



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

KELIŲ KATEDRA

Ivetta Sivilevičienė

**MAGISTRALINIŲ KELIŲ DANGOS ASFALTBETONIO IR BITUMO
SAVYBIŲ ĮTAKOS JOS EKSPLOATACINIAMS RODIKLIAMS
VERTINIMAS**

**EVALUATION OF THE IMPACT OF ASPHALT AND BITUMEN
PROPERTIES ON PAVEMENT PERFORMANCE OF THE MAIN ROADS**

Baigiamasis magistro darbas

Civilinės inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H20002

Kelių specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2014

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

KELIŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Virgaudas Puodžiukas

(Vardas, pavardė)

(Data)

Ivetta Sivilevičienė

**MAGISTRALINIŲ KELIŲ DANGOS ASFALTBETONIO IR BITUMO
SAVYBIŲ ĮTAKOS JOS EKSPLOATACINIAMS RODIKLIAMS VERTINIMAS**

**EVALUATION OF THE IMPACT OF ASPHALT AND BITUMEN
PROPERTIES ON PAVEMENT PERFORMANCE OF THE MAIN ROADS**

Baigiamasis magistro darbas

Civilinės inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H20002

Kelių specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

prof. dr. Kazys Petkevičius

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

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

lekt. Regina Žukienė

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

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2014

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Ivetta Sivilevičienė, 20083548

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Civilinė inžinerija, KmF-12

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽINGUMO DEKLARACIJA**

2014 m. gegužės 22 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Magistralinių kelių dangos asfaltbetonio ir bitumo savybių įtakos jos eksploataciniams rodikliams vertinimas“ patvirtintas 2012 m. lapkričio 8 d. dekanų potvarkiu Nr. 346ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas prof. dr. Kazys Petkevičius.

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



(Parašas)

Ivetta Sivilevičienė

(Vardas ir pavardė)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
KELIŲ KATEDRA

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Civilinės inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H20002

Keliai specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Virgaudas Puodžiukas
(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

2014 m. gegužės 5 d. Nr. 1
Vilnius

Studentui (ei) Ivetai Sivilevičienei
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Magistralinių kelių dangos asfaltbetonio ir bitumo savybių įtakos jos eksploataciniams rodikliams vertinimas.....

patvirtinta 2012 m. lapkričio 8 d. dekanų potvarkiu Nr. 346 ap.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2014 m. birželio 2 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Duomenys: Asfaltinių mišinių (SMA 11S, AC 11 VS, AC 11VN) fiziniai ir mechaniniai rodikliai pagal Maršalą, projektinis ir faktinis bitumo kiekis, asfaltinių mišinių oro tuštymų kiekis, provėžų gylis, tarptautinis dangos lygumo rodiklis IRI, bitumų (B 50/70, B 70/100, PMB 45/80-55E) minkštėjimo temperatūros, penetracijos, tankio, trapumo temperatūros, kinematinės klampos (tik B 50/70, B 70/100) dinaminės klampos (tik B 50/70, B 70/100) tampriosios santykinės deformacijos (tik PMB45/80-55E) ir sankibos tamprumo jėgos metodu (tik PMB45/80-55E) rodikliai.....

Baigiamąjį magistro darbą sudaryti iš šių skyrių:

Įvadas;

1. Bitumų naudojimo praktikos Lietuvos automobilių kelių dangai įrengti ir dangos savybėms atkurti bei remontui apžvalga;
2. Bitumo sudėtis ir savybės;
3. Bitumo, naudojamo magistralinių kelių asfaltbetonio dangos įrengimui, kokybės rodiklių ir jų įtakos dangos eksploataciniams rodikliams tyrimai;
4. Bitumo, naudojamo magistralinių kelių asfaltbetonio dangos įrengimui, kokybės rodiklių ir jų įtakos dangos eksploataciniams rodikliams vertinimas;

Bendrosios išvados;

Priedai.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

Lekt. Regina Žukienė.....
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovasprof. Dr. Kazys Petkevičius.....
(Parašas) (Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau


(Parašas)

.....Ivetta Sivilevičienė.....
(Vardas, pavardė)

.....2014-05-05.....
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Kelių katedra

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

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

Pavadinimas **Magistralinių kelių dangos asfaltbetonio ir bitumo savybių įtakos jos eksploataciniams rodikliams vertinimas**

Autorius **Ivetta Sivilevičienė**

Vadovas **prof. dr. Kazys Petkevičius**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamojo magistro darbo tikslas – ištirti Lietuvos automobilių keliams naudojamų bitumų savybes ir bitumo savybių bei kiekio įtaką asfalto kokybės rodikliams. Naudojantis tyrimų duomenimis, atlikta viršutinio dangos asfaltbetonio sluoksnio kokybės rodiklių analizė. Atlikus šių duomenų analizę, nustatytas bitumo savybių, bitumo kiekio ir asfaltinio mišinio fizinių bei mechaninių rodiklių tarpusavio koreliacinė sietis. Pagal laboratorijoje atliktus bitumų tyrimų duomenis, nustatyta bitumo savybių rodiklių sietis. Tyrimų medžiaga apdorota statistiniu paketu „Statistica“. Pateiktos sunormintos bitumo kiekio ir fizinių bei mechaninių rodiklių vertės, atliktas bitumų kokybės rodiklių vertinimas. Pateiktos išvados ir rekomendacijos.

Prasminiai žodžiai: Eksploatacinė būklė, koreliacinė sietis, dangos lygumas, dangos funkcionavimo trukmė, sankiba su danga.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Roads

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

ISSN

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

Title **Evaluation of the Impact of Asphalt and Bitumen Properties on
Pavement Performance of the Main Roads**

Author **Ivetta Sivilevičienė**

Academic supervisor **Prof Dr Kazys Petkevičius**

**Thesis
language:** Lithuanian

Annotation

The main aim of this Master work is to analyse quality parameters of asphalt pavement and quality indicators of bitumen use for Lithuanian Roads. Using the results of the research on pavement structures the quality parameters of the top layer of asphalt was analyzed. The analysis of the data allowed the correlation between the bitumen content and asphalt mixture physical and mechanical indices to be determined. Using the results of the research on laboratory allowed the correlation between bitumen properties parameters. The research material was processed by means of the statistical software package „Statistica“. Standardized bitumen content and asphalt mixture physical and mechanical indices, bitumen quality indicators were valued. The conclusions and recommendations are provided.

Keywords: Bitumen properties, bitumen content, asphalt quality indicators, top layer of asphalt, physical and mechanical indices, correlation.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	11
ĮVADAS	12
1. BITUMŲ NAUDOJIMO PRAKTIKOS LIETUVOS AUTOMOBILIŲ KELIŲ DANGAI ĮRENGTI IR DANGOS SAVYBĖMS ATKURTI BEI REMONTUI APŽVALGA	13
1.1. Lietuvos automobilių kelių ir jų dangos būklės charakteristika.....	13
1.2. Bitumo kilmė, rūšys, gavybos bei gamybos būdai ir bitumo savybės.....	19
1.3. Bitumo naudojimo praktikos automobilių kelių dangai įrengti, jos savybėms atkurti bei dangai remontuoti Lietuvoje apžvalga	25
1.4. Darbo tikslai ir uždaviniai	30
2. BITUMO SUDĖTIS IR SAVYBĖS.....	31
2.1. Bitumo sudėties ir savybių kitimo kelių dangos senėjimo procese analizė	31
2.2. Pascusio bitumo savybių atkūrimo būdai ir medžiagos.....	32
2.3. Užsienio šalių patirties užtikrinant bitumo reikiamas savybes analizė	36
2.4. Bitumo, naudojamo kelių dangai įrengti, kokybės rodiklių ir jų reikiamų verčių pagrindimas.....	40
2.5. Skyriaus išvados.....	41
3. BITUMO, NAUDOJAMO MAGISTRALINIŲ KELIŲ ASFALTBETONIO DANGOS ĮRENGIMUI, KOKYBĖS RODIKLIŲ IR JŲ ĮTAKOS DANGOS EKSPLOATACINIAMS RODIKLIAMS TYRIMAI.....	42
3.1. Metodika tyrimams atlikti ir duomenims apdoroti.....	42
3.2. Atliktų tyrimų svarbiausieji rezultatai	46
3.3 Skyriaus išvados.....	88
4. BITUMO, NAUDOJAMO MAGISTRALINIŲ KELIŲ ASFALTBETONIO DANGOS ĮRENGIMUI, KOKYBĖS RODIKLIŲ IR JŲ ĮTAKOS DANGOS EKSPLOATACINIAMS RODIKLIAMS VERTINIMAS	91
4.1. Bitumo savybių vertinimas	91
4.2. Bitumo savybių ir bitumo kiekio įtakos dangos kokybės rodikliams vertinimas	96
4.3 Skyriaus išvados.....	103
BENDROSIOS IŠVADOS.....	104
LITERATŪRA.....	104
PRIEDAI.....	108

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

Pav. Nr.	Paveikslo pavadinimas	Psl. Nr.
1.1	Lietuvos valstybinės reikšmės kelių tinklas	14
1.2	Valstybinės reikšmės kelių tinklo struktūra	15
1.3	Asfaltbetonio dangos pažaidos	17
1.4	Modifikatorių tipai	21
1.5	Modifikuotųjų bitumų naudojimo įvairiose pasaulio šalyse intensyvumas	22
1.6	Asfaltinių gamykla	26
1.7	Bituminės emulsijos užpurškimo ant kelio dangos technologinis procesas	28
2.1	Rišiklio vidinio ir išorinio sluoksnio maišymosi proceso grafikas	35
2.2	Bitumo savybių įtaka kelių asfaltinės dangos pažeidų pobūdžio ir jų tikėtinam dažniui (%)	39
3.1	Žiedo rutulio prietaisas	43
3.2	Žalvarinis laikiklis ir įtaisas	43
3.3	Penetrometras	43
3.4	Bandinio indelis pripildytas bitumo	43
3.5	Fraso prietaisas	44
3.6	Bitumo penetracijos ir jo minkštėjimo temperatūros sietis (B50/70)	51
3.7	Bitumo penetracijos ir bitumo tankio sietis (B50/70)	51
3.8	Bitumo penetracijos ir kinematinės klampos sietis (B50/70)	52
3.9	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir trapumo temperatūros sietis (B50/70)	52
3.10	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir bitumo tankio sietis (B50/70)	53
3.11	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir kinematinės klampos sietis (B50/70)	53
3.12	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir dinaminės klampos sietis (B50/70)	54
3.13	Bitumo trapumo temperatūros ir kinematinės klampos sietis (B50/70)	54
3.14	Bitumo kinematinės ir dinaminės klampos sietis (B50/70)	55
3.15	Bitumo penetracijos ir jo minkštėjimo temperatūros sietis (B70/100)	56
3.16	Bitumo penetracijos ir bitumo tankio sietis (B70/100)	56
3.17	Bitumo penetracijos ir kinematinės klampos sietis (B70/100)	57
3.18	Bitumo penetracijos ir dinaminės klampos sietis (B70/100)	57
3.19	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir trapumo temperatūros sietis (B70/100)	58
3.20	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir bitumo tankio sietis (B70/100)	58
3.21	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir kinematinės klampos sietis (B70/100)	59
3.22	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir dinaminės klampos sietis (B70/100)	59
3.23	Bitumo trapumo temperatūros ir dinaminės klampos sietis (B70/100)	60
3.24	Bitumo kinematinės ir dinaminės klampos sietis (B70/100)	60
3.25	Bitumo penetracijos ir jo minkštėjimo temperatūros sietis (PMB 45/80-55E)	61
3.26	Bitumo penetracijos ir trapumo temperatūros sietis (PMB45/80-55E)	62
3.27	Bitumo penetracijos ir tampriosios santykinės deformacijos sietis	62

	(PMB45/80-55E)	
3.28	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir bitumo tankio sietis (PMB45/80-55E)	63
3.29	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir tampriosios santykinės deformacijos sietis (PMB45/80-55E)	63
3.30	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir sankibos tamprumo jėgos metodu sietis (PMB45/80-55E)	64
3.31	Bitumo tankio ir tampriosios santykinės deformacijos sietis (PMB45/80-55E)	64
3.32	Tampriosios santykinės deformacijos ir sankibos tamprumo jėgos metodu sietis (PMB45/80-55E)	65
3.33	Bitumo penetracijos ir asfaltbetonio pastovumo pagal Maršalą sietis	66
3.34	Bitumo kinematinės klampos ir asfaltbetonio pastovumo pagal Maršalą sietis	66
3.35	Bitumo kiekio ir asfaltbetonio pastovumo pagal Maršalą sietis	67
3.36	Bitumo penetracijos ir asfaltbetonio takumo pagal Maršalą sietis	67
3.37	Bitumo kinematinės klampos ir asfaltbetonio takumo pagal Maršalą sietis	68
3.38	Bitumo kiekio ir asfaltbetonio takumo pagal Maršalą sietis	68
3.39	Bitumo penetracijos ir asfaltinio mišinio tankio sietis	69
3.40	Bitumo kiekio ir asfaltinio mišinio tankio sietis	69
3.41	Bitumo penetracijos ir Marašalo koef. sietis	70
3.42	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir Marašalo koef. sietis	70
3.43	Bitumo kinematinės klampos ir Marašalo koef. sietis	71
3.44	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir tuštymėjimo rodiklio sietis	71
3.45	Bitumo dinaminės klampos ir tuštymėjimo rodiklio sietis	72
3.46	Bitumo kiekio ir tuštymėjimo rodiklio sietis	72
3.47	Bitumo penetracijos ir asfaltbetonio pastovumo pagal Maršalą sietis	73
3.48	Bitumo kinematinės klampos ir asfaltbetonio pastovumo pagal Maršalą sietis	74
3.49	Bitumo kiekio ir asfaltbetonio pastovumo pagal Maršalą sietis	74
3.50	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir asfaltbetonio takumo pagal Maršalą sietis	75
3.51	Bitumo kinematinės klampos ir asfaltbetonio takumo pagal Maršalą sietis	75
3.52	Bitumo penetracijos ir asfaltinio mišinio tankio sietis	76
3.53	Bitumo kiekio ir asfaltinio mišinio tankio sietis	76
3.54	Bitumo penetracijos ir Marašalo koef. sietis	77
3.55	Bitumo dinaminės klampos ir Marašalo koef. sietis	77
3.56	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir tuštymėjimo rodiklio sietis	78
3.57	Bitumo kiekio ir tuštymėjimo rodiklio sietis	78
3.58	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir skaldos ir mastikos asfalto pastovumo pagal Maršalą sietis	79
3.59	Bitumo tampriosios santykinės deformacijos ir skaldos ir mastikos asfalto pastovumo pagal Maršalą sietis	80
3.60	Bitumo kiekio ir skaldos ir mastikos asfalto pastovumo pagal Maršalą sietis	80
3.61	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir skaldos ir mastikos asfalto takumo pagal Maršalą sietis	81
3.62	Bitumo kinematinės klampos ir asfaltbetonio takumo pagal Maršalą	81

	sietis	
3.63	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir skaldos ir mastikos asfaltinio mišinio tankio sietis	82
3.64	Bitumo sankibos tamprumo jėgos metodu ir skaldos ir mastikos asfaltinio mišinio tankio sietis	83
3.65	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir Marašalo koef. sietis	83
3.66	Bitumo tampriosios santykinės deformacijos ir Marašalo koef. sietis	84
3.67	Bitumo minkštėjimo temperatūros ir tuštymėjimo rodiklio sietis	84
3.68	Bitumo kiekio ir tuštymėjimo rodiklio sietis	85
3.69	Dangos lygumo ir bitumo penetracijos sietis	86
3.70	Dangos lygumo ir bitumo tankio sietis	86
3.71	Dangos lygumo ir bitumo tampriosios santykinės deformacijos sietis	87
3.72	Dangos lygumo ir bitumo kiekio sietis	87
3.73	Dangos vėžės gylio ir bitumo minkštėjimo temperatūros sietis	88
3.74	Dangos vėžės gylio ir bitumo trapumo temperatūros sietis	88
3.75	Dangos vėžės gylio ir bitumo tampriosios santykinės deformacijos sietis	89
3.76	Dangos vėžės gylio ir bitumo kiekio sietis	89
4.1	Bitumo savybės – penetracijos tyrimų rezultatų kitimas	91
4.2	Bitumo savybės – minkštėjimo temperatūros tyrimų rezultatų kitimas	91
4.3	Bitumo savybės – trapumo temperatūros tyrimų rezultatų kitimas	92
4.4	Bitumo savybės – bitumo tankio tyrimų rezultatų kitimas	92
4.5	Bitumo savybės – kinematinės klampos tyrimų rezultatų kitimas	93
4.6	Bitumo savybės – dinaminės klampos tyrimų rezultatų kitimas	93
4.7	Bitumo savybės – tampriosios santykinės deformacijos tyrimų rezultatų kitimas	94
4.8	Bitumo savybės – sankibos tamprumo jėgos metodu tyrimų rezultatų kitimas	94
4.9	Bitumo kiekio reikšmių kitimas (pagal asfaltbetonio mišinių tipus)	96
4.10	Pastovumo reikšmių kitimas (pagal asfaltbetonio mišinių tipus)	96
4.11	Takumo reikšmių kitimas (pagal asfaltbetonio mišinių tipus)	97
4.12	Marašalo koef. reikšmių kitimas (pagal asfaltbetonio mišinių tipus)	97
4.13	Tuštymėjimo rodiklio kitimas (pagal asfaltbetonio mišinių tipus)	97
4.14	Asfalto mišinio didžiausias tankis (pagal asfaltbetonio mišinio tipus)	98
4.15	Dangos lygumo rodiklio IRI kitimas tirtame ruože	98
4.16	Dangos vėžės gylio kitimas tirtame ruože	98

LENTELIŲ SĄRAŠAS

Pav. Nr.	Lentelės pavadinimas	Psl. Nr.
1.1	Valstybinės reikšmės kelių tinklo struktūra (2014 m. pradžios duomenimis)	15
1.2	Modifikuotųjų bitumų naudojimo įvairiose pasaulio šalyse intensyvumas	22
2.1	Asfaltbetonio (su skirtingos konsistencijos bitumu) įtempių σ_{kr} ir deformacijų ε_{kr} kritinės vertės	39
2.2	Asfaltbetonio (su skirtingo struktūrinio tipo bitumu) kokybės rodiklių ε_{kr} , σ_{kr} vertės	39
2.3	Karštojo asfaltbetonio funkcionavimo kelių dangoje rodiklio (pagal nuovargį) leistinosios vertės	39
2.4	Lietojo ir skaldos bei mastikos (SMA) asfaltbetonio funkcionavimo kelių dangoje rodiklio (pagal nuovargį) leistinosios vertės	40
2.5	Reglamentuotos bitumo kokybės rodiklių normos pagal TRA BITUMAS 08	42
3.1	Bitumo B50/70 bandymų rezultatų suvestinė	48
3.2	Bitumo B70/100 bandymų rezultatų suvestinė	48
3.3	Bitumo PMB 45/80-55 E bandymų rezultatų suvestinė	49
3.4	Asfaltinių mišinių bandymų rezultatų suvestinė	49
3.5	Kelio dangos lygumo rodiklio IRI ir vėžės gylio V_z matavimų rezultatų suvestinė (A1 automagistralės kelio ruožas 36,88 – 39,28 km)	50
4.1	Bitumo kiekio ir asfaltbetonio mišinio (AC 11 VS) kokybės rodiklių statistinės vertės.	99
4.2	Bitumo kiekio ir asfaltbetonio mišinio (AC 11 VS) kokybės rodiklių statistinės vertės.	99
4.3	Bitumo kiekio ir asfaltbetonio mišinio (SMA 11S) kokybės rodiklių statistinės vertės.	100
4.4	Sunormintų asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių palyginimas su leistinaisiais norminiais kokybės rodikliais (AC 11VS)	102
4.5	Sunormintų asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių palyginimas su leistinaisiais norminiais kokybės rodikliais (AC 11VN)	102
4.6	Sunormintų asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių palyginimas su leistinaisiais norminiais kokybės rodikliais (SMA 11 S)	102

IVADAS

Apie 65% Lietuvos valstybinės reikšmės kelių yra su asfaltbetonio danga. Asfaltbetonio danga yra labiausiai paplitusi visame pasaulyje. Ji yra stipri, deformatyvi, su ja gerai sukimba automobilių ratai.

Bitumas – pagrindinė asfaltbetonio rišančioji medžiaga, reikalinga surišti mineralinių medžiagų grūdelius į vieną monolitą, kuris sugeba atsispirti išorinių jėgų poveikiui. Tam, kad būtų užtikrintas dangos stiprumas ir ilgaamžiškumas, turi būti naudojamas kokybiškas bitumas ir kitos sudėtinės dalys bei parenkamas optimalus bitumo kiekis. Pagrindiniai bitumo kokybės rodikliai yra jo penetracija, minkštėjimo temperatūra, kinematinė ir dinaminė klampa, trapumo temperatūra pagal Frasą ir kt.

