



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

KELIŲ KATEDRA

Ovidijus Šernas

**GRANITO MILTELIŲ PANAUDOJIMO ASFALTO MIŠINIŲ GAMYBAI
TYRIMAS, ANALIZĖ IR VERTINIMAS**

**RESEARCH, ANALYSIS AND EVALUATION OF GRANITE DUST USING
IN ASPHAL MIX PRODUCTING**

BAIGIAMASIS MAGISTRO DARBAS

Civilinė inžinerija, valstybinis kodas 621H20002

Keliai

Statybos inžinerija (02 T)

Vilnius, 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
KELIŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Alfredas Laurinavičius

(Vardas, pavardė)

(Data)

Ovidijus Šernas

**GRANITO MILTELIŲ PANAUDOJIMO ASFALTO MIŠINIŲ GAMYBAI
TYRIMAS, ANALIZĖ IR VERTINIMAS**

**RESEARCH, ANALYSIS AND EVALUATION OF GRANITE DUST USING
IN ASPHAL MIX PRODUCTING**

Baigiamasis magistro darbas
Civilinė inžinerija, valstybinis kodas 621H20002

Keliai

Statybos inžinerija (02 T)

Vadovas doc. dr. Audrius Vaitkus
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas _____
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas lektorius Regina Žukienė
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2012

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų
sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo
organizavimo tvarkos aprašo 2010–2011 m. m.
6 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Ovidijus Šernas, 20066554

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos

(Fakultetas)

Keliai

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2012 m. _____ gegužės 25 _____ d.
(Data)

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas (projektas) tema „Granitmilčių panaudojimo
asfalto mišinių gamybai tyrimas“

patvirtintas 20 10 m. _____ lapkričio 3 _____ d. dekanų potvarkiu Nr. 390a _____, yra
savarankiškai parašytas. Šiame darbe (projekte) pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar
netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą (projektą), mane konsultavo
mokslininkai ir specialistai: _____

Mano darbo (projekto) vadovas doc. dr. Audrius Vaitkus

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

(Parašas)

(Vardas ir pavardė)

Užduotis

Anotacija

Mineraliniai milteliai yra svarbiausias struktūrą formuojantis asfalto mišinio komponentas, turintis didžiausią paviršiaus plotą – jo plotas sudaro iki 90 % – 95 % visų į asfalto mišinio sudėtį įeinančių mineralinių medžiagų suminio paviršiaus ploto. Šiame darbe apžvelgiamos dangos konstrukcijos, sluoksniai, naudojamos medžiagos, asfalto mišinių sudėtis ir komponentų įtaka asfalto mišinių savybėms, pateikiami Vilniaus Gedimino technikos universiteto Kelių tyrimo instituto Automobilių kelių mokslo laboratorijoje 2011 metais atlikto eksperimentinio tyrimo rezultatai. Tyrimai atlikti bandant sumaišytus asfalto mišinius AC 11 VS ir AC 16 AS su granito milteliais ir su aktyvintaisiais klinčių mineraliniais milteliais. Tyrimu nustatyta, kad asfalto mišinių su granito mineraliniais milteliais mechaninės savybės yra prastesnės už asfalto mišinių su aktyvintaisiais klinčių mineraliniais milteliais, tačiau atlikus asfalto mišinių fizinių savybių tyrimus, nustatyta, kad asfalto mišinių su aktyvintaisiais klinčių mineraliniais milteliais fizinės savybės neprilygsta asfalto mišinių su granito mineraliniais milteliais fizinėms savybėms.

Išvados ir rekomendacijos pateiktos darbo pabaigoje.

Reikšminiai žodžiai: granito milteliai, mineraliniai milteliai, aktyvintieji mineraliniai milteliai, asfalto mišinys, dangos konstrukcija, Maršalo bandymas.

Annotation

Mineral filler is the most important structure formation component of asphalt mixture with the largest surface area – the area of up to 90% – 95% of the asphalt mixture constituent minerals of the total surface area. This paper reviews the pavement construction, pavement construction layers, using materials, asphalt mix composition and influence of asphalt mix composition for asphalt mixes properties, foreign experience in granite dust using, produces experimental research, accomplished in Vilnius Gediminas Technical University Road Research Institute Road Research laboratory in 2011 summer. Research was accomplished with asphalt mixtures AC 11 VS and AC 16 AS with granite dust and activated mineral fines, blended in Road Research laboratory. Research have shown that asphalt mixtures with granite dust mechanical properties are inferior for asphalt mixtures with activated mineral fines, but physical properties of asphalt mix with granite dust is better than asphalt mix with activated mineral fines.

The conclusions and recommendations are presented at the end of the research paper.

Keywords: Granite dust, mineral dust, activated mineral fines, asphalt mix, pavement structure, Marshall test.

Turinys

Užduotis.....	5
Anotacija.....	6
Annotation	7
Turinys.....	8
Lentelių sąrašas.....	9
Paveikslų sąrašas	10
Įvadas.....	11
1. Automobilių kelių dangos konstrukcijos sluoksniai ir jų paskirtis	12
1.1. Automobilių kelių dangų rūšys	12
1.2. Automobilių kelių dangų konstrukcijų rūšys, klasifikacija	14
1.3. Automobilių kelių dangų konstrukciniai sluoksniai, naudojamos medžiagos	19
1.4. Darbo tikslas ir uždaviniai	31
2. Asfalto mišinių sudėtis ir jos komponentų įtaka savybėms.....	33
2.1. Asfalto mišinių sudėtis ir struktūra.....	33
2.2. Asfalto mišinio sudėties komponentų įtaka asfalto mišinio savybėms	34
2.3. Granito mineralinių miltelių kaip šalutinio gamybos produkto panaudojimo užsienio šalyse apžvalga	38
2.4. Pagrindiniai reikalavimai mineraliniams milteliams	40
2.5. Antrojo skyriaus išvados	43
3. Granito mineralinių miltelių tinkamumo asfalto mišinių gamybai tyrimas	44
3.1. Tyrimo objektas	44
3.2. Tyrimo metodai	44
3.3. Granito mineralinių miltelių laboratorinio tyrimo rezultatų analizė	56
3.3. Asfalto mišinių su granito bei aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais laboratorinių tyrimų rezultatų analizė	60
3.5. Trečiojo skyriaus išvados	68
Išvados ir rekomendacijos	70
Literatūros sąrašas	72
Publikacijos	75

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Projektinės apkrovos ir joms priskirtos dangų konstrukcijų klasės	14
3.1 lentelė. Granulimetrinės sudėties nustatymo rezultatai	57
3.7 lentelė. Mineralinių medžiagų mišinio frakcinės sudėties faktinių ir projektinių reikšmių palyginimas.....	60
3.8 lentelė. Mineralinių medžiagų mišinio frakcinės sudėties faktinių ir projektinių reikšmių palyginimas.....	62
3.9 lentelė. Asfaltbetonių AC 11 VS ir AC 16 AS su granito bei aktyvintais klinčių milteliais faktinio ir projektinio bitumo kiekio palyginimas.....	64
3.10 lentelė. Asfaltbetonio AC 11 VS su granito ir aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais fizinių mechaninių savybių nustatymo rezultatai.....	64
3.12 lentelė. Asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais ir AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais skeliamą stiprį nustatymo rezultatai	66
3.13 lentelė. Asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais ir AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais skeliamą stiprį nustatymo rezultatai	66

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Tipinė asfalto dangos konstrukcija (SV kelio dangos konstrukcijos klasė)	15
1.2 pav. Hidrauliniais rišikliais surišto pagrindo sluoksnis ant apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio arba šalčiui nejautrių medžiagų sluoksnio (SV kelio dangos konstrukcijos klasė).....	16
1.3 pav. Žvyro danga ant apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio (V-VI kelio dangos konstrukcijos klasės)	17
1.4 pav. Skaldos pagrindo sluoksnis ant apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio (III dangos konstrukcijos klasė)	18
1.5 pav. Tipinės kelio konstrukcijos schema. (Palšaitis ir Vidugiris 1999).	19
1.6 pav. Kelio konstrukcijos už gyvenvietės ribų pavyzdinė struktūra – pusiau pylimas/pusiau iškasa. (IT SBR 07).	20
1.7 pav. Kelio konstrukcijos gyvenvietėje pavyzdinė struktūra (IT SBR 07).....	20
2.1 pav. Asfaltbetonio sudėtis	33
3.1 pav. Granuliometrinės sudėties nustatymo nusodinant bandinys.....	47
3.2 pav. Cilindras su suspensija ir areometru	48
3.3 pav. Mechaninė asfalto maišyklė.....	51
3.4 pav. Piknometrai naudojami asfalto mišinio didžiausiam tankiui nustatyti	52
3.5 pav. Maršalo bandinių gamybai naudojamos formos.....	52
3.6 pav. Maršalo bandinių plūktuvas	
3.7 pav. Maršalo bandiniai	53
3.8 pav. Maršalo bandinių presas	53
3.9 pav. Automatinis ekstraktorius	54
3.10 pav. Užpildų granuliometrinei sudėčiai nustatinėti naudojami sietai.....	54
3.11 pav. Granuliometrinės sudėties nustatymo grafikas	57
3.12 pav. Dalelių tankio nustatymo grafikas (Raudona linija žymi vidurkį)	58
3.13 pav. Molio kiekio nustatymo rezultatai (Raudona linija žymi vidurkį)	59
3.14 pav. Asfaltbetonio AC 11 VS su granitiniais milteliais granuliometrinė kreivė	61
3.15 pav. Asfaltbetonio AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais granuliometrinė kreivė	61
3.16 pav. Asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais granuliometrinė kreivė.....	63
3.17 pav. Asfaltbetonio AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais granuliometrinė kreivė	63
3.18 pav. Asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais ir AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais Rato riedėjimo vėžės bandymo rezultatų vidurkiai	67
3.19 pav. Asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais ir AC 16 AS su aktyvintais mineraliniais milteliais Rato riedėjimo vėžės bandymo rezultatai	68

Ivadas

Mineralinės medžiagos naudojamos visuose kelio dangos konstrukciją sudarančiuose sluoksniuose bei žemės sankasoje. Iš visų Lietuvoje randamų nerūdinių uolienų keliams tiesti, taisyti ir prižiūrėti, dažniausiai yra naudojamas smėlis, žvyras ir dolomitas, iš kurio gaminama skalda (Bulevičius *et al.* 2011; Skrinkas *et al.* 2010). Lietuvoje rasta ir granito, tačiau jis neišgaunamas. Tai geros kokybės skaldos žaliava, kurios prognoziniai ištekliai sudaro apie 950 mln.m³, tačiau dėl slūgsojimo gylio (200 – 300 m), vietomis padidėjusio radioaktyvumo bei Dzūkijos nacionalinio parko kaimynystės šios žaliavos panaudojimo galimybės yra abejotinos. Kadangi granitas yra naudojamas kelio paviršiaus apdorojimui bei viršutinio asfaltbetonio sluoksnio įrengimui, šią medžiagą tenka pirkti iš tokių užsienio šalių kaip Ukraina, Baltarusija, Švedija, Lenkija, Norvegija, Rusija, Suomija ir kt. (Bulevičius *et al.* 2011; Skrinkas *et al.* 2010). Ukraina yra pagrindinis tiekėjas. Į Lietuvą granitinė skalda importuojama siauromis stambiomis frakcijomis – 20/40 mm, 40/70 mm. Vietinės gamyklos skaldo ir sijoja į smulkesnes plačias ir siauras frakcijas. Gaminant skaldą, ypač plautą 0/2 frakcijos granitinę skaldą, lieka didžiuliai kiekiai šlapios konsistencijos atliekos – granito miltelių.

Pastaruoju metu, brangstant medžiagoms, ieškoma būdų kaip jas pakeisti pigesnėmis, tačiau panašias fizines mechanines savybes turinčiomis medžiagomis. Taigi iškyla klausimas kaip pasikeistų asfalto mišinio fizinės ir mechaninės savybės, jei vietoje dabar naudojamų aktyvintų mineralinių miltelių būtų naudojami granito mineraliniai milteliai.

Šiame darbe analizuojamos granite mineralinių miltelių panaudojimo asfalto mišinių gamybai galimybės. Šiuo tikslu Vilniaus Gedimino technikos universiteto Kelių tyrimo instituto Automobilių kelių mokslo laboratorijoje 2011 metų vasarą atlikti asfalto mišinių su granito mineraliniais milteliais ir su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais fizinių mechaninių savybių nustatymo laboratoriniai tyrimai. Tyrimai atlikti bandant laboratorijoje sumaišytus asfalto mišinius AC 11 VS ir AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais ir su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais. Tyrimais nustatyta, kad asfalto mišinių su granito mineraliniais milteliais mechaninės savybės yra prastesnės už asfalto mišinių su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais, tačiau atlikus asfalto mišinių fizinių savybių tyrimus, nustatyta, kad asfalto mišinių su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais fizinės savybės neprilygsta asfalto mišinių su granito mineraliniais milteliais fizinėms savybėms.

1. Automobilių kelių dangos konstrukcijos sluoksniai ir jų paskirtis

1.1. Automobilių kelių dangų rūšys

Danga vadinama sustiprinta kelio važiuojamoji dalis, įrengta ant žemės sankasos ir vieno ar kelių įvairaus atsparumo dangos pagrindo sluoksnių. Palšaitis ir Vidugiris teigia, kad automobilių kelių dangos turi būti (Palšaitis, Vidugiris 1999):

- a) stiprios, (jų mechaninis stiprumas turi atitikti eismo intensyvumą ir sudėtį);
- b) lygios, kad būtų patogų ir saugų važiuoti dideliais greičiais;
- c) šiurkščios, kad su jomis gerai sukibtų automobilio ratų padangos;
- d) ekonomiškos, (dangų kaina ir išlaidos kelio eksploatacijai ir transportui turi būti kiek galima mažesnės);
- e) atitikti sanitarijos ir higienos reikalavimus (judėjimas be triukšmo, nedulkėjimas);
- f) mažai dilios, veikiant važiuojančių automobilių ratams;
- g) atsparios atmosferiniams veiksniams;
- h) estetiškos.

Visi šie rodikliai priklauso nuo pasirinktos dangos tipo bei jos konstrukcijos, eismo intensyvumo ir greičio, kelio reikšmės bei kitų ypatybių. Svarbiausi iš išvardytų dangų rodiklių yra stiprumas ir lygumas. Jeigu danga nepakankamai stipri, joje susidaro provėžos ir pralaužos, padidėja pasipriešinimas riedėjimui. Važiuojant nelygia danga, nuo smūgių genda ne tik automobiliai, bet ir danga, nuo to taip pat kenčia keleiviai ir pervežami kroviniai. Taigi danga turi būti pakankamai stipri, kad joje neatsirastų nei provėžų, nei kitų pažaidų (Palšaitis, Vidugiris 1999).

Palšaitis (1999) dangas pagal bendrą konstrukcijos stiprumą skirsto į tipus: patobulintos ir pereinamojo tipo dangos. Patobulintos dangos gali būti dvejopos: kapitalinio tipo ir lengvesnio tipo.

Kapitalinio tipo yra cementbetonio ir asfaltbetonio dangos, mozaikos ir tašyto akmens grindiniai. Tokios dangos yra labai stiprios, nes joms įrengti naudojamos geros kokybės akmens bei mineralinės rišančiosios medžiagos. Jos ilgai laikosi, jų eksploatacijos išlaidos yra nedidelės, bet įrengimas atsieina labai brangiai. Kapitalinio tipo dangos gali būti įrengiamos iš karto arba stadijomis.

Lengvesnio tipo dangos yra skaldos, žvyro ir tankių gruntų mišinių dangos, sustiprintos organinėmis arba mineralinėmis rišančiosiomis medžiagomis. Jos atlaiko mažiau intensyvių automobilių eismą, negu kapitalinio tipo dangos, ir automobiliai jomis gali patogiai važinėti ištisus metus. Jeigu šios dangos tvarkingai prižiūrimos ir remontuojamos, tai jos gali būti ilgą laiką naudojamos transportui.

Pereinamojo tipo dangos. Šios dangos gali būti skaldos, žvyro, stabilizuotų gruntų, grunto - skaldos, lauko ir skaldyto akmens. Šios dangos skirtos nedidelio intensyvumo automobilių eismui, esant vidutiniam greičiui. Pereinamojo tipo dangos dažniausiai įrengiamos be rišančiųjų medžiagų (išskyrus stabilizuotų gruntų dangas). Jos neatsparios dilimui, neatitinka sanitarinių – higieninių reikalavimų. Kai kuriomis šio tipo dangomis (žvyro, grunto-skaldos) ne visais metų laikais patogų važiuoti. Po kurio laiko šios dangos gali būti sustiprintos (tada jos dažniausiai naudojamos kaip pagrindas tobulesnei dangai). Įrengti pereinamojo tipo dangas atsieina nebrangiai, bet užtat gana daug kainuoja remontas ir priežiūra. Žemesnio tipo dangomis normalus eismas gali vykti tik sausu metų laikotarpiu; be to, jos labai dulka. Tokios dangos daugiausia daromos vietinės reikšmės keliuose.

Pagal mechanines savybes dangos skirstomos į nestandžias ir standžias. Nestandžiomis vadinamos tokios dangos, kurių atsparumas lenkiant yra sąlyginai nedidelis. Dabar tiesiamų automobilių kelių dangos daugiausia būna nestandžios. Įrengiant dangas, gali būti naudojami šių medžiagų pagrindai:

- a) cementbetonio;
- b) skaldos;
- c) lauko ar skaldyto akmens grindiniai;
- d) žvyro;
- e) smėlio;
- f) pagerinto ar stabilizuoto grunto;
- g) pramonės atliekų.

Cementbetonio pagrindas paprastai naudojamas po patobulintomis kapitalinio tipo dangomis. Jis gali būti įrengiamas ant žvyro, smėlio, skaldos, stabilizuoto grunto sluoksnio ir kt. Skaldos pagrindas įrengiamas po patobulintomis dangomis, o skalda, sustiprinta organinėmis ar mineralinėmis rišančiomis medžiagomis, naudojama tik kaip pagrindas kapitalinio tipo dangoms. Skaldos pagrindas dažniausiai įrengiamas ant smėlio arba žvyro sluoksnio (apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio).

Žvyro pagrindas įrengiamas po patobulintomis ir pereinamojo tipo dangomis. Kaip ir skalda, žvyras gali būti sustiprintas rišančiomis medžiagomis. Žvyro pagrindas gali būti įrengiamas tiesiog ant žemės sankasos, jeigu jos gruntas tam tinkamas. Kadangi žvyras yra gana brangi medžiaga pagrindui, tai apatinę šio pagrindo dalį rekomenduojama daryti iš smėlio, bet sluoksnis turi būti atitinkamai storesnis. Smėlis daugiausia naudojamas papildomam pagrindo sluoksniui. Pagerintų ir stabilizuotų gruntų pagrindas daugiausia daromas tik sausose vietovėse patobulintoms ir pereinamojo tipo dangoms. Iš pramonės atliekų (šlako, plytų laužo ir kt.) dangų pagrindai gali būti

įrengiami tuomet, kai jų yra pakankamai netoli tiesiamo kelio. Tokie pagrindai dažniausiai daromi pereinamojo tipo dangoms.

1.2. Automobilių kelių dangų konstrukcijų rūšys, klasifikacija

Lietuvoje dangos konstrukcijos ir dangos tipai yra parenkami pagal Automobilių kelių standartizuotas dangų konstrukcijų projektavimo taisykles KPT SDK 07. Pagal KPT SDK 07 dangos konstrukcijos skirstomos į septynias dangos konstrukcijos klases: SV, I, II, III, IV, V, VI.

Dangos konstrukcijos klasė parenkama pagal projektinę apkrovą A (ekvivalentinės 10 t svorio ašies apkrovų skaičiaus suma), kuri nustatoma didžiausio eismo intensyvumo važiuojamosios dalies eismo juostai 20 metų projektiniam naudojimui laikotarpiui, atsižvelgiant į:

- ašių skaičių;
- apkrovų koeficientą;
- važiuojamosios dalies juostų skaičių
- važiuojamosios dalies juostos plotį;
- išilginį nuolydį;
- eismo augimą.

1.1 lentelė. Projektinės apkrovos ir joms priskirtos dangų konstrukcijų klasės

Eil. Nr.	Projektinė apkrova A (ekvivalentinės 10 t svorio ašies apkrovų skaičius), mln.	Dangos konstrukcijos klasė
1.	daugiau kaip 32	SV
2.	nuo 10 iki 32	I
3.	nuo 3 iki 10	II
4.	nuo 0,8 iki 3	III
5.	nuo 0,3 iki 0,8	IV
6.	nuo 0,1 iki 0,3	V
7.	iki 0,1	VI

Standartizuotos šiuolaikinės dangų konstrukcijos gali būti su asfalto, žvyro, betono, trinkelų dangomis.

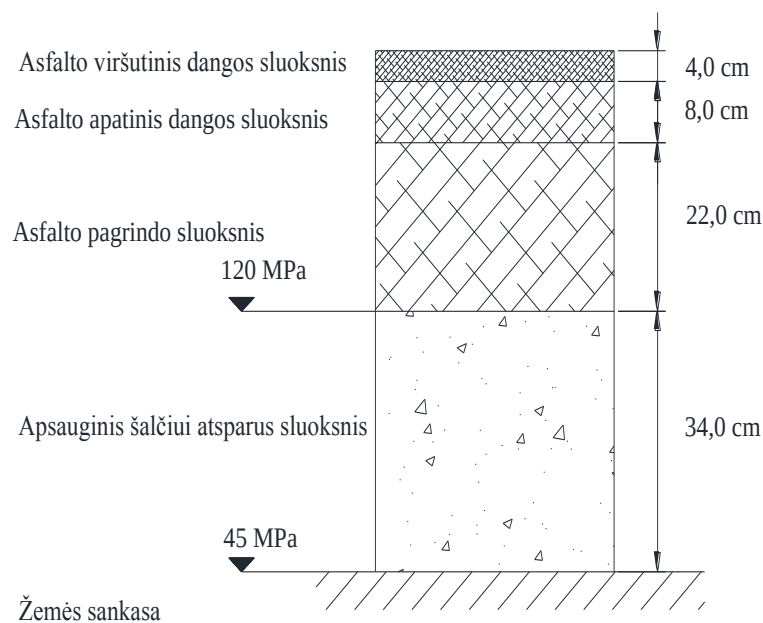
Asfalto dangos konstrukcijos

Asfalto dangos konstrukcijos gali būti tokios (KPT SDK 07):

- 1) asfalto pagrindo sluoksnis ant apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio;
- 2) asfalto pagrindo sluoksnis ir hidrauliniais rišikliais surišto pagrindo sluoksnis ant apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio arba ant šalčiui nejautrių medžiagų sluoksnio;
- 3) asfalto pagrindo sluoksnis ir skaldos pagrindo sluoksnis ant apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio;
- 4) asfalto pagrindo sluoksnis ir žvyro pagrindo sluoksnis ant apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio;

- 5) asfalto pagrindo sluoksnis ir skaldos arba žvyro pagrindo sluoksnis ant šalčiui nejautrių medžiagų sluoksnio.

Asfalto dangų konstrukcijos parenkamos pagal dangos konstrukcijos klasę. Visose dangų konstrukcijose žemės sankasos deformacijos modulis turi būti ne mažesnis kaip 45 MPa, apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio deformacijos modulis turi būti 80 – 120 MPa, skaldos ar žvyro pagrindo sluoksnio deformacijos modulis turi būti 120 – 150 MPa, stiprumas priklauso nuo dangos konstrukcijos klasės. Tipinės asfalto dangų konstrukcijos yra pateiktos Automobilių kelių standartizuotų dangų konstrukcijų projektavimo taisyklėse KPT SDK 07. Viena iš asfalto dangos konstrukcijų, asfalto pagrindo sluoksnis ant šalčiui atsparaus sluoksnio, pateikta 1.1 pav.



