EN 12697-8:2003
Skeliamasis stipris	LST EN 12697-23:2003
Jautrumas vandeniui (netiesioginio tempiamojo stiprio rodiklis)	LST EN 12697-12:2008
Standis	LST EN 12697-26:2012, B priedas, 20 °C
Atsparumas nuovargiui	LST EN 12697-24:2012, D priedas

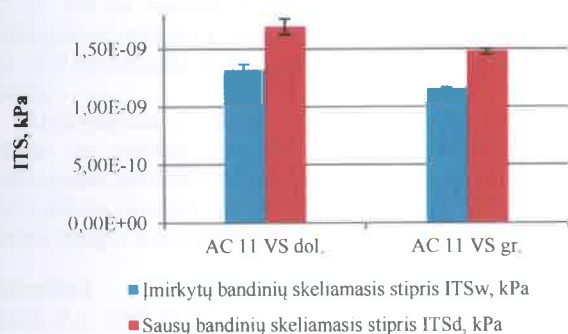
Asfalto mišiniai AC 11 VS dol. ir AC 11 VS gr. laboratorijoje suprojektuoti taip, kad tenkintų dokumente TRA ASFALTAS 08 nurodytus reikalavimus oro tuštymų kiekiui, kuris yra 2,0–4,0 %. Asfalto mišinio AC 11 VS dol. gautas oro tuštymų kiekis – 2,1 %, o AC 11 VS gr. – 2,4 %.

Jautrumo vandeniui bandymo rezultatai parodė, kad asfalto mišiniai AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito ir granito mineralinėmis medžiagomis yra praktiškai vienodai jautrūs vandeniui, tačiau analizuojant atskiras įmirkytų ir sausų bandinių skeliamojo stiprio reikšmes, pastebėta, kad asfalto mišinio AC 11 VS dol. įmirkytų ir sausų bandinių skeliamojo stiprio reikšmės yra daugiau

kuip 12,0 % didesnės nei asfalto mišinio AC 11 VS gr. Taip pat nustatyta, kad asfalto mišinio AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis atskirų bandinių jautrumo vandeniui reikšmės kinta platesnėse ribose (75,23–80,16 %), nei su granito mineralinėmis medžiagomis (77,27–79,64 %). Panaši tendencija nustatyta analizuojant asfalto mišinių AC 11 VS dol. ir AC 11 VS gr. atskirų įmirkytų ir drėgnų bandinių skeliamąjį stiprį – asfalto mišinio AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis atskirų įmirkytų bandinių skeliamasis stipris kinta nuo $1,281 \times 10^{-9}$ kPa iki $1,366 \times 10^{-9}$ kPa, su granito mineralinėmis medžiagomis nuo $1,156 \times 10^{-9}$ kPa iki $1,172 \times 10^{-9}$ kPa. Asfalto mišinio AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis atskirų sausų bandinių skeliamasis stipris kinta nuo $1,623 \times 10^{-9}$ kPa iki $1,760 \times 10^{-9}$ kPa, o su granito mineralinėmis medžiagomis nuo $1,454 \times 10^{-9}$ kPa iki $1,500 \times 10^{-9}$ kPa.

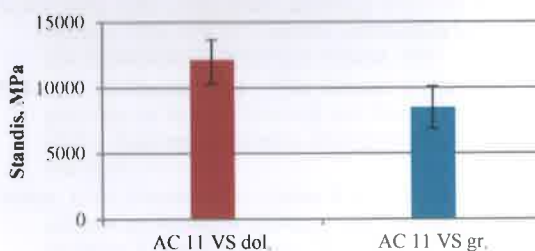


1 pav. Asfalto mišinių AC 11 VS dol. ir AC 11 VS gr. jautrumo vandeniui rezultatai



2 pav. Asfalto mišinių AC 11 VS dol. ir AC 11 VS gr. įmirkytų ir sausų bandinių skeliamojo stiprio rezultatai

Vertinant asfalto mišinių AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis ir su granito mineralinėmis medžiagomis standį (3 pav.) nustatyta, kad asfalto mišinio AC 11 VS dol. standis yra 30,0 % didesnis nei asfalto mišinio AC 11 VS gr.