Lietuvoje ir užsienyje atlikta daug tyrimų siekiant nustatyti optimalius mineralinių medžiagų kiekius, tačiau daug mažiau tyrimų apie bitumo savybių, bitumo kiekio įtaką asfalto kokybės rodikliams. Taigi tyrimai, skirti Lietuvoje naudojamų bitumų kokybei nustatyti, yra aktualūs, nes siekiama padidinti kelių dangos atsparumą veikiančių apkrovų ir klimato sąlygų poveikiui.

Šiame darbe atlikau bitumo savybių tyrimus, atlikau asfaltinių mišinių kokybės rodiklių ir bitumo kiekio bei bitumo savybių sistės analizę. Pagal gautas koreliacines priklausomybes patikrinau, kaip bitumo kokybės rodikliai bei bitumo kiekis įtakoja asfaltinių mišinių fizinius bei mechaninius rodiklius. Pateikiau bitumo kokybės rodiklių bei jų įtakos asfaltiniams mišiniams vertinimą, taip pat išvadas ir rekomendacijas.

1. BITUMŲ NAUDOJIMO PRAKTIKOS LIETUVOS AUTOMOBILIŲ KELIŲ DANGAI ĮRENGTI IR DANGOS SAVYBĖMS ATKURTI BEI REMONTUI APŽVALGA

1.1. Lietuvos automobilių kelių ir jų dangos būklės charakteristika

Automobilių kelių tinklas yra universalus. Jais galima pasiekti bet kurį tašką Lietuvoje. Kiti susisiekimo keliai prasideda ir baigiasi terminaluose, o automobilių keliai sujungia tuos terminalus ir sudaro sąlygas vežti krovinius ir keleivius kitame etape ir pristatyti juos į paskirties vietą. Tik automobilių keliais galima važiuoti “nuo durų iki durų”.

Per Lietuvą vingiuoja daugiau kaip 80 tūkstančiai km kelių, iš jų 21 268,4 km yra valstybinės reikšmės keliai. Pastarieji patikėti LAKD (Lietuvos automobilių kelių direkcija). Valstybinės reikšmės keliai yra svarbiausios Lietuvos transporto jungtys. Jiems tenka daugiau negu pusė visais Lietuvos keliais nuvažiuotų kilometrų ir apie 80 % autotransporto pervežtų krovinių.

Keliai jungiantys miestus, gyvenvietes, pramonės centrus ir įmones sudaro vieno ar kito rajono kelių tinklą. Jo konfigūracija ir tankis, vežamų keleivių ir krovinių apimtis priklauso nuo vieno ar kito rajono plėtojimo lygio, geografinės padėties ir administracinės reikšmės.

Lietuvoje gerai išplėtotas valstybinės ir vietinės reikšmės kelių tinklas. Neblogai veikia jo priežiūros ir remonto sistema. Šalies teritorijoje yra sudarytos geros sąlygos tranzitiniais kroviniams vežti TEN-T keliais, valstybinių kelių tinklas sėkmingai integruojamas į Europos transeuropinių kelių (TEN-T) tinklą, sukurta efektyvi kelių, tiltų kontrolės ir stebėsenos sistema.

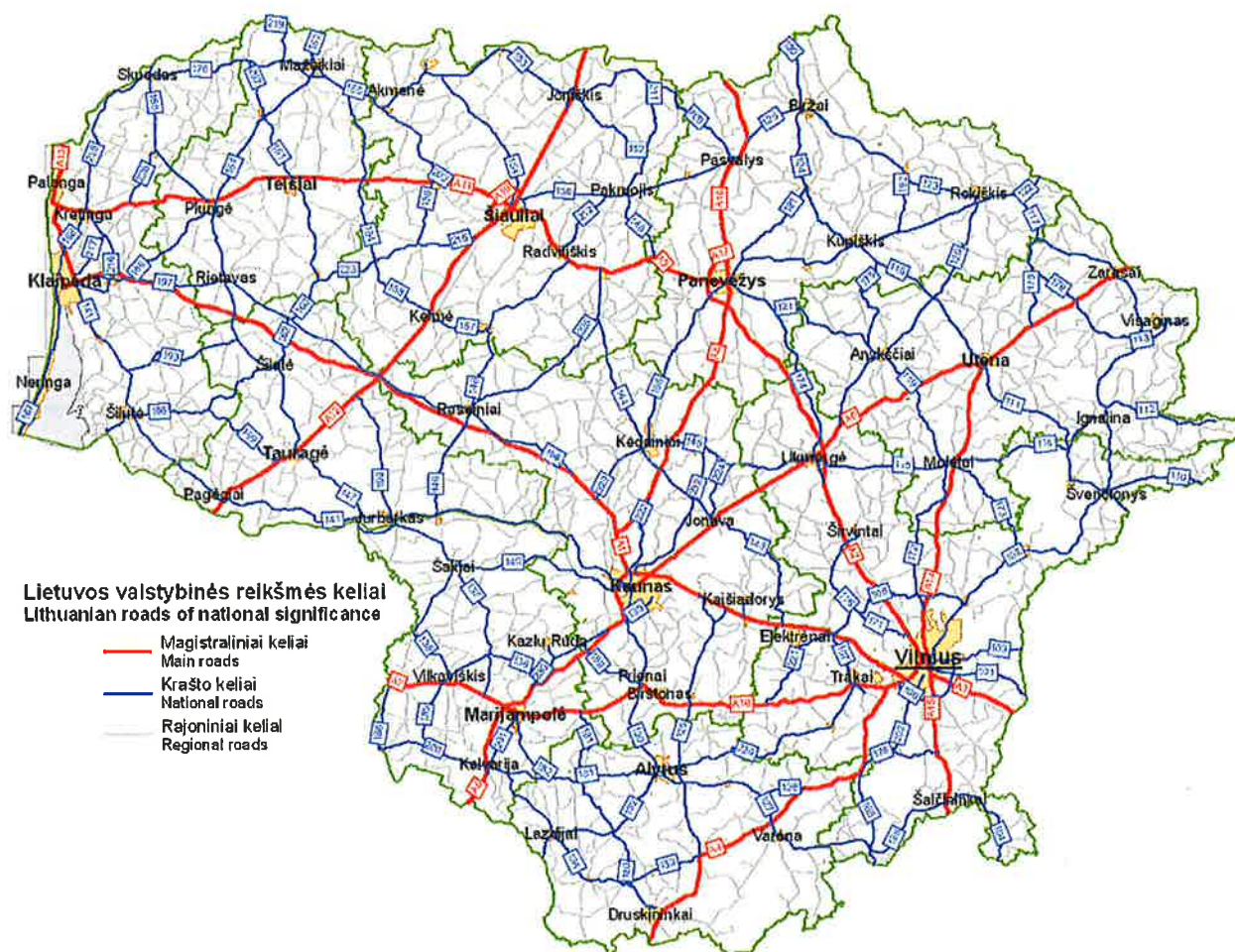
Tobulinant kelių tinklą numatoma nemažai kelių rekonstruoti, padaryti tokius, kad jie kaip galima geriau tenkintų gyventojų ir autotransporto poreikius, atitiktų visus šiuolaikiniais keliams keliamus techninius, ekonominius ir ekologinius reikalavimus, būtų patogūs ir saugūs. Tai Lietuvos kelininkų dabarties ir artimiausios ateities darbų pagrindinė kryptis (www.lietuvoskeliai.lt).

Ekonominiu požiūriu transporto infrastruktūra yra viena iš pagrindinių sąlygų verslo plėtrai, naujų darbo vietų kūrimui. Prie intensyvaus eismo kelių kuriami logistikos centrai, statomi sandėliai, komercinės įmonės, plėtojama pramonė. Transportas ir, ypač transporto paslaugų eksportas, yra vienas iš esminių veiksnių, teigiamai veikiančių ekonominę situaciją. Šiandien Lietuvoje valstybinės reikšmės keliai, kurių balansinė vertė - per 6,5 mlrd. Lt, o atstatomoji vertė - per 50 mlrd. Lt, išimtinę nuosavybės teisę priklauso valstybei, todėl jų priežiūra bei plėtra ir turi rūpintis valstybės paskirtos institucijos.

Nuo išplėtos infrastruktūros ir jos priežiūros priklauso šalies, kaip tranzitinės valstybės, įvaizdis. Gerai išplėtotą kelių infrastruktūrą - tai kiekvienos šalies turtas ir ilgalaikė investicija. Automobilių keliais vežama 58,8 % visų vidaus transportu gabenamų krovinių. Automobilių kelių

sektorius labai prisideda kuriant bendrąjį vidaus produktą - kelių transportas sukuria daugiau nei 7 % BVP, transporto sistema - 13 %. Didėjantys visuomenės poreikiai verčia tiesti naujus kelius ir aplinkkelius - tai prisideda ir prie tarptautinės transporto sistemos plėtros.

Lietuvos transporto infrastruktūros plėtros pranašumai: socialinės atskirties mažėjimas (regionų netolygumų mažėjimas, sveikatos apsaugos ir edukacinių paslaugų prieinamumo padidėjimas nutolusiems regionams); mobilumo didėjimas, lemiantis geresnes įsidarbinimo galimybes; tranzitinė šalies orientacija (kelių tinklo plėtra stiprina tranzitinės šalies įvaizdį, transporto įmonių konkurencinės pozicijos gerėjimas). Kelių projektai ekonominio tikslingumo reikalavimus viršija daugiau kaip du kartus - minimali vidaus gražos norma (VGN) yra 5,5 %, o vidutinė VGN - 13,5 %. Kalbant apie žvyrkelių asfaltavimą, tai vieni iš geriausiai atsiperkančių projektų - VGN siekia 19 %. Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių tinklas parodytas 1.1 pav.

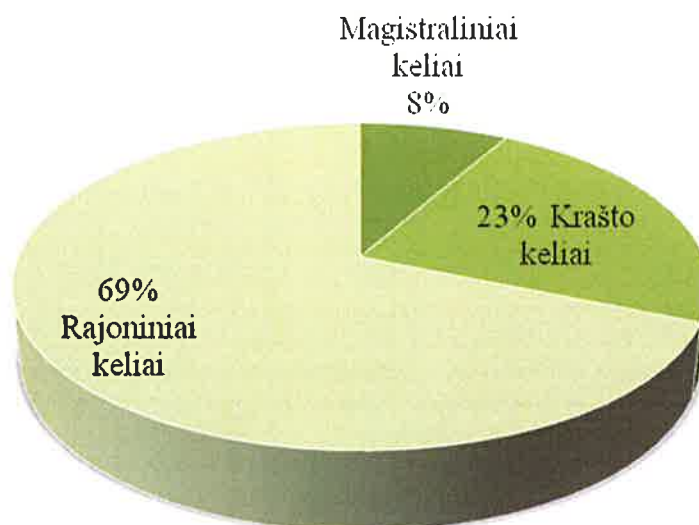


1.1 pav. Lietuvos valstybinės reikšmės kelių tinklas

Valstybinės reikšmės automobilių kelių tinklo struktūra ir atskiros paskirties kelių bendri ilgiai pateikti 1.1 lentelėje, ir 1.2 pav.

1.1 lentelė. Valstybinės reikšmės kelių tinklo struktūra (2014 m. pradžios LAKD duomenimis)

Magistraliniai keliai	1744,9 km
Krašto keliai	4935,9 km
Rajoniniai keliai	14573,2 km
iš viso:	21254,1 km



1.2 pav. Valstybinės reikšmės kelių tinklo struktūra

Automobilių kelių konstrukciją sudaro danga ir žemės sankasa. Dangos konstrukcija – tai dangos ir pagrindo sluoksniai, o žemės sankasa yra dangos konstrukcijos pagrindas. Dangos pagrindas turi atlaikyti eismo ir dangos sluoksnių apkrovą ir ją perduoti žemės sankasai, todėl pagrindo sluoksnis turi būti pakankamai vientisas ir stabilus. Lietuvoje techniškai tinkamos ir ekonomiškai kelio dangos, atsižvelgiant į jų paskirtį, eismo apkrovas, gruntines sąlygas ir padėtį vietovėje, nustatomos pagal kelių techninį reglamentą KTR 1.01:2008 „Automobilių keliai“.

Automobilių kelių danga turi būti ne tik stipri, lygi, ekonomiškai, bet ir tenkinti sanitarijos bei higienos reikalavimus. Šias savybes lemia dangos tipas ir konstrukcija, transport priemonių (TP) eismo intensyvumas ir važiavimo greitis, kelio reikšmė, kelių tiesybos medžiagos. Dangos stipris ir lygumas turi svarbiausią reikšmę dangos eksploatacinėms savybėms. Jei yra nepakankamas dangos stipris, joje gali susidaryti vėžės, išdaužos, smarkiai padidėti riedėjimo pasipriešinimas. Važiuojant nelygia danga, žalą patiria ne tik transporto priemonės, bet ir danga, kenčia keleiviai, gadinami kroviniai.

Automobilių kelius nuolat arba tam tikrais periodais veikia tokie sudėtingi veiksniai kaip: klimato, geologiniai, hidrogeologiniai, laiko ir fizikiniai. Svarbiausi klimato veiksniai:

temperatūros kaita, išalo gylis, metinis kritulių kiekis ir sniego dangos storis. Lietuvoje vasaros ir žiemos laikotarpiu oro temperatūra svyruoja nuo $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$, todėl kelio dangos konstrukcija ir žemės sankasa būna nevienodo stiprumo skirtingais metų laikais. Svyruojant oro temperatūrai keičiasi kelio konstrukcijos medžiagų savybės ir jos stiprio rodikliai (Palšaitis, Sakalauskas, Vidurgis 1990).

Geologiniai, hidrogeologiniai veiksniai – žemės paviršiaus sandara, jos sluoksnių išsidėstymas ir gruntinis vanduo, bei jo kaita, kuri veikia visą kelio konstrukciją.

Laiko veiksniai – kelio konstrukcijos senėjimas. Jis pasireiškia kokybės rodiklių blogėjimu. Į asfaltbetonio sudėtį įeina bitumai, kurie eksploatuojamame kelyje oksiduojasi, taip netenka lakiųjų frakcijų, todėl tampa trapesni, mažiau elastingi, o šaltuoju metų laiku kelio dangoje atsiranda įvairių pažaidų.

Fiziniai veiksniai nulemia kelio dangos konstrukcijos sluoksnių, o ypač viršutinio sluoksnio būklę (Palšaitis, Sakalauskas, Vidurgis 1990).

Pastaraisiais metais Lietuvoje didžiausios kelių priežiūros problemos yra susijusios su transporto priemonių skaičiaus augimu. Automobilių keliai, atsižvelgiant į parametrus (dangos plotį ir lygumą, dangos konstrukcijos stiprį ir kt.) nebegali atlaikyti ženkliai padidėjusio transporto cismo ir didėjančios jų ašių apkrovos. Todėl šiuo metu Lietuvos kelių danga patiria labai didelį ardymo poveikį, net ir tada, kai visų transporto priemonių sraute yra santykinai nedaug sunkiųjų transporto priemonių.

Dangos paviršiaus būklė (laikomoji geba) nustatoma pagal šiuos požymius:

- plyšių tinklą, plyšių pagausėjimą, taip pat išilginius plyšius šalia provėžų;
- išilginius nelygumus;
- provėžas;
- dangos lukštenimąsi, skaldelės išbyrėjimą, dėmių plotus (asfalto dangoje);
- išilginius ir skersinius plyšius, kampų nulaužimus, kraštų pažaidas, plokščių horizontalius ir vertikalinius poslinkius (betono dangų konstrukcijose) (KPT SDK VI SK V-7).

Dangos paviršiaus suirimui – išaižėjimui, ištrupėjimui turi įtakos bloga bitumo sankiba su mineralinėmis medžiagomis, vandens nuleidimas nuo dangos paviršiaus, dangos sluoksnių sankiba. Dažniausiai deformacijų atsiradimą lemia nepakankama asfaltbetonio mišinio kokybė.

Šlyties liekamosios deformacijos dangoje gali atsirasti dėl asfaltbetonio reologinių savybių neatitikimo dangos eksploatacinių sąlygų keliamų reikalavimų. Šlyties liekamosios deformacijos kartais atsiranda dėl asfaltbetonio dangos viršutinio ir apatinio sluoksnių nepakankamos sankibos. Kai sankiba tarp sluoksnių bloga, vietoj šlyties liekamųjų deformacijų dangoje atsiranda plyšių (Petkevičius, Sivilevičius 2000).

Temperatūriniai (skersiniai) plyšiai dangoje gali atsirasti dėl staigių temperatūros svyravimų. Esant standžiam pagrindui, galimybė atsirasti temperatūros plyšiams yra didesnė negu kai pagrindas būtų nestandus.

Paveldėti plyšiai – defektai, kurių būna ir kelio dangos pagrindo sluoksniuose: plyšių, siūlių. Šie defektai dažniausiai susidaro žiemą ($\leq -25\text{ }^{\circ}\text{C}$) tokiose dangos vietose kaip asfaltbetonio dangoje, įrengtoje ir ant asfaltbetonio, ir ant cementbetonio pagrindo.

Išilginiai plyšiai atsiranda esant nepakankamai vieno dangos sluoksnio sankibai su kitu jo sluoksniu.

Nuovargio plyšių, įdubų, įlūžių atsiradimo priežastimi būna nepakankamas dangos konstrukcijos stipris, atlaikyti transporto apkrovas.

Asfaltbetonio dangos reikiamą stiprį ir funkcionavimo trukmę lemia:

- dangos patvarumas;
- dangos atsparumas šlyčiai;
- dangos atsparumas plyšiams;
- dangos atsparumas dilimui;
- dangos atsparumas senėjimui;
- dangos atsparumas eroziniam suirimui (Palšaitis, Sakalauskas, Vidurgis 1990).

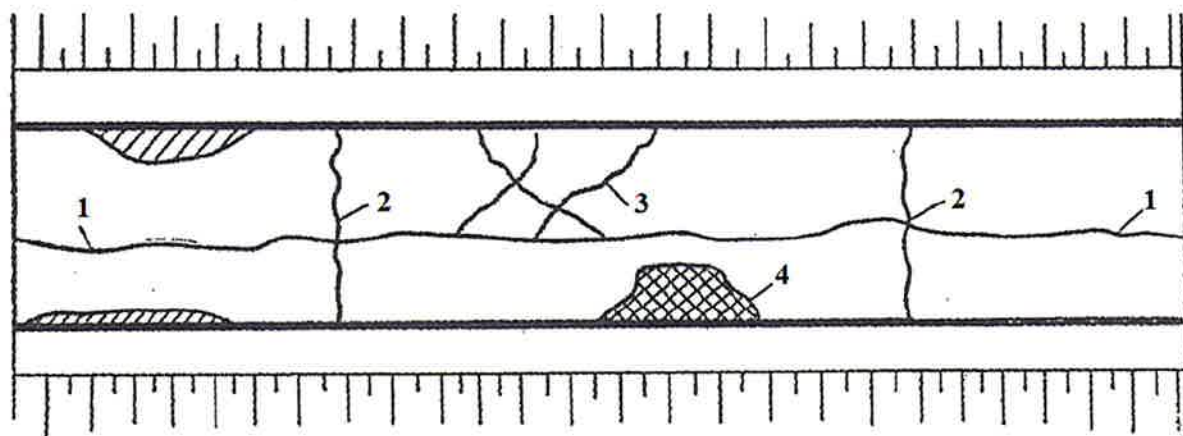
Plyšiai gali būti: skersiniai, išilginiai, briaunos, nuovargio, paveldėtieji, sandūrų, plyšių tinklas.

Erozija: išaižos, ištrupos, kraštų ištrupos, išdaužos, lopai ir suirę lopai.

Plastinės (liekamosios) deformacijos: vėžės, bangos, slinktys, įdubos.

Slenksčiai: kelkraščių nuosėdžiai, iškylos prie plyšių, įgriuvos

Paviršiaus nuodyla: suplonėjusio viršutinio sluoksnio plotai, sumažėjusio šiurkštumo paviršiaus plotai. 1.3 pav. pavaizduotos asfaltbetonio dangos pažaidos.



1.3 pav. Asfaltbetonio dangos pažaidos:

1 – išilginis plyšys; 2 – skersiniai plyšiai; 3 – plyšių tinklas; 4 – nutrupėję dangos kraštai.

Ne tik Lietuvoje, bet ir visame pasaulyje dažniausiai naudojama automobilių kelių danga – asfaltbetonio danga. Pastaraisiais metais Lietuvoje ženkliai padidėjo transport priemonių eismo intensyvumas, automobilių kelių ir miestų gatvių dangoje vis dažniau yra susiduriama su plastinio pobūdžio liekamosiomis deformacijomis - vėžėmis ir bangomis.