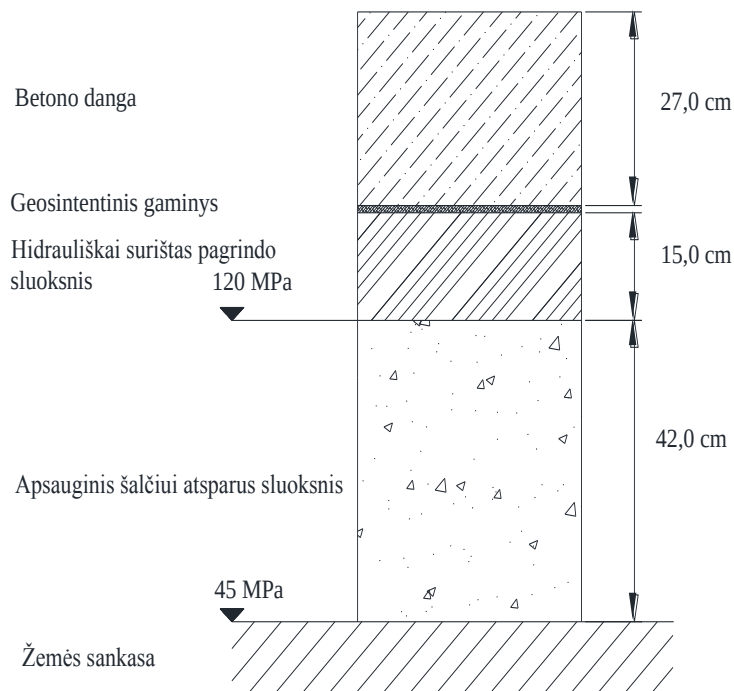
1.1 pav. Tipinė asfalto dangos konstrukcija (SV kelio dangos konstrukcijos klasė)

Betono dangų konstrukcijos

Betono dangos konstrukcijos gali būti tokios:

- 1) hidrauliniiais rišikliais surišto pagrindo sluoksnis ant apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio arba šalčiui nejautrių medžiagų sluoksnio;
- 2) asfalto pagrindo sluoksnis ant apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio;
- 3) skaldos pagrindo sluoksnis ant šalčiui nejautrių medžiagų sluoksnio;
- 4) apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis.

Žemės sankasos deformacijos modulis turi būti ne mažesnis kaip 45 MPa, apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio deformacijos modulis atsižvelgiant į dangos konstrukcijos klasę turi būti 100 – 120 MPa, skaldos pagrindo deformacijos modulis – 150 MPa. Viena iš betono dangų konstrukcijų pavaizduota 1.2 pav.



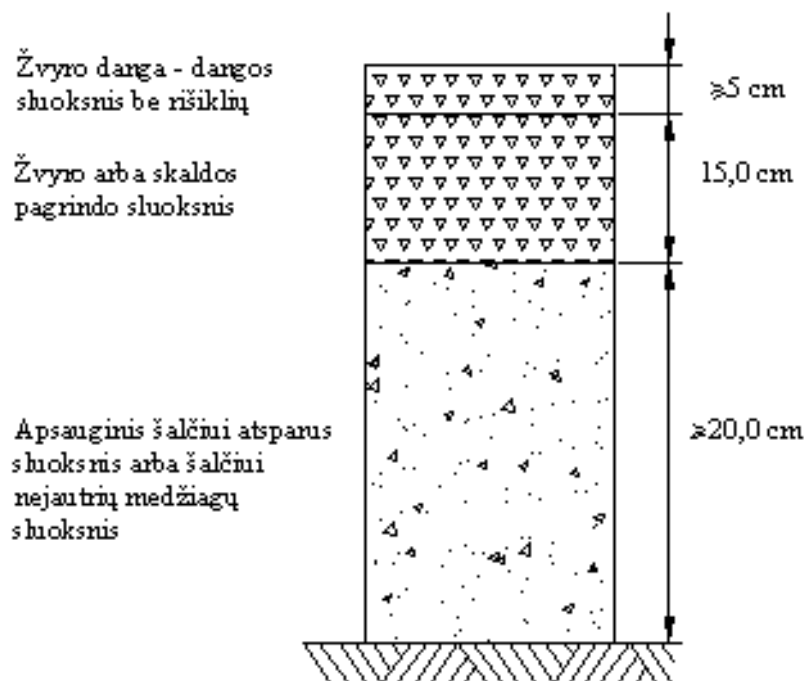
1.2 pav. Hidrauliniiais rišikliais surišto pagrindo sluoksnis ant apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio arba šalčiui nejautrių medžiagų sluoksnio (SV kelio dangos konstrukcijos klasė)

Žvyro dangų konstrukcijos

Standartinės žvyro dangos rengiamos valstybinės reikšmės keliuose, V ir VI kelio dangos konstrukcijos klasėms. Žvyro dangos konstrukcija susideda iš :

- 1) žvyro dangos – dangos konstrukcijos sluoksnio be rišiklių;
- 2) žvyro arba skaldos pagrindo sluoksnio;
- 3) apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio arba šalčiui nejautrių medžiagų sluoksnio.

Žvyro dangos sluoksnis turi būti ne mažesnis kaip 5 cm, žvyro arba skaldos pagrindo sluoksnis 15 cm, apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis arba šalčiui nejautrių medžiagų sluoksnis turi būti ne mažesnis kaip 20 cm. Žvyro dangos konstrukcija pavaizduota 1.3 pav.



1.3 pav. Žvyro danga ant apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio (V-VI kelio dangos konstrukcijos klasės)

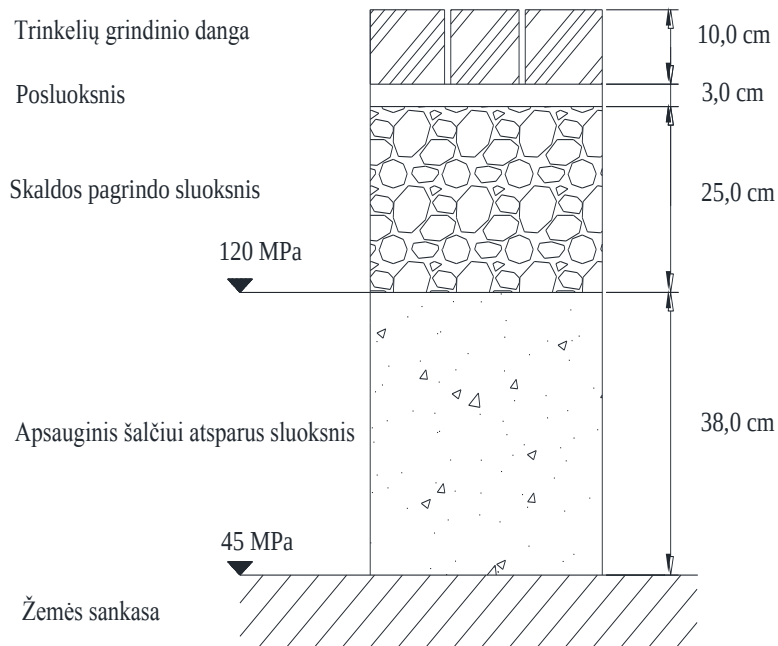
Trinkelinių dangų konstrukcijos

Trinkelinių dangų konstrukcijos naudojamos tik III, IV, V, ir VI klasės dangų konstrukcijoms.

Trinkelinių dangų konstrukcijos gali būti tokios:

- 1) skaldos pagrindo sluoksnis ant apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio;
- 2) žvyro pagrindo sluoksnis ant apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio;
- 3) skaldos arba žvyro pagrindo sluoksnis ant šalčiui nejautrių medžiagų;
- 4) asfalto pagrindo sluoksnis ant apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio;
- 5) asfalto pagrindo sluoksnis ir skaldos pagrindo sluoksnis ant apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio.

Viena iš trinkelinių dangos konstrukcijų pavaizduota 1.4 pav. (KPT SDK 07):



1.4 pav. Skaldos pagrindo sluoksnis ant apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio (III dangos konstrukcijos klasė)

Kietasis asfaltas „Confalt“

Vis didėjantys automobilių transporto srautai reikalauja padaryti tokį kelių tinklą, kuris atitiktų visus šiuolaikiniams keliams keliamus techninius, ekonominius ir ekologinius reikalavimus. Tam didelę reikšmę turi kelio dangos konstrukcija. Viena iš rečiau naudojamų kelio dangos konstrukcijų yra sudaryta iš kietojo asfalto „Confalt“ (Bakanovas 2005).

Kietasis asfaltas „Confalt“ sudarytas iš akytojo asfalto ir pusiau skysto, įsigeriančio plastiko bei cemento skiedinio „Confalt“.

Kietojo asfalto „Confalt“ savybės:

- 1) puikus tvirtumo ir slankumo derinys;
- 2) besiūlė danga vidaus ir išorės paviršiams;
- 3) prailgintas naudojimo laikas keliams ir lauko zonoms;
- 4) atsparumas temperatūrai nuo -50°C iki $+90^{\circ}\text{C}$;
- 5) puikiai tinka sunkių statinių krovinių zonoms;
- 6) atsparus ledėjimui / atodrekiui ir ledo tirpinimo druskai;
- 7) ypatingai tanki mikrostruktūra;
- 8) atsparus cheminėms medžiagoms;
- 9) labai atsparus susidėvimui;
- 10) ypatingai ilgaamžis;
- 11) nesudaro jokių nuodingų dulkių;
- 12) greitai liejamas ir kietėjantis.

Tačiau kol kas trūksta pakankamai tyrimų dėl šio asfalto panaudojimo ilgaamžiškumo ir racionalumo.

Lietuvoje naujai įrengiamų dangų konstrukcijų klasė ir tipas parenkami taip, kad atlaikytų transporto apkrovas per numatytą dangos naudojimo laikotarpį bei dangos struktūros pažaidas. Parenkant dangų konstrukcijos tipą iš kelių variantų reikia atsižvelgti į vietines sąlygas, techninį ir ekonominį pagrįstumą, dangų įrengimo patirtį bei aplinkos sąlygas: vietinių medžiagų panaudojimą, statybos etapus, antrinių mineralinių medžiagų panaudojimą, dangos naudojimo ypatumus ir dangos priežiūros būdus (KPT SDK 07).

1.3. Automobilių kelių dangų konstrukciniai sluoksniai, naudojamos medžiagos

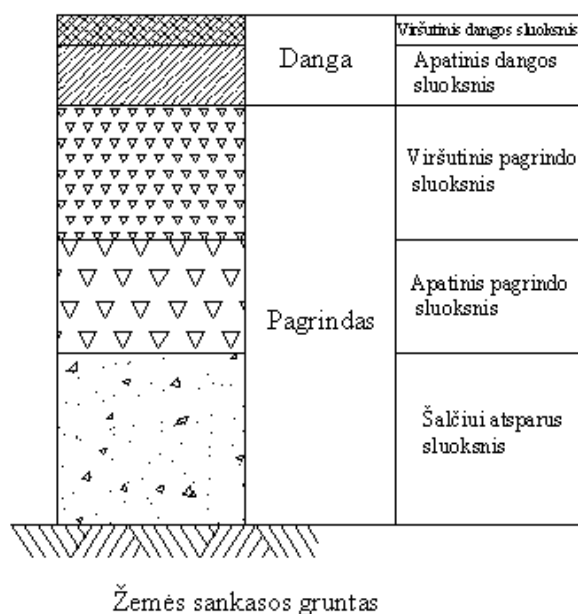
Kelio konstrukcija – tai statinys, kurį sudaro danga, pagrindas, papildomi sluoksniai, žemės sankasa. Kelio konstrukcija projektuojant naudojama kaip žemės sankasos ir dangos konstrukcijos visuma (Palšaitis 1995).

Kelio konstrukciją sudaro:

- 1) dangos konstrukcija;
- 2) žemės sankasa – grunto statinys, atliekantis dangos konstrukcijos pagrindo paskirtį ir įrengiamas iš atvežto (supilto) grunto ir (arba) iš neišjudinto (natūralaus) grunto (IT SBR 07).

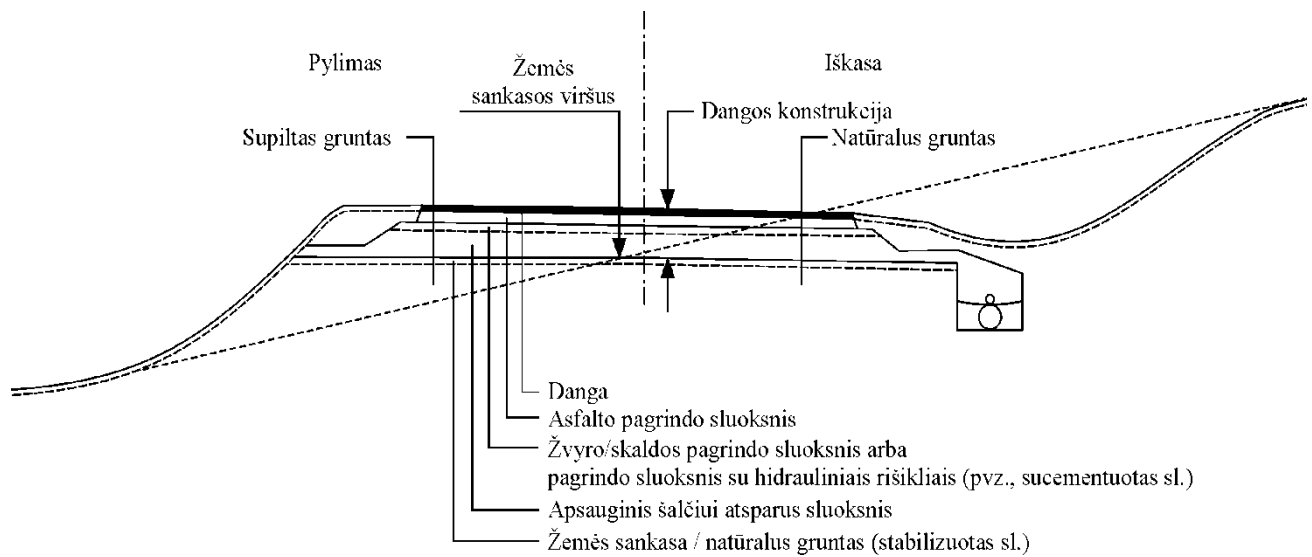
Kelio dangos konstrukciją sudaro šie sluoksniai, (1.5 pav.):

- 1) danga;
- 2) vienas ar keli pagrindo sluoksniai.

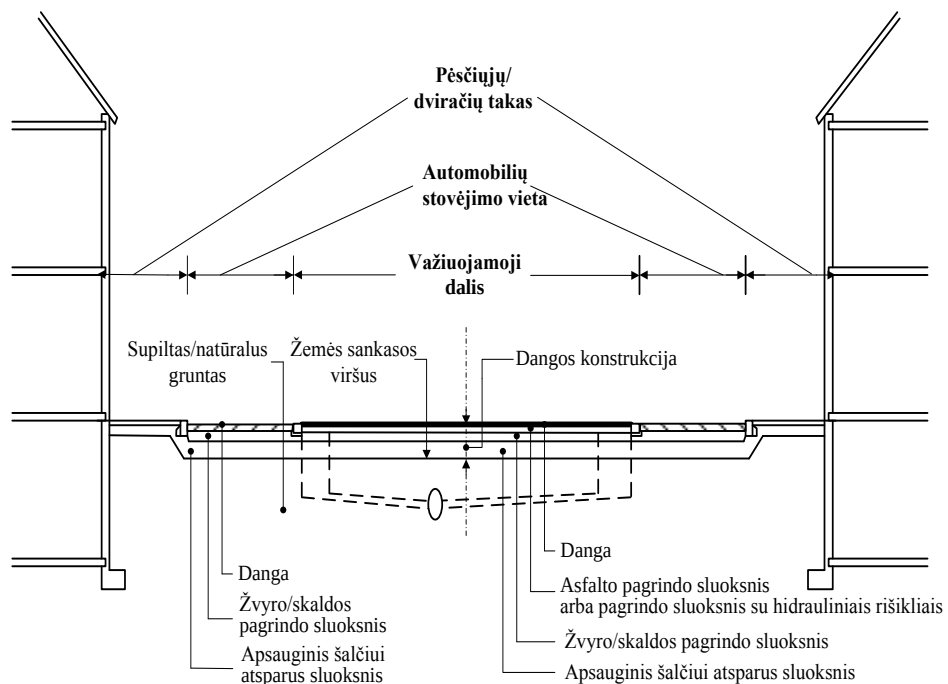


1.5 pav. Tipinės kelio konstrukcijos schema. (Palšaitis ir Vidugiris 1999).

Sluoksnių padėtys, ribos ir pavadinimai pateikti 1.6 ir 1.7 paveiksluose.



1.6 pav. Kelio konstrukcijos už gyvenvietės ribų pavyzdinė struktūra – pusiau pylimas/pusiau iškasa. (IT SBR 07).



1.7 pav. Kelio konstrukcijos gyvenvietėje pavyzdinė struktūra (IT SBR 07)

Viršutinis dangos sluoksnis arba danga, gali būti dviejų sluoksnių – viršutinio (dėvėjimosi) ir apatinio. Viršutinį sluoksnį tiesiogiai veikia atmosferos veiksniai. Šis sluoksnis kontaktuoja su automobilių ratais. Apatinį dangos sluoksnį daugiausia veikia vertikalios jėgos, kurios perduodamos iš viršutinio sluoksnio, todėl šis sluoksnis turi būti pakankamai atsparus šioms jėgoms. Kadangi

apatinio sluoksnio automobilių ratai tiesiogiai neveikia, tai jį galima daryti iš mažiau atsparių dilimui medžiagų.

Dangos pagrindas yra sluoksnis, kuris turi atlaikyti eismo ir viršutinių sluoksnių apkrovą ir ją paskirstyti didesniame plote. Kadangi pagrindo sluoksnį veikia tik gniuždymo įtempimai, tai šis sluoksnis daromas iš mažiau atsparių medžiagų, negu viršutiniai sluoksniai. Dangos pagrindo sluoksnis gali būti iš kelių sluoksnių, kurių atsparumas, einant gilyn, laipsniškai mažėja. Ant nerišlių medžiagų pagrindo sluoksnio gali būti įrengiamas asfalto pagrindo sluoksnis.

Jeigu viršutinis ir pagrindo sluoksniai yra iš vandeniui laidžių medžiagų, o žemės sankasa nuolat ar periodiškai drėkinama ir įrengta iš dulkingų, priemolio bei molio gruntų, tai įrengiamas apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis. Šio sluoksnio paskirtis yra atlaikyti eismo ir viršutinių sluoksnių apkrovą ir perduoti ją į žemės sankasos gruntą. Be to, jis drenuoja dangos pagrindą ir išlygina žemės sankasos paviršių, o taip pat apsaugo kelių nuo iškylų.

Kelio tiesimui naudojami įvairūs gruntai ir akmens medžiagos. Žemės sankasos deformacijos modulis yra nedidelis palyginus su viršutiniais sluoksniais, todėl jai įrengti naudojami visi Lietuvos gruntai, esantys kelio tiesimo vietoje arba netoli jos: smėlis, žvyras, dolomitas ir kt. Dangos konstrukcijai naudojamos medžiagos turi būti stipresnės, atsparesnės dėvėjimuisi ir šalčiui. Viršutiniai pagrindo sluoksniai turi atlaikyti eismo ir dangos sluoksnio apkrovą ir ją paskirstyti didesniame plote. Kadangi pagrindo sluoksnius veikia tik gniuždymo įtempiai, tai jie gali būti įrengiami iš mažiau atsparių akmens medžiagų nei danga (Lietuvos Respublikos... 1994.).

Žemės sankasa

Žemės sankasa nėra dangos konstrukcijos sluoksnis, tačiau jos atsparumas turi būti pakankamas, kad atlaikytų eismo ir ant jos esančių sluoksnių apkrovą. Žemės sankasa turi būti stipri ir stabili, kad neleistinų deformacijų neatsirastų kelio dangoje. Sankasos gruntas turi būti tinkamai sutankintas, paviršius rūpestingai planuojamas, patikimai tvarkomas vandens nuotėkis.

Žemės sankasa – tai nuolaidžiais šlaitais grunto statinys, ant kurio įrengiama kelio danga ir kelkraščiai. Žemės sankasa turi užtikrinti dangos stiprį ir lygumą pakankamai ilgą laikotarpį. Tai gali būti tik tada, kai žemės sankasa, veikiant transporto priemonių apkrovoms ir aplinkos veiksniams, išlaiko pradinę formą, matmenis ir padėtį.

Žemės sankasos forma ir matmenys įvairiuose kelio ruožuose priklauso ne tik nuo vietovės reljefo, kur nutiesiamas kelias, bet ir nuo geologinių, hidrologinių bei hidrogeologinių sąlygų, turinčių įtakos sankasai. Kelio žemės sankasoje nuolat keičiasi drėkinimo sąlygos ir temperatūra, todėl jos grunto atsparumas būna skirtingas įvairiais metų laikais ar net jų sezonais. Todėl ir žemės sankasos stipris turi būti pastovus, o ypač svarbu, kad žemės sankasa būtų stabili nepalankiausiu grunto būklei metu (Palšaitis ir Vidugiris 1999).

Žemės sankasos įrengimui naudojama: 1) gruntai, 2) RC statybinės medžiagos, 3) pramoninės gamybos gretutiniai produktai, 4) lengvosios medžiagos (pvz.: pemza, putplastis), 5) rišikliai, 6) drenavimo, filtravimo, hidroizoliavimo bei kitos medžiagos, reikalingos atskiriems darbams.

Žemės sankasai gali būti naudojami įvairūs gruntai, tačiau geriausiai tinka uolingų gruntų nuolaužos, žvyras, smėlis. Šie gruntai atsparūs vandens poveikiui, nejautrūs šalčiui, ir iš jų įrengta sankasa dažniausiai yra stabili. Žemės sankasai naudojami smėlio gruntai pasižymi geromis filtracinėmis savybėmis. Sausi dulkingieji ir molingieji smėliai yra ganėtinai rišlūs ir įmirkę užtikrina sankasos stabilumą. Moliai būna rišlūs ir mažai laidūs vandeniui, o įmirkę jie darosi plastiški ir takūs todėl žemės sankasą iš molio rekomenduojama daryti sausose vietovėse (Statybos taisyklės Automobilių kelių žemės sankasos... 2004).

Apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis

Apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis – pagrindo sluoksnis be rišiklių, kuris turi apsaugoti dangos konstrukciją nuo žalingo šalčio poveikio. Jo įrengimui naudojami šalčiui nejautrūs nesurištieji kelių mineralinių medžiagų mišiniai ir/arba gruntai (TRA SBR 07).

Kai kelio dangos konstrukcija yra įrengta ant F_1 jautrio šalčiui klasės gruntų, kurie slūgso virš F_2 ir F_3 klasės gruntų, tai apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio galima nerengti jei (IT SBR 07):

1) F_1 klasės gruntai taip pat atitinka ir apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio reikalavimus pagal Automobilių kelių mineralinių medžiagų techninių reikalavimų aprašą (TRA MIN 07) ir Automobilių kelių dangos konstrukcijos sluoksnių be rišiklių įrengimo taisyklės (IT SBR 07).

2) pagrindžiamas F_1 klasės gruntų sluoksnio storis, kuris reikalingas apsauginiam šalčiui atspariam sluoksniui ant F_2 ir F_3 klasės gruntų.

Atsparumas šalčiui turi būti pasiektas, pakeičiant gruntus, įrengiant šalčiui atsparų sluoksnį ar papildomą sluoksnį iš šalčiui nejautrių medžiagų. Šalčiui nejautrių medžiagų sluoksnis – tai sluoksnis ant žemės sankasos, papildantis pagrindo sluoksnio apatinę dalį, kad būtų sudaroma pakankamo storio šalčiui atspari dangos konstrukcija.

Nustatant mažiausią šalčiui atsparios dangos konstrukcijos storį, reikia atsižvelgti į: 1) šalčio poveikį, 2) kelio išilginį profilį, 3) dangos nuolydžius, 4) kelkraščių zoną, 5) dangos naudojimo trukmę.

Šalčiui atsparius sluoksnius turi sudaryti nejautrūs šalčiui gruntų arba gamtinių mineralinių medžiagų mišiniai, kurie sutankinti (esant Proktoro tankiui ρ_{pr}) būtų laidūs vandeniui.

Apsauginiam šalčiui atspariam sluoksniui įrengti gali būti vartojami šių grupių gruntai arba mineralinių medžiagų mišiniai (TRA SBR 07):

- 1) žvyras ŽB, ŽP ir ŽG (visų sanklodų žvyras) grupių bei jo ir smėlio mišiniai;
- 2) smėlis SB, SG ir SP (visų sanklodų smėlis) grupių bei jo ir žvyro mišiniai;
- 3) ŽD, ŽM, SD, SM (žvyras ir smėlis, kuriame mažai smulkmės) grupių gruntai, kai jie priskiriami F1 jautrio šalčiui klasei.

Gali būti naudojami šie nesurištieji mineralinių medžiagų mišiniai (TRA SBR 07):

0/2, 0/4, 0/8, 0/11, 0/16, 0/22, 0/32, 0/45, 0/56, 0/63.

Apsauginiam šalčiui atspariam sluoksniui iš smėlio reikia stengtis naudoti stambiagrūdį ir vidutinio stambumo smėlį, nes šiam sluoksniui naudojamo smėlio paskirtis yra ne tik perduoti slėgimą iš viršutinių sluoksnių į apatinius, bet ir nuleisti vandenį bei apsaugoti sankasą, kad į ją neprasiskverbtų šaltis. Smulkiagrūdį smėlį leidžiama naudoti tik sauso klimato rajonuose, kur geros hidrologinės sąlygos ir sankasos gruntas drėkinamas negausiai (Šiaudinis 2007).