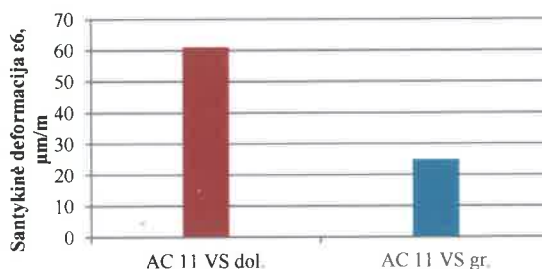


3 pav. Asfalto mišinių AC 11 VS dol. ir AC 11 VS gr. apskaičiuoti standumo modulio rezultatai

Asfalto mišinio AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis atskirų bandinių standis kinta nuo 10303 MPa iki 13684 MPa, su granito mineralinėmis medžiagomis – nuo 6827 MPa iki 10102 MPa.

Nustatant asfalto mišinio atsparumą nuovargiui bandiniai apkraunami cikline apkrova. Dėl jos, bandinyje atsiranda deformacijos. Bandymas tęsiamas iki bandinio suirimo. Kuo didesnė bandinio santykinė deformacija, tuo jis yra atsparesnis nuovargiui.

Analizuojant asfalto mišinių AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis ir su granito mineralinėmis medžiagomis nuovargio bandymo rezultatus (4 pav.) nustatyta, kad asfalto mišinio AC 11 VS dol. santykinė deformacija ϵ_6 yra 59,0 % didesnė nei asfalto mišinio AC 11 VS gr.



4 pav. Asfalto mišinių AC 11 VS dol. ir AC 11 VS gr. apskaičiuoti nuovargio rezultatai

Santykinė deformacija ϵ_6 parodo, kokie įlinkiai gali susidaryti asfalto bandinyje po 10^6 ciklų (imituojančių transporto priemonių pravažiavimų ciklus). 4 paveiksle matyti, kad bandiniuose, pagamintuose iš asfalto mišinio AC 11 VS dol. gali susidaryti beveik dvigubai didesni įlinkiai, nei bandiniuose, pagamintuose iš asfalto mišinio AC 11 VS gr.

Rezultatų analizė

Remiantis gautais rezultatais galima teigti, kad asfalto mišiniai AC 11 VS dol. gali būti naudojami asfalto viršutinio sluoksnio įrengimui.

Asfalto mišinių AC 11 VS su aukštos klasės dolomito ir granito mineralinėmis medžiagomis jautrumo vandeniui rodikliai panašūs, tačiau asfalto mišinio AC 11 VS su aukštos klasės dolomito mineralinėmis medžiagomis įmirkytų ir sausų bandinių skeliamasis stipris apie 12,0 % didesnis nei su granito mineralinėmis medžiagomis.

Atsižvelgiant į aukštą standumo modulį asfalto mišiniai su aukštos klasės dolomito mineralinėmis medžiagomis gali būti vertinami kaip didesnės laikomosios gebos asfalto mišiniai, kurie gali būti naudojami optimizuotose dangos konstrukcijose.

Atlikus tyrimą paaiškėjo, kad asfalto mišinių AC 11 VS, su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis, mechaninės savybės (standis ir skeliamasis stipris) geresnės nei su granito mineraline medžiaga.

Išvados

Tyrimais nustatyta, kad asfalto mišinio AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis šios mechaninės savybių vertės yra didesnės nei asfalto mišinio AC 11 VS su granito mineralinėmis medžiagomis:

- skeliamasis stipris – 10,4 %;
- atsparumas nuovargiui – 59 %;
- standis – 30,0 %.

Asfalto mišinių AC 11 VS su aukštos kokybės dolomito ir su granito mineralinėmis medžiagomis jautrumo vandeniui rodikliai panašūs, tačiau asfalto mišinio AC 11 VS su aukštos klasės dolomito mineralinėmis medžiagomis įmirkytų ir sausų bandinių skeliamasis stipris apie 12,0 % didesnis nei su granito mineralinėmis medžiagomis.

Atsižvelgiant į aukštą standumo modulį asfalto mišiniai su aukštos kokybės dolomito mineralinėmis medžiagomis gali būti vertinami kaip didesnės laikomosios gebos asfalto mišiniai, kurie gali būti naudojami optimizuotose dangos konstrukcijose.

Literatūra

- Ahlich, R. C. 1996. *Influence of Aggregate Properties on Performance of Heavy-Duty Hot-Mix Asphalt Pavements*. Transportation Research Record 1547: 7–14.
- Ahlich, R. C. 1996. *Influence of Aggregate Properties on Performance of Heavy-Duty Hot-Mix Asphalt Pavements*, Transportation Research Record 1547: 7–14.
- Arasan, S.; Yenera, E.; Hattatoglu, F.; Hınıslioglu, S.; Akbulut, S. 2011. *Correlation Between Shape of Aggregate and Mechanical Properties of Asphalt Concrete*. Road Materials and Pavement Design 12(2): 239–262.
- Automobilių kelių asfalto mišinių techninių reikalavimų aprašas. TRA ASFALTAS 08. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos, Vilnius, 2009. 61 p.
- Automobilių kelių bitumų ir polimerais modifikuotų bitumų techninių reikalavimų aprašas. TRA BITUMAS 08/14. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos, Vilnius, 2014. 18 p.