Plastinės liekamosios deformacijos aptinkamos viršutiniame sluoksnyje, šias deformacijas tiksliausiai apibūdina plastiškumas pagal Maršalą. Norint išspręsti šią problemą ar bent sumažinti šiuos defektus, svarbu parinkti asfaltinius mišinius, jų komponentus, atitinkančius eismo ir klimato sąlygas, kokybiškai projektuoti mišinių sudėtis, kiekius asfalto dangų dengimo technologinio proceso metu.

Dažnai automobilių kelių dangoje pastebimi defektai dėl bitumo. Nors bitumo kiekis asfaltiniuose mišiniuose dažniausiai sudaro tik 5 – 7 % visų sudėtinių mišinio dalių, jis vaidina labai svarbų vaidmenį užtikrinant dangos stiprį bei ilgaamžiškumą, todėl keliams tiesti bei taisyti naudojami bitumai privalo turėti visą kompleksą struktūrinių ir mechaninių savybių plačiame temperatūrų intervale. Jie turi būti termiškai pastovūs esant aukštoms temperatūroms, išsaugoti savo deformatyvines ir plastines savybes esant žemoms aplinkos temperatūroms, būti atsparūs senėjimui veikiant įvairiems klimato veiksniams bei automobilių transporto eismui (www.asa.lt).

Automobilių kelių danga, kur vyksta intensyvus TP eismas, įrengiama panaudojant skaldelę ir mastiką. Klampių bitumų ir pilnai suskaldytų akmens medžiagų panaudojimas padeda išvengti plastinių pobūdžio defektų dangoje esant aukštai dangos temperatūrai bei intensyviu TP eismui. Polimerais modifikuotų bitumų panaudojimas apsaugo asfaltbetonio dangą nuo plyšių atsiradimo žiemos periodo metu bei suteikia jai kitų teigiamų savybių.

Kelių dangos kokybė pagrindžiama įvairiais rodikliais. Kelio profilio nelygumai turi didelę įtaką transporto vartotojų kaštams, o sukibimo koeficientas – labiausiai eismo saugumą lemiantis veiksnys. Kelio dangos stipris yra svarbus ilgalaikio kelio dangos būklės diagnostavimo rodiklis.

Vienas iš svarbiausių parametrų, apibūdinančių kelio dangos kokybę - kelio dangos lygumas. Lygus kelias turi didelę įtaką važiavimo komfortui, išsekvojamos mažesnės kuro sąnaudos, tampa saugesnis eismas. Kelio dangos lygumą lemia nelygumų skaičius, jų dydis ir išsidėstymas, tenkantis kelio dangos ilgio vienetui, t.y. tarptautiniam lygumo rodikliui IRI (International Roughness Index), kuris matuojamas metrais kilometre. Metams bėgant, naujai įrengtos dangos lygumo rodiklis gerėja. Lygumo pagerėjimą per praėjusį dešimtmetį lėmė naujų technologijų įdiegimas, pagerėjusi atliekamų darbų kokybė, naujų kokybiškų ruožų nutiesimas. Bituminės emulsijos, šlamai, selektyvinis paviršiaus apdorojimas. Plyšių užtaisymas bitumo mastika daro kelio dangą lygesnę, todėl, nepaisant sumažėjusio finansavimo remontui, kelių dangos lygumas magistraliniuose kol kas neprastėja.

Daugiausia žalos asfaltbetonio dangai daro sunkieji krovininiai automobiliai. Dėl didelių ašinių apkrovų, kurios dažnai įgyja dinaminį pobūdį, krovininiai automobiliai kelio dangai turi beveik visą ardomąjį poveikį, nors jie tesudaro 19 % viso Lietuvos magistralinių kelių transporto srauto. Nuolat didėjant sunkiųjų krovininių tranzito automobilių srautams Lietuvos keliuose, atsiranda ir toliau plėtojasi dangų liekamosios deformacijos. Dėl nepakankamo dangos stiprumo atsiranda provėžų, bangų, slinkčių ir išdaužų. Provėžos yra pavojingas defektas, nes joms atsiradus, išskyla pavojus saugiam eismui, ypač kai danga šlapia (Petkevičius, Sivilevičius 2000).

1.2. Bitumo kilmė, rūšys, gavybos bei gamybos būdai ir bitumo savybės

Gamtiniai organiniai rišikliai (bitumai ir asfaltai) buvo naudojami jau labai senais žmonijos (civilizacijos) egzistavimo laikais. Archeologiniai kasinėjimai parodė, kad juos kaip statybinę medžiagą naudojo Indijoje prieš daugiau kaip 5 tūkstančius metų, o Babilone, Egipte ir Asirijoje – prieš daugiau kaip 4 tūkstančius metų. Turima žinių, kad apie 430 metus (pr. Kr.) Medino mieste (Graikijoje) buvo įrengta degtų plytų, sutvirtintų bitumu, siena.

Vėlesniai laikais, atsiradus kalkėms, gamtinius bitumus ir asfaltus buvo nustota naudoti. Tik XVI ir ypač – XVII amžiuose gamtiniai asfaltai vėl pradėti naudoti statyboms. Šiuo laikotarpiu buvo aptikti asfalto telkiniai Peru ir Kuboje, o kiek vėliau – Šveicarijoje, Irane ir kitur.

XIX amžiaus viduryje plūktas asfaltas buvo panaudotas grindiniams įrengti. Šiuo laikotarpiu (1871 metais) Rusijoje buvo pastatyta Syzranės asfalto mastikos gamykla (Сызраньский завод асфальтовой мастики). Vėliau (iki 1925 metų) Rusijoje organinių rišiklių gamyba nebuvo plečiama. Šiuos rišiklius Rusija dažniausiai įsiveždavo iš Vokietijos ir JAV (Руденская, Руденский, 2010).

Atliktų tyrimų pagrindu 1938 metais Sovietų Sąjungoje kelių klampiesiems ir skystiesiems bitumams buvo parengtos techninės sąlygos (ТУ), o kiek vėliau – valstybės standartai (ГОСТ).

Organiniai rišikliai (bitumai ir dervos) – tai pagrindiniai organinės kilmės naudingųjų iškasenų (naftos, akmens anglies, degiųjų skalūnų ir durpių), taip pat medienos ir gamtinio asfalto perdirbimo produktai. Šios naudingos iškasenos išgaunamos telkiniuose (išskyrus medieną, kuri paruošiama kirtimui skirtuose miškų plotuose), tada šios žaliavos perdirbamos specialiose gamyklose. Gauti produktai naudojami keliams tiesti, hidroizoliacijai, statybose ir kitur ūkio reikmėms.

Bitumų gamybos žaliava – nafta, bitumo turinčios uolienos, degieji skalūnai. Dervų gamybos žaliava – akmens anglis, mediena ir durpės.

Priklausomai nuo naudojamos žaliavos (pagal kilmę ir gavybos būdą) bitumai skirstomi į gamtinius, naftos ir degiųjų skalūnų bitumus. Pagal fizinį būvį šie bitumai skirstomi į kietuosius,

klampiuosius ir skystuosius. Kietieji ir klampieji bitumai pagal konsistenciją skirstomi į markes, o skystieji – pagal tirštėjimo greitį ir klampumą – į klases ir markes.

Klampieji naftos bitumai, pagal gamybos būdą, būna chemiškai paveikti deguonimi (oksiduotieji), sumaišyti ir likutiniai, o skystieji naftos bitumai – skystintieji ir likutiniai. Pagal paskirtį būna: kelių, izoliuojantys, statybų, stogų ir specialūs bitumai (Королев, Финашин, Феднер 1988).

Bitumai – tai kietos, klampios ar skystos organinės rišančiosios medžiagos, sudarytos iš aliciklinių ir aromatinių angliavandenilių ir jų sieringų, deguoningų bei azotingų junginių mišinių. Bitumai būna nuo tamsiai geltonos iki juodos spalvos, jie degūs, tirpsta organiniuose tirpikliuose (anglies tetrachloride, benzole ir kt.), netirpsta vandenyje, atsparūs vandeniniams druskų ir rūgščių tirpalams. Šildomi jie minkštėja, skystėja, o šaldomi tirštėja, kietėja. Šie esantys bitumuose junginiai santykinai skirstomi į asfaltenus ir maltenus. Maltenai sudaryti iš smulų ir parafinų, naftenų bei aromatinių junginių. Asfaltenai – tai labai didelio molekulinio svorio kieto būvio angliavandeniliai. Daugelio mokslininkų nuomone, dalį smulų sorbuoja asfaltenai, o kita jų dalis lieka maltenų sudėtyje.

Bitumas atlieka rišančiosios medžiagos funkciją. Bitumas yra sudarytas iš šių komponentų: anglies – 70–80 %; vandenilio – 10–15 %; sieros – 2–9 %; deguonies – 1–5 %; azoto – 0–2 %. Šie elementai bitume yra didelio molekulinio svorio angliavandenilių junginiuose arba jų darinių su siera ir deguonimi (azotu) molekulėse.

Pagal egzistuojančią laboratorinę praktiką bitumus galima sufrakcionuoti į kietąją ir skystąją dalis. Kietoji dalis – asfaltenai. Iš asfaltenų galima išskirti jų modifikacijas – karbenus ir karboidus. Skystoji dalis (pagal klampumą) gali būti suskirstyta į grupes – alyvas, neutralias smalas ir asfaltogenines rūgštis (Рыбьев 1969, Рыбьев 2008).

Kietieji bitumai 20–25 °C temperatūroje būna klampiai tamprūs. Slankiais ir takiais jie tampa pakaitinus juos 180–200 °C temperatūroje.

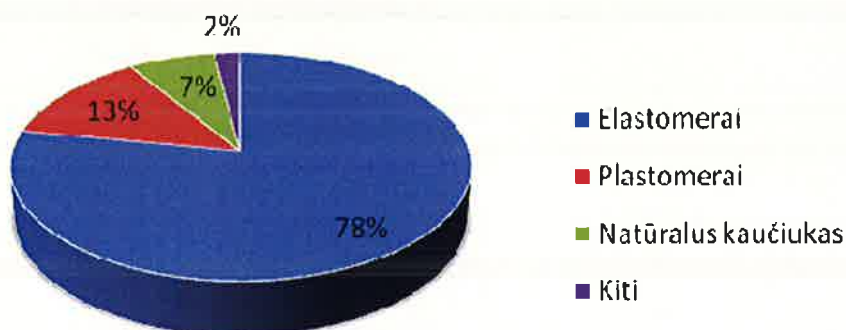
Klampieji bitumai 20–25 °C temperatūroje būna klampiai plastiški. Takiais jie tampa darbinėje (120–180 °C) temperatūroje, juos pakaitinus.

Skystieji bitumai 20–25 °C temperatūroje būna skysti, tačiau mažai slankūs. Takiais jie tampa darbinėje 20–120 °C temperatūroje. Juos oksiduojant (chemiškai jungiant su deguonimi), garinant (kaitinant išgaruoja lakios frakcijos) ir polimerizuojant (modifikuojant polimerais) jie tampa klampiaisiais, o paskui – kietaisiais bitumais.

Pasaulinėje kelių tiesybos praktikoje daugiausiai naudojami šie bitumai (ir medžiagos su bitumu):

- paprastieji bitumai – tai rišančiosios medžiagos, gaunamos perdirbant naftą, gamtinį asfaltą ar bitumingąsias uolienas. Pasaulinėje praktikoje atrasta telkinių, kuriuose išgaunamas gamtinis bitumas, kurį galima naudoti kelių tiesyboje, statybose ir kitur neperdirbtą – tokį, koks išgautas iš telkinio. Pagal natūralią būseną (20–25 °C temperatūroje) būna kieti, klampūs ir skysti bitumai, atitinkamai vadinami kietaisiais, klampiaisiais ir skystaisiais bitumais;
- modifikuotieji bitumai – tai bitumų ir įvairių cheminių priedų mišiniai. Priedai pakeičia bitumų cheminę struktūrą ir fizines bei mechanines jų savybes. Šie bitumai gaminami specialiuose įrenginiuose, prieš juos panaudojant asfaltiniams mišiniams;
- specialieji bitumai – tai bitumai, kuriems gaminant naudojamos specialios technologijos. Jie skirti specialiems naudojimo atvejams;
- įprastinės medžiagos su bitumu – tai įvairių rūšių (tipų ir markių) asfaltbetonis, bituminės emulsijos ir kt.
- įprastinės medžiagos su bitumu ir priedais – tai medžiagų su bitumu (asfaltbetonio) ir įvairių cheminių priedų mišinys. Šiuo atveju cheminiai priedai įterpiami asfaltinių mišinių gamybos metu, o jų poveikio efektas nustatomas ištyrus pagamintų asfaltinių mišinių kokybę.

Iš paminėtų bitumo rūšių pasaulinėje praktikoje dažniausiai naudojami paprastieji ir modifikuotieji bitumai. 1.4 pav. pateikti modifikatorių tipai.



1.4 pav. Modifikatorių tipai

Kelių tiesyboje dažniausiai naudojami elastomerais modifikuoti bitumai. Elastomerais modifikuotus bitumus tikslinga naudoti asfaltbetonio dangai kelių dangos konstrukcijose (KDK). Tokios asfaltbetonio dangos naudojamos ant tiltų, automagistralėse ir kituose automobilių keliuose bei miestų gatvėse su dideliu sunkiųjų transporto priemonių eismo intensyvumu, kelių ir gatvių sankryžose (jų ruožuose, kur dažniausiai stabdomos ir pradeda važiuoti transporto priemonės), automobilių ir kitų transporto priemonių greitėjimo ir lėtėjimo juostose, transporto priemonių

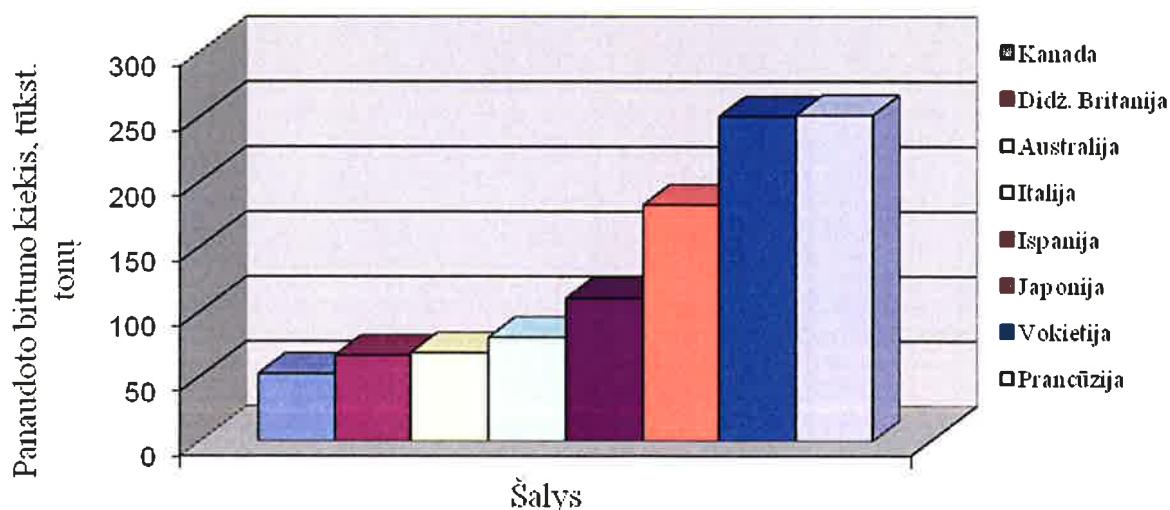
stovėjimo ir poilsio aikštelėse duoda ypač gerus rezultatus – ženkliai padidėja šių įrenginių funkcionavimo trukmė.

Modifikuotieji bitumai labai elastingi – šios savybės neturi paprastieji bitumai. Dėl šios modifikuotųjų bitumų savybės sumažėja asfaltbetonio dangos provėžų gylis (lyginant su paprasta asfaltbetonio danga). Modifikuotųjų bitumų plastiškosios savybės sumažina įtrūkių ir plyšių atsiradimo tikimybę asfaltbetonio dangoje žiemą. Modifikuotieji bitumai, lyginant su paprastaisiais bitumais, turi geresnę sankibą su skalda. Apskritai modifikuotieji bitumai ilgina (esant kitoms vienodoms kelio dangos konstrukcijos funkcionavimo sąlygoms) asfaltbetonio dangos tarpremontinį laikotarpį.

Modifikuotųjų bitumų paklausa įvairiose pasaulio valstybėse pateikta 1.2 lentelėje ir 1.5 paveiksle.

1.2 lentelė. Modifikuotųjų bitumų naudojimo įvairiose pasaulio šalyse intensyvumas

Šalies pavadinimas	Panaudoto modifikuotojo panaudoto bitumo kiekis, tūkst. tonų
Kanada	52,0
Didžioji Britanija	66,0
Australija	67,5
Italija	80,0
Ispanija	110,0
Japonija	182,0
Vokietija	250,0
Prancūzija	251,0



1.5 pav. Modifikuotųjų bitumų naudojimo įvairiose pasaulio šalyse intensyvumas

Bitumų (gamtinių ir naftos) sudėtis, struktūra ir savybės neženkliai skiriasi. Į bitumo pagrindinių angliavandenilių sudėtį įeina deguonis, azotas, siera, geležis, nikelis ir kiti cheminiai elementai. Didžioji bitumo molekulių dalis sudaryta iš 25–150 anglies atomų. Priklausomai nuo atomų kiekio ir jų išsidėstymo molekulėse keičiasi ir bitumo savybės. Pavyzdžiui, kuo didesnė konkretaus darinio molekulinė masė, tuo būna stipresnė molekulių tarpusavio sąveika. Bitumo molekulių molekulinė masė sudaro 400–5000. Aromatiniai angliavandeniliai labai atsparūs šilumos, deguonies ir ultravioletinių spindulių poveikiui, oksiduojant aromatinčius angliavandenilius, iš jų susidaro smalos. Metano eilės angliavandeniliai (parafinai) žemose temperatūrose kristalizuojasi ir blogina bitumo savybes – blogina jo gebėjimą sukibti su mineralinių medžiagų grūdeliais. Naftenų eilės angliavandeniliai oksiduojant taip pat dalinai persiformuoja į smalas.

Elementarioji bitumo sudėtis būna tokia: C – 70–87 %, H – 8–12 %, O – 0,2–12,0 %, S – 0,5–7,0 %, N – iki 1 %. Naftos bitumuose deguonies būna mažiau nei gamtiniuose bitumuose (iki 2 %), o anglies procentinė dalis būna siauresnė ribose (84–87 %). Apskritai elementarioji bitumo sudėtis tik apytikriai gali charakterizuoti bitumo savybes, todėl, charakterizuojant bitumo savybes, nustatoma jo grupinė sudėtis. Bitumas suskaidomas į artimų sudėtimi ir savybėmis junginių grupes. Šios grupės nustatomos principu, kad atskiri bitumo angliavandenilių junginiai skirtingai tirpsta tirpikliuose ir skirtingai yra absorbuojami adsorbentais.

Bitumo grupinės sudėties komponentas – alyvos, išskiriamos bitumą tirpinant naftos eterį arba lengvajame benzine. Alyvos yra nesudėtingos struktūros, o jų molekulinė masė sudaro 300–600. Jos būna tamsiai geltonos spalvos ir suteikia bitumui slankumą bei takumą. Alyvų kiekis bitumuose būna apie 35–60 masės %.

Kitas bitumo grupinės sudėties komponentas – smalos. Jos sudarytos iš ciklinės ir heterogeninės struktūros angliavandenilių junginių, o jų molekulinė masė sudaro 600–1000. Smalos turi tamsiai rudą spalvą. Jos būna didžiausias sieros, azoto ir deguonies turinčių angliavandenilių kiekis – tai jiems suteikia didesnę aktyvumą, todėl padidėja bitumo sukibimas su mineralinių medžiagų grūdeliais. Smalos bitumui suteikia elastingumą ir atsparumą vandens poveikiui. Smalų bitume dažniausiai būna 20–40 masės %.

Asfaltenai – kieti nesilydantys angliavandenilių dariniai. Asfaltenų molekulinė masė sudaro 1000–5000. Jie tirpsta chloroforme, karštame benzole ir anglies tetrachloride, tačiau netirpsta lengvajame benzine. Asfaltenai padidina bitumų atsparumą temperatūros poveikiui, taip pat – jų klampumą ir kietumą. Bitumuose paprastai jų būna 10–40 masės %. Paveikus asfaltenus ultravioletiniai spinduliai, jie tampa netirpūs benzole ir persiformuoja į karbenus.

Asfaltogeninės rūgštys (bitumo grupinės sudėties komponentas) gerai tirpsta etilo spirite. Jos bitume atlieka paviršiaus aktyviųjų medžiagų funkciją. Bitumuose būna iki 3 % asfaltogeninių rūgščių ir jų anhidridų. Jie suteikia bitumams didelę sankibą su mineralinėmis medžiagomis.