Žvyras ŽD, ŽM, smėlis SD, SM ir jų mišiniai gali būti vartojami, jei įrodoma, kad statybos metu bus pasiekti reikiami pakloto sluoksnio tankiai, deformacijos moduliai, laidumas vandeniui ir atsparumas šalčiui (KTR 1.01:2008)

Apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis turi būti įrengiamas laikantis (IT SBR 07):

- 1) projektinių sluoksnio geometrinių parametrų;
- 2) medžiagų granuliometrinės sudėties (stambiausių grūdelių ir smulčiausių dalelių kiekio);
- 3) sutankinimo rodiklio D_{pr} reikalavimų;
- 4) deformacijos modulio E_{vd} reikalavimų.

Be to, apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis turi būti įrengtas taip, kad (IT SBR 07):

- laikomoji galia bei deformacijos savybės, kiek įmanoma, būtų tolygesnės. Todėl grunto ar gamtinių medžiagų mišinys turi būti taip pakraunamas ir klojamas, kad neišsiskirstytų atskiromis frakcijomis;
- gruntų ar gamtinių mineralinių medžiagų mišinys būtų optimalaus drėgnio W_{pr} , kad būtų sutankinimas kuo mažesnėmis sąnaudomis;
- jei apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio reikalaujamas storis pasiekiamas atskirais sluoksniais, tai kiekvieno sutankinto sluoksnio mažiausias storis, atsižvelgiant į mineraliniuose mišiniuose esančių stambiausių grūdelių dydį, turi būti ne mažesnis kaip:
 - 1) 12 cm, kai stambiausi grūdeliai – 32 mm;
 - 2) 15 cm, kai stambiausi grūdeliai – 45 mm;
 - 3) 18 cm, kai stambiausi grūdeliai – 56 mm;
 - 4) 20 cm, kai stambiausi grūdeliai – 63 mm.

Žvyro pagrindo sluoksnis

Žvyro pagrindo sluoksnis – kelio dangos konstrukcijos apatinis sluoksnis, kurio įrengimui naudojami nustatytos granulimetrinės sudėties nesurištieji neskaldytų mineralinių medžiagų, jei reikia, įmaišant ir skaldytų mineralinių medžiagų mišiniai (TRA SBR 07).

Žvyro pagrindo sluoksnis turi būti taip įrengiamas, kad jo laikomosios ir deformacinės savybės būtų kaip galima labiau vienodos. Nesurištasis mineralinių medžiagų mišinys turi būti taip iškraunamas ir paklojamas, kad neišsiskirstytų atskiromis frakcijomis (neįvyktų kenksminga segregacija). Tarpinis mišinio sandėliavimas kelio tiesimo zonoje nerekomenduojamas. Nesurištasis mineralinių medžiagų mišinys turi būti pakankamo drėgnio, parinkto remiantis tinkamumo bandymu, kad mišinį klojant ir tankinant būtų pasiektas reikalaujamas sluoksnio sutankinimo rodiklis D_{Pr} (IT SBR 07).

Žvyras ir jo mišiniai naudojami pagrindo ir dangos sluoksniams, todėl jis turi atitikti jam keliamus reikalavimus, nes priešingu atveju kelias bus nekokybiškas. Pagrindiniai reikalavimai žvyrai, kuris bus naudojamas dangų konstrukcijai įrengti tiesiant, taisant ir prižiūrint kelius yra: 1) atsparumas šalčiui, 2) atsparumas smūgiams ir stipris gniuždant, 3) tūrio pastovumas, 4) vidutinis tankis, 5) granulimetrinė sudėtis, 6) grūdelių forma, 7) užterštumas ir kt.

Lietuvos klimato sąlygomis labai svarbu, kad mineralinės medžiagos būtų atsparios šalčiui. Pakankamas atsparumas šalčiui nesuardytos struktūros bandinių yra toks, kai vandens sugerties laipsnis esant atmosferos slėgiui visose bandinio dalyse nedidesnis kaip 0,5 masės %.

Žvyrą sudaro įvairių formų grūdeliai. Geriausia grūdelio forma yra artima kubui, nes tokias daleles lengviau sutankinti, jos yra atsparesnės veikiančioms jėgoms. Dėl šių priežasčių ir yra normuojamas plokščiųjų ir pailgųjų grūdelių kiekis žvyre. Lietuvoje žvyras yra ledynų kilmės ir dauguma jo dalelių yra apvalios, jų paviršius nusišlifavęs, todėl labai svarbu, kad tokių dalelių kiekis neviršytų nustatytų normų. Pagal TRA MIN 07, plokščiųjų ir pailgųjų dalelių kiekis gali būti $\leq 50\%$.

Žvyrą sudaro įvairių formų grūdeliai. Geriausia grūdelio forma yra artima kubui, nes tokias daleles lengviau sutankinti, jos yra atsparesnės veikiančioms jėgoms. Dėl šių priežasčių ir yra normuojamas plokščiųjų ir pailgųjų grūdelių kiekis žvyre. Lietuvoje žvyras yra ledynų kilmės ir dauguma jo dalelių yra apvalios, jų paviršius nusišlifavęs, todėl labai svarbu, kad tokių dalelių kiekis neviršytų nustatytų normų. Plokščiųjų ir pailgųjų dalelių kiekis gali būti $\leq 50\%$ (Mineralinės automobilių kelių medžiagos... 1995).

Žvyro pagrindo sluoksnius sudaro žvyro ir smėlio mišiniai. Jeigu nustatytos granulimetrinės sudėties žvyro mišinių nėra galimybės paruošti, žvyro pagrindo sluoksnis gali būti įrengiamas atskiromis, tam tikro storio, sluoksnio dalimis, vartojant patikrintos granulimetrinės

sudėties nesijotą žvyrą ir tam tikrų frakcijų skaldą. Norint įvykdyti pagrindo deformacijos modulio E_{vid} reikalavimus, pridedama skaldytų mineralinių medžiagų iki 50% mišinio masės.

Žvyro pagrindo sluoksniams naudojami šie mineralinių medžiagų mišiniai: plačiųjų frakcijų žvyro ir smėlio mišiniai 0/32, 0/45 arba 0/56 (TRA SBR 07).

Žvyro pagrindo sluoksnis turi būti įrengiamas taip, kad:

- 1) laikomoji galia ir deformacinės savybės būtų vienodesnės;
- 2) būtų optimalaus drėgnio W_{pr} ir sutankinti būtų galima mažiausiomis sąnaudomis.

Žvyro pagrindus galima rengti keliais sluoksniais, atsižvelgiant į mažiausią klojamo sluoksnio storį, nuo kurio priklauso klojimo ir tankinimo mechanizmo panaudojimas. Kiekvieno sutankinto sluoksnio (-ių) mažiausias storis, atsižvelgiant į mineralinių medžiagų mišinyje esančių stambiausių grūdelių dydį turi būti ne mažesnis kaip (IT SBR 07):

- 1) 12 cm – esant 0/32 mišiniui;
- 2) 15 cm – esant 0/45 mišiniui;
- 3) 18 cm – esant 0/56 mišiniui.

Žvyro pagrindo sluoksnio sutankinimo rodiklis turi būti ne mažesnis kaip 103% (IT SBR 07)

Skaldos pagrindo sluoksnis

Skalda – tai viena pagrindinių vietinių kelių tiesimui, rekonstrukcijai ir priežiūrai naudojamų medžiagų, sudaryta iš įvairios formos apgludintų ir kampuotų ar tik kampuotų 32 - 63 mm grūdelių (Mineralinės automobilių kelių medžiagos... 1995)

Skaldos pagrindo sluoksnis – kelio dangos apatinis konstrukcijos sluoksnis iš natūralios ar dirbtinės skaldos, kartais sumaišytos su riškiais. Poros pleištaujamos smulkesne skalda, laistoma vandeniu ir tankinama (Palšaitis 1995).

Skaldos pagrindo sluoksniai gali būti rengiami iš skaldos, skaldelės ir smėlio, tik skaldelės ir smėlio mišinių, taip pat supilant sluoksnį iš nustatyto stambumo plačiosios frakcijos skaldos ir skirtos pleištavimui skaldelės, jei reikia, skaldelės ir smėlio mišinio.

Skaldelė - tai biri medžiaga, sudaryta iš įvairios formos apgludintų ir kampuotų ar tik kampuotų 2 - 32 mm grūdelių.

S rūšies skaldelė - tai pagerintos kokybės skaldelė, tam tikrais reikalavimais grūdelių dydžiui, likučiu ir išbiroms, grūdelių formai, atsparumui šalčiui ir tūrio pastovumui. Lietuvoje daugiausiai naudojama dolomitinė ir granitinė skalda.

Skaldos pagrindo sluoksnis turi būti taip įrengiamas, kad jo laikomosios ir deformacinės savybės būtų kaip galima labiau vienodos. Nesurištasis mineralinių medžiagų mišinys turi būti taip iškraunamas ir paklojamas, kad neišsiskirstytų atskiromis frakcijomis (neįvyktų kenksminga segregacija). Tarpinis mišinio sandėliavimas kelio tiesimo zonoje nerekomenduojamas. Nesurištasis

mineralinių medžiagų mišinys turi būti pakankamo drėgnio, parinkto remiantis tinkamumo bandymu, kad mišinį klojant ir tankinant būtų pasiektas reikalaujamas sluoksnio sutankinimo rodiklis D_{pr} . Tiesiant kelią (įrengiant sluoksnį) naujai, nesurištasis mineralinių medžiagų mišinys turi būti klojamas klotuvu. Esant mažiems plotams ir sudėtingam profiliui, taip pat dideliam kiekiui įrenginių (pvz., komunikacijų apžiūros šulinėlių), nesurištasis mineralinių medžiagų mišinys gali būti klojamas nenaudojant klotuvo (IT SBR 07).

Skaldai ir jos mišiniams yra keliami šie pagrindiniai reikalavimai: 1) atsparumas šalčiui, 2) atsparumas smūgiams ir stipris gniuždant, 3) tūrio pastovumas, 4) vidutinis tankis, 5) granulimetrinė sudėtis, 6) grūdelių forma, 7) skaldytų grūdelių kiekis, 8) užterštumas, 9) sukibimas su organiniais rišikliais (Mineralinės automobilių kelių medžiagos... 1995).

Kelio konstrukcijos sluoksniams naudojama skalda ir jos mišiniai turi būti optimalios granulimetrinės sudėties. Skalda bus stipriausia, tik esant tam tikram santykiui tarp stambiausios (skeleto), smulkiausios (užpildančios) ir molio bei dulkių (cementuojančios) dalies, kai kitos sąlygos (atsparumas dėvėjimuisi ir kt.) būna vienodos. Sluoksnių iš tokių medžiagų stiprumas pasiekiamas gerų grūdelių užsikylavimu vienas už kito ir trintimi tarp jų (IT SBR 07).

Skaldos pagrindo sluoksniams įrengti vartojami šie skaldos ir smėlio mišiniai, šios skaldos frakcijos:

- 1) rengiant iš mišinių:
 - a) plačiųjų frakcijų skaldelės ir smėlio mišiniai 0/32;
 - b) plačiųjų frakcijų skaldos, skaldelės ir smėlio mišiniai 0/45 ar 0/56;
- 2) rengiant pleištavimo būdu:
 - a) plačiųjų frakcijų skalda 32/56, 16/56, 16/63 ir kt.;
 - b) plačiųjų frakcijų skaldelė 5/11, 5/22, 11/32 ir kt.;
 - c) skaldelės ir smėlio mišiniai 0/11, 0/22 ir kt.

Skaldos pagrindus galima rengti keliais sluoksniais, atsižvelgiant į mažiausią klojamo sluoksnio storį, nuo kurio priklauso klojimo ir tankinimo mechanizmų panaudojimas.

Skaldos pagrindo sluoksnio sutankinimo rodiklis D_{pr} turi būti ne mažesnis kaip 103 %. Tačiau gyvenamose vietovėse, kur pagrindo sluoksnio įrengimui trukdo šuliniai arba kitos komunikacijos, techniniame projekte gali būti numatytas sutankinimo rodiklis $D_{pr} = 100 \%$ (TRA MIN 07).

Asfalto dangos

Asfalto danga – tai viršutinė kelio dangos konstrukcijos dalis, įrengiama ant pagrindo sluoksnio arba ant kito tinkamo apatinio sluoksnio. Danga rengiama iš vieno arba dviejų apatinių dangos sluoksnių ir virš jų esančio viršutinio dėvimojo dangos sluoksnio arba tik iš vieno dangos sluoksnio (vienasluoksnė danga) (TRA ASFALTAS 08).

Asfaltas, esantis dangoje, turi pasižymėti šiomis savybėmis: standus vasarą ir pakankamai tamprus žiemą, t.y. vasarą danga turi būti patikimai eksploatuojama iki $+60^{\circ}\text{C}$ temperatūroje ir žiemą iki -35°C . Kad bitumai priartėtų prie šių reikalavimų, jie modifikuojami įvairiais polimerais. Idealios asfaltbetonio dangos darbo sąlygos yra $0^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$ (Laurinavičius 2004).

Pagal TRA ASFALTAS 08 asfalto mišinių rūšys žymimos:

- 1) AC - visi asfaltbetoniai;
- 2) SMA - skaldos ir mastikos asfaltas;
- 3) MA - mastikos asfaltas;
- 4) PA - poringasis asfaltas.

Asfaltbetonis (AC) – asfalto mišinys, kuris turi tolygią mineralinių medžiagų mišinio granulimetrinę sudėtį (IT ASFALTAS 08).

Skaldos ir mastikos asfaltbetonis susideda iš netolygios granulimetrinės sudėties mineralinių medžiagų mišinio, kelių bitumo ir stabilizuojančių priedų, kuriems vartojamos organinės ir mineralinės pluoštinės medžiagos, miltelių bei granulių pavidalo polimerai. Labai didelis skaldelės kiekis ir padidintas bitumo kiekis, turintis stabilizuojančių priedų, sutankintoje būklėje gerai užpleištuotam mineraliniam karkasui suteikia didelį stiprumą. Iš skaldelės ir mastikos asfaltbetonio mišinio galima įrengti tvirtą, šiurkštų bei mažo liekamojo aktyumo viršutinį dėvimąjį dangos sluoksnį.

Mastikos asfaltas (MA) yra tanki masė iš stambiųjų ir smulkiųjų mineralinių medžiagų, mikroužpildo ir rišiklio – kelių bitumo. Siekiant sumažinti mišinio gamybos ir klojimo temperatūrą, turėtų būti naudojami pakeistos klampos rišikliai arba klampą keičiantys priedai. Mineralinių medžiagų mišinys turi labai mažą oro tuštumų kiekį. Mastikos asfaltas karštoje būklėje turi būti takus ir glaistus

Poringasis asfaltas (PA) susideda iš stambiųjų mineralinių medžiagų, prireikus pridedant smulkiosios mineralinės medžiagos ir mikroužpildo, bei rišiklio – polimerais modifikuoto bitumo ir rišiklį stabilizuojančių priedų. Mineralinių medžiagų mišinys turi labai didelį oro tuštumų kiekį.

Asfaltbetonis (AC) pagal paskirtį skirstomas (TRA ASFALTAS 08):

- 1) P - asfalto pagrindo sluoksnio mišinys;
- 2) A - asfalto apatinio sluoksnio mišinys;
- 3) V - asfalto viršutinio sluoksnio mišinys;

4) PD - asfalto pagrindo-dangos sluoksnio mišinys.

Visų rūšių asfalto mišiniai skirstomi pagal apkrovas (TRA ASFALTAS 08):

- 1) L - lengvoji apkrova;
- 2) N - normalioji apkrova;
- 3) S - sunkioji (ypatingoji) apkrova.

Asfalto pagrindo sluoksnio mišinys

Asfalto pagrindo sluoksnio mišiniai (AC P) susideda iš tolygios granulometrinės sudėties mineralinių medžiagų mišinio ir rišiklio – kelių bitumo (TRA ASFALTAS 08).

Asfalto pagrindo sluoksnis yra asfalto konstrukcijos apatinė dalis; šis sluoksnis paprastai įrengiamas ant pagrindo sluoksnio be rišiklių ar ant kito tinkamo pagrindo (pvz., sustiprinto apsauginio šalčiui atsparaus sluoksnio) ir jam įrengti naudojamas asfaltbetonis (IT ASFALTAS 08).

Asfalto pagrindo sluoksnio mišiniai klojami ir tankinami karšti. Mišinio sudėtis turi būti parenkama taip, kad asfalto pagrindo sluoksnis būtų atsparus įvairaus tipo deformacijoms, o jo tūrinis tankis bei granulometrinė sudėtis, veikiant transporto eismo apkrovoms, pastebimai nekistų. Asfaltbetonio pagrindo sluoksnis atlieka dangos pagrindo funkciją, t.y. priima apkrovas iš asfalto dangos sluoksnio ir nukreipia bei paskirsto jas į žemės sankasą (IT ASFALTAS 08).

Asfalto apatinio sluoksnio asfaltbetonio mišinys

Asfalto apatinio sluoksnio mišinys (AC A) susideda iš tolygios granulometrinės sudėties mineralinių medžiagų mišinio ir rišiklio – kelių bitumo arba polimerais modifikuoto bitumo (TRA ASFALTAS 08).

Asfalto apatinio sluoksnio mišiniai klojami ir tankinami karštoje būklėje. Sluoksnio paviršius turi būti grubiai šiurkštus, kad sujungtų apatinį ir viršutinį dėvimąjį dangos sluoksnius į vientisą konstrukciją. Mineralinių medžiagų mišinys ir rišamosios medžiagos kiekis turi būti suderinti, kad, įrengiant sluoksnį, būtų garantuota pakankama vidaus trintis ir sluoksnio pastovumas (IT ASFALTAS 08).

Apatinis asfalto sluoksnis yra jungiantis viršutinį dėvimąjį dangos sluoksnį ir asfalto pagrindo sluoksnį. Jo paskirtis – perskirstyti nuo automobilių eismo atsirandančius šlyties įtempimus ir neleisti dangos konstrukcijai deformuotis (TRA ASFALTAS 08).

Asfalto viršutinio sluoksnio asfaltbetonio mišinys

Asfalto viršutinio sluoksnio asfaltbetonio mišinys (AC V) susideda iš tolygios granulometrinės sudėties mineralinių medžiagų mišinio ir rišiklio – kelių bitumo arba polimerais modifikuoto bitumo (TRA ASFALTAS 08).

Asfalto viršutinio sluoksnio mišiniai klojami ir tankinami karšti. Mišinio sudėtis turi būti parenkama taip, kad asfalto viršutinis sluoksnis, turintis mažą oro tuštymių kiekį, būtų šiurkštus,

atsparus įvairaus tipo deformacijoms bei saugus eismui, o jo tūrinis tankis bei granulimetrinė sudėtis, veikiant transporto eismo apkrovoms, pastebimai nekistų. Asfalto viršutinio sluoksnio asfaltbetonio mišiniai klojami vienu sluoksniu (IT ASFALTAS 08).

Pagrindo sluoksniai su riškiais

Pagrindo sluoksniai su riškiais – tai pagrindo sluoksniai įrengti iš gruntų arba mineralinių medžiagų ir jų mišinių, kelyje arba maišyklėmis sumaišytų su hidrauliniiais ir (arba) bituminiais riškiais. Atsižvelgiant į vartojamus riškius ir jų sumaišymo su sluoksnio mineralinėmis medžiagomis būdą, pagrindo sluoksniai su riškiais skirstomi į (Statybos rekomendacijos R 34-01 2001):

- 1) stabilizuotus pagrindo sluoksnius, įrengiamus įmaišant riškius (hidraulinius ir (arba) bituminius) kelyje į paruošto sluoksnio medžiagas;
- 2) sucementuotus pagrindo sluoksnius, įrengiamus reikalaujamos granulimetrinės sudėties mineralinių medžiagų mišinį, maišyklėmis sumaišytą su cementu arba stipriai hidrauliškomis kalkėmis, paklojant klotuvu.

Rengiant pagrindo sluoksnius su riškiais, padidinamas mineralinių mišinių atsparumas eismo apkrovoms ir klimatiniais poveikiams. Riškiais gali būti vartojamos hidraulinės (cementas, kalkės) ir (arba) bituminės (emulsija, suputotas bitumas) medžiagos. Pagrindo sluoksniai su riškiais gali būti įrengiami sumaišymo kelyje būdu arba sumaišant maišyklėmis. Kiekvieno sutankinto sluoksnio storis pagal įrengimo technologiją turi būti ne mažesnis kaip:

- 1) 15 cm, sumaišant kelyje;
- 2) 12 cm, sumaišant maišyklėmis.

Pagrindo sluoksniai su riškiais gali būti rengiami bet kurių klasių automobilių kelių dangų konstrukcijose, sunkių krovininių automobilių ir autobusų stovėjimo aikštelėse, pėsčiųjų ir dviračių takuose ir kt (Statybos rekomendacijos R 34-01 2001).

Stabilizuoti pagrindo sluoksniai

Pagrindo sluoksniams stabilizuoti vartojami šie riškiai:

- 1) cementas;
- 2) kalkės;
- 3) bituminės emulsijos;
- 4) suputotas bitumas.

Pagrindo sluoksnius stabilizuojant hidrauliniiais riškiais (cementu arba stipriai hidrauliškomis kalkėmis), gali būti vartojami tokie gruntai arba gamtinės mineralinės medžiagos, iš kurių paruošti mišiniai neturėtų didesnių kaip 63 mm grūdelių. Juos stabilizuoti vartojamos vidutiniu greičiu arba lėtai susiskaidančios bituminės emulsijos. Be to, pagrindo sluoksniams

stabilizuoti vartojamas suputotas bitumas – tai karštas bitumas, laikinai perverstas iš skystos būsenos į putų būseną, įmaišant į jį būtiną kiekį (apie 2 %) vandens (TRA MIN 07).

Pagrindo sluoksniams stabilizuoti bituminiais rišikliais tinkami mineralinių medžiagų mišiniai, kuriuose smulkiųjų dalelių, mažesnių kaip 0,063 mm yra nuo 3 % iki 9 % mišinio masės, o didžiausi grūdėliai iki 63 mm (Statybos rekomendacijos R 34-01 2001).

Jei stabilizavimui vartojami hidrauliniai rišikliai (cementas ar stipriai hidraulikos kalkės), jie turi būti tolygiai mechaniniu būdu paskleidžiami ant esamo sluoksnio paviršiaus prieš maišymo mechanizmą ir vienodai įmaišomi į sluoksnio mineralines medžiagas.

Taikant sumaišymo kelyje metodą, paruošto rišikliais stabilizuoti sluoksnio sutankinimo rodiklio D_{Pr} vertės turi būti ne mažesnės kaip 100 %. Hidrauliniiais rišikliais stabilizuoto, tačiau dar nesukietėjusio sluoksnio, sutankinimo rodiklio D_{Pr} vertės turi būti ne mažesnės kaip 98 %. Bituminėmis emulsijomis arba suputotu bitumu stabilizuoto sluoksnio sutankinimo rodiklio D_{Pr} vertė turi būti ne mažesnė kaip 97 %.

Sucementuoti pagrindo sluoksniai

Sucementuoti pagrindo sluoksniai – tai pagrindo sluoksniai, pakloti iš frakcionuotų mineralinių medžiagų, sumaišytų su cementu arba stipriai hidrauliškomis kalkėmis. Įpjovos padaromos skersai (kol sucementuotas pagrindo sluoksnis dar nesukietėjęs, tačiau yra pakankamai stiprus, kad nebūtų suardytos įpjovų briaunos) šiais atvejais:

- 1) Kai ant sucementuoto pagrindo bus klojami sluoksniai iš asfaltbetonio, jei:
 - a) sucementuotam pagrindo sluoksniui numatyto mišinio vidutinis stipris gniuždant yra didesnis kaip 9 N/mm²;
 - b) sluoksnio storis $h \geq 20\text{cm}$;
 - c) sluoksnių iš asfaltbetonio numatytas bendras storis $h \leq 14\text{cm}$.
- 2) Kai ant sucementuoto pagrindo sluoksnio bus klojama betono danga.

Mažiausias kiekvieno sutankinto sluoksnio storis priklauso nuo stambiausių grūdelių, esančių mineralinių medžiagų mišinyje, ir turi būti:

- 1) 12 cm, kai stambiausi grūdėliai 32 mm – 0/32 mišinys;
- 2) 15 cm, kai stambiausi grūdėliai 45 mm – 0/45 mišinys.

Stambiausios siaurosios frakcijos kiekis, įskaitant medžiagos likučio dalį, turi sudaryti ne mažiau kaip 10 % mišinio masės. Jei mažesnių kaip 0,063 mm dalelių kiekis mineralinių medžiagų mišinyje sudaro nuo 5 % iki 15 % mišinio masės, tai nustatant tinkamumą reikia patikrinti, ar sukietėjęs mineralinių medžiagų ir rišiklio mišinys turės pakankamą atsparumą šalčiui. Dar

nesukietėjusio sucementuoto pagrindo sluoksnio sutankinimo rodiklio D_{pr} vertė turi būti ne mažesnė kaip 98% (Statybos rekomendacijos R 34-01 2001).