Automobilių kelių mineralinių medžiagų techninių reikalavimų aprašas. TRA MIN 07. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos, Vilnius, 2007. 27 p.

Brown, R. R.; Bassett, C. E. 1990. Effects of Maximum Aggregate Size on Rutting Potential and Other Properties of Asphalt – Aggregate Mixtures, *Transportation Research Record* 1259: 107–119.

Button, J. W.; Perdomo, D.; Lytton, R. L. 1990. *Influence of Aggregate on Rutting in Asphalt Concrete Pavements*. Transportation Research Record 1259: 141–152.

Chen, J. S.; Shiah, M. S.; Chen, H. J. 2001. Quantification of Coarse Aggregate Shape and Its Effect on Engineering Properties of Hot-Mix Asphalt Mixtures, *Journal of Testing and Evaluation* 29(6): 513–519.

Huber, G.A., J.C. Jones, P.E. Messersmith, and N.M. Jackson. *Contribution of Fine Aggregate Angularity and Particle Shape to Superpave Mixture Performance*. Transportation Research Board. Washington, DC, 1998; pp. 28–35.

Jayawickrama, P. W.; Prasanna, R.; Senadheera, R. P. 1996. *Survey of State Practices to Control Skid Resistance on Hot-Mix Asphalt Concrete Pavements*. Transportation Research Record 1536: 52–58.

Kandhal, P.S., and F. Parker, Jr. *Aggregate Tests Related to Asphalt Concrete Performance in Pavements*. Transportation Research Board. Washington, DC, 1998.

Kandhal, S. P.; Mallick, R. B. 2001. Effects of Mix Gradation on Rutting Potential of Dense-Graded Asphalt Mixtures, *Transportation Research Record* 1767: 146–151.

Klaus, D. 2003. *Asphalt Flow Improvers – A New Technology for Reducing Mixing Temperature of Asphalt Concrete Mixes with High-Resistance Against Permanent Deformation*. Proceedings of the 22nd PIARC World Road Congress. 7 p.

LST EN 12697-12:2008 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 12 dalis. Bituminių bandinių jautrumo vandeniui nustatymas“.

LST EN 12697-22+A1:2007 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 22 dalis. Rato riedėjimo vėžė“.

LST EN 12697-23:2003 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 23 dalis. Bituminių bandinių skeliamosios stiprio nustatymas“.

LST EN 12697-24:2012 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 24 dalis. Atsparumas nuovargiui“.

LST EN 12697-26:2012 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 26 dalis. Standis“.

LST EN 12697-33+A1:2007 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 33 dalis. Bandinio paruošimas voliniu tankintuvu“.

LST EN 12697-35+A1:2007 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 35 dalis. Maišymas laboratorijoje“.

LST EN 12697-8:2003 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 8 dalis. Bituminių bandinių tuštymumo rodiklių nustatymas“.

LST EN 933-4:2012 „Užpildų geometrinių savybių nustatymo metodai. 4 dalis. Dalelių formos nustatymas. Formos rodiklis“.

Marks, V. J.; Monroe, R. W.; Adam, J. F. 2001. Relating Creep Testing to Rutting of Asphalt Concrete Mixes, *For presentation at the Transportation Research Board 7-th Annual Meeting January 13-17*. Washington, D.C.

- McGennis, R. B.; Anderson, R. M.; Kennedy, T. W.; Solaimanian, M. 1994. *Background of Superpave Asphalt Mixture Design and Analysis. Report SA-95-003*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.
- Prowell, D. B., Zhang, J., Brown, E. R. 2005. *Aggregate Properties and the Performance of Superpave - Designed Hot Mix Asphalt*. Transportation Research Board. Washington, D.C. 101 p.
- Siswosoebrotho, B. I.; Ginting, K.; Soedirdjo, T. L. 2005. Workability and Resilient Modulus of Asphalt Concrete Mixtures Containing Flaky Aggregate Shape, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 6: 1302-1312.
- Sousa, J. B.; Craus, J.; Monismith, C. L. 1991. Summary Report on Permanent Deformation in Asphalt Concrete. Strategic Highways Research Program IR-91-104.