Parafinai – kieti metano eilės angliavandeniliai, jie blogina bitumo savybes. Didžiausią neigiamą bloginančią įtaką daro stambiai kristalizuoti parafinai – padidėja bitumo trapumas ir sumažėja jo plastiškumas. Parafino bitumuose būna iki 6–8 %.

Veikiant saulės spinduliuotei, aukštomis temperatūroms ir oro deguoniui, bitumų grupinė sudėtis pradeda keistis: alyvos palaipsniui chemiškai persiformuoja į smalas, o smalos persiformuoja į asfaltenus. Grupinės sudėties angliavandeniliai bitumuose būna pasiskirstę įvairiais jų masių santykiais – tai iš esmės apsprendžia bitumų struktūrą ir savybes. Bitumų struktūra gali būti zolio tipo – mažai klampūs bitumai arba tankesnė gelio tipo – labiau klampūs bitumai. Bitumo klampumas labai priklauso nuo jo temperatūros. Kaitinant bitumą arba padidinant jame alyvų procentinę dalį gelio struktūros tipo bitumas pereina į zolio tipo struktūros bitumą.

Kieti bitumai yra santykinai charakterizuojami pagal standartinės adatos įsmigimo gylį. Bandymas atliekamas taip – adata, esant 25 °C bitumo bandinio temperatūrai, 5 sekundes veikiama 100 g masės svarmens (arba esant 0 °C bitumo bandinio temperatūrai adata 60 sekundžių veikiama 200 g masės svarmens) sminga į bitumą. Šis bandymas charakterizuoja bitumo takumą – priešingą klampumui savybę. Bitumo takumas nustatomas penetrometru ir vertinamas penetracijos laipsniais. Kickvicas penetracijos laipsnis reiškia adatos įsmigimo į bandinį 0,1 mm gylį. Klampiųjų ir kietųjų bitumų penetracija, esant 25 °C temperatūrai, būna 5–300 penetracijos laipsnių ribose. Skystųjų (zolio tipo) bitumų sąlyginis klampumas charakterizuojamas laiko trukme, kurios metu išteka tam tikras tūris (dažniausiai 50 cm³) tiriamo bitumo per viskozimetro angą, esant standartinėms (dažniausiai 25 °C ir 60 °C) jo temperatūroms.

Klampiesiems ir kietiesiems bitumams taip pat nustatomas jų plastiškumas ir minkštėjimo temperatūra. Plastiškumas nustatomas tiriant bitumo bandinių duktilumą. Bitumo bandiniai paruošiami „aštuoniukės“ formos. Jie bandomi tempiant bandinį duktilometru. Tąsumas matuojamas centimetrais 25 °C ir 0 °C temperatūrose. Minkštėjimo temperatūra parodo bitumo perėjimą iš kietojo arba klampiojo būvio į skystąjį būvį. Ji nustatoma „žiedo ir rutulio“ metodu. Apie bitumo atsparumą šilumai sprendžiama pagal bitumo penetracijos indeksą, išreikštą penetracijos laipsniais (arba pagal standartinės adatos įsmigimo gylį, išreikštą mm).

Priklausomai nuo svarbiausių savybių, klampieji bitumai suskirstyti į markes. Daugelyje šalių šios markės parodo penetracijos ribas arba didžiausią leistiną konkrečios markės bitumo penetraciją (esant 25 °C bandinių temperatūrai). Bitumai skirti keliams pasižymi gera sankiba su mineralinėmis

medžiagomis, turi pakankamai didelį plastiškumą esant neigiamoms temperatūroms ir yra atsparūs klimato poveikiams (Рыбьев 2008).

Bitumai, naudojami automobilių keliams kaip rišikliai privalo turėti šias savybes:

- lengvai sukihti su mineralinių medžiagų grūdeliais (gerai juos apvilkti, gerai prie jų prilipti ir sutvirtinti šiuos grūdelius į monolitą), sudarydami stiprią, vandeniui atsparią plėvelę;
- turėti klampumą, kad, jungimosi su mineralinėmis medžiagomis metu, būtų galima gerai šių medžiagų grūdelius apvilkti patvaria plėvele ir sudaryti su mineralinėmis medžiagomis monolitą, turintį tam tikrą stiprį;
- būti stabilūs, nekeisti savo savybių viso funkcionavimo laikotarpio metu kelių dangos ir pagrindų sluoksniuose.

1.3. Bitumo naudojimo praktikos automobilių kelių dangai įrengti, jos savybėms atkurti bei dangai remontuoti Lietuvoje apžvalga

Bitumai Lietuvoje yra naudojami kelių dangai įrengti, remontui ar atnaujinimui, dangos regeneravimui bei kitiems statybos darbams. Plačiausiai bitumai naudojami asfaltbetonio mišinių gamybai.

Asfaltbetonis – tai techniniu būdu pagamintas ir sutankintas bitumo (kaip rišančios medžiagos) ir įvairių mineralinių medžiagų frakcijų mišinys.

Priklausomai nuo naudojamo bitumo markės ir mišinių paklojimo į konstrukcinius sluoksnius temperatūros asfaltbetoniai skirstomi į karštus, šiltus ir šaltus.

Karšti asfaltiniai mišiniai gaminami naudojant klampus kelių bitumus B 100/150, B 50/70, B 50/70 markių bitumus. Mišiniai su šiais bitumais klojami ir tankinami karštoje būklėje. Sudėtis parenkama taip, kad galima būtų įrengti patvarius ir eismui saugius dangos sluoksnius, kurių akytumo rodiklis būtų žemas. Toks asfaltbetonis taikomas gatvių ir visų rūšių kelių bei kitų eismo paviršių dangos sluoksniui įrengti.

Šilti asfaltiniai mišiniai gaminami naudojant klampus naftinius kelių bitumus, o šalti asfaltbetiniai mišiniai gaminami naudojant skystus SB 1500; SB 3000; SB 6000; SB 12000 markių bitumus. Taip pat išskiriamas lietas asfaltas – tai tiršta skaldinėlio, smėlio, mineralinių miltelių ir kelių statybos bitumų masė, kurios mineralinių medžiagų mišinio sudėčiai būdingas mažas akytumas. Šiam asfaltui naudojami B/25; B/45; B/65 markių bitumai (ypatingais atvejais gali būti numatytas natūralaus asfalto priedo arba polimerais pakeistų bitumų naudojimas).

Rišiklio kiekis yra taip suderinamas su mineralinių medžiagų mišinio tuštumingumu, kad tuštumos klojimo būklėje yra pilnai užpildytos arba lieka tik nedidelis kiekis rišamosios medžiagos ir tuo būdu galima įrengti atsparius ir eismo požiūriu saugius dangos sluoksnius. Lietasis asfaltas

yra liejamas ir glaistomas karštoje būklėje. Tankinimas nereikalingas. Paviršius apdorojamas betarpiškai išliejus asfaltą šiurkštinant arba užbarstant smėliu.

Asfaltbetonis – viena iš sudėtingiausių statybinių medžiagų. Šis sudėtingumas yra sąlygotas visų pirma asfaltbetonio struktūros ypatumų, taip pat medžiagos savybių, priklausomų nuo daugelio faktorių. Šios medžiagos deformacinėms savybėms didelės įtakos turi temperatūriniai svyravimai. Nuolat siekiama gerinti jos kokybę, dirbtinai pagerinus mineralinių ir rišančiųjų medžiagų sąveiką. 1.6 pav. pavaizduota asfaltinių mišinių gamykla.



1.6 pav. Asfaltinių mišinių gamykla

Augant eismo intensyvumui, vis labiau pasireiškia pagrindiniai naudojamo asfaltbetonio trūkumai – nepakankamas atsparumas erozijai ir kitoms liekamosioms deformacijoms. Transporto priemonių judėjimo sąlygos reikalauja pagerinti asfaltbetonio dangos kokybę. Šio uždavinio sprendimas susijęs su būtinumu gerinti naudojamų medžiagų kokybę, o kai kuriais atvejais pakeisti jas naujomis. Dangos stiprumas priklauso nuo bitumo klampumo, kuris įtakoja asfaltbetonio sankabumą. Kuo klampumas didesnis, tuo didesnis ir asfaltbetonio stipris, tačiau medžiagos turi būti optimaliai dozuojamos. Priešingu atveju, bitumo kiekiui viršijus optimalų, sankabumas mišinyje mažėja, tuo pačiu mažėja ir įrengtos dangos stipris.

Bitumą neigiamai veikia jame ar gudrone esantis padidintas kietųjų parafinų kiekis. Jis mažina deformatyvumą, trapumo temperatūrą, blogina sukibimą su mineralinėmis medžiagomis. Siekiant pagerinti bitumo savybes galima tobulinti bitumo gamybos technologiją, įterpti į jį priedų, mažinančių neigiamą parafino poveikį ir gerinančių bitumo sukibimą su mineralinėmis medžiagomis. Vienas iš tikslų yra panaudojus priedus padaryti asfaltbetonį standesnį, esant karštam orui ir mažiau standų žemoje temperatūroje.

Idealus asfaltbetonio su priedais rišantysis sluoksnis turi turėti šias savybes:

- bitumo standumo didėjimą aukštoje temperatūroje;
- bitumo standumo mažėjimą žemoje temperatūroje;
- gerą asfalto rišančios medžiagos sukibimą su užpildais drėgnoje aplinkoje, mažinantis dangos paviršiaus lukštenimąsi.

Skiedžiantys priedai, naudojami organinių rišančių medžiagų klampumui sumažinti. Skystų bitumų ir degutų gamybai naudojami: ligrojinas, nafta, mazutas, žibalas. Plastifikuojantys priedai naudojami organinių rišančių medžiagų trapumo mažinimui, plastinių savybių gerinimui. Pagrindinis reikalavimas, keliamas plastifikatoriams, yra jų trapumas ir jungimasis su plastifikuojama medžiaga. Modifikuojantys priedai – tai medžiagos, kurių įterpimas į rišančiąją medžiagą keičia bitumo fizines ir chemines savybes ir struktūrą arba veikia kaip mechaninis komponentų priedas, bet ir vienu ir kitu atveju, pakeičia savybes norima linkme (Печеный 1981).

Gana dažnai kelių dangų remontui yra naudojamos bituminės emulsijos. Bituminė emulsija – tai bitumo ir vandens dispersinė sistema, gaunama naudojant emulsiklius, reikalui esant ir stabilizatorius. Pagal bitumo dalelių elektrinį krūvį jos skirstomos į katijonines (dalelių krūvis teigiamas), anijonines (krūvis neigiamas) ir nejonizuotas emulsijas. Bituminės emulsijos gali būti skirstomos ir pagal bitumo dalelių skaidymosi greitį bei bitumo kiekį jose.

Emulsija yra savotiška rišančioji medžiaga. Emulsijos naudojamos tokiems darbams, kurių neįmanoma atlikti su karštu bitumu. Bituminės emulsijos tinka visiems kelių tiesimo darbams nuo kelių priežiūros ir remonto darbų iki kelių tiesimo ir dangų klojimo darbų. Galimybė keisti bituminių emulsijų charakteristikas leidžia jas naudoti įvairiausiose technologijose.

Bituminės emulsijos – skysčiai, maišomi iš dviejų paprastai vienas kitame netirpstančių komponentų – bitumo ir vandens. Norint sumaišyti du vienas kitame netirpstančius komponentus, naudojami emulgatoriai. Emulsijoje kelių mikronų dydžio bitumo dalelės dažniausiai yra sferinės formos ir tarytum plaukioja vandenyje (dispersinėje terpėje). Emulgatoriaus molekulės turi nepolinę dalį, kuri gimininga bitumui, todėl įsiskverbia į bitumo granules. Polinė molekulių dalis yra vandenyje, kuriame jonizuojasi ir sudaro elektrinius krūvius bituminių dalelių paviršiuje. Tie krūviai yra vienodo ženklo ir verčia bitumines daleles atsiskirti viena nuo kitos bei priešinasi jų

sulipimui. Emulgatorius atlieka tris funkcijas: mažina paviršiaus įtempimus tarp fazių, stabilizuoja dispersiją ir užtikrina bitumo sukibimą su mineralinėmis medžiagomis. 1.7 pav. parodytas bituminės emulsijos užpurškimo ant kelio dangos procesas.



1.7 pav. Bituminės emulsijos užpurškimo ant kelio dangos technologinis procesas

Priklausomai nuo emulsijos naudojimo technologijos ir nuo aplinkos temperatūros, pradiniu rišikliu gali būti grynas bitumas arba bitumas praskiestas naftinėmis ar kitomis alyvomis. Tokios rišančios medžiagos sudėtyje gali būti tam tikras kiekis polimerų arba kitokių priedų.

Išskiriami šie du pagrindiniai, kelių bituminių emulsijų naudojimo būdai:

- Emulsijų išpylimas;
- Mišinių gamyba.

Dėl nedidelio rišlumo, bituminės emulsijos išpildo reikalavimus gamybos darbams, naudojant išpylimo technologijas be pašildymo. Emulsijos naudojamos ir kelio dangų paviršiaus apdorojimui. Atlikus šią procedūrą kelio dangoms suteikiamos vandens nepralaidumo savybės bei pagerinamas jų šiurkštumas. Paviršiaus apdorojimas vykdomas pagal tokią technologiją: ant kelio dangos išpilamas riškis sudaro plėvelę, o antru išpylimu paskleidžiama skaldele. Tokios konstrukcijos gerai pritaikytos intensyviai transporto priemonių eismui.

Paviršiaus apdarui naudojamos emulsijos pasižymi tokiomis savybėmis:

- gali būti naudojamos ir su šaltomis ir su karštomis medžiagomis;
- gali būti naudojamos su drėgnomis medžiagomis;
- nereikalauja aukštos temperatūros panaudojimui;
- išvengia gaisro nemalonumų, kas yra įmanoma naudojant karštus bitumus;
- susiskaido žymiai greičiau už skiestus bitumus;
- emulsijas išpilti galima praktiškai visų tipų technika.

Danga apdorota emulsija tampa žymiai tankesnė, sumažėja dangos pralaidumas orui, vandeniui, danga mažiau dėvisi. Kadangi bituminės emulsijos sluoksnis greitai formuojasi, todėl nėra jokio reikalo nutraukti TP eismo darbo metu.

Skirtingi emulsijos tipai ir kiekiai turi būti išbandyti su užpildais, kad rasti jų geriausią kombinaciją, nustatytam panaudojimui. Kiekviena emulsijos rūšis yra suprojektuota tam tikram panaudojimui:

- greito susiskaidymo emulsijos – skirtos greitai reaguoti su inertinėmis medžiagomis ir pereiti iš emulsinės būsenos į bitumą, todėl dažniausiai naudojamos išpurškiant, paviršiaus apdorojimui su skaldele, smėliu, daugiasluoksniams apdorojimams bei permerkimams;
- vidutiniu greičiu susiskaidančios emulsijos – skirtos maišymui su stambiagrūdėmis medžiagomis;
- lėtai susiskaidančios emulsijos – skirtos tankiems mišiniams su smėlio užpildu.

Labai svarbus yra emulsijų sandėliavimas, nes netinkamas sandėliavimas ar elgimasis su jomis gali sąlygoti priešlaikinį suirimą. Emulsijų neleidžiama laikyti aukštesnėje nei 85°C temperatūroje, o taip pat negalima leisti joms užšalti, kad neatsiskirtų bitumas ir vanduo. Todėl emulsija laikoma izoliuotuose, apšildintuose bunkeriuose (Hunter 1994).

Regeneruojama kelio danga – eksploatuoti netinkama sena kelio danga, kurios savybės yra atstatomos pakartotinai naudojant tik performuotas ir įvairiais rišikliais pagerintas jos medžiagas. Regeneruota kelio danga gali būti naudojama ir kaip pagrindas naujai įrengiamiems dangos sluoksniams.

Bėgant metams buvo sukurta nemažai technologijų ir skirtingų metodų skirtų asfaltbetonio dangos regeneravimui. Regeneravimo procesai yra klasifikuojami pagal vietą, kurioje jie yra atliekami:

- Toje pačioje vietoje (kelyje);
- Kitoje (ne toje pačioje vietoje, kurioje ji buvo prieš regeneravimą).

Taip pat regeneravimo procesai klasifikuojami pagal temperatūrą, kurioje jie atliekami (Karlsson, Isacsson 2006):

- Šaltasis regeneravimo procesas (žemiau 70°C);

- Šiltasis regeneravimo procesas (70°C -120°C);
- Karštasis regeneravimo procesas (virš 120°C).

Šiuolaikinės asfaltbetonio gamyklos sudaro labai sudėtingi, modernūs ir brangūs įrenginiai. Pagrindinės gamybos operacijos atliekamos kompiuterių pagalba. Šių kompiuterių pagalba operatoriai gali lengvai kontroliuoti gamybos procesą, ko pasekoje pagaminamas aukštos kokybės produktas (Sivilevičius *et al.* 2008).

Regeneruojant asfaltbetonį gamykloje, pakartotinai naudojamas asfaltbetonis maišomas su nauju rišikliu ir/arba nauju asfaltbetoniui. Regeneravimas gamykloje gali būti skirstomas į šaltą, šiltą ir karštą regeneravimus, priklausomai nuo reikiamos temperatūros. Paprastai asfaltbetonio gamyklai reikia nedidelių pakeitimų, tam, kad būtų galima regeneruoti asfaltbetonį (Asfaltbetonio regeneravimo... 1998). Šaltasis regeneravimo procesas – šalto NAG tiekimas į įkaitintas mineralines medžiagas maišymo įrenginyje ar karštajame elevatoriuje.

1.4. Darbo tikslai ir uždaviniai

Šio darbo tikslas – ištirti Lietuvos automobilių keliams naudojamų bitumų ir asfaltbetonio savybes ir šių savybių įtaką dangos eksploataciniams rodikliams.

Norint pasiekti šį tikslą reikia išspręsti darbe iškeltus uždavinius:

1. Išanalizuoti Lietuvos automobilių kelių dangos funkcionavimo sąlygas ir būklę;
2. Išanalizuoti automobilių kelių asfaltbetonio dangai naudojamų bitumų sudėtį, savybes, senėjimo procesus;
3. Atlikti magistralinių kelių asfaltbetonio dangai naudojamų trijų skirtingų bitumo markių sudėties ir savybių eksperimentinių tyrimų rezultatų analizę, ištirti atskirų rodiklių bei bitumo kiekio įtaką asfaltbetonio fiziniams bei mechaniniams rodikliams pagal Maršalą ir dangos lygumo rodikliui;
4. Įvertinti automobilių kelių dangai naudojamų bitumų kokybės rodiklius bei šių rodiklių ir bitumo kiekio įtaką asfaltbetonio fiziniams bei mechaniniams rodikliams pagal Maršalą ir dangos lygumo rodikliui;
5. Pateikti išvadas ir rekomendacijas.

2. BITUMO SUDĖTIS IR SAVYBĖS

2.1. Bitumo sudėties ir savybių kitimo kelių dangos senėjimo procese analizė

Bitumai, funkcionuodami kelių dangos ir pagrindų asfaltiniuose sluoksniuose, yra veikiami atmosferos ir kitų aplinkos veiksnių komplekso, todėl, laikui bėgant, jų savybės neišvengiamai keičiasi. Pagal mechaninio nusidėvėjimo rodiklį 40 mm storio viršutinis asfaltbetonio dangos sluoksnis gali funkcionuoti 30–40 metų, tačiau dėl dangos bitumo greito senėjimo asfaltbetonio danga (iki suirties) dažniausiai funkcionuoja daug trumpiau (apie 7–10 metų). Dėl pernelyg greito senėjimo bitumas labai greitai praranda klampiai plastines savybes, todėl danga pradeda trūkinėti ir pleišėti (iš pradžių dangoje atsiranda vos matomų įtrūkių, o vėliau – plastinių plyšių). Bitumas labiausiai senėja todėl, kad, esant aukštai (30–50 °C ir aukštesnei) dangos temperatūrai šiltuoju metų laikotarpiu (labiausiai – vasarą), iš asfaltbetonio dangos viršutiniojo sluoksnio pradeda intensyviai garuoti bitumo lakiosios frakcijos – alyvos. Šių lakiųjų frakcijų garavimo iš asfaltbetonio dangos intensyvumas taip pat labai priklauso nuo alyvų, esančių bitume, savybių (nuo jų virimo temperatūros), taip pat – nuo dangos paviršiaus, iš kurio garuoja alyvos, ploto bei nuo to kaip greitai šios lakios frakcijos pasklinda oro erdvėje. Nustatyta, kad intensyviai garuoja alyvų angliavandenilių dariniai, kurių molekulinė masė neviršija 400.

Kitas svarbus bitumų senėjimo veiksnys – jų komponentų cheminiai pokyčiai ir naujų junginių juose susidarymas. Šie pokyčiai didžiaja dalimi yra sąlygojami oksidacijos proceso. Oksidacijos procesas gali spartėti priklausomai nuo daugelio veiksnių: šilumos, saulės radiacijos, mechaninių poveikių, druskose esančių metalų (geležies, vario, mangano ir kt.), valentingumo pokyčių ir kitų veiksnių.