Pagrindo sluoksniai iš šaltuoju būdu regeneruotųjų dangų

Pagrindo sluoksniai iš šaltuoju būdu regeneruotųjų dangų – tai pagrindo sluoksniai įrengti aplinkos temperatūroje, kelyje regeneruojant (atnaujinant) eksploatuotą asfaltbetonio dangą, jei reikia, ir biriųjų medžiagų pagrindo sluoksnį.

Šaltuoju būdu gali būti regeneruojama tiksliai kelio danga arba ir kelio dangos konstrukcijos dalis (su pagrindo dalimis). Regeneravimo gylis priklauso nuo kelio dangos konstrukcijos sluoksnių, sunkaus krovinio transporto eismo ir kt. veiksnių.

Trupintas asfaltbetonis gali būti vartojamas mišinio gamybai, jei jo medžiagos atitinka granulimetrinės sudėties reikalavimus.

Reikalavimai šaltai regeneruojamų sluoksnių, pridedant hidraulinių priedų, mišiniams ir sutankinimo rodikliui yra šie: jei regeneruojamojo sluoksnio storis yra 12,5-30,0 cm, tai sutankinto (dar nesukietėjusio) sluoksnio reikalaujamas sutankinimo rodiklis turi būti $D_{pr} \geq 98\%$, o mažiausias hidraulinio priedo (cemento) kiekis turi būti 3%. Tačiau vartojant vandens-cemento suspensiją, cemento kiekis gali būti dar mažesnis. Regeneruojantys priedai turi būti tinkami mišiniui su išardytu asfaltbetoniui gaminti. Regeneruojančiais priedais gali būti: cementas, kalkės, vanduo, bituminė emulsija, suputotas bitumas ir kt. medžiagos.

Reikalavimai šaltai regeneruojamų sluoksnių, pridedant bituminių priedų, mišiniams ir sutankinimo rodikliui: jei regeneruojamojo sluoksnio storis yra 12,5-30,0 cm, tai sutankinto (dar nesukietėjusio) sluoksnio reikalaujamas sutankinimo rodiklis turi būti $D_{pr} \geq 97\%$, sauso bandinio stipris skeliant 0,25 (250) – 0,90 (900) N/mm² (kPa), atsparumas vandens poveikiui $\geq 0,67$ (Statybos rekomendacijos R 34-01 2001).

1.4. Darbo tikslas ir uždaviniai

Šio darbo tikslas – nustatyti granito mineralinių miltelių, kaip šalutinio gamybos produkto, panaudojimo asfalto mišinių gamybai galimybes.

Uždaviniai tikslui pasiekti:

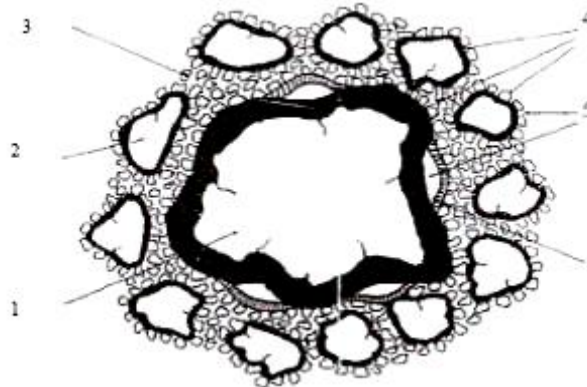
1. Išanalizuoti automobilių kelių dangos konstrukcijas, sluoksnius ir jų paskirtį, naudojamas medžiagas
2. Išanalizuoti asfalto mišinių sudėtį, sudėties komponentų įtaką asfalto mišinio savybėms;
3. Apžvelgti granito mineralinių miltelių panaudojimo užsienio šalyse patirtį;

-
4. Atlikti granito mineralinių miltelių fizinių mechaninių savybių nustatymo laboratorinius tyrimus ir išanalizuoti gautus rezultatus;
 5. Atlikti asfalto mišinių su granito bei aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais fizinių mechaninių savybių nustatymo laboratorinį tyrimą ir išanalizuoti gautus rezultatus;
 6. Pateikti išvadas ir rekomendacijas.

2. Asfalto mišinių sudėtis ir jos komponentų įtaka savybėms

2.1. Asfalto mišinių sudėtis ir struktūra

Asfaltas – tai daugiakomponentė konglomeratinė medžiaga, sudaryta iš mineralinės ir organinės dalies. Mineralinę dalį sudaro skaldos, smėlio ir mineralinių miltelių apglūdinti ir kampuoti grūdėliai. Šie mineraliniai milteliai kontaktuoja su kitais grūdėliais bei yra padengti rišikliu (bitumas – organinė dalis) surišančiu juos į vieną monolitą. Bitumas turi visiškai apvėlti visus mineralinius grūdėlius atitinkamo storio plėvele.



2.1 pav. Asfaltbetonio sudėtis: 1 - skaldos dalelė; 2 - smėlio dalelė; 3 - mažos dalelės apvilkotos bitumu; 4 - bitumine plėvele apvilkta didelė dalelė; 5 - perteklinis bitumas; 6 - bitumas, kuris dengia daleles

Asfaltas turi atlaikyti ilgalaikes statines ir trumpalaikes dažnai besikartojančias dinamines apkrovas transporto priemonėms stovint ir judant skirtingu metų laiku. Asfaltui charakteringiausios savybės turi būti šios: standumas, tamprumas, atsparumas nuovargiui. Jo savybės kinta labai plačiose ribose, priklausomai nuo aplinkos temperatūros, apkrovų dydžio intensyvumo ir taip pat nuo suminio apkrovų skaičiaus. Asfaltas turi turėti įvairių savybių visumą, susijusių su kelių dangos eksploatavimu esant teigiamomis ir neigiamomis temperatūromis ir išsaugoti šias savybes esant dangos konstrukcijos dideliame drėgnumui ir žiemos (apledėjimo) periode (Rokas *et al.* 1983).

Asfalto mišinių struktūrą nulemia mineralinių medžiagų struktūra, bitumo struktūra, tarpusavio ryšio tarp mineralinių medžiagų ir bitumo ypatybės, asfalto tankis ir jo kapiliarinės porinės struktūros savybės. Todėl daugelis mokslininkų, tyrinėjusių asfalto mišinio savybes, siekė nustatyti jų priklausomybę nuo nustatytų sudedamųjų medžiagų struktūros rodiklių (Petkevičius 1986).

Didžiausią įtaką asfalto koroziniam (eroziniam) atsparumui turi jo tankis, o didžiausią įtaką asfalto tankiui turi mišinio mineralinės dalies tuštymėtumas. Mineralinių miltelių komponentai ir granulimetrinė sudėtis laiduoja minimalų tuštymėtumą ir, esant optimaliam bitumo kiekiui, laiduoja patį didžiausią asfalto tankį. Reikalingas tankis gaunamas tinkamai parinkus mišinio mineralinės dalies granulimetrinę sudėtį, parinkus optimalų bitumo kiekį ir reikiamai sutankinus

asfaltą. Kuo didesnis mineralinių medžiagų tankis, tuo mažiau reikia bitumo, norint gauti reikiamą asfalto tuštymėtumą. Tuštymėtumo sumažinimas sąlygoja geresnį mineralinių grūdelių pasiskirstymą asfalto mišinyje (Rokas *et al.* 1983).

2.2. Asfalto mišinio sudėties komponentų įtaka asfalto mišinio savybėms

Asfaltbetonis – tai asfalto dangos medžiaga, susidedanti iš rišiklio ir mineralinių medžiagų užpildo. Rišiklio užduotis yra surišti mineralines medžiagas į tankų ir vandeniui atsparų mišinį. Kai mineralinės medžiagos rišikliu surišamos į vieną monolitinę sistemą, taip suteikdamos asfalto mišiniui stiprumą ir kietumą. Asfalto mišinio charakteristikas įtakoja tiek atskirų komponentų savybės, tiek bendros asfalto mišinio, kaip sistemos, savybės (Superpave... 2001).

Asfalto mišiniuose naudojamos natūralios mineralinės ir sintentinės medžiagos. Natūralios mineralinės medžiagos yra išgaunamos karjeruose, susmulkinamos, išsijojamos frakcijomis, plaunamos ar kitaip apdirbamos, kol galiausiai panaudojamos asfalto mišinių gamyboje. Sintetinės medžiagos nėra išgaunamos karjeruose – tai pramonės šalutinis produktas (pvz. krosnių šlakas). Sintetinės medžiagos dedamos į asfalto mišinį siekiant suteikti tam tikrų savybių (Superpave... 2001).

Padidintas ar sumažintas skaldos, smėlio, mineralinių miltelių ar bitumo, lyginant su optimaliu, kiekis sąlygoja asfalto mišinio savybių pokytį. Skalda vaidina asfaltą stiprinančio ir struktūrą laiduojančio, užimančio didžiausią monolito dalį, komponento vaidmenį. Skaldos kiekis asfalto mišinyje irgi turi svarbią įtaką mišinio savybėms. Esant nedideliame skaldos asfalto mišinyje kiekiui, mišinys įgauna jo rišančiosios dalies savybes. Didinant skaldos dalį tarp struktūrą sudarančių elementų per rišančiąją medžiagą ir asfalto skiedinį (bituminį rišiklį ir smulkią mineralinę medžiagą), susidaro kontaktai (susiformuoja karkasas). Susiformuoja specifinė asfalto struktūra, lydimą intensyvaus jo stiprio didėjimo. Didinant vidutinio grūdelių dydžio mineralinės dalies kiekį, didėja rišančiosios medžiagos kiekis, reikalingas šiems grūdeliams apvelti. Padidinus skaldos asfalto mišinyje dalį – tai tolygu vidutinių grūdelių dydžio padidinimui, norint laiduoti optimalias mišinio savybes prireikia daugiau rišančiosios medžiagos (Rokas *et al.* 1983).

Didinant skaldos kiekį konkuruoja du veiksniai: vienu atveju formuojamas karkasas, kuris didina dalelių tarpusavio trintį ir atsparumą poslinkiams, kitu atveju didinamas bitumo kiekis, kuris mažina tarpusavio trintį. Esant optimaliam skaldos kiekiui asfalto mišiniuose, ji naudojama kaip mišinio karkasas ir gaunama didžiausia grūdelių tarpusavio trintis. Esant didesniame nei optimalus skaldos kiekiui, asfalto mišinys praranda savo geriausias savybes, ir asfalto stipris sumažėja.

Skalda formuoja pagrindinį karkasą, kuris padeda asfaltui atlaikyti apkrovas ir formuoja reikalingą dangos šiurkštumą. Smėlio vaidmuo – užpildyti tarpus tarp asfalto karkaso. Tuo pačiu mažėja brangių medžiagų, pavyzdžiui, bitumo, poreikis asfalto mišinyje.

Mineralinis užpildas turi turėti pakankamą kerpamąjį stiprį, kad atlaikytų pasikartojančias apkrovas. Kai medžiagos yra perkrautos, šlyties plokštuma plečiasi ir medžiagų dalelės praranda reikiamą sukibimą viena su kita ir yra nukerpamos ar yra išstumiamos į dangos paviršių. Mineralinio užpildo kerpamasis stipris yra itin svarbi savybė, įtakoianti asfalto mišinių atsparumą provėžoms (Superpave... 2001).

Pažymėtina, kad skaldos ir smėlio vaidmenys asfalto mišinyje skirtingi, jeigu skalda formuoja pagrindinį mišinio karkasą, tai smėlis naudojamas likusioms poroms karkase užpildyti. Galimi nuokrypiai: kai smėlis užpildo didžiąją asfalto monolito dalį, skalda nededama (smėlinis asfaltbetonis). Tada didesni smėlio grūdėliai formuoja karkasą (Rokas *et al.* 1983).

Smėlis dedamas į asfalto rišančiąją medžiagą, formuoja mišinio struktūrą, kuri daugiausiai apsprendžia asfalto stiprį, tankį, deformacines ir kitas savybes. Šias asfalto mišinio savybes lemia grūdelių kokybė ir forma. Smėlis užima didelę asfalto mišinio dalį, užpildydamas tarpus tarp didesnių skaldos grūdelių arba formuoja pagrindinę asfalto struktūrą (esant smėlio asfaltui). Smėlio vaidmuo asfalto mišinio sudėtyje labai didelis norint gauti kuo tankesnę skaldos asfalto mineralinę dalį, kadangi smėlio grūdėliai leidžia gauti asfalto mišinio nepertraukiamą granulimetrinę sudėtį (Petkevičius 1986).

Iš anksčiau minėtų priežasčių, galima daryti išvadas, kad smėlis, kaip ir skalda, atlieka asfalto mišinio struktūros sudarymo ir formavimo vaidmenį, formuodamas kietą, šiurkštų, erdvų karkasą, garantuojantį asfalto stiprio savybes, ir bet kokie šių komponentų nuokrypiai nuo jų optimalių verčių sąlygoja blogesnes asfalto mišinio savybes (Rokas *et al.* 1983).

Bitumas – tai organinė medžiaga, kuri asfaltbetonyje suriša mineralinių medžiagų grūdėlius. Organinės rišančiosios medžiagos (bitumas, derva) – tai sudėtinga daugiamolekulinių angliavandenilių ir nemetalinių junginių su sierą, deguonimi ir azotu mišiniai, kurių fizinės - mechaninės savybės ženkliai kinta kintant temperatūrai. Asfaltbetonyje bitumas atlieka rišiklio funkcijas, nes atskiri mineraliniai grūdėliai surišami per laisvojo ir struktūrizuoto bitumo pėveles. Bitumas reikalingas suklijuoti mineralinių griaučių grūdeliams į monolitą, gebantį priešintis išorinių jėgų poveikiui (Rokas *et al.* 1983).

Svarbiausia bitumo funkcija yra surišti užpildo medžiagas į vieną monolitą. Šiam tikslui būtinas itin geras sukibimas tarp bitumo ir mineralinių medžiagų – adhezija. Prasčiausia adhezija yra tarp bitumo ir silicio turinčių medžiagų, tokių kaip granitas, silicio skalūnas, kvarcitai (Read and Whiteoak 2003).

Esant prastai bitumo ir mineralinių medžiagų adhezijai, ją galima padidinti naudojant didesnės klampos bitumus, gesintas kalkes ar sukibimą gerinančius priedus (Plancher *et al.* 1976).

Svarbiausios bitumo savybės yra jautrumas temperatūrai, viskoelastiškumas ir senėjimas. Temperatūros poveikis asfalto mišiniui – asfalto mišinys yra standesnis žemesnėse temperatūrose.

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

Asfalto mišinių projektavimo praktika parodė, kad didinant bitumo kiekį asfalto mišinyje, jo stipris didėja tik iki tam tikros ribos. Didinant bitumo kiekį dar, asfalto stipris mažėja. Bitumo kiekis, kuriam esant asfaltas įgauna didžiausią stiprį, kitus geriausius savybių rodiklius, laikomas optimaliu.

Didinant bitumo kiekį (lyginant su optimaliu) ir mineralinių medžiagų tuštymėtumą atsiranda daugiau laisvo neorientuoto bitumo, kuris laisvina asfalte struktūrinius ryšius. Tokiu būdu, reguliuojant mineralinių medžiagų porėtumą, reguliuojamas ir laisvojo bitumo kiekis. Padidėjęs laisvojo bitumo kiekis gadina struktūrą, taip pat – asfalto struktūrines ir mechanines savybes: padidėja plastiškumas, o dėl to sumažėja asfalto atsparumas deformacijoms esant didelėms vasaros temperatūroms, sumažėja mišinio stipris, trukdoma mineralinių grūdelių suartėjimui, t.y. sunku gauti tankesnę asfaltą.

Esant dideliame laisvojo bitumo kiekiui asfaltas būna labiau jautrus temperatūros svyravimams, jo stiprio savybės priklauso nuo struktūrą sudarančių grūdelių sutankinimo, grūdelių tarpusavio trinties ir bitumo kohezijos. Visuose asfalto mišiniuose bitumas visada sumažina asfalto vidinės trinties koeficientą. Per didelis laisvojo bitumo kiekis gali taip sumažinti nagrinėjamą rodiklį, kad praktiškai jau nebus jaučiamas naudojamų mineralinių medžiagų savybių skirtumas. Esant tokioms sąlygoms, iš esmės sumažėja skirtumas tarp nugludintų ir aštriabriaunių grūdelių. Esant pertekliniam bitumo kiekiui, sumažėja ne tik vidinė trintis, bet ir grūdelių sankiba, todėl dėl didelio laisvojo bitumo kiekio sumažėja asfalto stipris (Rokas *et al.* 1983).

Laisvojo bitumo kiekį asfalte sumažinti galima ne tik didinant mineralinių miltelių kiekį, bet ir naudojant tinkamai parinktus tankius mineralinius mišinius su teisinga granulimetrine sudėtimi, naudojant aktyviuosius mineralinius miltelius, gerai išmaišant asfalto mišinį - galima tolygiai pasiskirstyti mineraliniame mišinyje bitumą ir nereikalingą (perteklinį) bitumą išstumti į paviršių perskirstymo būdu.

Mineraliniai milteliai yra svarbiausias struktūrą formuojantis asfalto mišinių komponentas. Skirtingai nuo smėlio ir dar labiau nuo skaldos, mineraliniai milteliai turi didžiausią paviršiaus plotą. Jo plotas sudaro iki 90 % – 95 % visų į asfalto mišinį sudėtį įeinančių mineralinių medžiagų

suminio paviršiaus ploto. Pagrindinis mineralinių miltelių uždavinys pervesti bitumą iš laisvojo į struktūrizuotą (orientuotą) būvį.

Mineraliniai milteliai padidina grūdelių kontaktavimo tarpusavyje paviršių, padidina bitumo ir asfalto šiluminį atsparumą, mažina rišančiosios medžiagos šiluminį plėtimąsi, mažina slankumą stabdant transportui, didina mineralinio mišinio ir asfalto tankumą.

Kai į bitumą įdedami mineraliniai milteliai, formuojasi asfalto mikrostruktūra, atspindinti šių medžiagų kiekybinį santykį ir jų sąveiką. Mikrostruktūros savybės staigiai keičiasi nuo mineralinių miltelių sudėties (Rokas *et al.* 1983).

Esant nedideliam mineralinių miltelių kiekiui, asfalto fizikiniai ir mechaniniai rodikliai nuo dedamų mineralinių miltelių kiekio keičiasi tiesiogiai proporcingai. Tokiu atveju grūdeliai su ant jų susiformavusiomis plėvelėmis nesąveikauja tarpusavyje ir mišinio savybės analogiškos laisvo bitumo savybėms. Esant didesniems mineralinių miltelių kiekiams atstumas tarp atskirų grūdelių sumažėja tiek, kad jis būna mažesnis, negu dviejų gretimų grūdelių struktūrinių plėvelių suma ir mišinio savybės nulemia absorbuojamo sluoksnio lygis. Esant didesniai nei optimalus mineralinių miltelių kiekiui, mišinyje atsiranda dujinė fazė, padidėja porų skaičius, tai priveda prie staigaus asfalto mišinio stiprio sumažėjimo. Tokiu būdu dėl mineralinių miltelių sudėties pakeitimo susidaro geros kokybės mikrostruktūros tipai.

Nustatyta, kad, esant optimaliam bitumo ir mineralinių miltelių santykiui (B/MM), gaunamas didžiausias struktūrinės dispersinės sistemos, sudarytos iš šių medžiagų, stipris. Esant tam tikrai mineralinių miltelių koncentracijai, žymiai sumažėja bitumo ant mineralinių medžiagų grūdelių sluoksnių storis, todėl atsiranda aukštas bitumo struktūros lygis, o tai reiškia, kad kontaktai tarp grūdelių sustiprėja. Pagal atsparumo įtrūkiams sąlygą, optimalus bitumo ir mineralinių miltelių santykis turi būti mažiau arba lygus 0,7. Mineralinių miltelių kiekio sumažinimas padeda padidinti asfalto atsparumą plyšių asfalto dangoje susidarymui, bet sumažina atsparumą poslinkiams (Rokas *et al.* 1983).

Mineralinių grūdelių sudėties svyravimai neginčijamai susieti su jų grūdelių lyginamojo paviršiaus pokyčiu, t.y. išryškėja mineralinių miltelių struktūrinio poveikio lygis bitumui. Kur labiausiai pasireiškia mineralinių miltelių struktūrinis poveikis bitumui, ten didesnis jų vaidmuo asfaltui. Galima daryti išvadas – mineralinių miltelių vaidmuo asfalto mišinyje labai didelis, ir mažiausi nuokrypiai nuo reikalingo jų kiekio asfalto mišiniuose, susiję su mineralinių miltelių sudėtimi ir su dozavimo paklaidomis, gali baigtis ženkliu asfalto dangos kokybės pablogėjimu.

Kaip minėta, mineraliniai milteliai su bitumu sudaro struktūrinę dispersinę sistemą, kuri asfalte vaidina rišklio vaidmenį. Mineralinių miltelių grūdeliai absorbuoja didelę dalį bitumo. Tuo pat metu kuo mažesni mineraliniai grūdeliai, tuo plonesnis ant jų susidaro bitumo sluoksnis.

Mineralinių miltelių grūdėliai apsivelia ploniausiu bitumo sluoksniu, tai sąlygoja gerą mineralinių grūdelių sankibą ir asfalto stiprį.

Svarbiausias asfalto sudėties komponentas yra ne bitumas, o asfalto rišančioji medžiaga, susidedanti iš mineralinių miltelių ir bitumo. Tiksliai esant nustatytam mineralinių miltelių ir bitumo santykiui (įvertinant pradinę medžiagą ir gaminimo ir tankinimo technologinį procesą), gali būti gautas didžiausias asfalto stipris. Padidinus mineralinių miltelių grūdelių koncentraciją bitume virš užpildymo jais kritinės ribos, žymiai sumažėja bitumo plėvelės storis, tai priveda prie aukšto lygio struktūros, padidina asfalto tūsumo ir plastiškumo ribą. Jeigu dėl difuzijos struktūrizuotų bitumo plėvelių kontakto grūdėliai surišami tarpusavyje, tai gaunamas stipriausias grūdelių tarpusavio sąryšis. Bitumas yra pagrindinė asfalto rišančioji medžiaga, reikalinga „suklijuoti“ mineralinių medžiagų grūdėlius į vieną monolitą, kuris sugeba atsispirti išorinių jėgų poveikiui (Rokas *et al.* 1983).

Bet kokie šių komponentų nuokrypiai nuo jų optimalių verčių nulemia prastesnes asfaltbetonio mišinio savybes.

Aukščiausios rūšies asfalto mišinius galima gaminti tik griežtai kontroliuojant optimalią asfalto sudėtį. Asfalto mišinio bei asfalto savybių rodikliai nustatomi laboratorijoje naudojant specialius laboratorinius įrenginius, prietaisus, indus bei medžiagas. Asfalto mišinio sudėtis (komponentų kiekis) turi būti toks, kuriam esant jo fiziniai-mechaniniai rodikliai yra geriausi ir tenkina normų reikalavimus. Sudėtis nustatoma skaičiavimais bei laboratoriniais tyrimais.

Norint laiduoti asfalto optimalią struktūrą būtina asfalto mišinius gaminti taip, kad jų faktinė komponentinė sudėtis atitiktų projektinei sudėčiai ir kad sudėtis beveik nesikeistų arba neženkliai keistųsi laike. Neatsižvelgiant į anksčiau minėtus optimalaus asfalto struktūros formavimo principus, dar niekas nesuformavo tikslių optimalių asfalto sudėčių konkrečioms skirtingoms asfalto dangų eksploatavimo sąlygoms (atsižvelgiant į vietos klimatą, kelio kategoriją, transporto srautų intensyvumą ir sudėtį ir kt.). Asfalto mišinio bei asfalto savybės, bandymo metodai aprašyti atitinkamuose Europos standartuose, kurie perimti kaip Lietuvos standartai LST EN.

2.3. Granito mineralinių miltelių kaip šalutinio gamybos produkto panaudojimo užsienio šalyse apžvalga

Karjeruose smulkinant granitą į smulkesnes frakcijas ar transportuojant stambias frakcijas į skaldos perdirbimo įmones ir ten smulkinant į reikiamas frakcijas, lieka didžiuliai kiekiai šalutinio produkto – granito mineralinių miltelių, kurie užima didelius karjerų ar mineralinių medžiagų perdirbimo gamyklų plotus. (Barral Silva *et al.* 2005; Delgado *et al.* 2005).