Senėjant bitumui, keičiasi jo grupinė sudėtis – iš pradžių dėl alyvų lakiųjų frakcijų išgaravimo, vėliau – dėl smalų ir asfaltenų procentinės dalies bitume didėjimo, o dar vėliau – dėl to, kad dalis alyvų persiformuoja į smalas, o dalis smalų – persiformuoja į asfaltenus. Šio proceso metu alyvų ir smalų procentinė dalis bitume sumažėja, o asfaltenų – padidėja. Keičiantis bitumų grupinei sudėčiai, keičiasi jų struktūra, didėja klampumas, atsparumas šilumos poveikiui, tamprumas, o sumažėja plastiškumas – galutiniame rezultate bitumai tampa trapiais.

Siekiant sulėtinti bitumo senėjimą, įterpiami specialūs priedai (inhibitoriai), lėtinantys jo senėjimą. Bitumo senėjimą stabdo nafteninės ir kitos sočiosios rūgštys, taip pat – siera, taminas (0,20 %), naftolas (0,10 %) ir kiti priedai. Bitumo struktūros stabilumui garantuoti rekomenduojama naudoti padangų gamybos atliekas – butilkaučiuko regeneratus (6–10 %). Šis priedas kompleksinis, nes ne tik lėtina bitumo senėjimą, bet taip pat jam suteikia plastifikuojantį poveikį: didina plastiškumo intervalą (PI) tiek teigiamų, tiek neigiamų temperatūrų srityse.

Bitumų senėjimą stabdo kai kurie asfaltiniams mišiniams ir asfaltbetoniui naudojami mineraliniai milteliai, pagaminti iš talko, skalūno, dolomito, diabazo, kalkių, klinčių. Šie mineraliniai milteliai savo paviršiuje adsorbuoja bitume esančius junginius su aktyviomis funkcinėmis grupėmis, nes jie sumažina šių junginių cheminės energijos sandaugą, todėl sumažina bitumo senėjimą.

Bitumo atsparumas klimato poveikiams nustatomas jo ilgalaikiu išlaikymu gamtinėje aplinkoje. Tai būdingos kelių asfaltinės dangos funkcionavimo klimato ir orų sąlygos. Nustatant bitumo atsparumą klimato ir orų sąlygoms pagreitintu būdu, sukurti specialūs prietaisai (klimato kameros ir kiti). Šie prietaisai modeliuoja bitumo funkcionavimą asfaltinėje kelių dangoje ir jos konstrukcijoje realiomis vietos sąlygomis (modeliuoja realių temperatūrų kitimą ir poveikį, ultravioletinių spindulių, atmosferos deguonies, drėgnio bei kitų vietos veiksnių poveikį) (Грушко, Королев 1991).

Bitumo senėjimas – tai bitumo struktūros pokyčių procesas ir rezultatas, vykstantis veikiant asfaltbetonį ir bitumą jame įvairių veiksnių komplekso, taip pat – mechaninių veiksnių. Svarbiausi veiksniai, veikiantys bitumą, asfaltbetonyje pasiskirsčiusį plonų plėvelių pavidalu, – tai oro deguonis, aukšta aplinkos temperatūra ir mineralinių medžiagų paviršius.

Gaminant karštuosius asfaltinius mišinius, praktikoje dažniausiai pasiekama 160–170 °C temperatūra, kuriai esant mineralinės medžiagos maišyklėje sumaišomos su karštu (150–160 °C temperatūros) bitumu. Esant tokioms temperatūroms, plonieji bitumo sluoksniai kontaktuoja su atmosferos deguonimi – tai labai sendina bitumą. Tyrimai parodė, kad bitumo reologinės charakteristikos (jam būnant aukštų temperatūrų zonoje, kai jis ir mineralinių medžiagų grūdėliai sumaišomi maišyklėje) pasikeičia daug labiau nei tada, kai bitumas (kaip asfaltbetonio komponentas) daug metų funkcionuoja kelių dangoje ir dangos temperatūra neviršija 70 °C. Įrodyta, kad bitumas kelių dangoje senėja tuo intensyviau, kuo didesnis dangos asfaltbetonio tuštymėtumas, kuo aukštesnė aplinkos temperatūra ir kuo mažesnis asfaltbetonio dangos storis (Колбановская, Михайлов 1973).

Bitumo senėjimo procesas, dėl kurio negrįžtamai pasikeičia bitumo savybės, vyksta taip:

- iš bitumo plėvelių, susiformavusių ant mineralinių medžiagų grūdelių asfaltinėje dangoje, paviršiaus (nedideliame gylyje) išgaruoja lakiosios bitumo komponentų (alyvų) frakcijos – šio proceso intensyvumas priklauso nuo lakiųjų frakcijų bitume kiekio, bitumo klampumo ir temperatūros;
- bitumo polimerizacija dėl šilumos poveikio, vykstanti jame net ir tada, kai bitumas neturi kontakto su atmosferos deguonimi. Polimerizacijos proceso intensyvumas priklauso nuo aplinkos

temperatūros ir temperatūros poveikio trukmės. Bitumo polimerizacijos įtaka bitumo senėjimo procesui, dažniausiai būna nedidelė;

- bitumo komponentų polimerizacija dėl jo oksidavimo deguonimi veikiant šviesai arba ultravioletiniams spinduliams;
- polioksikondensacija, vykstanti veikiant atmosferos deguoniui – tai svarbiausias procesas, keičiantis bitumo sudėtį ir struktūrą senėjimo metu.

Transporto priemonių apkrovos taip pat spartina asfaltinėje dangoje esančio bitumo (ir dangos) senėjimą, taip pat mažina asfaltinės dangos funkcionavimo trukmę. Tyrimai parodė, kad, didėjant bitumo klampumui, asfaltinės dangos funkcionavimo trukmė padidėja:

$$N = 6,03 \lg[100V_b / (V_b + V_t)] + 5,99T_m - 16,34, \quad (2.1)$$

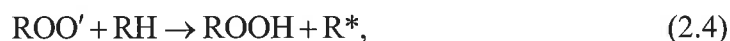
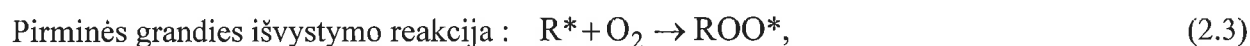
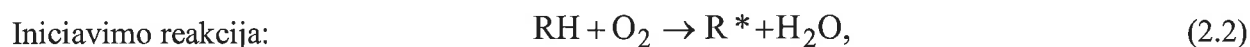
čia V_b – bitumo kiekis dangos asfaltbetonyje, tūrio %;

V_t – asfaltbetonio liekamasis akytumas (tuštymėtumas);

T_m – bitumo minkštėjimo temperatūra, nustatyta „žiedo“ ir „rutulio“ metodu.

Eksplloatuojant kelių dangą, ženkliai įlinkių deformacijas pavasarį ir iš dalies vasarą ir rudenį, šaltuoju metų laikotarpiu (ypač – žiemą) pakeičia temperatūrinės (dangos asfaltbetonio tempimo) deformacijos. Šios temperatūrinės deformacijos lėtai didėja, pereinant nuo žemų rudens temperatūrų prie daug žemesnių neigiamų žiemos temperatūrų. Modeliuojant asfaltinės dangos funkcionavimo sąlygas rudens ir žiemos laikotarpiais, buvo atlikti asfaltbetonio tyrimai. Buvo nustatyta, kaip daugkartinis asfaltbetonio bandinių lankstymas, esant 0° C temperatūrai, veikia jame esančio bitumo trapumo (pagal Frasą) temperatūrą. Nustatyta, kad, didėjant bandinių lankstymo (įlinkių) skaičiui, trapumo temperatūra didėja. Kitaip tariant, laikui bėgant, skirtingo dydžio įtempiai ir įlinkių deformacijos (esant skirtingoms temperatūroms) kaupiasi ir tam tikru momentu, peržengus įtempių ar įlinkių deformacijų kritinę ribą, asfaltbetonio danga toje vietoje suyra (Печеный 1990).

Svarbiausias bitumo senėjimą sąlygojantis veiksnys – jo oksidavimas oro deguonimi. Daugelis tyrimų parodė, kad bitumo angliavandenilių junginių oksidavimas – grandininis procesas, kurio vyksmą galima pateikti taip: (Колбановская, Михайлов 1973)



Arba:



Reakcijos rezultatas – susidaręs oksiduotas radikalas atima iš angliavandenilio molekulės labiausiai paslankų vandenilio atomą. Tai skatina susidaryti papildomiems radikalams ir paskatina susidaryti naujoms grandims.

2.2. Pasenusio bitumo savybių atkūrimo būdai ir medžiagos

Trūkstant kelių tiesimui tinkančio naftinio bitumo, taip pat norint pagerinti jo savybes, paskutiniu metu siūlomi įvairūs priedai. Santykiškai dideliais kiekiais pridedami priedai, kurie žymiai paveikia bitumo struktūrą bei savybes, vadinami kompoziciniais arba kompleksiniais. Labiausiai paplitę kompleksiniai bitumai yra bitumo – derviniai, bitumo polimeriniai, dervų – bitumo – polimeriniai.

Bėgant metams buvo pasiūlyta nemažai medžiagų siekiant pakeisti seno rišiklio savybes asfaltbetonio regeneravime. Šių medžiagų grupė vadinama skirtingai, kaip panaudojimas, regeneravimas, modifikavimas arba minkštinimo priemonės (papildai), regeneravimo modifikatoriai, atjaunintojai, taip pat ir skystintojai, plėtikliai ar aromatinė alyva. Sudarytame sąraše nurodyti skirtumai tarp minkštinimo ir jauninančių priemonių, kur minkštinimo priemonės tiesiogiai pritaikytos pasenusio bitumo tūsumui mažinti, tuo tarpu ir jauninančios priemonės buvo dedamos seno rišiklio fizinių ir cheminių savybių atstatymui:

1. Minkštinančios priemonės:

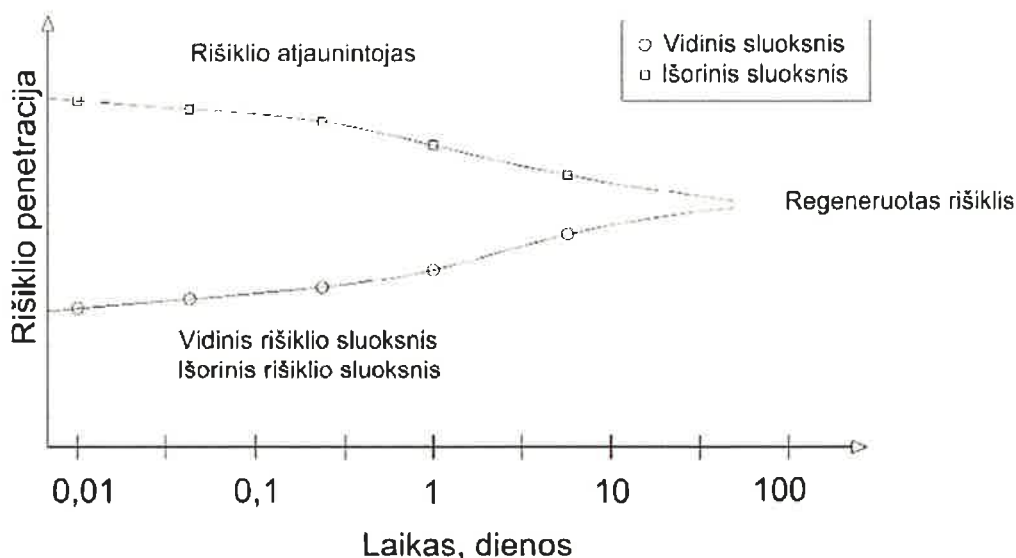
- Skysta asfalto alyva (paprastai būna maišyta su bitumu, naudojama tūsumu mažinti);
- Mašininio tepalo žaliava;
- Tepalinė arba karterinė alyva;
- Alyvos suspensija (katalizuoto krekingo nuosėdos).

2. Jauninančios priemonės:

- Mašininio tepalo ekstraktas;
- Išplėstinės alyvos.

Atjaunintojas turėtų atstatyti panaudoto rišiklio savybes iki tinkamos konsistencijos statybai ir kelio dangos charakteristikai, bei tuo pačiu metu gerinti chemines savybes atsižvelgiant į patvarumą. Atnaujintojas taip pat turi suteikti pakankamai papildomos rišamosios medžiagos pagerinant, bet kurį naują užpildą, pridėtą į panaudotą mišinį, ir atitikti mišinio konstrukcijos reikalavimus. Be to, atjaunintojas turėtų lengvai išsiskirstyti sename rišiklyje tolygiai nuo maišymo

iki maišymo ir būti patogus naudojimui (Karlsson, Isacsson 2006; Noureldin, Wood 1987). 2.1 pav. parodytas rišiklio atnaujinimo procesas.



2.1 pav. Rišiklio vidinio ir išorinio sluoksnio maišymosi proceso grafikas

Vienas iš būdų pagerinti bitumo savybes yra gumos granulių panaudojimas. RKMA mišinio gamyba yra ekonomiškesnė ir mažiau kenksminga gamtai. Panaudodami gumos grūdėlius galime sumažinti prievazų atsiradimą ir taip prailginti asfaltbetonio eksploatavimo trukmę (Xiao *et al.* 2007). Gumos grūdėliai ištirpsta bitume, maišomame apie 30 min. 177 °C temperatūroje. Didinant NAG kiekį mišinyje, kuriame panaudotas bitumo ir gumos mišinys, didėja standumas ir mažėja mišinio tamprumo modulis. Taip pat naudojant bitumo ir gumos mišinį sumažėja oro tarpai tarp mineralinių medžiagų ir NAG. Nustatyta, kad geriausias savybes turintį RKMA mišinį, kuriame panaudotas bitumo ir gumos mišinys, sudaro 25% NAG (Xiao *et al.* 2009).

Carpenter, Wolosick (1980) pavaizdavo atjaunintojo ir seno bitumo maišymą. Difuzijos procesą sudaro:

1. Atjaunintojas suformuoja mažos klampos sluoksnį apie NAG;
2. Atjaunintojas pradeda skverbtis į seną bitumą, tokių būdu senas bitumas po truputį yra praskiedžiamas;
3. Visas atjaunintojas prasiskverbia į seną bitumą ir sumažina jo klampumą. Tokiu būdu padidėja atjaunintojo plotas;
4. Atjaunintojas ir senas bitumas galutinai susimaišo.

2.3. Užsienio šalių patirties užtikrinant bitumo reikiamas savybes analizė

Labai svarbi problema, kurią reikia pabaigti spręsti Europos Sąjungoje – tai bitumų standartizavimas. Nežiūrint į tai, kad bitumai Europos Sąjungoje jau standartizuoti ir Europos Sąjungos šalims nustatyti suvienodinti bitumų kokybės rodikliai, reikalavimai šių rodiklių vertėms atskirose šalyse tikslinami iki šiol, atsižvelgiant į bitumų funkcionavimą konkrečiose kelio dangos konstrukcijų asfaltinių sluoksnių sąlygose. Ši problema iki šiol visiškai neišspręsta ir Lietuvoje. Siekiant pritaikyti bitumus konkrečioms vietos sąlygoms, tikslinga juos modifikuoti. Plačiausiai paplitęs ir labiausiai pasitvirtinęs bitumų modifikavimo būdas – jų modifikavimas polimerais. Šia kryptimi atlikta daug tyrimų Europos Sąjungos ir kitose šalyse, todėl jau pasiekta konkrečių rezultatų – 2005 metais Europos Komitetas patvirtino europinį standartą EN 14023 „Bitumai ir bituminiai rišikliai. Norminiai reikalavimai bitumams, modifikuotiems polimerams“. Šis standartas – tai Europinių standartų grupės apie bituminius rišiklius sudėtinė dalis. Į šią grupę įeina: kelių bitumai, kietieji kelių bitumai, polimerais modifikuoti bitumai (PMB), skystieji ir suskystintieji bitumai, katijoninės bituminės emulsijos, taip pat – industrinės paskirties (oksiduotieji ir labai kieti) bitumai.

Rusijoje (Gochman 2008(2)) pasiūlytas būdas, kaip nustatyti polimero ir plastifikatoriaus būtinąją mažiausią procentinę dalį polimeriniame bituminiame rišiklyje. Ukrainoje (Zolotariov, Lapčenko 2009) atlikti bitumų su dideliu kiekiu polimero įtakos asfaltbetonio reologinėms savybėms tyrimai. Nustatyta, kad didėjant polimero procentinei daliai bitume, sumažėja rišiklio ir asfaltbetonio stiklėjimo temperatūra, o tampros modulių ir temperatūros sieties priklausomybės šioms medžiagoms išlieka identiškos analogiškomis priklausomybėms, esančioms polimerais nemodifikuotiems bitumams ir asfaltbetoniams.

Bitumų struktūra – vienas svarbiausių veiksnių, nuo kurių priklauso bitumų reologinės savybės, todėl jų struktūros tyrimai labai svarbūs vertinant jų eksploatacines savybes automobilių kelių asfaltbetonio dangoje.

Daugelyje mokslo darbų bitumų struktūrą siūloma charakterizuoti jų dispersiškumo rodikliu D_r (Руденская, Руденский, 2010):

$$D_r = \frac{S + C}{A + P}, \quad (2.7)$$

Čia: S – smalų kiekis, % bitume;

C – ciklinių angliavandenilių kiekis, %;

A – asfaltenų kiekis, %;

P – prisotintųjų angliavandenilių kiekis, % bitume.

Kai asfaltenu ir prisotintųjų angliavandenilių kiekis bitume būna labai didelis, jo dispersiškumo rodiklis D_r būna mažas ($D_r = 0,49 - 0,55$), kai bitume būna labai daug smulų ir ciklinių angliavandenilių, jo dispersiškumo rodiklis D_r būna didelis – tada būna silpna bitumo vidaus struktūra.

Bitumų fizinės savybės – tai tankis, tūrio šiluminis didėjimas (plėtimasis), šiluminis laidumas, laidumas temperatūrai (temperatūrinis laidumas), išreiškiamas laidumo temperatūrai koeficientu α ; optinės savybės, elektrinės savybės, lyginamasis elektrinis laidumas, dielektrinė skvarba, magnetinės bitumų savybės, paviršiaus savybės, atsparumas vandens poveikiui (charakterizuojamas bitumo sankiba (gera ar bloga) su mineralinių medžiagų grūdeliais). Esant poreikiui, bitumų fizines savybes (ypač – jų sankibą su mineralinių medžiagų grūdeliais) galima pagerinti naudojant paviršiaus aktyviasias medžiagas (PAM): bitumo aktyvumą didina jo sudėtyje esančios asfaltogeninės rūgštys ir jų anhidridai: aktyviaisiais klasifikuojami bitumai, kurių rūgštingumo rodiklis didesnis kaip 0,7 mg KOH. Tokie bitumai pasižymi gera sankiba su sausų mineralinių medžiagų (klinčių, dolomito, bazalto, diabazo) grūdelių paviršiumi ir pasižymi bloga sankiba su rūgščių ir ultrarūgščių padermių (kvarcito, granito, sienito) mineralinių medžiagų grūdelių paviršiumi. Neaktyvieji bitumai, kurių rūgštingumo rodiklis mažesnis kaip 0,7 mg KOH, blogai sukimba su daugumos mineralinių medžiagų grūdelių paviršiumi, o susidariusi ant mineralinių medžiagų grūdelių paviršiaus bitumo plėvelė lengvai atsiskiria nuo mineralinių medžiagų paviršiaus, paveikus vandeniui.

Visos bitumų reologinės savybės, parodančios jų deformatyvumą, priklauso tiek nuo bitumų komponentų, įeinančių į bitumų sudėtį, cheminės sudėties, tiek ir nuo jų kokybės. Žaliavų cheminė sudėtis (naftos kilmė ir savybės) turi ženklios įtakos bitumų struktūrai ir jų reologinėms savybėms. Bitumų gamybos būdas taip pat ženkliai lemia jų kokybės rodiklius. Likutiniams bitumams būdingas didesnis stabilumas, bet mažesnė plastiškumo intervalo vertė, lyginant su bitumais, pagamintais sunkiųjų naftos frakcijų oksidavimo oro deguonimi būdu (Руденская, Руденский, 2010).

Ukrainoje atlikti tyrimai (Zolotariov 2010) parodė, kad bitumo markė (penetracija ir kitos savybės), bitumo kiekis asfaltbetonyje (%) ir bitumo struktūros tipas (gelis, zolis–gelis ir zolis) daro ženklią įtaką asfaltbetonio dangoje atsirandantiems įtempiams σ ir deformacijoms ε . Nustatytos rodiklių σ ir ε kritinės vertės σ_{kr} ε_{kr} pateiktos 2.1. lentelėje. 2.2 lentelėje parodytos rodiklių σ ir ε kritinės vertės σ_{kr} ε_{kr} priklausomai nuo bitumo struktūrinio tipo.

2.1 lentelė. Asfaltbetonio (su skirtingos konsistencijos bitumu) įtempių σ_{kr} ir deformacijų ε_{kr} kritinės vertės

Kokybės rodiklis	Matavimo vienetas	Bitumo, skirto keliams, markė			
		40/60	60/90	90/130	130/200
ε_{kr}	1×10^{-4}	3,5	2,5	2,0	1,8
σ_{kr}	MPa	0,42	0,22	0,106	0,094

2.2 lentelė. Asfaltbetonio (su skirtingo struktūrinio tipo bitumu) kokybės rodiklių ε_{kr} , σ_{kr} vertės

Kokybės rodiklis	Matavimo vienetas	Bitumų struktūros tipai		
		gelis	Zolis–gelis	zolis
ε_{kr}	1×10^{-4}	1,2	4,0	4,8
σ_{kr}	MPa	0,11	0,52	0,67

Rodiklių σ_{kr} ir ε_{kr} vertės ženkliai priklauso nuo asfaltbetonio sudėties, o labiausiai – nuo bitumo savybių.

Artimi pagal pobūdį asfaltbetonio kokybės rodiklių tyrimai atlikti Baltarusijoje (Яромко, Жайлович 2009). Šie tyrimai taip pat parodė, kad asfaltbetonio reologinės charakteristikos labai priklauso nuo jo tipo, t.y. nuo asfaltbetonio sudėties ir struktūros, taip pat – nuo bitumo kokybės.

Rusijoje atlikti tyrimai (Gorelyševa, Štromberg 2009) įtikinamai parodo, kad būtina sunorminti asfaltbetonio atsparumo nuovargiui rodiklį, charakterizuojantį asfaltbetonio funkcionavimo automobilių kelių dangoje trukmę pagal nuovargį (ciklais). Asfaltbetonio nuovargio rodiklio vertės priklauso nuo projekcinės apkrovos grupės ir nuo asfaltbetonio sudėties ir struktūros bei nuo dangos įlinkio amplitudės. Rezultatai pavaizduoti 2.3. ir 2.4 lentelėse.

2.3. lentelė. Karštojo asfaltbetonio funkcionavimo kelių dangoje rodiklio (pagal nuovargį) leistinosios vertės

Asfaltbetonio tipas	Dangos įlinkio amplitudės projektinė vertė, mm (ne mažiau)			
	0,30	0,35	0,40	0,45
	Asfaltbetonio funkcionavimo (pagal nuovargį) trukmė (ciklais), esant +20 °C temperatūrai			
A	26 000	21 000	12 500	9500
B	22 000	15 000	10 500	7500
V	36 000	16 000	10 000	8500

Pastaba: asfaltbetonio tipas apsprendžia skaldos (stambesnių kai 5 mm grūdelių SK) juose kiekis: tipas A, kai SK = 50–60 %; tipas B, kai SK = 40–50 %; tipas V, kai SK = 30–40 % (masės %).

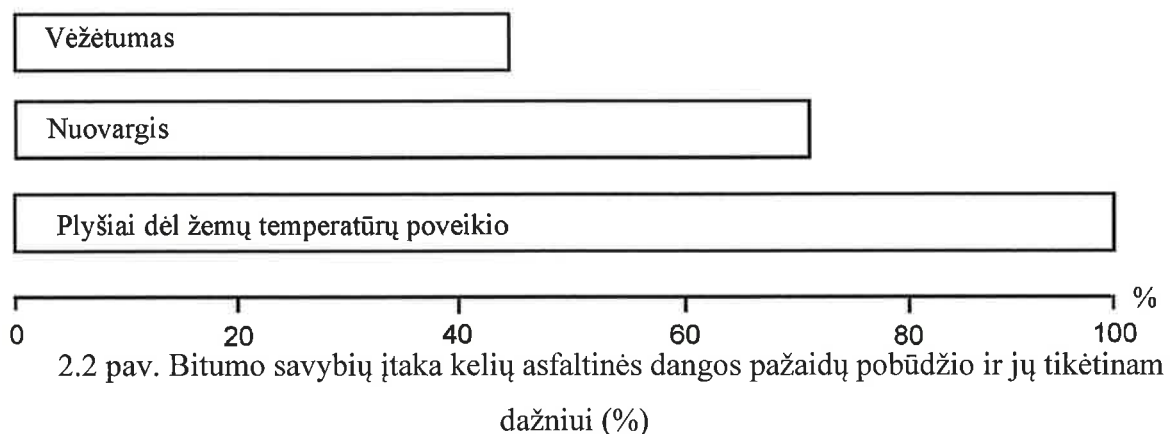
2.4. lentelė. Lietujo ir skaldos bei mastikos (SMA) asfaltbetonio funkcionavimo kelių dangoje rodiklio (pagal nuovargį) leistinosios vertės

Asfaltbetonio tipas	Dangos įlinkio amplitudės projektinė vertė, mm (ne mažiau)			
	0,30	0,35	0,40	0,45
	Asfaltbetonio funkcionavimo (pagal nuovargį) trukmė (ciklais), esant +20 °C temperatūrai			
Lietasis, I ir II tipai	35 000	25 000	13 000	12 000
SMA	42 000	23 000	11 000	10 000

Lenkijoje atlikti tyrimai (Gawel, *et al.* 2001) parodė, kad asfaltinė danga, priklausomai nuo bitumo savybių, dažniausiai būna pažeista šiais defektais:

- plastinio pobūdžio pažaidomis,
- nuovargio pažaidomis (plyšiais),
- plyšiais dėl žemų temperatūrų poveikio.

Šių pažaidų pobūdis, priklausomai nuo bitumo savybių, ir pažaidų tikėtinas dažnis (%) parodyti 2.2. pav.



Lenkijoje bitumai ir asfaltiniai mišiniai dažniausiai tiriama ir jų kokybės rodikliai nustatomi atsižvelgiant į JAV, Prancūzijoje ir Vokietijoje atliekamus bitumų ir asfaltinių mišinių tyrimus. Šie tyrimai gali būti įdomūs Lietuvos kelininkams (kelių asfaltinės dangos ir bitumų tyrėjams), nes

Pietų Lietuvos klimato ir gamtinės sąlygos artimos Šiaurės Rytų Lenkijos klimato ir gamtinėms sąlygoms.

2.4. Bitumo, naudojamo kelių dangai įrengti, kokybės rodiklių ir jų reikiamų verčių pagrindimas

Kokybė – tai pagal standartą pagamintas produktas, kurio savybės turi tenkinti kliento reikalavimus.

Lietuvai tampant tarptautinių vežimų ir kelionių bei turizmo šalimi, reikia laiduoti saugų patikimą automobilių eismą, geras važiavimo sąlygas ypatingai valstybinės reikšmės automobilių keliais. Todėl būtina užtikrinti tinkamus asfaltbetonio mišinio rodiklius bei mišinio komponentų ir rišiklio kokybę.

Bitumas – brangiausia mišinio medžiaga, todėl svarbu ne tik garantuoti aukštus asfaltbetonio mišinių rodiklius, bet ir panaudoti minimalų rišiklio kiekį.

Bitumai parenkami atsižvelgiant ne tik į eismo sąlygas, bet ir į vyraujanti klimatą. Keliams tiesti ir taisyti naudojami bitumai privalo turėti visą kompleksą struktūrinių ir mechaninių, taip pat reikiamų sukibimo savybių, platų temperatūrų intervalą, turi būti termiškai stabilūs esant aukštoms temperatūroms, būti atsparūs senėjimui veikiant įvairiems klimato veiksniams bei automobilių transporto priemonių eismui (Першин, Баринов, Кореневский, 1989).

Yra reglamentuojami tokie bituminių rišiklių kokybės rodikliai:

- Kelių bitumams: penetracija, minkštėjimo temperatūra, pliūpsnio temperatūra, tirpumas, kinematinė klampa, dinaminė klampa, trapumo temperatūra pagal Frasą, tankis.
- Modifikuotiems bitumams dar papildomai gali būti nustatomi šie rodikliai: sankiba, tamprioji santykinė deformacija, patvarumas sandėliuojant, atsparumas kietėjimui.

Penetracija – konsistencija išreikšta kaip standartinis adatos vertikalus įsmigimas į medžiagos bandinį milimetrais, kai yra nustatyta bandymo temperatūra, apkrova ir apkrovos trukmė. Penetracijos matavimo vienetai yra mm^{-1} .

Minkštėjimo temperatūra – temperatūra, kurioje bandinys pasiekia specifinę konsistenciją.

Kinematinė klampa – santykis tarp skysčio dinaminės klamos ir skysčio tankio klamos matavimo temperatūroje. Kinematinė klampa matuojama mm^2/s .

Dinaminė klampa – santykis tarp taikomo šlyties įtempimo ir greičio gradiento. Dinaminė klampa matuojama $\text{Pa}\cdot\text{s}$.

Trapumo temperatūra pagal Frasą – temperatūra, išreikšta laipsniais pagal Celsijų, kurioje bituma užlietas plonu lygiu sluoksniu ant specialios metalinės plokštelės, ją nustatytomis sąlygomis

laikant, lūžta. (Vaitkus, Čygas, Laurinavičius, Tumavičė, 2011). 2.5 lentelėje pateikiamos reglamentuotos normos šiems kokybės rodikliams (TRA BITUMAS 08).

2.5 lentelė. Reglamentuotos bitumo kokybės rodiklių normos pagal TRA BITUMAS 08.

Savybė	Bandymo metodas	Bitumo rūšys					
		20/30	35/50	50/70	70/100	100/150	160/220
Penetracija	LST EN 1426	20-30	35-50	50-70	70-100	100-150	160-220
Minkštėjimo temperatūra pagal žiedo ir rutulio metodą	LST EN 1427	55-63	50-58	46-54	43-51	39-47	35-43
Kinematinė klampa	LST EN 12595	≥ 530	≥ 370	≥ 295	≥ 230	≥ 175	≥ 135
Dinaminė klampa	LST EN 12596	≥ 440	≥ 225	≥ 145	≥ 90	≥ 55	≥ 30
Trapumo temperatūra pagal Frasą	LST EN 12593	-	≤ -5	≤ -8	≤ -10	≤ -12	≤ -15

Bitumas ir bituminės emulsijos vartojamos kelių dangos įrengimui, remontui ir atnaujinimui turi atitikti reikalavimus, pateiktus techninių reikalavimų aprašuose TRA BITUMAS ir TRA BE 08.

2.5. Skyriaus išvados

1. Bitumas yra sudarytas iš šių komponentų: anglies (70 – 80 %), vandenilio (10 – 15 %), sieros (2 – 9 %), deguonies (1 – 5 %) ir kitų elementų;
2. Bitumai skirstomi į kietuosius, klampiuosius ir skystuosius bitumus;
3. Gaminamų bitumų kokybė labai priklauso nuo žaliavų, iš kurių gaminami bitumai, kokybės ir naudojamų bitumo gamybos technologijų;
4. Kuo lėčiau bitumas senėja, tuo bitumas ir asfaltbetonis (esant kitoms sąlygoms vienodoms) ilgiau funkcionuoja kelio dangoje.
5. Bitumų tūsumas, taip pat klampumas (penetracija) priklauso nuo jų temperatūros, grupinės sudėties ir struktūros;
6. Bitumo markė, bitumo kiekis asfaltbetonyje ir bitumo struktūros tipas daro ženkliai įtaką dangos asfaltbetonyje atsiradusiems įtempiams σ ir deformacijoms ε .

3. BITUMO, NAUDOJAMO MAGISTRALINIŲ KELIŲ DANGOS ĮRENGIMUI, KOKYBĖS RODIKLIŲ IR JŲ ĮTAKOS DANGOS EKSPLOATACINIAMS RODIKLIAMS TYRIMAI

3.1. Metodika tyrimams atlikti ir duomenims apdoroti

Įmonės “A” laboratorijoje 2012 metais buvo atlikti automobilių kelių bitumų (PMB45/80-55E, B50/70 ir B70/100,) o taip asfaltbetonio mišinių su šiais bitumais tyrimai.

Siekiant nustatyti kokybės rodiklius, buvo atliekami šie automobilių kelių bitumo bandymai:

Bitumams B 50/70 ir B 70/100:

1. Bitumo minkštėjimo temperatūra pagal žiedo ir rutulio metodą, LST EN 1427:2007;
2. Bitumo penetracijos rodiklis (adatos būdu), LST EN 1426:2007;
3. Bitumo trapumo temperatūra, pagal Frasą, LST EN 12593:2007;
4. Tankis, LST EN 15326:2007;
5. Kinematinė klampa, LST EN 12595:2007;
6. Dinaminė klampa, LST EN 12596:2007.

Polimerais modifikuotam bitumui PMB 45/80-55 E:

1. Bitumo minkštėjimo temperatūra pagal žiedo ir rutulio metodą, LST EN 1427:2007;
2. Bitumo penetracijos rodiklis (adatos būdu), LST EN 1426:2007;
3. Bitumo trapumo temperatūra, pagal Frasą, LST EN 12593:2007;
4. Tankis, LST EN 15326:2007;
5. Tamprioji santykinė deformacija, LST EN 13998:2004;
6. Sankiba tamprumo jėgos metodu, LST EN 13589:2008.

Minkštėjimo temperatūra – temperatūra, kurioje bandinys standartizuotomis bandymo sąlygomis pasiekia specifinę konsistenciją. Minkštėjimo temperatūra nustatoma taip – du horizontalūs bituminio rišiklio diskai, esantys nustatytų matmenų žalvariniuose žieduose, buvo kaitinami skysčio vonioje, kol išlaikė plieninį rutulį. Minkštėjimo temperatūra laikomos tokios temperatūros, kuriose du diskai suminkštėja tiek, kad kiekvienas plieninis rutulys, esantis bituminiame rišiklyje, nukrenta ($25,0 \pm 0,4$) mm atstumą.

Minkštėjimo temperatūrai nustatyti naudojama įranga: žiedo rutulio prietaisas, žalvariniai žiedai, metalinė plokštelė, nerūdijančiojo plieno rutuliukai, 2 žalvariniai rutulių centravimo kreipikliai, žalvarinis laikiklis ir įtaisas, vonia, stiklainis karščiui atsparus indas, kalibruoti termometrai, maišiklis (LST EN 1427:2007). 3.1 – 3.5 paveiksluose parodyti prietaisai skirti badymams su bitumais atlikti.



3.1 pav. Žiedo rutulio prietaisas



3.2 pav. Žalvarinis laikiklis ir įtaisas

Penetracija – konsistencija išreikšta kaip standartinis adatos vertikalus įsmigimas į medžiagos bandinį milimetrais, kai yra nustatyta bandymo temperatūra, apkrova ir apkrovos trukmė.

Bitumo penetracijos nustatymas. Buvo matuojama standartinės adatos penetracija į kondicionuojamąjį bandinį. Bandymo sąlygos: bandymo temperatūra 25°C, taikoma apkrova – 100 g ir apkrovos trukmė – 5s. Naudojama įprastinė laboratorinė įranga ir stikliniai indai, penetrometras, penetracijos adata (LST EN 1426:2007).



3.3 pav. Penetrometras



3.4 pav. Bandinio indelis pripildytas bitumo

Trapumo temperatūra pagal Frasą - temperatūra, išreikšta laipsniais pagal Celsijų, kurioje bitumas, užlietas plonu lygiu sluoksniu ant specialios metalinės plokštelės, ją nustatytomis sąlygomis laikant, lūžta. Trapumo temperatūros pagal Frasą nustatymas. Bitumo bandinys lygiu sluoksniu užliejamas ant metalinės plokštelės. Ši plokštelė periodiškai lankstoma ir šaldoma pastoviu greičiu. Temperatūra, kuriai esant, bitumo paviršiuje atsiranda pirmasis plyšys, užfiksuojama kaip trapumo temperatūra pagal Frasą. Naudojami įprasti laboratoriniai prietaisai ir stiklo indai, plokštelės, plokštelių paruošimo įrenginys, magnetinė atrama (LST EN 12593:2007).



3.5 pav. Fraso prietaisas

Tankis - medžiagos masė, dalinta iš tūrio. Tankio nustatymo principas - palyginamos vienodo tūrio bandinio ir vandens masė. Vienodi tūriai garantuojami piknometrą užpildžius taip, kad išsiliėtų, kai bandinys įstatomas į vonelę bandymo temperatūroje, kol pasiekama pusiausvyra. Bandymams atlikti naudojama įranga: užkimšto kapiliaro piknometras, pastovios temperatūros vandens vonia, vonios termometras, svarstyklės (LST EN 15326:2007).

Dinaminė klampa - santykis tarp taikomo šlyties įtempimo ir greičio gradiento. Nustatomas laikas, per kurį kapiliariniu vamzdeliu vakuumo pagalba pritraukiamas nustatytas skysčio tūris, griežtai kontroliuojamomis vakuumo ir temperatūros sąlygomis. Klampa yra apskaičiuojama, padauginus tekėjimo laiką sekundėmis iš klamos kalibravimo koeficiento (LST EN 12596:2007).

Kinematinė klampa – santykis tarp skysčio dinaminės klamos ir skysčio tankio klamos matavimo temperatūroje, skysčio pasipriešinimas tekėjimui, veikiant sunkio jėgai. Nustatomas laikas, per kurį nustatytas skysčio kiekis prateka pro kalibruoto stiklinio kapiliarinio klampomačio kapiliarą, esant tiksliai atgamintai galvutei ir griežtai kontroliuojant temperatūrą. Kinematinė klampa apskaičiuojama dauginant ištekėjimo laiką, išreikštą sekundėmis, iš klampomačio kalibracijos koeficiento. Nustatant dinaminę ar kinematinę klampas, naudojama įranga: klampomačiai, termometrai, vonia, sekundmatis, elektriniai laiko matavimo prietaisai (LST EN 12595:2007).

Taip pat laboratorijoje buvo atlikti tokie asfaltbetonio mišinių (SMA 11S, AC11VS ir AC 11VN) bandymai:

1. Pastovumas ir takumas pagal Maršalą (prie 60 °C), LST EN 12697-34+A1:2007;
2. Tuštymėtumo rodiklis, LST EN 12697-6+A1:2007;
3. Bitumo kiekis, LST EN 12697-1:2006;
4. Asfaltbetonio didžiausias tankis, LST EN 12697-5+A1:2007.

Bandymai buvo atliekami paėmus asfaltinių mišinių ėminius iš gamyklos.

Tirpiojo rišiklio kiekis – ekstrahavimo būdu išgaunamo rišiklio procentinis kiekis pagal masę bevandeniam ėminyje, nustatytas ekstrahuojant rišiklį iš ėminio. Bitumo kiekio nustatymo metodas, susideda iš: (LST EN 12697-1:2006)

- Rišklio ekstrahavimo, naudojant tirpiklį – trichloretileną;
- Mineralinės medžiagos atskyrimo iš rišklio tirpalo;
- Rišklio kiekio nustatymo regeneruojant;
- Rišklio kiekio apskaičiavimo.

Pastovumas – suformuoto asfalto bandinio didžiausias atsparumas deformacijai, išreikštas kiloniutonais (kN). Takumas – suformuoto asfalto bandinio deformacija milimetrais (mm), kai yra didžiausioji apkrova, minus nominalioji deformacija, gauta ekstropoliuojant apkrovos priklausomybės nuo deformacijų kreivės liestinę iki minus apkrovos. Maršalo koeficientas – pastovumo ir plastiškumo santykis (LST EN 12697-34+A1).

Oro tuštymų kiekis – oro tuštymų bituminiame bandinyje tūris, išreikštas bandinio visuminio tūrio procentais. Mineralinės medžiagos tuštymėtumas – sutankinto bituminio mišinio tarp grūdelių tuštymų, esančių tarp mineralinės medžiagos dalelių, tūris, išreikštas bandinio visuminio tūrio procentais. Bituminio bandinio oro tuštymų kiekis apskaičiuotas pagal mišinio didžiausią tankį ir bandinio tariamąjį tankį. Norint nustatyti bituminio bandinio mineralinės medžiagos tuštymų procentinę dalį, buvo apskaičiuotas rišklio kiekis ir tankis, bandinio tariamasis tankis, mineralinės medžiagos tuštymėtumas (LST 12697-8:2006).

Didžiausias tankis – bituminės medžiagos be oro tuštymų tūrio vieneto masė, esant tam tikrai bandymo temperatūrai (LST EN 12697-5+A1:2007). Didžiausias tankis, kartu su tariamu tankiu, naudojamas apskaičiuoti oro tuštymų tūrį. Bituminio mišinio didžiausią tankį lemia bandinio tūris be tuštumų, sausa masė. Bandinio tūris piknometre išmatuojamas po sąlyčio su vandeniu ar tirpikliu. Didžiausias bituminio mišinio tankis skaičiuojamas nuo jo sudėties ir tankio tolygaus mišinio pasiskirstymo. Nustatant didžiausią tankį naudojama įranga: įrankiai, skirti išvalyti bandinius, svarstyklės, vėdinamas kabinetas, įrankiai, skirti atskirti bandinį, termometras, vandens vonia, vibruojamasis stalas, piknometras, vakuuminė sistema.