Indijos mokslininkai Rajan Choundhary ir Satish Chandra atliko tyrimą, kuriame įvertino granito ir marmuro miltelių panaudojimo asfalto mišinių gamyboje galimybes. Šios medžiagos

pasirinktos todėl, kad granito ir marmuro miltelių fizinės mechaninės savybės yra panašios į reikalaujamas asfalto mišinių užpildų savybes. Asfalto mišinių savybės su marmuro ir granito mineraliniais milteliais buvo įvertintos maišant skirtingus asfalto mišinius su 4 skirtingais granito ir marmuro miltelių kiekiais ir palyginus atliktų tyrimų rezultatus su įprastų asfalto mišinių tyrimų rezultatais. Nustatyta, kad asfalto mišiniuose gali būti naudojama ne daugiau 7 % granito ar marmuro miltelių, tačiau šie mokslininkai siūlo naudoti 4,0 % – 5,5 % . Atlikus Maršalo ir drėgmės imlumo bandymus, nutatyta, kad granito ir marmuro miltelius galima naudoti asfalto mišinių gamyboje. Šių šalutinių produktų panaudojimas asfalto mišinių gamyboje išspręstų jų taršos problemą bei sumažintų susikaupusius skaldos gamybos šalutinių produktų kalnus (Choudhary R., Chandra S. 2004).

2008 metais Brazilijos mokslininkai Ribeiro, Correia ir Seidl atliko granito miltelių panaudojimo asfalto mišinių gamyboje tyrimą. Šio tyrimo tikslas – pakeisti bazalto miltelius granito milteliais ir palyginti fizines asfalto mišinių savybes. Atlikę tyrimus, mokslininkai nustatė, kad granito milteliai turi didelį potencialą asfalto mišinių gamyboje.

Užsienio šalių mokslininkai atliko nemažai “ekologiško” betono mišinių mechaninių savybių tyrimų, kuriuose dalinai ar visiškai smėlį pakeičia vietinės akmens pramonės uolienų susmulkinti šalutiniai produktai – milteliai (Shi-Cong K., Chi-Sun P. 2009)

Jungtinėse Amerikos Valstijose yra bandoma inovatyvi technologija, kurios dėka betone 25 % cemento būtų pakeičiama granito milteliais. Tačiau ši technologija yra pradinėje stadijoje, todėl dar nėra pateikta konkrečių rezultatų. Cyclotec taip pat atlieka granito miltelių panaudojimo akytojo betono gamybai tyrimus (Cyclotec Ltd).

Turkijos mokslininkai Hanifi Binici, Tahir Shahb, Orhan Aksoganc, Hasan Kaplan granito ir marmuro gamybos šalutinių produktų panaudojimo betono gamyboje tyrimą ir nustatė, kad granito ir marmuro šalutiniai produktai pagerina tradicinių betono mišinių mechanines savybes, technologiškumą bei atsparumą cheminiam poveikiui. Be to, šių šalutinių produktų naudojimas ilgaamžiškesnių betono mišinių gamyboje yra svarbus ekonominiu ir aplinkosauginiu požiūriu.

Kaip žinoma, betono ilgaamžiškumas priklauso nuo betono mišinių gamybai panaudoto smėlio kokybės. Danijos mokslininkai Glavind ir Petersen, remdamiesi Danijos technologinio instituto Betono centro tyrimais, siūlo CO₂ išsiskyrimą sumažinti naudojant neorganinius akmens pramonės šalutinius produktus. Jie taip pat teigia, kad smėlio pakeitimas granito ar marmuro milteliais yra naudingas – sumažinamas rišančiosios medžiagos kiekis (Glavind M, Petersen C. M 2000).

Donza *et al.* atliko mokslinius tyrimus su betono mišiniais panaudojant natūralų smėlį ir betono mišiniais panaudojant 7 % – 16 % smulkesnių kaip 75 μm granito, klinčių ir dolomito miltelių nuo visos smulkiojo užpildo masės. Šie mokslininkai pastebėjo, kad betonai su

susmulkintu smulkiuoju užpildu reikalauja didelio kiekio plastifikatoriaus, taip pat, jei smulkusis užpildas yra susmulkinti dolomito milteliai, reikalingas didesnis rišančiosios medžiagos kiekis. Atlikę tyrimus, mokslininkai nustatė, kad didelis gniuždomasis stipris ir tempimo stiprumas gautas, kai susmulkinti granito milteliai naudoti kaip smulkusis užpildas.

2009 metais Malaizijos mokslininkai S. Dhanapandian ir B. Gnanavel atliko granito ir marmuro miltelių panaudojimo plytų gamyboje tyrimą. Mišiniai plytų gamybai buvo sumaišyti su 0 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 % ir 50 % granito ir marmuro miltelių kiekiais. Atlikus tyrimus, nustatyta, kad mišiniuose panaudojant iki 20 % granito ar marmuro miltelių, plytų savybės nesuprastėja.

Išanalizavus užsienio šalių mineralinių medžiagų gavybos šalutinių produktų panaudojimo patirtį, galima teigti, kad tik nedaugelis mokslininkų yra atlikę granito miltelių panaudojimo asfalto mišinių gamyboje tyrimus – dauguma užsienio mokslininkų tiek granito miltelius, tiek kitus nerūdinių uolienų gavybos šalutinius produktus bando panaudoti betono mišinių, plytų, trinkelų gamyboje. Atsižvelgiant į tai, galima teigti, kad yra atlikta nemažai nerūdinių uolienų gavybos šalutinius produktų panaudojimo statybinių medžiagų gamyboje, tačiau siekiant konkretesnių rezultatų, būtina atlikti kuo daugiau išsamesnių tyrimų.

2.4. Pagrindiniai reikalavimai mineraliniams milteliams

Aktyvinti mineraliniai milteliai – tai karbonatinė uoliena, sumalta kartu su paviršių aktyvinančių medžiagų ir bitumo mišiniu (LST EN 13043+AC „Keliams, skridimo aikštėms ir kitoms eismo zonoms ...“ 2003).

Mineralinių miltelių gamybai naudojamos karbonatinės uolienos. Molingų dalelių kiekis negali būti didesnis kaip 15,0 % (aliuminio ir geležies oksidų $Al_2O_3+Fe_2O_3$ kiekis ne didesnis kaip 5,0 %) nuo malamos uolienos masės. Mineralinių miltelių aktyvinimui naudojamos paviršių aktyvinančių medžiagų ir klampiojo naftos bitumo mišinys. Paviršiaus aktyvinimui naudojamos šios medžiagos: medvilnės gudronas, riebalinis gudronas, sintetinės riebalinės rūgštys, sintetinių riebalinių rūgščių kubinė liekana, oksiduotas petrolatumas, nafteninė rūgštis. Aktyvinimui naudojamas 160/220 arba 100/150 rūšių bitumas. Paviršių aktyvinančių medžiagų ir bitumo masių santykis turi būti nuo 1:1 iki 3:1 (nafteninės rūgšties ir bitumo masių santykis nuo 1:5 iki 1:10). Aktyvinančio mišinio (paviršių aktyvinančių medžiagų ir bitumo) kiekis turi būti nuo 1,5 masės % iki 2,5 masės % nuo malamų karbonatinių uolienų masės (LST 1419 „Automobilių kelių ...“ 1995).

Aktyvinti mineraliniai milteliai turi būti purūs, hidrofobiški, vienodi pagal spalvą ir sudėtį. Aktyvinančio mišinio kiekis vienos partijos (partiją sudaro per pamainą pagamintų aktyvintųjų mineralinių miltelių kiekis, bet ne didesnis kaip 200 t) mineralinių miltelių bandiniuose negali skirtis daugiau kaip $\pm 0,15$ % nuo mineralinių miltelių masės. Aktyvintiesiems mineraliniams

milteliams keliama granulimetrinės sudėties, tankio, sutankintų miltelių tankio, poringumo, brinkimo, bitumo imlumo rodiklio, drėgnio, vienodumo bei hidrofobiškumo reikalavimai, kurie nustatomi numatytais standarte LST 1419.1:1996 bandymų metodais (LST EN 13043+AC „Keliams, skridimo aikštėms ir kitoms eismo zonoms ...“ 2003).

Reikalavimai aktyvintųjų mineralinių miltelių savybėms pateikti 2 lentelėje.

2.1 lentelė. Reikalavimai aktyvintųjų mineralinių miltelių savybėms (LST EN 13043+AC „Keliams, skridimo aikštėms ir kitoms eismo zonoms ...“ 2003).

Rodiklis	Norminis dydis
1. Granulimetrinė sudėtis, masės % ne mažiau:	
▪ grūdelių ir dalelių < 2 mm;	100
▪ grūdelių ir dalelių < 0,5 mm;	99
▪ grūdelių ir dalelių < 0,25 mm;	95
▪ dalelių < 0,063 mm.	83
2. Poringumas, tūrio % nedaugiau	30
3. Bandinių, pagamintų iš aktyvintųjų mineralinių ir bitumo, išbrinkimas, tūrio % ne daugiau:	
3.1. Kai molingų dalelių kiekis mineraliniuose milteliuose yra ne didesnis kaip 5% nuo mineralinių miltelių masės ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ oksidų kiekis ne didesnis kaip 1,7% nuo mineralinių miltelių masės)	1,5
3.2. Kai molingų dalelių kiekis mineraliniuose milteliuose yra ne didesnis kaip 15% nuo mineralinių miltelių masės ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ oksidų kiekis ne didesnis kaip 5% nuo mineralinių miltelių masės)	2,5
4. Bitumo imlumo rodiklis, g ne daugiau:	
4.1. Kai molingų dalelių kiekis mineraliniuose milteliuose yra ne didesnis kaip 5% nuo mineralinių miltelių masės ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ oksidų kiekis ne didesnis kaip 1,7% nuo mineralinių miltelių masės)	50
4.2. Kai molingų dalelių kiekis mineraliniuose milteliuose yra ne didesnis kaip 15% nuo mineralinių miltelių masės ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ oksidų kiekis ne didesnis kaip 5% nuo mineralinių miltelių masės)	65
5. Drėgnis, masės % ne daugiau	0,5

Aktyvintųjų mineralinių miltelių gamintojas privalo pagal LST 1419.1 tikrinti:

- granulimetrinę sudėtį, hidrofobiškumą, vienodumą pagal spalvą ir sudėtį, drėgnį

- ne rečiau kaip 1 kartą per pamainą;
- poringumą – 2 kartus per mėnesį ir pasikeitus malamos uolienos sudėčiai arba aktyvinančio mišinio sudėčiai ir kiekiui;
- išbrinkimą – 1 kartą per mėnesį ir pasikeitus malamos uolienos sudėčiai arba aktyvinančio mišinio sudėčiai ir kiekiui;
- bitumo imlumą – parenkant ir keičiant malamą uolieną arba aktyvinančio mišinio sudėčiai ir kiekiui;
- $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ oksidų kiekį - parenkant ir keičiant malamą uolieną.

Jei aktyvintųjų mineralinių miltelių savybių nors vienas rodiklis neatitinka LST 1419 reikalavimų, tai šiam rodikliui pakartotinai nustatyti atrenkamas dvigubas mineralinių miltelių kiekis. Jei pakartotinio tikrinimo rezultatas neigiamas, tai aktyvintųjų mineralinių miltelių partija nepriimama (LST EN 13043+AC „Keliams, skridimo aikštėms ir kitoms eismo zonoms ...“ 2003).

Aktyvintųjų mineralinių miltelių gamintojas garantuoja tiekiamų miltelių savybių rodiklių atitikimą LST 1419 reikalavimams. Prie kiekvienos aktyvintųjų mineralinių miltelių partijos pateikiamas atitinkamas kokybės dokumentas – atitikties deklaracija.

Aktyvintųjų mineralinių miltelių gavėjas turi teisę atlikti kontrolinį savybių rodiklių patikrinimą ir atitikimą standarto LST 1419 reikalavimams. Pavyzdį kontroliniam patikrinimui gavėjas atrenka pagal šiame standarte nurodyta metodiką. Jei kontrolinio patikrinimo rezultatai neatitinka LST 1419 standarto reikalavimų, tai gavėjas turi teisę ginčą spręsti arbitražo tvarka (LST EN 13043+AC „Keliams, skridimo aikštėms ir kitoms eismo zonoms ...“ 2003).

Papildomasis mikroužpildas, papildomieji mineraliniai milteliai – mineralinės kilmės milteliai, pagaminti atskirai (su niekuo nesumaišius) (LST EN 13043+AC „Keliams, skridimo aikštėms ir kitoms eismo zonoms ...“ 2003).

Papildomiesiems mineraliniams milteliams keliama geometriniai (granulimetrinė sudėtis, kenksmingos mineralinės dulkės), fizikiniai (vandens drėgmės kiekis, dalelių sausasis tankis, tankumo savybės), cheminiai (tirpumas vandenyje, jautrumas vandeniui, kalcio karbonato kiekis klintiniuose milteliuose, kalcio hidroksido kiekis mišriuose mineraliniuose milteliuose) reikalavimai bei mineralinių miltelių tankumui keliama reikalavimai (papildomųjų mineralinių miltelių „bituminis skaičius“, akmenų anglies lakiųjų pelenų kaitinimo nuostoliai, papildomųjų mineralinių miltelių dalelių tankis, piltinis tankis žibale, lyginamasis paviršius) (LST EN 13043+AC „Keliams, skridimo aikštėms ir kitoms eismo zonoms ...“ 2003).

Po patikrinimo ar bandymų, kurie parodo, kad produktas neatitinka reikalavimų, ištirta medžiaga turi būti (LST EN 13043+AC „Keliams, skridimo aikštėms ir kitoms eismo zonoms ...“ 2003):

- perdirbama;

- nukreipiama kitam tinkamam panaudojimui;
- atmetama ir pažymima kaip neatitinkanti reikalavimų.

Visi neatitikties atvejai gamintojo turi būti registruojami, ištiriami ir, jeigu reikalinga, turi būti imamasi koregavimo, nurodytų standarto LST EN 13043+AC B priede, veiksmų.

2.5 Antrojo skyriaus išvados

1. Asfaltas – tai daugiakomponentė konglomeratinė medžiaga, sudaryta iš mineralinės ir organinės dalies. Mineralinę dalį sudaro skaldos, smėlio ir mineralinių miltelių apglūdinti ir kampuoti grūdėliai. Šie mineraliniai milteliai kontaktuoja su kitais grūdėliais bei yra padengti rišikliu (bitumas – organinė dalis) surišančiu juos į vieną monolitą.
2. Mineraliniai milteliai yra svarbiausias struktūrą formuojantis asfalto mišinių komponentas. Skirtingai nuo smėlio ir dar labiau nuo skaldos, mineraliniai milteliai turi didžiausią paviršiaus plotą. Jo plotas sudaro iki 90%–95% visų į asfalto mišinio sudėtį įeinančių mineralinių medžiagų suminio paviršiaus ploto.
3. Išanalizavus užsienio šalių patirtį galima teigti, kad granito mineralinių miltelių panaudojimo asfalto mišinių gamyboje tyrimų yra atlikta labai mažai. Daugeliu atvejų tiek granito mineralinius miltelius, tiek kitus nerūdinių uolienų gavybos šalutinius produktus siūloma panaudoti betono mišinių, plytų, trinkelų gamyboje.
4. Aktyvintiesiems mineraliniams milteliams keliami granulimetrinės sudėties, tankio, sutankintų miltelių tankio, poringumo, brinkimo, bitumo imlumo rodiklio, drėgnio, vienodumo bei hidrofobiškumo reikalavimai, o papildomiesiems mineraliniams milteliams keliami geometriniai (granulimetrinė sudėtis, kenksmingos mineralinės dulkės), fiziniai (vandens drėgmės kiekis, dalelių sausasis tankis, tankumo savybės), cheminiai (tirpumas vandenyje, jautrumas vandeniui, kalcio karbonato kiekis klintiniuose milteliuose, kalcio hidroksido kiekis mišriuose mineraliniuose milteliuose) reikalavimai

3. Granito mineralinių miltelių tinkamumo asfalto mišinių gamybai tyrimas

3.1. Tyrimo objektas

Granito mineralinių miltelių panaudojimo asfalto mišinių gamybai laboratorinis tyrimas buvo atliktas 2011 metų birželio spalio mėnesiais Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos inžinerijos fakulteto Kelių tyrimo instituto Automobilių kelių mokslo laboratorijoje.

Granito mineralinių miltelių fizinės mechaninės savybės buvo nustatomos iš 10-ties bandinių, kurie buvo paimti iš granito perdirbimo įmonės telkinio 10 skirtingų vietų. Granito mineralinių miltelių fizinėms mechaninėms savybėms nustatyti buvo atlikti granulimetrinės sudėties, dalelių tankio, molio dalelių kiekio ir Laikomosios gebos Kalifornijos rodiklio (CBR) nustatymo bandymai.

Siekiant įvertinti tos pačios markės asfalto mišinio, pagaminto su skirtingais mineraliniais milteliais, fizinių mechaninių savybių priklausomybę nuo panaudotų mineralinių miltelių, eksperimentiniam tyrimui parinkti dviejų tipų asfalto mišiniai – AC 11 VS ir AC 16 AS, kurių gamybai panaudoti aktyvinti klinčių mineraliniai milteliai ir granito mineraliniai milteliai. Kiekvienos tipo asfalto mišinio buvo maišoma po 2 identiškos granulimetrinės sudėties ir bitumo kiekio mišinius su skirtingais mineraliniais milteliais. Visų eksperimentinio tyrimo metu tirtų mišinių gamybai pasirinktas 50/70 bitumas. Buvo naudojami cheminiai priedai mineralinių medžiagų sukibimo su bitumu savybėms pagerinti. Visų keturių asfalto mišinių gamybai naudotas sukibimą gerinantis priedas Iterlene IN/400S. Asfalto mišiniai buvo maišomi pagal standartą LST EN 12697-35+A1.

3.2. Tyrimo metodai

Granito mineralinių miltelių ir asfalto mišinių su granito mineraliniais milteliais fizinėms ir mechaninėms savybėms nustatyti buvo atlikti šie bandymai:

- Granulimetrinės sudėties nustatymas, pagal LST EN 933-10;
- Mikroužpildų dalelių tankis piknometrinio metodu, pagal LST EN 1097-7:2008;
- Laikomosios gebos Kalifornijos rodiklio ir linijinio išbrinkimo nustatymas pagal LST EN 13286-47:2004;
- Granulimetrinės sudėties nustatymas nusodinant pagal LST EN 1360.1:1995 5 dalį;
- Molio kiekio nustatymas pagal Soil and Plant Analysis Laboratory Manual 4.2 punktą;
- Asfaltbetonio didžiausias tankis, pagal LST EN 12697-5+:2010;
- Asfaltbetonio tariamasis tankis, pagal LST EN 12697-6+A1:2007;
- Tuštymėtumo rodiklis, pagal LST EN 12697-8:2006;
- Pastovumas plastiškumas (prie 60°C), pagal LST EN 12697-34+A1:2007;

- Bitumo kiekis, LST EN 12697-1:2006 ir granuliometrinė sudėtis, pagal LST EN 12697-2+A1:2007;
- Skeliamasis stipris pagal LST EN 12697-23:2003;
- Rato riedėjimo vėžė pagal LST EN 12697-22+A1:2007.

Granuliometrinės sudėties nustatymas pagal LST EN 933-10

Bandymas susideda iš mikroužpildo padalijimo ir suskirstymo nustatyto tankumo sietais į skirtingo stambumo dalelių frakcijas. Sietų skaičius ir jų vardinių akelių matmenys nurodyti LST EN 933-10. Metodas visiškai tinkamas medžiagoms, kurios yra sausos, nelinkusios nei sušokti, nei turėti elektrostatinį krūvį.

Šis metodas yra pagrįstas sijojimu sauso oro sraute. Išbirų masės per atitinkamus sietus susiejamos su pradinės medžiagos mase. Jų pradiniai duomenys pateikiami skaitine arba grafine forma.

Į aparatą įdedamas 0,063 mm akelių sietas, ant jo suberiamas visas bandinys. Uždengus sietą organinio stiklo dangčiu įjungiamas sijojimo oro sraute aparatas. Slėgio skirtumas tarp slėgio aparate ir normalaus slėgio palaikomas ($3,0 \pm 0,5$) kPa. Sijojimas trunka mažiausiai 3 min, jis baigiamas, kai liekanos ant sieto masė per minutę pakinta ne daugiau kaip 0,1 % bandinio masės.

Likusios ant sieto medžiagos masė, įskaitant mikroužpildą, šepėčiu išvalytą iš sieto akelių, nustatoma 0,1 g tikslumu (R_1).

Aprašytas bandymas toliau kartojamas su 0,125 mm ir 2 mm akelių sietais. Kiekvienam atvejui naudojamos liekanos nuo anksčiau buvusio sieto ir gautų liekanų masė žymima kaip R_2 ir R_3 . Įvairios masės surašomos į bandymų protokolą pagal LST EN 933-10 A priedą.

Liekanų masės ant kiekvieno sieto apskaičiuojamos kaip pradinės išdžiovintos masės M_1 dalys procentais ir apvalinamos iki artimiausio sveiko skaičiaus. Išbirų per kiekvieną iki 0,063 mm sieto suma procentais apskaičiuojama pradinės išdžiovintos masės atžvilgiu. (LST EN 933-10 Užpildų... 2009)

Dalelių tankio nustatymas pagal LST EN 1097-7

Piknometrinis metodas nurodo būdą, kaip nustatyti netaisyklingos geometrinės formos bandinio tūrį, pvz., užpildo. Kai žinoma bandinio masė, galima apskaičiuoti jo tankį.

Metodas pagrįstas bandinio išstumto žinomo tankio skysčio kiekio nustatymu. Žinomo tūrio piknometras su jame esančiu bandiniu pasveriamas, piknometras užpildomas skysčiu. Šio skysčio tūris apskaičiuojamas jo masę padalijus iš tankio. Bandinio tūris apskaičiuojamas iš piknometro tūrio atėmus skysčio tūrį.

Bandyme naudojamas tinkamas skystis, kuriame mikroužpildas netirpsta ir su kuriuo nereaguoja.

Mikroužpildo tankis apskaičiuojamas pagal tokią formulę (LST EN 1097-7 Užpildų... 2008):

$$q_f = \frac{m_1 - m_0}{V \frac{m_2 - m_1}{q}} \quad [\text{Mg/m}^3],$$

čia m_0 – tuščio piknometro su kamščiu masė, g;

m_1 – piknometro su bandiniu masė, g;

m_2 – piknometro su bandiniu ir skysčiu masė, g;

V – piknometro tūris, ml;

q_1 – skysčio tankis megagramais kubiniam metrui, esant 25 °C temperatūrai;

q_f – mikroužpildo tankis megagramais kubiniam metrui, esant 25 °C temperatūrai.

Mikroužpildų dalelių tankis yra trijų nustatymų vidurkis, 0,01 Mg/m³ tikslumu (LST EN 1097-7 Užpildų... 2008).

Granulimetrinės sudėties nustatymas nusodinant pagal LST EN 1360.1:1995 5 dalį

Šiuo bandymu nustatoma mažesnių kaip 0,125 mm dalelių granulimetrinė sudėtis (3.1 pav.). Mažesnės kaip 0,001 mm dalelės šiuo metodu neskirstomos (LST 1360.1 Automobilių...1995).

Metodo esmė – nevienodų dydžių dalelės stovinčiame vandenyje grimzta nevienodu greičiu. Ryšys tarp dalelių dydžio, tankio ir grimzdimo greičio išreiškiamas Stokes'o dėsnio. Šis dėsnis galioja rutulio formos kūnams, pritaikius jį natūralaus grunto dalelėms, surandami atitinkami dalelių skersmenys.

Dalelėms atskirti grunto bandinys maišomas vandenyje iki suspensijos ir po to paliekamas stikliniame inde. Dėl nevienodo dalelių grimzdimo greičio, priklausančio nuo dalelių dydžio, einant laikui keičiasi dalelių pasiskirstymas suspensijoje pagal tankį per visą stiklinio indo matavimo aukštį. Šiam pokyčiui išmatuoti ir masės daliai nustatyti pagal dalelių dydį naudojamas areometrinis metodas pagal Bouyoucos-Casagrande.

Areometrinio metodo suspensijos tankis matuojamas nustatytais laiko tarpais. Pagal tankį ir areometro panirimo gylį apskaičiuojama dalelių granulimetrinė sudėtis.

Iš anksto neišdžiovintas bandinys keletą valandų drėkinamas porceliano dubenyje 25 cm³ pripildytame natrio pirofosfato tirpalo ir kaip galima mažesnio kiekio (iki 100 cm³) distiliuoto vandens. Po to mentele išmaišomas iki vientisosios masės. Bandinys, pridėjus 400 cm³ distiliuoto vandens, atskiedžiamas ir be jokios liekanos supilamas į maišytuvą. Jame bandinys maišomas apie 10 minučių. Po maišymo indas išplaunamas distiliuotu vandeniu ir viskas supilama į matavimo cilindrą ir pripildoma iki 1000 cm³ žymos (LST 1360.1 Automobilių...1995).