Pastovumas, takumas, tuštymėtumo rodiklis, asfalto tankis – asfaltbetonio fiziniai ir mechaniniai rodikliai, iš kurių pastovumas ir plastiškumas nustatomi naudojant Maršalo presą su jėgos ir poslinkio užrašymo įrenginiu. Asfaltbetonio tankis nustatomas Maršalo plūktuvu, prieš tai mišinį pašildžius iki reikalaujamos temperatūros.

Pasinaudojus mobiliąja kelių dangos būklės rodiklių matavimo įranga RST-28 buvo išmatuoti kelio dangos eksploataciniai rodikliai: kelio dangos lygumas IRI ir vėžės gylis V_z automagistralėje A1 Vilnius-Kaunas-Klaipėda (36,88 – 39,28 km), kur buvo paklotas tiriamas skaldos ir mastikos asfaltinis mišinys SMA 11 S su polimerais modifikuotu bitumu PMB 45/80-55E.

Kelio dangos išilginis lygumas IRI matuojamas panaudojus du akcelerometrus (skiriamoji geba - 5 μ g), skirtus automobilio svyravimams nufiltruoti, matavimų tikslumas - $\pm 0,2$ %. Provėžų

gyliai matuojami kas 10 cm. Apskaičiuoti ir pateikti kiekvieno 20 m ilgio kelio ruožo vidutinis kairiosios ir dešinėsios vėžės gyliai yra tikslūs ir patikimi, kad būtų galima atlikti kelio dangos būklės analizę.

Statistiniams skaičiavimams atlikti yra sukurti specialūs programiniai paketai – STATGRAPHICS, SPSS, STATISTICA ir kt. Jais plačiai naudojamosi statistinio modeliavimo uždaviniuose, galima atlikti aprašomąją statistiką, regresinę analizę, rezultatus pavaizduoti grafiškai.

Bitumų bei asfaltbetonio mišinių tyrimų metu gautų rezultatų statistiniai skaičiavimai atlikti naudojant statistinį paketą „STATISTICA“.

Šios programos privalumas - aukštas skaičiavimo tikslumas. 3 skyriuje atliktos tiesinės regresinės analizės, su 99 % tikimybe, kurios parodo vieno kintamojo skaitinės reikšmės priklausomybę nuo kito kintamojo. Anomalios reikšmės atmestos dėl nuokrypių nuo projektinės vertės.

Vienmatės regresijos modelis - statistinis modelis, leidžiantis vieno kintamojo reikšmės prognozuoti pagal kito kintamojo reikšmės. Statistiniai metodai, skirti regresijos modeliui sudaryti, patikrinti, ar jis tinkamas, ir taikyti prognozėms turi bendrą pavadinimą – regresinė analizė.

Dviejų kintamųjų tiesinei priklausomybei įvertinti naudojamas koreliacijos koeficientas, kuris parodo, ar matuojamų kintamųjų tiesinė priklausomybė stipri.

Galima patikrinti, ar koreliacija statistiškai reikšminga. Jei koreliacija lygi 0, vadinasi šie dydžiai yra nepriklausomi. Jei koreliacija lygi 1 arba -1, vadinasi šie dydžiai yra tiesiškai priklausomi. Dažnai tokios informacijos per mažai ištirti ryšius tarp dviejų kintamųjų, todėl atliekamos regresinės analizės. Svarbiausias tiesinės regresinės analizės privalumas yra tai, kad parenkama kintamuosius siejanti funkcija (Sakalauskas 2003).

Apytikslė kintamojo y priklausomybė nuo x aprašoma lygtimi:

$$y = bx + c \quad (3.1)$$

Naudojantis laboratorijoje atliktų tyrimų duomenimis buvo analizuojamos bitumo savybės, bitumo kiekis, asfaltbetonio mišinio fiziniai, mechaniniai rodikliai. Naudojant statistinį paketą „STATISTICA“ buvo apskaičiuotos porinės priklausomybės tarp rodiklių, atliktos daugybinės regresinės analizės, nustatyti pagrindiniai duomenų imties statistiniai rodikliai: imtis, aritmetinis vidurkis, standartinis nuokrypis, standartinė paklaida, minimali reikšmė, maksimali reikšmė.

3.2. Atliktų tyrimų svarbiausieji rezultatai

Tyrimų laboratorijoje buvo atlikti automobilių kelių bitumų (PMB45/80-55E, B50/70 ir B70/100) bei asfaltbetonio mišinių (SMA 11S, AC11VS ir AC 11VN) tyrimai. 3.1 – 3.3 lentelėse

pateikti kelių bitumų tyrimų rezultatai, 3.4 lentelėje pateikti asfaltbetonio mišinių tyrimų rezultatai. 3.5 lentelėje pateikti kelio dangos eksploatacinių rodiklių matavimo rezultatai.

3.1 lentelė. Bitumo B50/70 bandymų rezultatų suvestinė

Eil.Nr.	Penetracija, mm^{-1}	Minkštėjimo temperatūra, $^{\circ}\text{C}$	Trapumo temperatūra, $^{\circ}\text{C}$	Tankis, g/cm^3	Kinematinė klampa, mm^2/s	Dinaminė klampa, $\text{Pa}\cdot\text{s}$
	LST EN 1426:2007	LST EN 1427:2007	LST EN 12593:2007	LST EN 15326:2007	LST EN 12595:2007	LST EN 12596:2007
1	59,83	49,60	-15,0	1,012	477,52	315,00
2	58,13	49,60	-16,0	1,014	483,19	200,00
3	58,80	49,80	-15,5	1,015	477,77	262,35
4	64,53	49,20	-17,5	1,014	477,17	259,60
5	60,56	49,20	-18,0	1,015	471,85	207,08
6	68,43	48,75	-16,5	1,015	412,16	201,02
7	60,80	49,55	-15,0	1,015	468,39	261,22
8	61,56	49,25	-16,5	1,012	461,05	261,35
9	64,83	48,95	-12,0	1,017	425,23	318,00
10	60,86	48,60	-16,0	1,016	478,09	370,00
11	67,00	49,05	-17,0	1,012	478,96	299,02
12	69,03	48,45	-14,5	1,016	453,65	301,32
13	66,46	48,85	-15,0	1,015	456,66	277,00
14	63,16	49,05	-15,5	1,016	474,93	297,43
15	58,63	49,20	-14,5	1,018	463,85	197,39

3.2 lentelė. Bitumo B70/100 bandymų rezultatų suvestinė

Eil.Nr.	Penetracija, mm^{-1}	Minkštėjimo temperatūra, $^{\circ}\text{C}$	Trapumo temperatūra, $^{\circ}\text{C}$	Tankis, g/cm^3	Kinematinė klampa, mm^2/s	Dinaminė klampa, $\text{Pa}\cdot\text{s}$
	LST EN 1426:2007	LST EN 1427:2007	LST EN 12593:2007	LST EN 15326:2007	LST EN 12595:2007	LST EN 12596:2007
1	79,33	46,20	-15,5	1,016	355,99	163,36
2	77,46	47,05	-12,5	1,015	375,84	213,71
3	77,03	45,20	-15,0	1,013	381,48	172,64
4	80,00	43,95	-15,0	1,012	392,28	193,91
5	84,66	42,55	-19,0	1,012	365,94	150,71
6	76,60	44,45	-16,5	1,012	400,11	182,53
7	80,00	44,70	-18,0	1,014	390,92	185,27
8	76,33	46,75	-16,0	1,014	383,27	179,46
9	78,23	46,70	-16,0	1,014	378,43	174,09
10	75,83	46,90	-15,0	1,012	366,56	163,07
11	78,90	46,05	-16,5	1,016	382,16	166,23
12	73,53	46,60	-15,0	1,014	395,82	182,04
13	81,23	47,20	-13,5	1,007	374,32	170,04
14	76,66	47,10	-18,5	1,014	392,16	182,02
15	92,30	44,50	-17,0	1,009	326,21	122,64

3.3 lentelė. Bitumo PMB 45/80-55 E bandymų rezultatų suvestinė

Eil.Nr.	Penetracija, mm ⁻¹	Minkštėjimo temperatūra, ° C	Trapumo temperatūra, ° C	Tankis, g/cm ³	Tamprioji santykinė deformacija, %	Sankiba tampriojo jėgos metodu, J/cm ²
	LST EN 1426:2007	LST EN 1427:2007	LST EN 12593:2007	LST EN 15326:2007	LST EN 13998:2004	LST EN 13589:2008
1	61,56	57,40	-14,5	1,0091	89,50	3,87
2	59,60	62,40	-17,5	1,0075	92,25	4,77
3	62,10	61,70	-19,5	1,0129	89,00	8,05
4	50,20	62,20	-14,0	1,0168	89,50	6,62
5	50,93	60,90	-16,0	1,0149	91,75	6,32
6	52,86	59,45	-17,5	1,0145	90,00	6,82
7	53,20	55,70	-18,0	1,0143	86,75	4,39
8	67,66	58,60	-18,5	1,0136	87,50	3,65
9	52,63	57,70	-18,0	1,0155	76,25	4,18
10	54,10	54,85	-17,5	1,0103	84,50	3,16
11	58,40	57,75	-17,5	1,0142	79,00	4,49
12	55,10	56,65	-14,5	1,0151	80,50	4,85
13	51,66	59,85	-15,5	1,0164	74,00	3,11
14	56,50	59,65	-19,0	1,0168	84,25	4,65
15	57,53	62,70	-15,5	1,0118	94,75	3,26

3.4 lentelė. Asfaltinių mišinių bandymų rezultatų suvestinė

Eil.Nr.	Pastovumas, kN	Takumas, mm	Maršalo koef., kN/mm	Asfaltbetonio tuštymėtumo rodiklis, %	Bitumo kiekis, %	Asfaltbetonio didžiausias tankis, g/cm ³
	SMA 11 S (su PMB45/80-55E)					
1	8,7	3,3	2,6	1,9	6,68	2,363
2	12,2	3,3	3,7	2,4	6,37	2,321
3	10,7	3,4	3,1	2,6	5,91	2,310
4	10,5	3,5	3,0	2,5	5,93	2,337
5	9,8	2,9	3,4	2,9	6,76	2,299
6	7,8	2,2	3,5	3,1	5,98	2,329
7	9,8	3,9	2,5	2,3	6,59	2,379
8	9,2	3,1	3,0	2,4	6,76	2,341
9	8,7	3,1	2,8	2,0	6,83	2,315
10	9,3	3,8	2,4	2,7	6,70	2,367
11	8,0	3,1	2,6	2,4	6,56	3,350
12	7,7	2,3	3,3	2,4	6,60	2,331
13	7,8	3,5	2,2	2,8	6,62	2,344
14	8,0	2,5	3,2	2,7	6,96	2,367
15	8,2	2,7	3,0	2,9	6,70	2,338

Eil Nr.	Pastovumas, kN	Takumas, mm	Maršalo koef., kN/mm	Asfaltbetonio tuštymėtumo rodiklis, %	Bitumo kiekis, %	Asfaltbetonio didžiausias tankis, g/cm ³
AC 11 VS (su B50/70)						
16	12,8	2,5	5,1	1,8	5,31	2,453
17	11,1	3,2	3,5	1,5	5,57	2,433
18	10,9	2,8	3,9	2,1	5,41	2,455
19	10,3	2,9	3,6	2,2	5,69	2,453
20	12,9	3,2	4,0	1,6	5,85	2,438
21	11,3	3,1	3,6	2,0	5,62	2,447
22	13,5	2,9	4,7	2,6	5,52	2,448
23	11,4	2,7	4,2	3,6	5,24	2,463
24	11,0	3,0	3,7	3,4	5,42	2,488
25	10,8	2,8	3,9	2,9	5,63	2,451
26	12,7	2,9	4,4	2,3	5,20	2,441
27	12,3	2,8	4,4	2,2	5,30	2,484
28	11,2	2,9	3,9	1,6	5,34	2,521
29	11,7	2,7	4,3	2,0	5,21	2,462
30	12,4	2,9	4,3	1,5	5,46	2,453
AC 11 VN (su B70/100)						
31	9,0	3,2	2,8	1,1	5,33	2,369
32	9,5	3,0	3,2	1,7	5,43	2,362
33	7,5	3,6	2,1	0,8	5,49	2,390
34	8,6	3,4	2,5	1,8	5,41	2,374
35	12,7	2,9	4,4	1,7	5,70	2,366
36	12,2	3,2	3,8	1,7	6,14	2,407
37	11,9	2,8	4,3	2,4	6,05	2,393
38	10,3	2,8	3,7	1,4	6,19	2,378
39	10,0	3,4	2,9	1,5	6,16	2,393
40	8,8	2,9	3,0	1,4	5,88	2,385
41	7,5	3,3	2,3	1,8	6,20	2,391
42	8,9	3,3	2,7	2,1	6,17	2,369
43	9,6	2,0	4,8	2,6	5,59	2,402
44	10,2	1,9	5,4	2,8	5,77	2,400
45	9,8	2,8	3,5	1,7	5,71	2,384

3.5 lentelė Kelio dangos lygumo rodiklio IRI ir vėžės gylio V_z matavimų rezultatų suvestinė
(A1 automagistralės kelio ruožas 36,88 – 39,28 km)

Eil. Nr.	Dangos lygumo rodiklis IRI, m/km	Vežės gylis V_z , mm
1	2.71	18.7
2	2.08	9.8
3	2.08	11.2
4	1.74	14.5
5	1.17	10.4
6	1.77	10.4
7	1.42	12
8	1.89	11.2
9	2.21	18.2
10	2.08	9.6
11	2.22	8.6
12	1.62	10.9
13	1.73	9.8
14	2.08	6.6
15	1.46	6.1

Pagal turimus duomenis nustatomos priklausomybės tarp bitumų B50/70, B70/100 ir PMB 45/80-55 E kokybės rodiklių. Pirmas nagrinėjamas yra kelių bitumas B50/70.

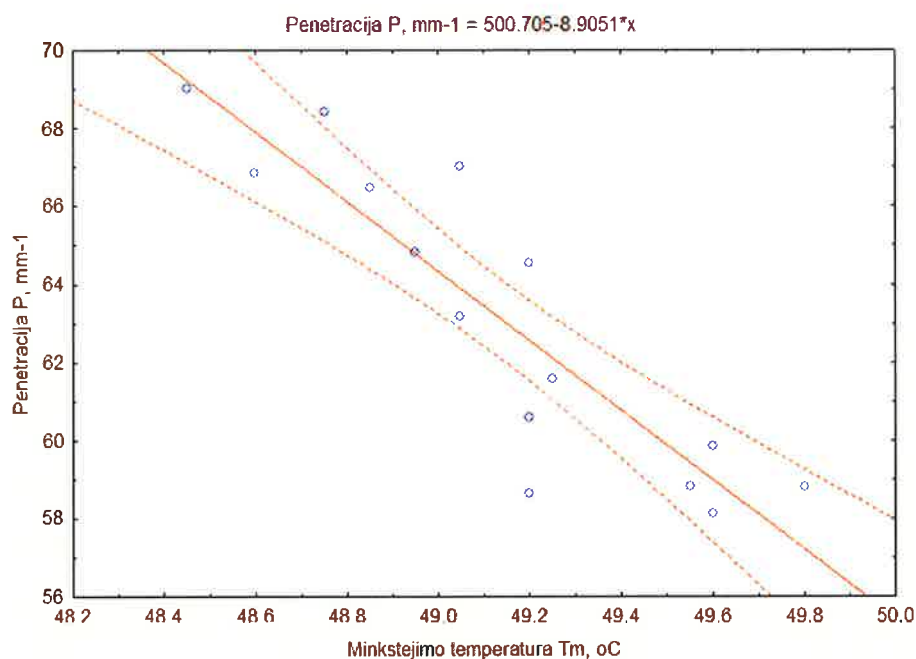
3.6 – 3.14 paveiksluose pateikti kelių bitumo B 50/70 kokybės rodiklių analizės rezultatai.

Minkštėjimo temperatūros ir penetracijos sietis (B50/70):

$$\text{Penetracija} = 500,705 - 8,905 \cdot T_M$$

Koreliacijos koef. – 0,8912

$$R^2=0,7942$$



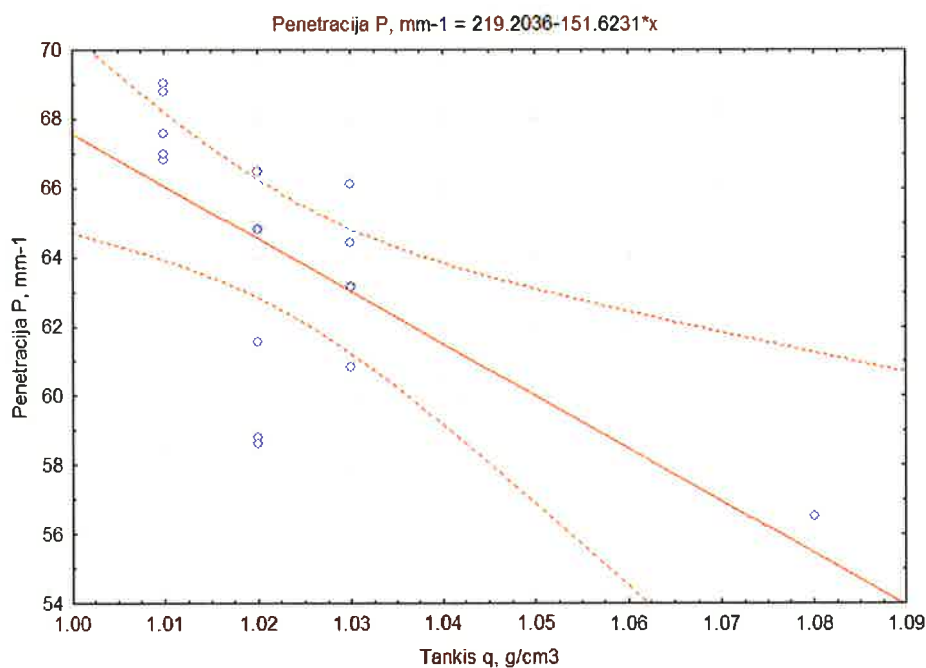
3.6 pav. Bitumo penetracijos ir jo minkštėjimo temperatūros sietis (B50/70)

Bitumo tankio ir penetracijos sietis (B50/70):

$$\text{Penetracija } P = 839,2097 - 6,1153 \cdot q$$

Koreliacijos koef. – 0,6762

$$R^2=0,4573$$



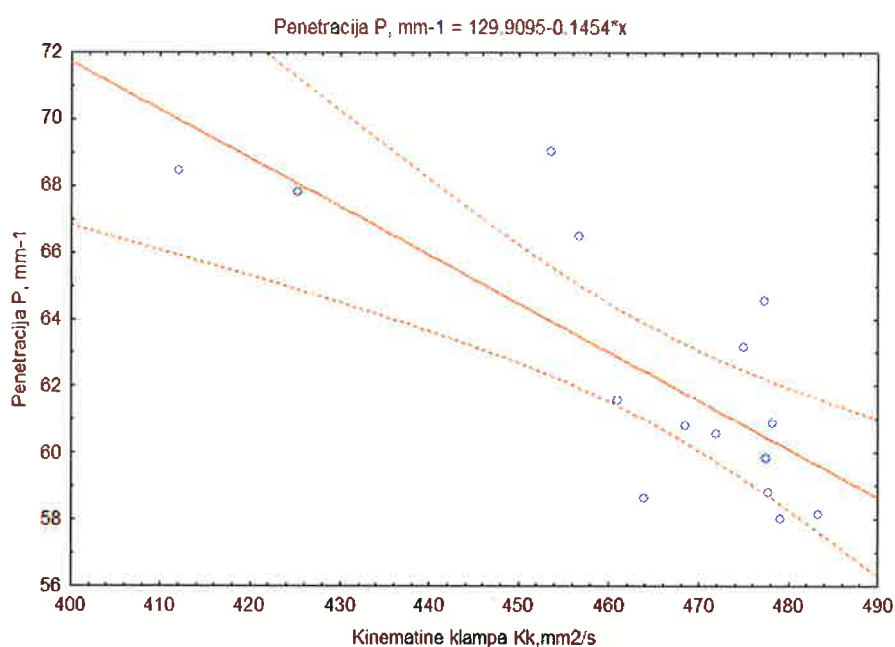
3.7 pav. Bitumo penetracijos ir bitumo tankio sietis (B50/70)