Suspensija matavimo cilindre keletą minučių gerokai purtoma. Purtymo metu matavimo cilindras keletą kartų apverčiamas, neišpilant iš jo suspensijos. Po supurtymo cilindras su suspensija

pastatomas ant stalo. Tuo metu noliečiant sienelių į suspensiją panardinamas areometras ir paleidžiamas chronometras (3.2 pav.). Po 30 sekundžių 1 ir 2 minučių užrašomos atskaitos pagal menisko viršų. Po to areometras atsargiai išimamas, nuplaunamas distiliuotu vandeniu cilindre ir paliekamas plaukioti iki kito matavimo. Kiti areometriniai matavimai atliekami po 5, 15 ir 45 minučių, 2, 6 ir 24 valandų. Suspensijos temperatūra per pirmąsias 15 minučių matuojama vieną kartą, o vėliau iš karto po kiekvieno areometrinio matavimo (LST 1360.1 Automobilių...1995).



3.1 pav. Granulimetrinės sudėties nustatymo nusodinant bandinys



3.2 pav. Cilindras su suspensija ir areometru

Sausoji bandinio masė nustatoma paruošiant dvigubo dydžio bandinį. Bandinys dalinamas į 2 vienodos masės dalis. Tuo pat metu, kai viena pusė džiovinama krosnelėje, antroji bandinio pusė naudojama nusodinimo bandymui.

Medžiagos dalelių skersmuo d nustatomas iš nusodinimo įvertinimo nomogramos pagal Stokes'o dėsnį. Iš Stokes'o dėsnio:

$$d = \sqrt{\frac{18,35 \times \eta}{\rho_s - \rho_w}} \times 10^3;$$

čia: d – dalelių skersmuo, mm;

η – dinaminė skysčio klampa, $\text{N} \times \text{s}/\text{m}^2$;

ρ_s – dalelių tankis, g/cm^3 ;

ρ_w – skysčio tankis, g/cm^3 ;

$$v = \frac{h_p}{t};$$

čia: v – grimzdimo greitis, cm/s;

h_p – aukštis, cm;

t – laikas, s.

Dalelių, mažesnių už d , masės dalis % nuo visos bandinio masės apskaičiuojama pagal formulę:

$$a = \frac{100}{m_d} \times \frac{\rho_s}{\rho_s - 1} \times (R + C_T) = \frac{100}{m_u} \times (R + C_T);$$

čia: a – dalelių, mažesnių už d , masės dalis % nuo visos bandinio masės;

ρ_s – dalelių tankis, g/cm³;

m_d – sausoji bandinio masė, g;

R – pataisytas pagalbinis dydis;

C_T – korekcinė reikšmė, kuria atsižvelgiama į temperatūros įtaką R' ;

$$R' = (\rho' - 1) \times 10^3;$$

čia: ρ' – areometro atskaita, atitinkanti suspensijos tankį, g/cm³.

$$R = R' + C_m;$$

čia: C_m – korekcinė reikšmė, pateikta R' vienetui.

Molio kiekio nustatymas pagal Soil and Plant Analysis Laboratory Manual 4.2 punktą

Šiuo bandymu nustatomas molio dalelių (0,0020 mm) kiekis bandinyje, kurio dalelių dydis yra ne didesnis kaip 2 mm.

Metodo esmė – nevienodo dydžio dalelės stovinčiame vandenyje grimzta nevienodu greičiu. Ryšys tarp dalelių dydžio, tankio ir grimzdimo greičio išreiškiamas Stokes'o dėsnio.

Siekiant išvengti koaguliacijos, naudojamas natrio heksametafosfato ((NaPO₃)₁₃) ir sodos karbonato (Na₂CO₃) tirpalas: distiliuotame vandenyje ištirpinama 40 g sodos heksametafosfato ir 10 g sodos karbonato, supilama į 1 L talpos indą ir pripildoma distiliuoto vandens. Tada į indą įmerkiamas hidrometras ir nustatomas distiliuoto vandens su sodos heksametafosfato ((NaPO₃)₁₃) ir sodos karbonato (Na₂CO₃) tirpalu tankis R_b (Ryan *et al.* 2001).

Pasveriamas 40 g sausos medžiagos ir supilama į 600 mL talpos indą. Į indą su bandomąja medžiaga pripilama 60 mL sodos heksametafosfato ir sodos karbonato tirpalo, uždengiama dangčiu ir paliekama per naktį. Bandiniui išbrinkus tirpale, indas nepilnai pripildomas distiliuotu vandeniu ir suspensija maišoma 3 min. Išmaišius suspensiją, indas pripildomas distiliuotu vandeniu iki 1 L žymos ir vėl gerai išmaišoma bei paliekama 4 val dalelėms nusėsti. Po 4 val į indą įmerkiamas hidrometras ir nustatomas suspensijos tankis R_c (Ryan *et al.* 2001).

Molio kiekis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$(R_c - R_b) \cdot 100 / m;$$

čia R_c – distiliuoto vandens su 40 g sodos heksametafosfato $((NaPO_3)_{13})$ ir 10 g sodos karbonato (Na_2CO_3) tirpalo tankis, g/L;

R_b – suspensijos su banindiniu tankis, g/L;

m – sauso bandinio masė, g.

Asfalto mišinių maišymas laboratorijoje pagal LST EN 12697-35+A1

Eksperimentiniam tyrimui parinkti dviejų markių asfalto mišiniai, iš kurių vienas su skirtingomis mineralinių miltelių rūšimis (aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais ir granito mineraliniais milteliais).

Asfalto mišiniai laboratoriniam tyrimui buvo parinkti taip, kad atspindėtų asfalto mišinius, naudojamus keliams su sunkiąja (ypatingąją) apkrova, todėl buvo parinkti AC 11 VS ir AC 16 AS asfalto markės mišiniai, kurių gamybai buvo naudojamos granitinės medžiagos (su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais ir su granito mineraliniais milteliais). Tokiu būdu siekta įvertinti tos pačios markės asfalto mišinio, pagaminto su skirtingais mineraliniais milteliais, fizinių mechaninių savybių priklausomybę nuo panaudotų mineralinių miltelių. Visų eksperimentinio tyrimo metu tirtų mišinių gamybai pasirinktas 50/70 bitumas. Buvo naudojami cheminiai priedai mineralinių medžiagų sukibimo su bitumu savybėms pagerinti. Visų keturių asfalto mišinių gamybai naudotas sukibimą gerinantis priedas Iterlene IN/400S.

Kiekvienos markės asfalto mišinio buvo maišoma po 2 identiškos granuliometrinės sudėties ir bitumo kiekio mišinius su skirtingais mineraliniais milteliais. Asfalto mišiniai buvo maišomi ir tankinami 150°C temperatūroje. Pagal TRA ASFALTAS 08 AC 11 AS ir AC 11 VS (bitumas 50/70) asfalto bandinių tankinimo temperatūra yra 150±5°C.

Laboratorijoje asfalto mišiniai buvo maišomi mechanine asfalto maišykle (3.3 pav.), kurios kaitinamas dugnas leidžia užtikrinti reikiamos mišinio temperatūros palaikymą. Prieš sudedant mineralines medžiagas, rišiklį bei priedus į asfalto maišyklę, jie buvo atitinkamai paruošti. Mineralinės medžiagos buvo kaitinamos maišymo temperatūroje 8 valandas. Po to gerai permaišomos ir supilamos į maišyklę (LST EN 12697-35+A1 Bituminiai... 2007).

Priedai sukibimui pagerinti buvo pašildomi iki 60°C ir įmaišomi į darbinės temperatūros bitumą. Rišamoji medžiaga kaitinta maišymo temperatūroje ne ilgiau nei 4 valandas (LST EN 12697-35+A1 Bituminiai... 2007).



3.3 pav. Mechaninė asfalto maišyklė

Iki reikiamos temperatūros pakaitintas mineralinių medžiagų mišinys buvo supilamas į maišyklę, po to greitai ant jų pilamas bitumas ir maišoma 4 minutes. Gautas asfalto mišinys kaitinamas krosnyje, kurioje palaikoma Maršalo bandinių formavimo temperatūra. Prieš formuojant Maršalo bandinius mišinys buvo permaišomas kelis kartus. Gaminti keturi Maršalo bandiniai. Asfalto mišinio didžiausias tankis, tariamasis tankis ir skeliamasis stipris buvo nustatinėjamas iš 3 bandinių, o pastovumas ir plastiškumas (prie 60°C) – 4 bandinių. Granuliometrinė sudėtis ir bitumo kiekis – iš vieno, o rato riedėjimo vėžė – iš 2 bandinių.

Asfaltbetonio didžiausio tankio nustatymas pagal LST EN 12697-5:2010

Asfaltbetonio didžiausias tankis parodo asfalto mišinio tankį. Jis buvo nustatomas pagal standartą LST EN 12697-5+:2010 tūriniu metodu. Tam reikėjo žinomo tūrio piknometrų (3.4 pav.), distiliuoto vandens bei vakuuminio įrenginio. Pirmiausiai buvo pasveriami tušti piknometrai su antgaliu. Po to į juos, nuėmus galvutę, dedama iki kambario temperatūros atvėsinto asfalto mišinio. Tuomet piknometrai su antgaliu ir mišiniu dar kartą pasveriami. Pasvėrus, į piknometrus pilamas distiliuotas vanduo, taip kad apsemtų viduje esantį asfalto mišinį. Vandeniui pripildyti piknometrai dedami į vakuuminį įrenginį ir taip pašalinami susikaupę oro burbuliukai. Po to, piknometrai mirkomi pastovios temperatūros vandenyje (tam naudota speciali vandens vonelė) nuo 30 iki 180 min. Galiausiai piknometrai ištraukiami iš vonelės, apšluostomi ir uždėjus antgalį iki atžymos

prিপilama distiliuoto vandens Jie dar kartą pasveriami. Turint visus reikiamus duomenis, pagal standarte pateiktą formulę, apskaičiuojamas asfaltbetonio didžiausias tankis (LST EN 12697-5 Bituminiai... 2010).



3.4 pav. Piknometrai naudojami asfalto mišinio didžiausiam tankiui nustatyti

Asfaltbetonio tariamojo tankio nustatymas pagal LST EN 12697-6+A1:2007

Asfaltbetonio tariamasis tankis parodo optimalų asfalto dangos tankį paklotą iš tam tikro mišinio. Jis randamas nustatinėjant Maršalo bandinių tankį. Šie bandiniai gaminami Maršalo plūktuvu pagal LST EN 12697-30+A1:2007 standartą. Bandymo eiga yra tokia: iki reikiamos temperatūros įkaitintas mišinys dedamas į specialias formas (gilzes) (3.5 pav.) ir Maršalo plūktuvu (3.6 pav.) tankinamas po 50 kartų iš abiejų pusių. Po to atvėsinaamas. Asfaltbetonio tariamasis tankis nustatomas pagal LST EN 12697-6+A1:2007 standartą. Paruoštas Maršalo bandinys sveriamas 3 kartus (3.7 pav.). Pirmą kartą ore sausas, antrą kartą žinomos temperatūros vandenyje, kuriame prieš tai turėjo būti mirkomas mažiausiai 30 minučių ir trečią kartą ore iš karto ištrauktas iš vandens ir apšluostytas. Maršalo bandiniai buvo mirkomi specialiose pastovią temperatūrą palaikančiose vandens vonelėse (LST EN 12697-6+A1:2007 Bituminiai... 2007).



3.5 pav. Maršalo bandinių gamybai naudojamos formos



3.6 pav. Maršalo bandinių plūktuvas



3.7 pav. Maršalo bandiniai

Tuštymėto rodiklio nustatymas pagal LST EN 12697-8:2006;

Tuštymėto rodiklis parodo oro tuštumų kiekį asfalto bandinyje. Jis apskaičiuojamas naudojantis LST EN 12697-8:2006 standartu. Norint sužinoti tuštymėto rodiklį reikia turėti asfaltbetonio didžiausio tankio ir tariamojo tankio reikšmes (LST EN 12697-8 Bituminiai... 2006).

Pastovumo ir plastiškumo nustatymas (prie 60°C) pagal LST EN 12697-34+A1:2007

Pastovumas ir plastiškumas nustatomi specialiu presu, prieš tai Maršalo bandinius palaikius 60°C temperatūros vandenyje 45-60 min. Pastovumas parodo asfaltbetonio bandinio didžiausią stiprumą, o plastiškumas – didžiausią deformaciją (LST EN 12697-34+A1 Bituminiai... 2007).

Maršalo bandinių presas pavaizduotas 3.8 paveiksle.



3.8 pav. Maršalo bandinių presas

Bitumo kiekio pagal LST EN 12697-1:2006 ir granuliometrinės sudėties pagal LST EN 12697-2+A1:2007 nustatymas

Bitumo kiekis buvo nustatomas pagal LST EN 12697-1:2006 standartą, t.y. ekstrahavimo metodu, o granuliometrinė sudėtis – LST EN 12697-2+A1:2007, sijoiant per reikiamo dydžio akučių sietų rinkinius. Laboratorijoje naudotas automatinis ekstraktorius su tirpikliu trichloretilenu. Fiksuojama įdedamo ir išplauto tirpikliu bei išdžiovinto mišinio masės (LST EN 12697-1 Bituminiai...2006). Jų skirtumas - buvusio bitumo kiekis. Likusios išdžiovintos mineralinės medžiagos sijojamos per reikiamą sietų rinkinį ir nustatoma granuliometrinė sudėtis (LST EN 12697-2+A1 Bituminiai... 2007). Automatinis ekstraktorius ir sietai pavaizduoti 3.9 ir 3.10 paveiksluose.



3.9 pav. Automatinis ekstraktorius



3.10 pav. Užpildų granuliometrinei sudėčiai nustatinti naudojami sietai

Skeliamojo stiprio nustatymas pagal LST EN 12697-23

Skeliamasis stipris nustatomas specialiu presu, prieš tai Maršalo bandinius 2 h palaikius 25°C temperatūroje. Atitinkamai paruoštas Maršalo bandinys dedamas į presą ir spaudžiamas pastoviu greičiu iki tol, kol bandinys sugniuždomas (LST EN 12697-23 Bituminiai... 2003). Skeliamasis stipris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$ITS = \frac{2P}{\pi DH} \text{ [GPa]},$$

čia P – didžiausia apkrova, kN;

D – bandinio skersmuo, mm;

H – bandinio aukštis, mm.

Bandinio paruošimas voliniu tankintuvu pagal LST EN 12697-33+A1:2007/P:2008

Tam tikra bituminio mišinio masė yra tankinama stačiakampėje formoje su apkrova, uždėta ant lygaus plieninio volo ar jį atitinkančio įrenginio, arba ant vieno ar daugiau ratų su pneumatinėmis padangomis. Lygusis plieninis volas gali tiesiogiai judėti ant bituminio mišinio arba ant kelių vertikaliųjų plokščių, kurios naudojamos mišiniui tankinti. Ratas arba volas važiuoja pastoviu greičiu pagal reikalaujamą judėjimo schema, jeigu tai taikoma (LST EN 12697-33+A1 Bituminiai... 2008).

Bituminio mišinio, kuris turi būti sudėtas į formą, masė M apskaičiuojama pagal formulę:

$$M = 10^{-6} \times L \times l \times e \times \rho_m \times \left(\frac{100 - v}{100} \right);$$

čia M – plokštės masė, kg;

L – vidinis formos ilgis, mm;

e – galutinis plokštės storis, mm;

ρ_m – bituminio mišinio didžiausias tankis, kg/m³;

v – plokštės tuštymėtumas, %.

Forma pripildoma atsargiai ir lygiai kastuvėliu paskleidžiant, siekiant išvengti bet kokios segregacijos. Mišinys paskleidžiamas ir išlyginamas prieš pradedant tankinti.

Asfalto mišiniai buvo tankinami metodu, kai kontroliuojamas tankinimo intensyvumas. Tankinant šiuo metodu, apkrova didinama tiek kartų, kol pasiekama pagrindinė apkrova, t.y. kol gaunamas reikiamas tuštymėtumas arba kol plokštė įgyja reikiamą galutinį aukštį. Užbaigus tankinimą, prieš nuimant formą, plokštei leidžiama atvėsti iki kambario temperatūros.

Rato riedėjimo vėžės nustatymas pagal LST EN 12697-22+A1:2007

Šio metodo esmė – įvertinti bituminės medžiagos polinkį deformuotis išmatuojant gylį vėžės, susidariusios po kartotinio apkrauto rato važiavimo nustatytoje temperatūroje.

Pagal LST EN 12697-33:2007+A1:2007/P:2008 standartą paruošti bandiniai prieš rato riedėjimo vėžės bandymą buvo laikomi reikalaujamoje 60 ± 1 °C bandymo temperatūroje ne mažiau 4 valandų (bandinio storis ≤ 60 mm), ne mažiau 6 h (bandinio storis ≥ 60 mm) ir ne daugiau 24 h. Tada į rato riedėjimo įrenginį įdedamas bandinys, standžiai pritvirtinamas prie įrenginio stalo ir į bandinį apytikriai 20 mm nuo paviršiaus įtvirtinamas termoelementas. Pačiame bandinyje palaikoma 60 ± 1 °C temperatūra. Įjungiamas įrenginys ir atskaitomos rato vertikalojo poslinkio pradinės vertės (vėliau atskaitoma ne mažiau kaip 6 ir 7 kartus per pirmąją valandą ir atitinkamai ne mažiau kaip vieną kartą kas 500 apkrovimo ciklą. Rato padėtis bandinio vertikaliajame pjūvyje nustatoma kaip vidutinė vertė matavimų, atliktų ne mažiau 25 taškuose, išdėstytuose apytiksliai vienodais tarpais maždaug ± 50 mm atstumu nuo centrinio apkraunamo ploto taško statmenai skersinei bandinio ašiai. Rato vertikali padėtis matuojama jo nestustabdžius. Leidžiama riedėti kol bus atlikta 10000 apkrovimo ciklų arba tol, kol bus pasiekiamas 20 mm vėžės gylis, atsižvelgiant į tai, kuris iš šių atvejų bus trumpesnis laiko atžvilgiu. Iš bandinių i serijos matavimų 15-os vietinės deformacijos verčių m_{ij} ir bandinio storio h apskaičiuojamas santykinis vėžės gylis P_i , taikant tokią formulę (LST EN 12697-22+A1 Bituminiai... 2008):

$$P_i = 100 \times \sum_{j=1}^{15} \frac{(m_{ij} - m_{0j})}{(15 \times h)};$$

Čia P_i – išmatuotas santykinis vėžės gylis, %;

m_{ij} – vietinė deformacija, mm;

m_{0j} – pradinis matavimas j - toje vietoje;

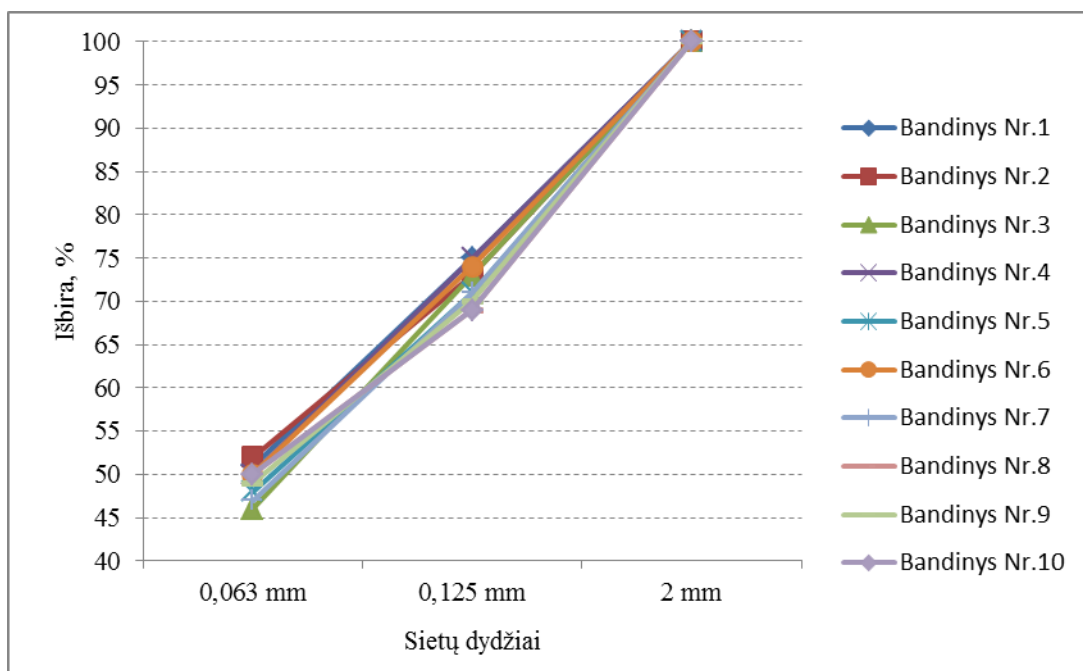
h – bandinio storis, mm.

3.3. Granito mineralinių miltelių laboratorinio tyrimo rezultatų analizė

Atlikus granuliometrinės sudėties nustatymo tyrimus pagal LST EN 933-10, nustatyta, kad visų 10 – ties bandinių granuliometrinė sudėtis netenkina TRA MIN 07 22 lentelėje papildomiesiems mineraliniams milteliams keliamų reikalavimų, nes išbiros pro 0,125 mm nepatenka į 85–100 % ribas, o išbiros pro 0,063 mm sietą nepatenka į 70–100 % ribas. Lyginant TRA MIN 07 reikalaujamas reikšmes su gautomis laboratorijoje, iš 3.12 pav. matome, kad laboratorijoje gautas per mažas išbirų pro 0,125 mm ir 0,063 mm sietus procentas. Granuliometrinės sudėties nustatymo rezultatai pateikti 3.1 lentelėje bei 3.11 ir 3.12 pav.

3.1 lentelė. Granulimetrinės sudėties nustatymo rezultatai

Bandinio Nr.	Išbira pro sietą, %		
	0,063 mm (70-100 %)	0,125 mm (85-100%)	2 mm (100%)
1.	51	75	100
2.	52	73	100
3.	46	73	100
4.	50	75	100
5.	48	71	100
6.	50	74	100
7.	47	71	100
8.	50	69	100
9.	49	70	100
10.	50	69	100

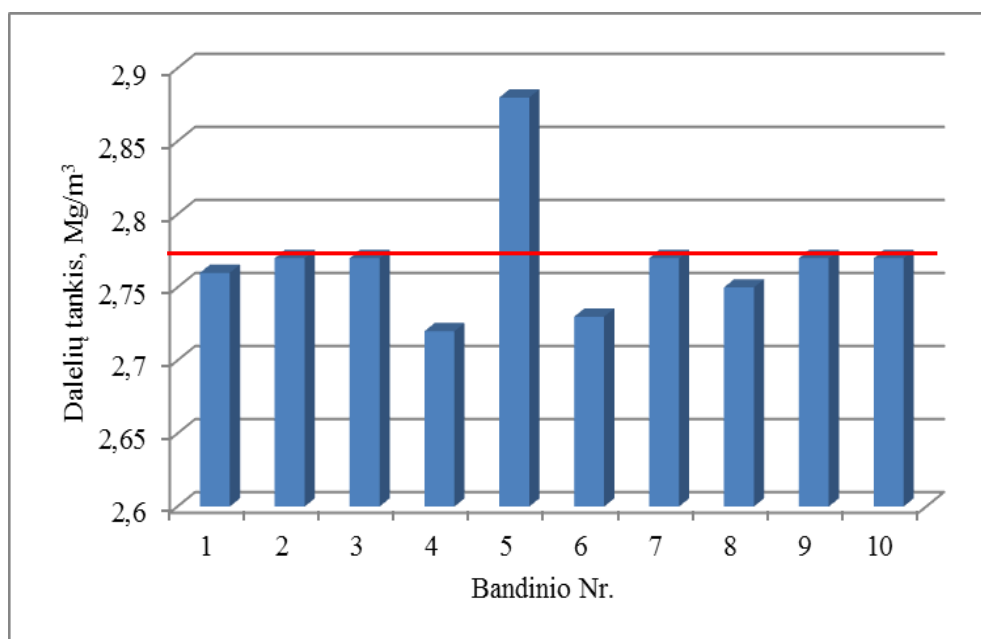


3.11 pav. Granulimetrinės sudėties nustatymo grafikas

Atlikus dalelių tankio nustatymo tyrimus, gauta, kad visų 10 – ties bandinių dalelių tankis, nustatytas pagal LST EN 1097-7, netenkina TRA MIN 07 papildomiesiems mineraliniams milteliams keliamų reikalavimų – $\leq 0,2 \text{ Mg/m}^3$. Didžiausias dalelių tankis nustatytas bandinyje Nr. 5 yra $2,88 \text{ Mg/m}^3$. Mažiausias tankis nustatytas bandinyje Nr.4 yra $2,72 \text{ Mg/m}^3$. Visų 10 – ties bandinių tankio nustatymo rezultatų vidurkis yra $2,77 \text{ Mg/m}^3$. Dalelių tankio nustatymo rezultatai pateikti 3.2 lentelėje ir 3.14 pav.

3.2 lentelė. Dalelių tankio nustatymo rezultatai

Bandinio Nr.	Didžiausias tankis, Mg/m ³				Reikalaujamas
	1	2	3	Vidurkis	
1.	2,77	2,77	2,75	2,76	0,20
2.	2,77	2,85	2,70	2,77	
3.	2,77	2,77	2,77	2,77	
4.	2,70	2,70	2,77	2,72	
5.	2,88	2,88	2,88	2,88	
6.	2,70	2,77	2,73	2,73	
7.	2,77	2,77	2,77	2,77	
8.	2,70	2,77	2,77	2,75	
9.	2,77	2,77	2,77	2,77	
10.	2,77	2,70	2,85	2,77	



3.12 pav. Dalelių tankio nustatymo grafikas (Raudona linija žymi vidurkį)

Kaip matome iš 3.12 pav., dalelių tankio nuokrypis nuo visų 10-ties bandinių dalelių tankio vidurkio yra labai nedidelis. Didžiausias dalelių tankio nuokrypis nuo vidurkio nustatytas bandinyje Nr. 5 yra 3,85 %.

Atlikus 5-ių bandinių granulimetrinės sudėties nustatymo tyrimus pagal LST EN 1360.1:1995 5 dalį, nustatyta, kad dalelių, kurių dydis yra nuo 0,0017 mm iki 0,0029 mm, kiekis bandinyje svyruoja nuo 6,96 % iki 10,54 %. Pagal standartą LST 1331:2002 Lt „Automobilių kelių gruntai. Klasifikacija“ molio dalelėmis laikomos tos dalelės, kurių dydis yra < 0,002 mm. Bandinyje Nr. 1 nustatytas dalelių dydis 0,0019 ir bandinyje Nr. 5 nustatytas dalelių dydis 0,0020 mm yra artimiausi standartui LST EN 1331:2002 Lt „Automobilių kelių gruntai. Klasifikacija“ nurodytam molio dalelių dydžiui – < 0,0020 mm, todėl šias daleles priimame kaip molio daleleles. Taigi, galima teigti, kad molio dalelių kiekis bandinyje Nr. 1 yra 8,29 % o bandinyje Nr. 5 – 8,55 %. Molio dalelių kiekio vidurkis yra 8,42 %. Išanalizavus granulimetrinės sudėties nustatymo

nusodinant rezultatus, taip pat matomas aiškus ryšys tarp dalelių dydžio, tankio ir grimzdimo greičio stovinčiame vandenyje – kuo stambesnės dalelės, tuo greičiau nusėsta. Granulimetrinės sudėties nusodinant nustatymo rezultatai pateikti lentelėje Nr. 3.5.

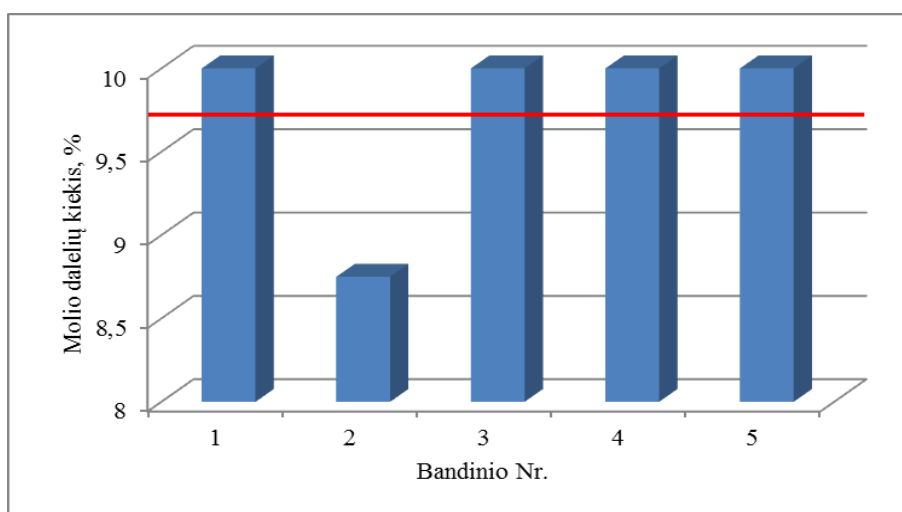
3.5 lentelė. Granulimetrinės sudėties nustatymo nusodinant rezultatai

Bandinys Nr.1		Bandinys Nr.2		Bandinys Nr.3		Bandinys Nr.4		Bandinys Nr.5	
Dalelių skersmuo d, mm	Dalelių mažesnių už d %	Dalelių skersmuo d, mm	Dalelių mažesnių už d %	Dalelių skersmuo d, mm	Dalelių mažesnių už d %	Dalelių skersmuo d, mm	Dalelių mažesnių už d %	Dalelių skersmuo d, mm	Dalelių mažesnių už d %
0,0963	81,07	0,1053	80,26	0,0917	77,46	0,0976	80,26	0,0963	75,54
0,0639	71,36	0,0707	69,11	0,0600	66,39	0,0641	69,11	0,0630	64,71
0,0392	53,52	0,0467	55,78	0,0379	52,80	0,0408	55,78	0,0397	51,31
0,0204	36,31	0,0259	38,74	0,0199	36,36	0,0216	38,74	0,0212	36,49
0,0091	21,60	0,0125	24,79	0,0090	22,13	0,0100	24,79	0,0097	23,09
0,0041	13,77	0,0060	16,11	0,0038	11,70	0,0047	16,11	0,0044	14,54
0,0019	8,29	0,0029	10,54	0,0017	6,96	0,0024	10,54	0,0020	8,55
0,0007	3,60	0,0012	6,20	0,0007	3,79	0,0008	6,20	0,0009	4,56
0,0003	0,94	0,0005	0,46	0,0003	0,95	0,0003	0,46	0,0004	2,71

Atlikus 5-ių bandinių molio dalelių kiekio nustatymo tyrimus pagal Soil and Plant Analysis Laboratory Manual 4.2 punktą, nustatyta, kad dalelių, kurių dydis yra $< 0,0020$ mm svyruoja nuo 8,75 % iki 10% nuo visos išdžiovinto bandinio masės. Visų 5-ių bandinių gautų molio kiekio rezultatų vidurkis yra 9,75 %. Mažiausias molio kiekis nustatytas bandinyje Nr. 2 (8,75 %), bandiniuose Nr. 1, Nr.3, Nr.4, Nr.5 nustatytas molio kiekis yra 10%. Galima teigti, kad molio kiekio pasiskirstymas atskiruose granito mineralinių miltelių ėminiuose yra tolygus. Molio kiekio nustatymo rezultatai pateikti lentelėje Nr. 3.6 ir paveikslėlyje Nr. 3.13:

3.6 lentelė. Molio kiekio nustatymo rezultatai

Bandinio Nr.	1	2	3	4	5
Molio kiekis, %	10	8,75	10	10	10



3.13 pav. Molio kiekio nustatymo rezultatai (Raudona linija žymi vidurkį)

3.3. Asfalto mišinių su granito bei aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais laboratorinių tyrimų rezultatų analizė

Atlikus laboratorijoje sumaišytų asfalto mišinių su granito bei aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais granulimetrinės sudėties nustatymo tyrimus pagal LST EN 12697-2+A1:2007 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 2 dalis. Granulimetrinės sudėties nustatymas” standartą, nustatyta, kad visų 4 asfalto mišinių granulimetrinė sudėtis tenkina projektinius reikalavimus bei TRA ASFALTAS 08 8 priede keliamus granulimetrinės sudėties reikalavimus.

Asfalto viršutinio sluoksnio mišinio AC 11 VS mineralinių medžiagų mišinio frakcinės sudėties faktinės ir projektinės reikšmės palygintos 3.7 lentelėje:

3.7 lentelė. Mineralinių medžiagų mišinio frakcinės sudėties faktinių ir projektinių reikšmių palyginimas

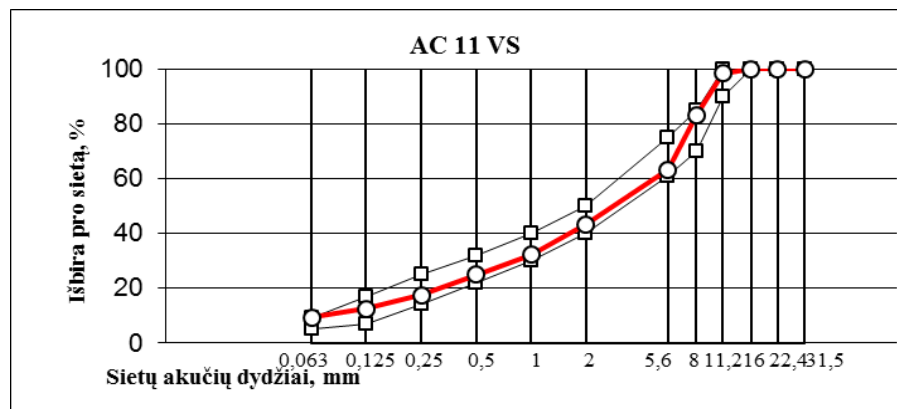
Frakcija	Asfaltbetonis AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais		Asfaltbetonis AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais	
	Faktinė	Projektinė	Faktinė	Projektinė
<0,063	9,4	6,9	7,5	6,9
<0,125	12,4	11,6	9,3	11,6
0,063-2	34,0	38,6	39,0	38,6
>2	56,6	54,4	53,5	54,4
>8	16,8	18,3	15,1	18,3

Kaip matome iš 3.7 lentelės, asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais išbira pro 0,063 mm sieta yra 2,5 % didesnė už projektinę, tačiau neviršija IT ASFALTAS 08 7 lentelėje nurodyto leistinojo 3,0 % nuokrypio. Nustatyta išbira pro 0,125 mm sieta yra 0,8 % didesnė už projektinę, tačiau neviršija IT ASFALTAS 08 8 lentelėje nurodyto leistinojo 3,0 % nuokrypio. Nustatytas smulkiosios mineralinės medžiagos (0,063-2 mm) yra 4,6 % mažesnis už projektinį, bet neviršija IT ASFALTAS 08 9 lentelėje nurodyto leistinojo 8,0 % nuokrypio. Nustatytas stambiosios mineralinės (>2 mm) kiekis yra 2,2 % didesnis už projektinį, tačiau neviršija IT ASFALTAS 08 10 lentelėje nurodyto leistinojo 8,0 % nuokrypio. Nustatytas stambiausios mineralinės medžiagos kiekis yra 1,5 % mažesnis už projektinį, tačiau neviršija IT ASFALTAS 08 12 lentelėje nurodyto leistinojo 5,0 % nuokrypio.

Asfaltbetonio AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais išbira pro 0,063 mm sieta yra 0,6% didesnė už projektinę, tačiau neviršija IT ASFALTAS 08 7 lentelėje nurodyto leidžiamo 3,0 % nuokrypio. Nustatyta išbira pro 0,125 mm sieta yra 2,3 % didesnė už projektinę,

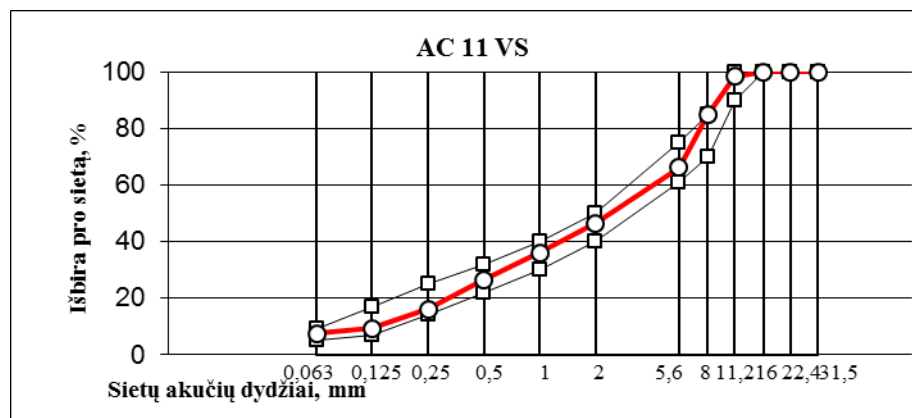
tačiau neviršija IT ASFALTAS 08 8 lentelėje nurodyto leidžiamo 3,0 % nuokrypio. Nustatytas smulkiosios mineralinės medžiagos (0,063 – 2 mm) yra 0,4 % didesnis už projektinį, bet neviršija IT ASFALTAS 08 9 lentelėje nurodyto leistinojo 8,0 % nuokrypio. Nustatytas stambiosios mineralinės (>2 mm) kiekis yra 0,9 % mažesnis už projektinį, tačiau neviršija IT ASFALTAS 08 10 lentelėje nurodyto leistinojo 8,0 % nuokrypio. Nustatytas stambiausios mineralinės medžiagos (>8 mm) kiekis yra 3,2 % mažesnis už projektinį, tačiau neviršija IT ASFALTAS 08 12 lentelėje nurodyto leistinojo 5,0 % nuokrypio.

Asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais bei aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais granulimetrinės kreivės pateiktos 3.14 pav. ir 3.15 pav.:



3.14 pav. Asfaltbetonio AC 11 VS su granitiniais milteliais granulimetrinė kreivė

Kaip matome iš 3.14 pav., asfaltbetonio AC 11 VS su granitino mineraliniais milteliais, granulimetrinė kreivė tenkina TRA ASFALTAS 08 8 priedo 16 pav. pateiktas granulimetrinės kreivės ribas.



3.15 pav. Asfaltbetonio AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais granulimetrinė kreivė

Kaip matome iš 3.15 pav., asfaltbetonio AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais, granulimetrinė kreivė tenkina TRA ASFALTAS 08 8 priedo 16 pav. pateiktas granulimetrinės kreivės ribas.

Asfalto viršutinio sluoksnio mišinio AC 16 AS mineralinių medžiagų mišinio frakcinės sudėties faktinės ir projektinės reikšmės palygintos 3.8 lentelėje.

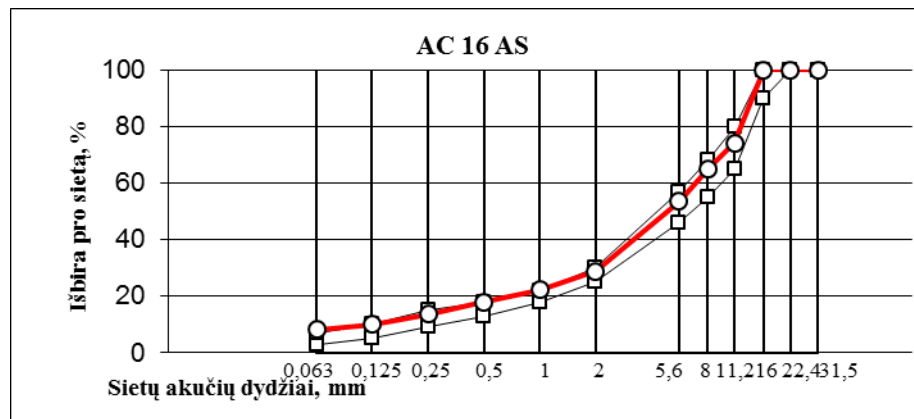
3.8 lentelė. Mineralinių medžiagų mišinio frakcinės sudėties faktinių ir projektinių reikšmių palyginimas

Frakcija	Asfaltbetonis AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais		Asfaltbetonis AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais	
	Faktinė	Projektinė	Faktinė	Projektinė
<0,063	8,1	5,1	5,7	5,1
<0,125	10,0	7,7	7,2	7,7
0,063-2	20,7	22,9	22,3	22,9
>2	71,2	72,0	72,1	72,0
>11,2	25,8	28,5	27,3	28,5

Kaip matome iš lentelės Nr. 3.8, asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais išbira pro 0,063 mm sietą yra 3,0 % didesnė už projektinę ir yra lygi IT ASFALTAS 08 7 lentelėje nurodytam leistinajam 3,0 % nuokrypiui. Nustatyta išbira pro 0,125 mm sietą yra 2,3% didesnė už projektinę, tačiau neviršija IT ASFALTAS 08 8 lentelėje nurodyto leidžiamo 3,0 % nuokrypio. Nustatytas smulkiosios mineralinės medžiagos (0,063 – 2 mm) yra 2,2 % mažesnis už projektinį, bet neviršija IT ASFALTAS 08 9 lentelėje nurodyto leistinojo 8,0 % nuokrypio. Nustatytas stambiosios mineralinės (>2 mm) kiekis yra 0,8 % mažesnis už projektinį, tačiau neviršija IT ASFALTAS 08 10 lentelėje nurodyto leistinojo 8,0 % nuokrypio. Nustatytas stambiausios mineralinės medžiagos kiekis yra 2,7 % mažesnis už projektinį, tačiau neviršija IT ASFALTAS 08 12 lentelėje nurodyto leistinojo 5,0 % nuokrypio.

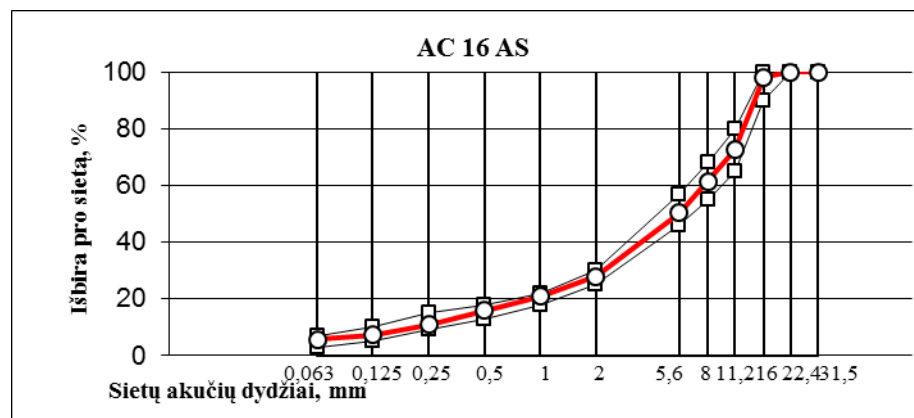
Asfaltbetonio AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais išbira pro 0,063 mm sietą yra 0,6% didesnė už projektinę, tačiau neviršija IT ASFALTAS 08 7 lentelėje nurodyto leidžiamo 3,0 % nuokrypio. Nustatyta išbira pro 0,125 mm sietą yra 0,5 % mažesnė už projektinę, tačiau neviršija IT ASFALTAS 08 8 lentelėje nurodyto leidžiamo 3,0 % nuokrypio. Nustatytas smulkiosios mineralinės medžiagos (0,063 – 2 mm) yra 0,6 % mažesnis už projektinį, bet neviršija IT ASFALTAS 08 9 lentelėje nurodyto leistinojo 8,0 % nuokrypio. Nustatytas stambiosios mineralinės (>2 mm) kiekis yra 0,1 % didesnis už projektinį, tačiau neviršija IT ASFALTAS 08 10 lentelėje nurodyto leistinojo 8,0 % nuokrypio. Nustatytas stambiausios mineralinės medžiagos (>11,2 mm) kiekis yra 1,2 % mažesnis už projektinį, tačiau neviršija IT ASFALTAS 08 12 lentelėje nurodyto leistinojo 5,0 % nuokrypio.

Asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais bei aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais granulimetrinės kreivės pateiktos 3.16 pav. ir 3.17 pav.



3.16 pav. Asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais granulimetrinė kreivė

Kaip matome iš 3.16 pav., asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais, granulimetrinė kreivė tenkina TRA ASFALTAS 08 8 priedo 12 pav. pateiktas granulimetrinės kreivės ribas.



3.17 pav. Asfaltbetonio AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais granulimetrinė kreivė

Kaip matome iš 3.17 pav., asfaltbetonio AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais, granulimetrinė kreivė tenkina TRA ASFALTAS 08 8 priedo 12 pav. pateiktas granulimetrinės kreivės ribas.

Atlikus bitumo kiekio nustatymo tyrimus, nustatyta, kad asfaltbetonyje AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais bitumo kiekis yra 0,19 % mažesnis už projektinį, tačiau neviršija ĮT ASFALTAS 08 6 lentelėje nurodyto leistinojo nuokrypio – 0,5 %. Asfaltbetonyje AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais nustatytas bitumo kiekis yra 0,01 % didesnis už projektinį ir neviršija ĮT ASFALTAS 08 6 lentelėje nurodyto leistinojo nuokrypio – 0,5 %. asfaltbetonyje AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais nustatytas bitumo kiekis yra 0,05 % mažesnis už projektinį ir neviršija ĮT ASFALTAS 08 6 lentelėje nurodyto leistinojo nuokrypio –

0,5 %. Asfaltbetonyje AC 16 AS su klinčių mineraliniais milteliais nustatytas bitumo kiekis yra 0,1 % mažesnis už projektinį ir neviršija IT ASFALTAS 08 6 lentelėje nurodyto leistinojo nuokrypio – 0,5 %.

Asfaltbetonių AC 11 VS ir AC 16 AS su granito bei aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais projektinis ir faktinis bitumo kiekis palyginamas lentelėje Nr. 3.9:

3.9 lentelė. Asfaltbetonių AC 11 VS ir AC 16 AS su granito bei aktyvintais klinčių milteliais faktinio ir projekcinio bitumo kiekio palyginimas

Asfalto mišinys AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais		Asfalto mišinys AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais		Asfalto mišinys AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais		Asfalto mišinys AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais	
Faktinė	Projektinė	Faktinė	Projektinė	Faktinė	Projektinė	Faktinė	Projektinė
5,33	5,52	5,53	5,52	4,27	4,32	4,22	4,32

Asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais ir aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais fizinių mechaninių savybių nustatymo rezultatai pateikti 3.10 lentelėje:

3.10 lentelė. Asfaltbetonio AC 11 VS su granito ir aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais fizinių mechaninių savybių nustatymo rezultatai

Savybės ir rodikliai	Asfalto mišinys		Reikalavimai
	AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais	AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais	
	Faktinis	Faktinis	
Pastovumas pagal Maršalą, kN	10,8	13,0	–
Takumas pagal Maršalą, mm	3,9	3,3	–
Maršalo koeficientas (pastovumo ir takumo santykis), kN/mm	2,8	3,9	–
Asfalto bandinių tariamasis tankis, kg/m ³	2446	2431	–
Asfalto mišinio didžiausias tankis, Mg/m ³	2,466	2,451	–
Asfalto bandinių tuštymėtumo rodiklis, %	0,8	0,8	2,0 – 4,0

Kaip matome iš 3.10 lentelės, asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais Maršalo koeficientas yra 1,1 kN/mm mažesnis už asfaltbetonio AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais. Nustatyta, kad asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais bandinių tariamasis tankis yra 15 kg/m³ didesnis nei asfalto mišinio AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais. Atlikus asfaltbetonio didžiausio tankio nustatymo tyrimus, nustatyta, kad asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais didžiausias tankis yra

0,015 Mg/ m³ už asfaltbetonio AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais. Nustačius asfalto bandinių tuštymetumo rodiklį, galima teigti, kad abiejų mišinių tuštymetumo rodiklis yra vienodas (0,8 %) ir tenkina IT ASFALTAS 08 72 punkte nurodytą nuokrypį – 1,5 % nuo TRA ASFALTAS 08 6 lentelėje nurodytu 2,0–4,0 % tuštymetumo rodikliu asfalto viršutinio sluoksnio mišiniams.

Asfaltbetonio AC 16 AS su granito ir aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais fizinių mechaninių savybių nustatymo rezultatai pateikti 3.11 lentelėje:

3.11 lentelė. Asfaltbetonio AS 16 AS su granito ir aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais fizinių mechaninių savybių nustatymo rezultatai

Savybės ir rodikliai	Asfalto mišinys		Reikalavimai
	AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais	AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais	
	Faktinis	Faktinis	
Pastovumas pagal Maršalą, kN	12,1	9,8	–
Takumas pagal Maršalą, mm	3,3	2,3	–
Maršalo koeficientas (pastovumo ir takumo santykis), kN/mm	3,7	4,4	–
Asfalto bandinių tariamasis tankis, kg/m ³	2467	2393	–
Asfalto mišinio didžiausias tankis, Mg/m ³	2,511	2,510	–
Asfalto bandinių tuštymetumo rodiklis, %	1,8	4,7	2,0 – 4,0

Kaip matome iš 3.11 lentelės, asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais Maršalo koeficientas yra 1,0 kN/mm didesnis už asfaltbetonio AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais. Nustatyta, kad asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais bandinių tariamasis tankis yra 73 kg/m³ didesnis nei asfaltbetonio AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais. Atlikus asfaltbetonio didžiausio tankio nustatymo tyrimus, nustatyta, kad asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais didžiausias tankis yra 0,001 Mg/ m³ už asfaltbetonio AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais. Atlikus asfalto bandinių tuštymetumo rodiklio nustatymo tyrimus, gauta, kad asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais bandinių tuštymetumo rodiklis yra 1,9 % mažesnis už asfaltbetonio AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais. Asfaltbetonio AC 16 AS tuštymetumo rodiklių nuokryptai tenkina IT ASFALTAS 08 72 punkte nurodytą nuokrypį – 1,5 % nuo TRA ASFALTAS 08 6 lentelėje nurodytu 2,0–4,0 % tuštymetumo rodiklių asfalto apatinio sluoksnio mišiniams.

Asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais ir AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais skeliamojo stiprio nustatymo rezultatai pateikti 3.12 lentelėje:

3.12 lentelė. Asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais ir AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais skeliamojo stiprio nustatymo rezultatai

Asfalto mišinys	AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais	AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais
Bandinių storių vidurkis, mm	64,1	60,4
Bandinių skersmens vidurkis, mm	101,5	101,4
Netiesioginės tempimo stiprumo jėgos vidurkis, GPa	0,001111	0,001524

Kaip matome iš 3.12 lentelės, asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais netiesioginės tempimo stiprumo jėgos vidurkis 0,000413 GPa mažesnis už asfaltbetonio AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais. Pagal skeliamojo stiprio nustatymo rezultatus galima spręsti, kad asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais sankabumas yra prastesnis nei asfaltbetonio AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais.

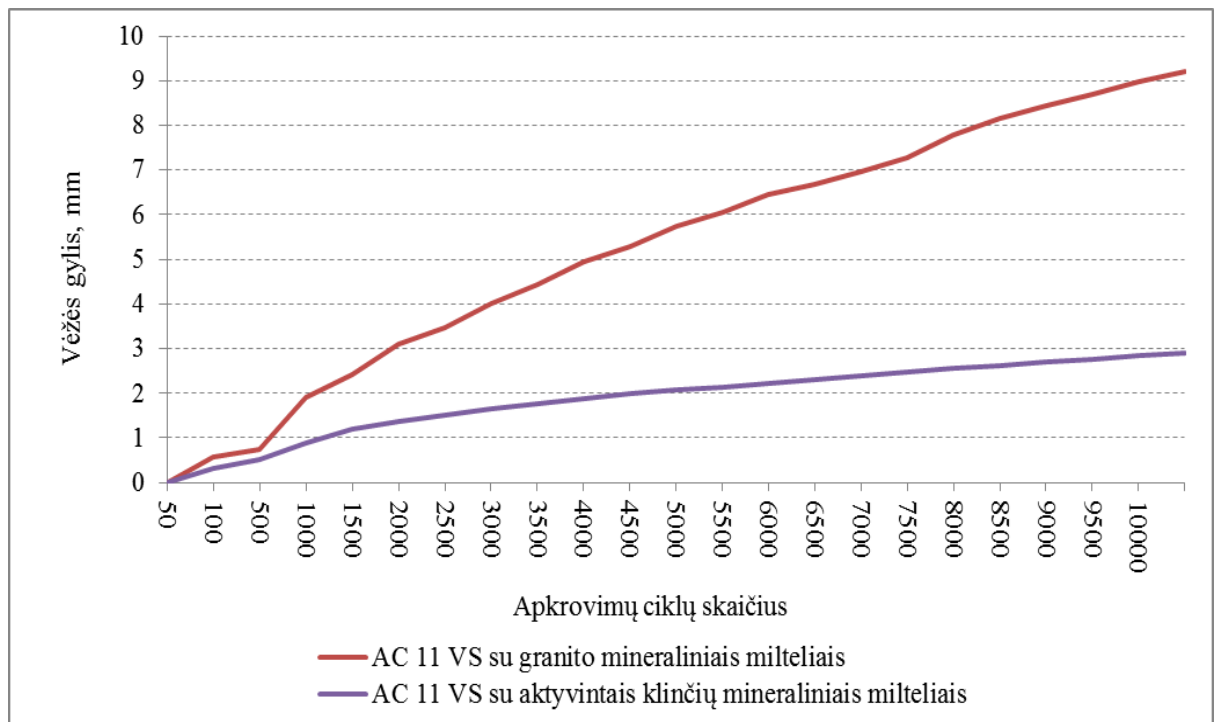
Asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais ir AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais skeliamojo stiprio nustatymo rezultatai pateikti 3.13 lentelėje:

3.13 lentelė. Asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais ir AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais skeliamojo stiprio nustatymo rezultatai

Asfalto mišinys	AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais	AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais
Bandinių storių vidurkis, mm	66,3	64,9
Bandinių skersmens vidurkis, mm	101,6	101,6
Netiesioginės tempimo stiprumo jėgos vidurkis, GPa	0,001263	0,001307

Kaip matome iš 3.13 lentelės, asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais netiesioginės tempimo stiprumo jėgos vidurkis 0,000044 GPa mažesnis už asfaltbetonio AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais. Pagal skeliamojo stiprio nustatymo rezultatus galima spręsti, kad asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais sankabumas yra prastesnis nei asfaltbetonio AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais.

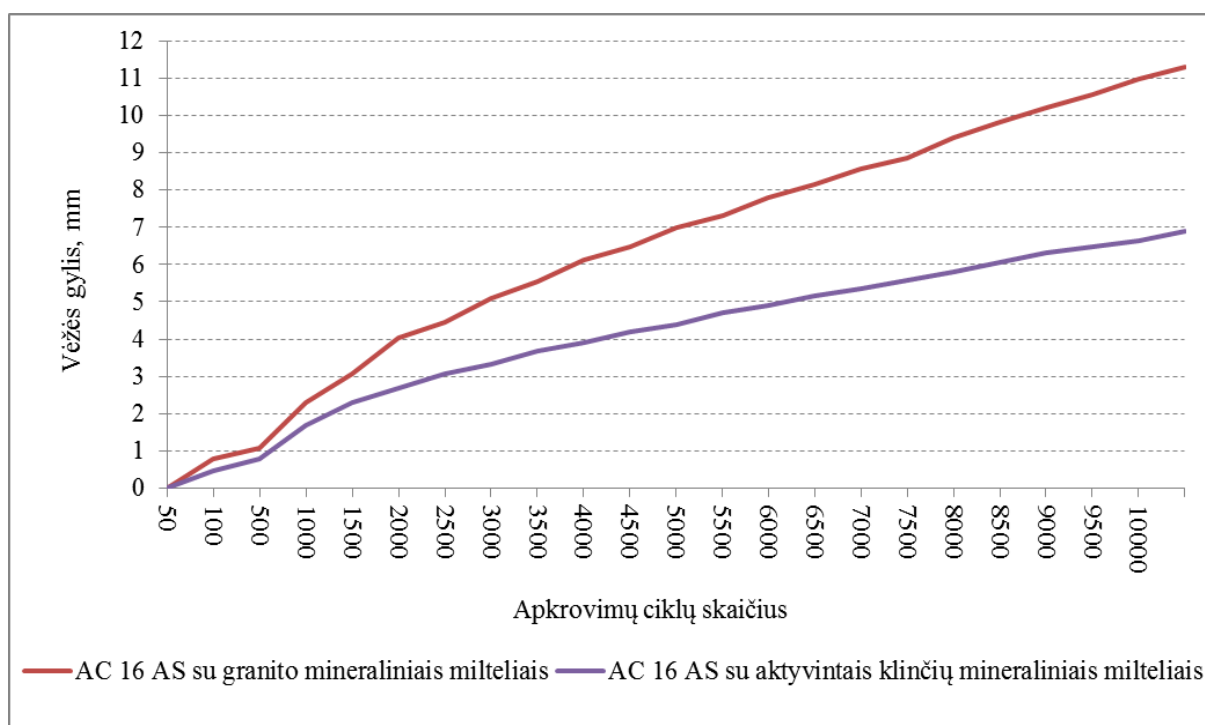
Rato riedėjimo vėžės bandymas buvo atliekamas bandant kiekvieno laboratorijoje sumaišytų asfalto mišinių po 2 bandinius. Rezultatų analizei naudojami 2 bandinių vėžės gylis vidurkis. Asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais (Bandinys Nr. 1) ir AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais (Bandinys Nr. 2) Rato riedėjimo vėžės bandymo rezultatų vidurkiai pateikti 3.18 pav.



3.18 pav. Asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais ir AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais Rato riedėjimo vėžės bandymo rezultatų vidurkiai

Kaip matome iš 3.18 pav., asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais (Bandinys Nr. 1) vėžės gylio vidurkis po 10000 apkrovimo ciklų yra 9,21 mm, o asfaltbetonio AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais (Bandinys Nr. 2) vėžės gylio vidurkis po 10000 apkrovimo ciklų yra 2,91 mm. Taigi asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais atsparumas provėžoms yra žymiai mažesnis nei asfaltbetonio AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais.

Asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais (Bandinys Nr. 3) ir AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais (Bandinys Nr. 4) Rato riedėjimo vėžės bandymo rezultatų vidurkiai pateikti 3.19 pav.



3.19 pav. Asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais ir AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais Rato riedėjimo vėžės bandymo rezultatai

Kaip matome iš 3.19 pav., asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais (Bandinys Nr. 3) vėžės gylis po 10000 apkrovimo ciklų yra 11,3 mm, o asfaltbetonio AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais (Bandinys Nr. 3) vėžės gylis po 10000 apkrovimo ciklų yra 6,09 mm. Taigi asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais atsparumas provėžoms yra žymiai mažesnis nei asfaltbetonio AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais.

3.5. Trečiojo skyriaus išvados

Atlikus gautų rezultatų analizę, pateikiamos tokios išvados:

1. Granito mineralinių miltelių granulimetrinė sudėtis netenkina TRA MIN 07 reikalavimų, nes išbiros pro 0,125 mm nepatenka į 85 – 100 % ribas, o išbiros pro 0,063 mm sietą nepatenka į 70–100 % ribas. Lyginant TRA MIN 07 reikalaujamas reikšmes su gautomis laboratorijoje, gauta, kad laboratorijoje nustatytas per mažas išbirų pro 0,125 mm ir 0,063 mm sietus procentas.
2. Visų 10 – ties bandinių dalelių tankis, nustatytas pagal LST EN 1097-7, netenkina TRA MIN 07 reikalavimų – 0,2 Mg/m³. Didžiausias tankis nustatytas bandinyje Nr. 5 yra 2,88 Mg/m³. Mažiausias tankis nustatytas bandinyje Nr. 4 yra 2,72 Mg/m³. Visų 10 – ties bandinių tankio nustatymo rezultatų vidurkis yra 2,77 kg/m³. Didžiausias dalelių tankio nuokrypis nuo vidurkio nustatytas bandinyje Nr. 5 yra 3,85 %..

3. Dalelių, kurių dydis yra nuo 0,0017 mm iki 0,0029 mm, kiekis bandiniuose svyruoja nuo 6,96% iki 10,54 %. Bandinyje Nr. 1 nustatytas dalelių dydis 0,0019 ir bandinyje Nr. 5 nustatytas dalelių dydis 0,0020 mm yra artimiausi standartui LST EN 1331:2002 Lt „Automobilių kelių gruntai. Klasifikacija“ nurodytam molio dalelių dydžiui – $< 0,0020$ mm, todėl šias daleles priimame kaip molio daleleles. Taigi, galima teigti, kad molio dalelių kiekis bandinyje Nr. 1 yra 8,29 % o bandinyje Nr. 5 – 8,55 %. Molio dalelių kiekio vidurkis yra 8,42 %.
4. Dalelių, kurių dydis yra $< 0,0020$ mm svyruoja nuo 8,75 % iki 10% nuo visos išdžiovinto bandinio masės. Visų 5-ių bandinių gautų molio kiekio rezultatų vidurkis yra 9,75 %.
5. Atlikus laboratorijoje sumaišytų asfalto mišinių laboratorinius tyrimus nustatyta, kad visų asfalto mišinių granulimetrinės sudėtis ir bitumo kiekis tenkina projektinius bei TRA ASFALTAS 08 keliamus reikalavimus.
6. Asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais Maršalo koeficientas yra 39 % mažesnis už asfaltbetonio AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais, o asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais Maršalo koeficientas yra 18,9 % mažesnis už asfaltbetonio AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais.
7. Asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais bandinių tariamasis tankis yra 6 % didesnis už asfaltbetonio AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais bandinių tariamąjį tankį, o asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais tariamasis tankis yra 3,1 % didesnis už asfaltbetonio AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais.
8. Asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais didžiausias tankis yra 0,6 % didesnis už asfaltbetonio AC VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais, o asfaltbetonio AC 16 AC su granito mineraliniais milteliais didžiausias tankis yra 0,04 % didesnis už asfaltbetonio AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais.
9. Asfaltbetonio AC 11 VS su granitinių miltelių bei su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais tuštytumo rodiklis yra vienodas (0,8 %), o asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais tuštytumo rodiklis yra 2,5 karto mažesnis už asfaltbetonio AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais. Visų 4-rių asfalto mišinių tuštytumo rodiklis tenkina IT ASFALTAS 08 keliamus reikalavimus.
10. Asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais skeliamasis stipris yra 37,2 % yra mažesnis nei asfaltbetonio AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais, o asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais skeliamasis stipris yra 3,5 % mažesnis už asfaltbetonio AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais.

11. Asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais bandinių vėžės gylio vidurkis yra 3 kartus didesnis nei asfaltbetonio AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais vėžės gylio vidurkį, o asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais vėžės gylio vidurkis po 10000 apkrovimo ciklų yra beveik 2 kartus didesnis už asfaltbetonio AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais.

Išvados ir rekomendacijos

1. Mineraliniai milteliai yra svarbiausias struktūrą formuojantis asfalto mišinių komponentas. Skirtingai nuo smėlio ir tuo labiau nuo skaldos, mineraliniai milteliai turi didžiausią paviršiaus plotą, kuris sudaro iki 90–95 % visų į asfalto mišinį įeinančių mineralinių medžiagų suminio paviršiaus ploto.
2. Kadangi Lietuvos automobilių kelių ir gatvių dangų konstrukcijų darbo sąlygos pasižymi padidintu drėgmės ir šalčio poveikiu, dideliu (70–80) užšalimo – atšilimo ciklų per metus skaičiumi, todėl gaminami asfalto mišiniai turi pasižymėti dideliu atsparumu vandens ir šalčio poveikiui. Viena iš sąlygų šiam atsparumui užtikrinti yra aktyvintųjų mineralinių miltelių naudojimas.
3. Išanalizavus užsienio šalių patirtį galima teigti, kad granito mineralinių miltelių panaudojimo asfalto mišinių gamyboje tyrimų yra atlikta labai mažai. Daugeliu atvejų tiek granito mineralinius miltelius, tiek kitus nerūdinių uolienų gavybos šalutinius produktus siūloma panaudoti betono mišinių, plytų, trinkelų gamyboje.
4. Atlikus asfalto mišinių fizinių mechaninių savybių tyrimus ir palyginus gautus rezultatus, galima teigti, kad asfalto mišinių su granito mineraliniais milteliais mechaninės savybės yra blogesnės už asfalto mišinių su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais. Tačiau gautų rezultatų skirtumas asfaltbetonio AC 16 AS yra mažesnis nei asfaltbetonio AC 11 VS.
5. Asfalto mišiniai su granito mineraliniais milteliais yra mažiau atsparūs vėžių susidarymui nei asfalto mišiniai su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais. Asfaltbetonio AC 11 VS su granito mineraliniais milteliais vėžės gylio vidurkis po 100000 apkrovimo ciklų yra 3 kartus didesnis už asfaltbetonio AC 11 VS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais, asfaltbetonio AC 16 AS su granito mineraliniais milteliais vėžės gylio vidurkis po 10000 apkrovimo ciklų yra 2 kartus didesnis už asfalto mišinio AC 16 AS su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais.
6. Asfalto mišinių su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais didžiausias tankis, tariamasis tankis ir tuštymėtumo rodiklis yra mažesni už asfalto mišinių su granito mineraliniais milteliais.

-
7. Asfalto mišinių su granito mineraliniais milteliais pastovumas pagal Maršalą, takumas pagal Maršalą ir Maršalo koeficientas tenkina anksčiau galiojusių rekomendacijų R35-01 reikalavimus.
 8. Laboratorijoje atliktas eksperimentinis tyrimas parodė, kad asfalto mišinių su granito mineraliniais milteliais kohezinės savybės yra blogesnės negu mišinių su aktyvintais klinčių mineraliniais milteliais. Taip pat ženkliai mažesnis ir atsparumas provėžų susidarymui. Atsižvelgiant į tai, galima teigti, kad granito mineralinių miltelių panaudojimas sunkiajai (ypatingajai) apkrovai skirtiems asfalto mišiniams būtų neracionalus ir neužtikrinantis tokių asfalto mišinių mechaninio atsparumo bei ilgaamžiškumo. Asfalto mišinius su granito mineraliniais būtų galima panaudoti mažesnių reikalavimų asfalto mišiniuose, pvz. AC 16 PD viensluoksnių dangų įrengimui rajoninės bei vietinės reikšmės keliuose.
 9. Siekiant nustatyti granito mineralinių miltelių galimybę naudoti mažesnių reikalavimų asfalto mišiniams, būtina atlikti papildomus laboratorinius bandymus panaudojant asfaltbetonius AC 16 PD, AC 16 AN, AC 11 VN.

Literatūros sąrašas

Bakanovas, A. 2005. Kietasis asfaltas „Confalt“. *Lietuvos keliai* 2005/2. Vilnius: Ex Arte, p. 60-63.

Bulevičius, M.; Petkevičius, K.; Žilionienė, D.; Čirba, S. 2011. Testing of Mechanical-Physical Properties of Aggregates, Used for Producing Asphalt Mixtures, and Statistical Analysis of Test results, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 6 (2):115-123.

Cyclotec Ltd. [Žiūrėta 2011 m. kovo 27 d.] Prieiga per internetą:
<<http://cyclotec.net/projects/granite-waste-dust>>.

Choudhary R., Chandra S. 2004. Granite and marble dusts as filler in asphalt concrete. [Žiūrėta 2011 m. liepos 9 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.civil.uminho.pt/ismarti/08ICTI/papers/P160.pdf>>

Donza H, Cabrera O, Irassar EF. 2002. High – strength concrete with different fine aggregate. *Cement and Concrete Research*. 32:1755–61.

Dhanapandian S., Gnanavel B. 2009. Studies on granite and marble sawing powder wastes industrial brick formulations. *Asian Journal of Applied Sciences* 2 (4):331-340.

IT ASFALTAS 08. *Automobilių kelių dangos konstrukcijos asfalto sluoksnių įrengimo taisyklės*. Vilnius: LAKD. 2008,

Glavind M, Petersen C. M. 2000. Green concrete in Denmark. *Structural Concrete*. 1(1):1–6.).

Hanifi Binici, Tahir Shahb, Orhan Aksoganc, Hasan Kaplan. 2008. Durability of concrete made with granite and marble as recycle aggregates. *Journal of materials processing technology* 208 299–308

Kelių techninis reglamentas KTR 1.01:2008 Automobilių keliai. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija ir Susisiekimo ministerija. Vilnius, 2001.

KPT SDK 07. *Automobilių kelių standartizuotų dangų konstrukcijų projektavimo taisyklės*. Vilnius: LAKD. 2007.

Laurinavičius A. 2004. Nauja habilitacijos tvarka. *Lietuvos keliai* 2004/2. Vilnius: Ex Arte, p.62-65

Lietuvos Respublikos Žemės įstatymas. 1994. Valstybės žinios. Nr. I-446 (su pakeitimais).

LST EN 933-10 „Užpildų geometrinių savybių nustatymo metodai. 10 dalis. Smulkelių įvertinimas. Mikroužpildų granulimetrinė sudėtis (frakcionavimas oro srautu)“

LST EN 1097-5 „Užpildų mechaninių ir fizikinių savybių nustatymo metodai. 5 dalis. Vandens kiekio nustatymas džiovinant ventiliuojamoje krosnyje”.

LST EN 1097-7 „Užpildų mechaninių ir fizikinių savybių nustatymo metodai. 7 dalis. Mikroužpildo dalelių tankio nustatymas. Piknometrinis metodas“.

LST EN 12697-2+A1:2007 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 2 dalis. Granulimetrinės sudėties nustatymas ”.

- LST EN 12697-5:2010 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 5 dalis. Didžiausio tankio nustatymas”.
- LST EN 12697-6+A1:2007 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 6 dalis. Bituminių bandinių tariamojo tankio nustatymas”.
- LST EN 12697-8:2006 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 8 dalis. Bituminių bandinių tuštymetumo rodiklių nustatymas”.
- LST EN 12697-22+A1:2007/P:2008 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 22 dalis. Rato riedėjimo vėžė”.
- LST EN 12697-23 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 23 dalis. Bituminių bandinių skeliamojo stiprio nustatymas”.
- LST EN 12697-33+A1:2007/P:2008 „Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 33 dalis. Bandinio paruošimas voliniu tankintuvu”.
- LST EN 12697-34+A1:2007 „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 13043+AC:2003 „Keliams, skridimo aikštėms ir kitoms eismo zonoms naudojamų bituminių mišinių ir paviršiaus apdorojimo sluoksnio mineralinės medžiagos“.
- LST 1360.1:1995 „Automobilių kelių gruntai. Bandymo metodai. Granuliometrinės sudėties nustatymas”.
- LST EN 13286-2:2010 „Nesurištieji ir hidrauliškai surišti mišiniai. 2 dalis. Laboratoriniai bandymo metodai nustatyti kontrolinį tankį ir vandens kiekį. Proktoro tankinimas”.
- LST EN 13286-47:2004 „Nesurištieji ir hidrauliškai surišti mišiniai. 47 dalis. Laikomosios gebos Kalifornijos rodiklio, tiesioginės laikomosios gebos rodiklio ir linijinio išbrinkimo nustatymo metodas”.
- LST 1419:1995 „Automobilių kelių asfaltbetonis ir jo mišiniai. Reikalavimai aktyvintiems mineraliniams milteliams“
- Menadi B, Kenai S, Khatib J, Ait-Mokhtar A. 2009. Strength and durability of concrete incorporating crushed lime stone sand. *Construction and Building Materials* 23(2):625–33.).
- Mineralinės automobilių kelių medžiagos. Reikalavimai ir bandymai. Lietuvos automobilių kelių direkcija.* Vilnius, 1995.
- Palšaitis E., Vidugiris L. 1999. Automobilių kelių projektavimas. Teorija ir praktika. Vilnius, p.144-193.
- Palšaitis E. 1995. Automobilių kelių terminų aiškinamasis žodynas. Terminai lietuvių, rusų, anglų ir vokiečių kalbomis. Vilnius, p. 32

Петкевичюс К. 1986. Контроль и регулирование технологического процесса приготовления асфальтобетонных смесей. Диссертация. Вильнюс, 326с

Plancher H., Green E., Paterson J. C. 1977. *Reduction of oxidative hardening of asphalts by treatment with hydrated lime – mechanistic study*. Asociacion of asphalt paving Technologists, Seattle.

Ribeiro, R. C. C., Correia, J. C. G., Seidl, P. R. 2008. Uses of aggregates produced from marble and granite quarry waste in asphalt pavements: Form of clean technology.

Ryan J., G, Estefan G. and Rashid A. 2001. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. 2nd edition. Interaction Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). Aleppo, Syria, p 172

Рокас С.Ю., Сакалаускас К.А., Станкус Е.А. 1983. Отчет о научно – исследовательской работе, следования точности и стабильности технологического процесса приготовления асфальтобетонных смесей. Вильнюс, 263с

Shi-Cong K., Chi-Sun P. 2009. Properties of concrete prepared with crushed fine stone, furnace bottom ash and fine recycled aggregates as fine aggregates. *Construction and Building Materials* 23(8):2877–86;

Statybos taisyklės. Automobilių kelių žemės sankasos įrengimas ST 188710638.06:2004. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. Vilnius.

Superpave mix design. 2001. Asphalt institute. Superpave series No. 2 (SP-2). Third edition.

Šiaudinis G. 2007. Daktaro disertacija Lietuvos automobilių kelių nestandžių dangų konstrukcijų stiprumo nustatymo metodikos sukūrimas. Technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T.

TRA ASFALTAS 08. *Automobilių kelių asfalto mišinių techninių reikalavimų aprašas*. Vilnius: LAKD. 2008, 61 p.

TRA MIN 07. *Automobilių kelių mineralinių medžiagų techninių reikalavimų aprašas*. Vilnius: LAKD. 2007

TRA SBR 07. *Automobilių kelių mineralinių medžiagų mišinių, naudojamų sluoksniams be rišiklių, techninių reikalavimų aprašas*. Vilnius: LAKD. 2007.

Publikacijos