Kinematinės klampos ir penetracijos sietis (B50/70):

$$\text{Penetracija} = 129,909 - 0,1454 \cdot K_K$$

Koreliacijos koef. – 0,7672

$$R^2=0,5886$$



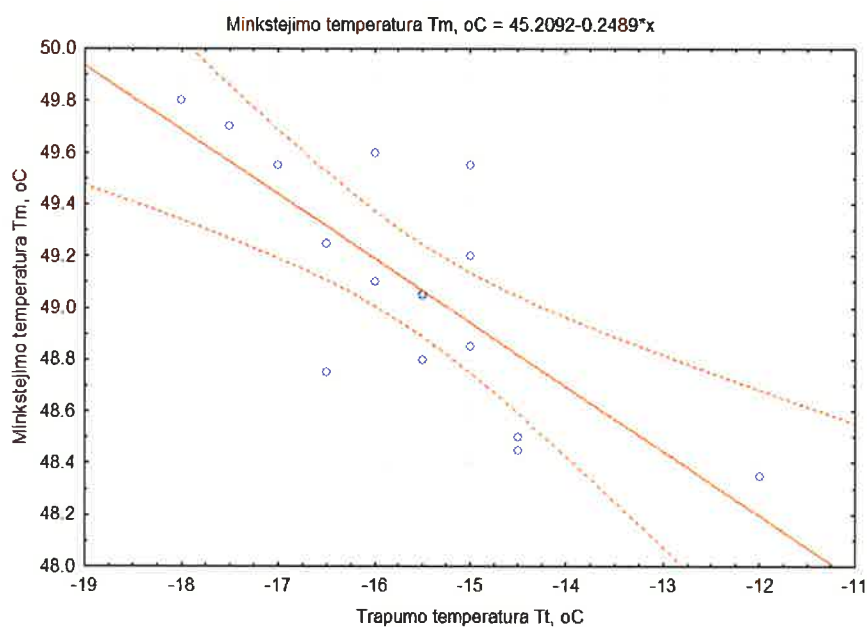
3.8 pav. Bitumo penetracijos ir kinematinės klampos sietis (B50/70)

Trapumo temperatūros ir minkštėjimo temperatūros sietis (B50/70):

$$\text{Minkštėjimo temperatūra } T_M = 45,209 - 0,249 \cdot T_T$$

Koreliacijos koef. – 0,7634

$$R^2=0,5828$$



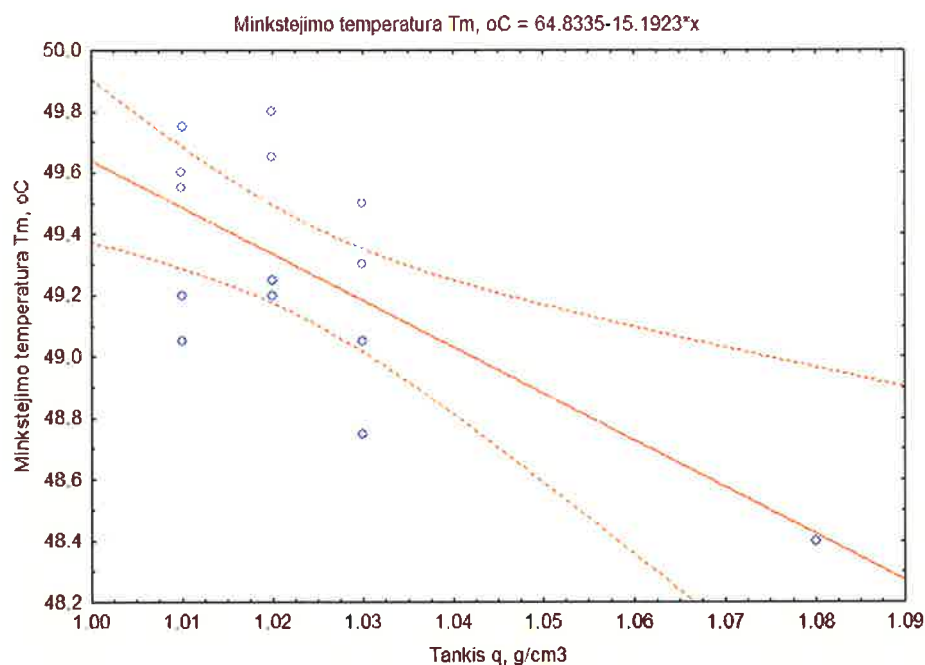
3.9 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir trapumo temperatūros sietis (B50/70)

Bitumo tankio ir minkštėjimo temperatūros sietis (B50/70):

$$T_M = 45,209 - 0,249 \cdot q$$

Koreliacijos koef. – 0,7024

$$R^2=0,4933$$



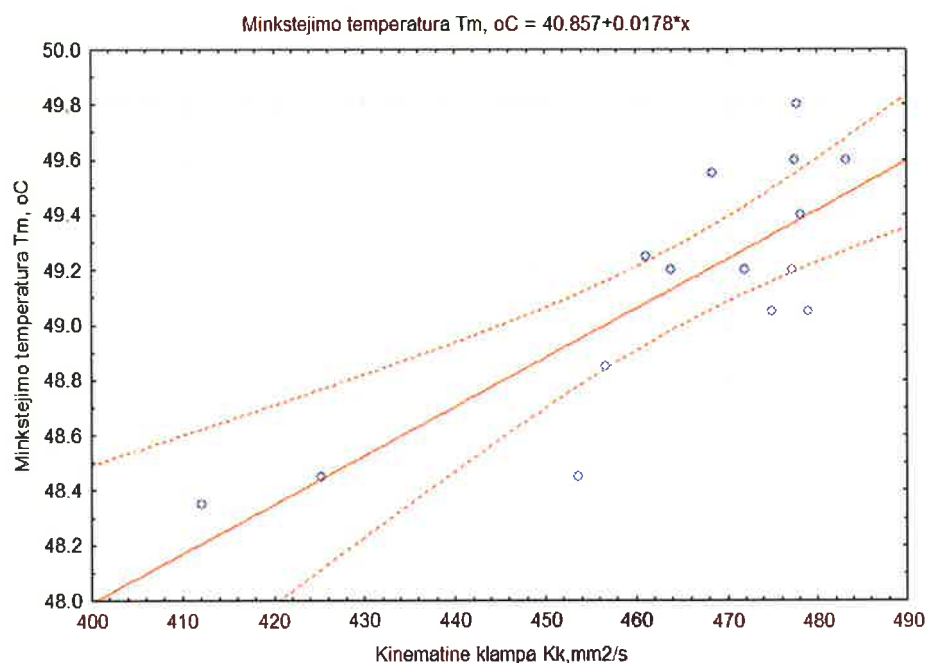
3.10 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir bitumo tankio sietis (B50/70)

Kinematinės klamos ir minkštėjimo temperatūros sietis (B50/70):

$$T_M = 40,857 + 0,0178 \cdot K_K$$

Koreliacijos koef. 0,8195

$$R^2=0,6715$$



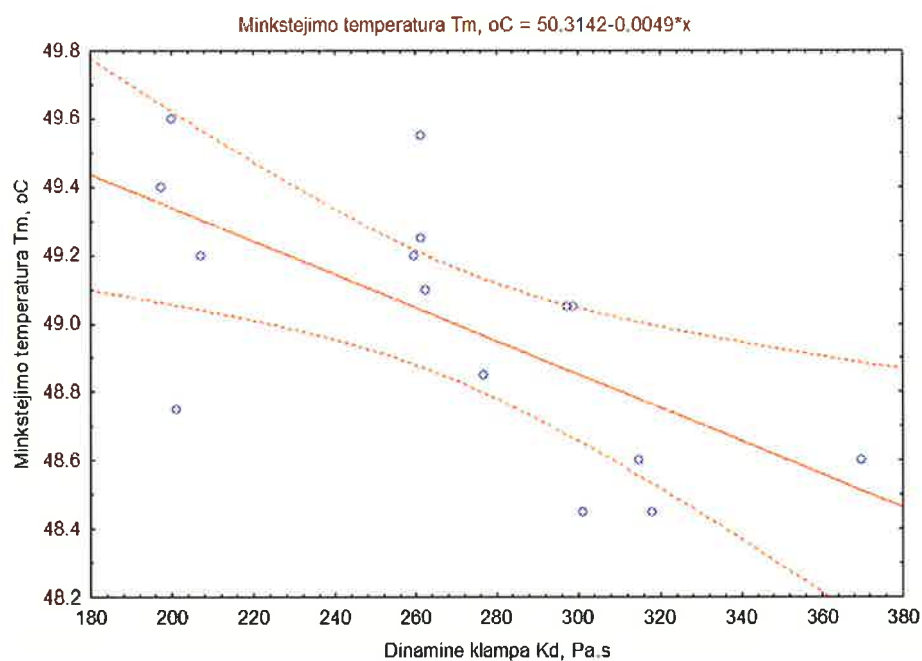
3.11 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir kinematinės klamos sietis (B50/70)

Dinaminės klamos ir minkštėjimo temperatūros sietis (B50/70):

Minkštėjimo temperatūra $T_M = 50,314 - 0,005 \cdot K_D$

Koreliacijos koef. – 0,6562

$R^2=0,4306$



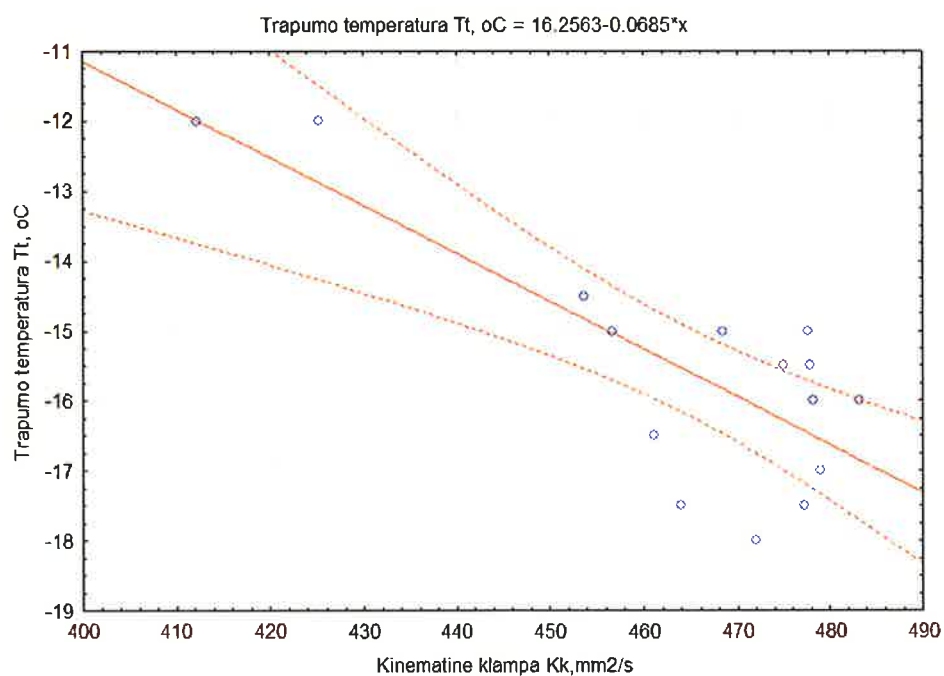
3.12 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir dinaminės klamos sietis (B50/70)

Kinematinės klamos ir trapumo temperatūros sietis (B50/70):

Trapumo temperatūra $T_T = 16,256 - 0,069 \cdot K_K$

Koreliacijos koef. – 0,791

$R^2=0,6257$



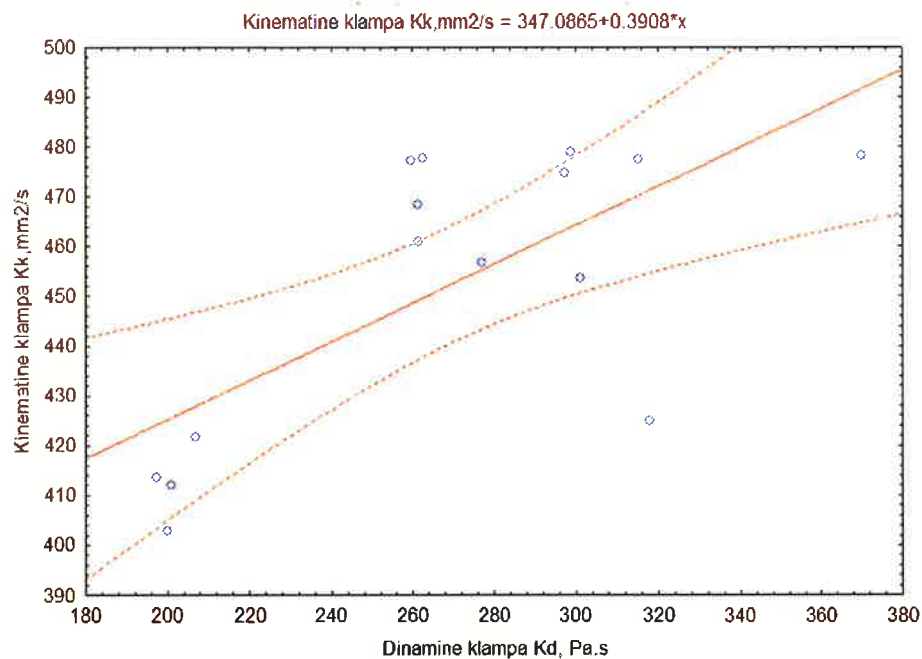
3.13 pav. Bitumo trapumo temperatūros ir kinematinės klamos sietis (B50/70)

Dinaminės ir kinematinės klampos sietis (B50/70):

$$\text{Kinematinė klampa } K_K = 347,087 + 0,391 \cdot K_D$$

Koreliacijos koef. 0,6986

$$R^2=0,488$$



3.14 pav. Bitumo kinematinės ir dinaminės klampos sietis (B50/70)

Pagal atliktas ir pateiktas 3.6–3.14 pav. koreliacines priklausomybes matome nedidelę duomenų sklaidą. Sudarant koreliacines priklausomybes, buvo atmesta iki 5 anomalijų verčių, 6–10 verčių patenka už ribos. Nustatyta glaudi sietis tarp gautų rezultatų, dyžiai yra tiesiškai priklausomi. Glaudžiausia sietis nustatyta tarp penetracijos ir minkštėjimo temperatūros, kinematinės klampos ir minkštėjimo temperatūros. Koreliacijos koeficiento vertės svyruoja nuo $R = -0,65$ iki $R = -0,89$, o rodiklio R^2 vertės nuo $R^2=0,43$ iki $R^2=0,79$.

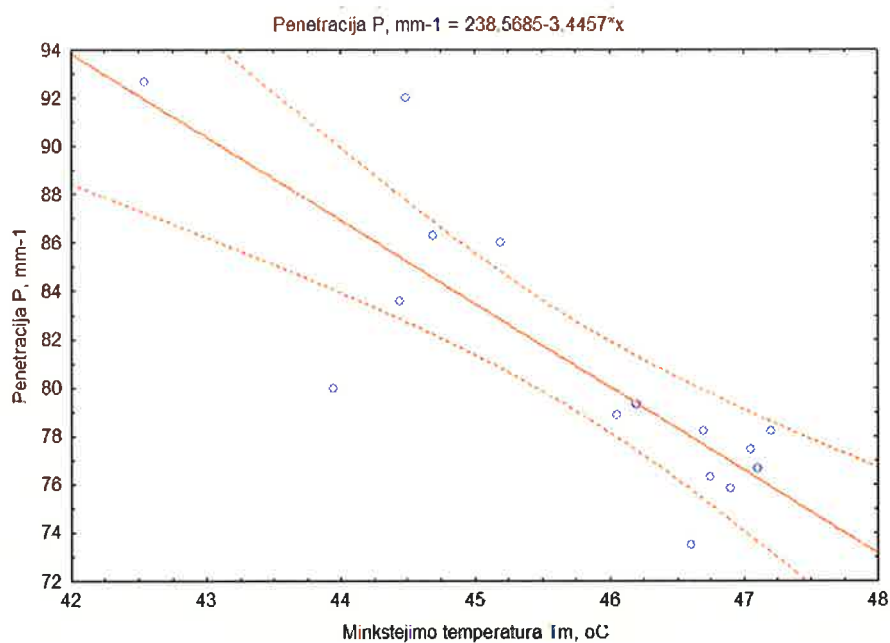
Toliau nagrinėjams kelių bitumo B70/100 savybės ir kokybės rodikliai (3.15 – 3.24 pav.).

Minkštėjimo temperatūros ir penetracijos sietis (B70/100):

$$\text{Penetracija} = 238,569 - 3,446 \cdot T_M$$

Koreliacijos koef. – 0,8352

$$R^2=0,6975$$



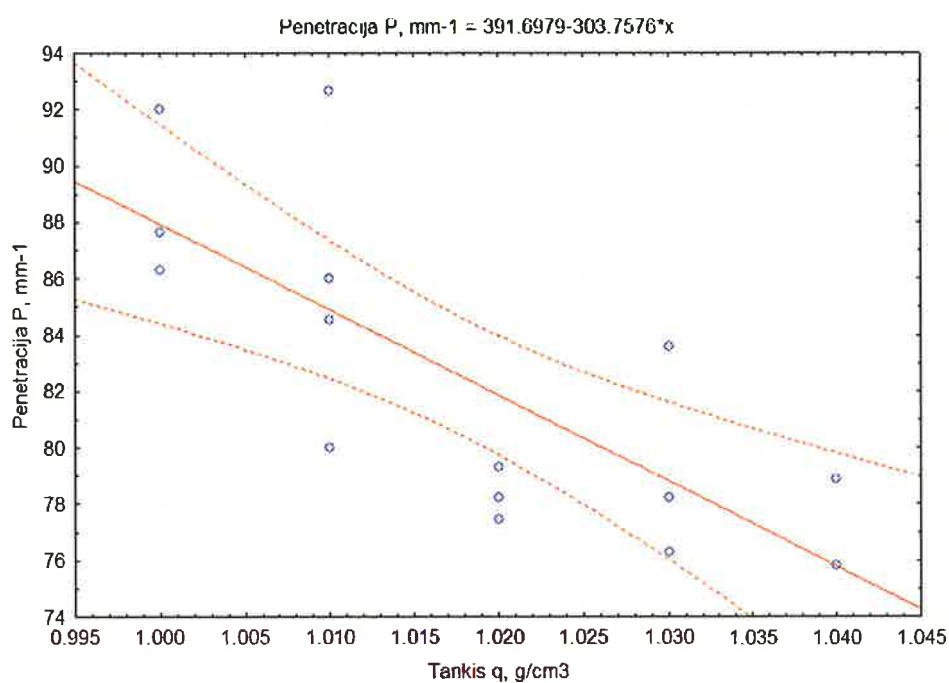
3.15 pav. Bitumo penetracijos ir jo minkštėjimo temperatūros sietis (B70/100)

Bitumo tankio ir penetracijos sietis (B70/100):

$$\text{Penetracija P} = 391,698 - 303,758 \cdot q$$

Koreliacijos koef. – 0,7556

$$R^2=0,571$$



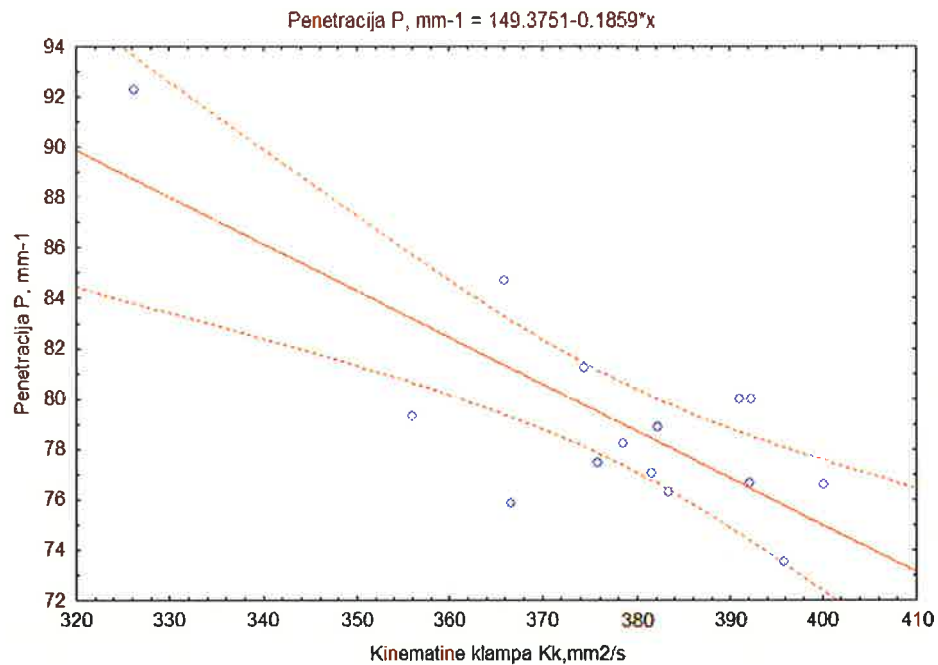
3.16 pav. Bitumo penetracijos ir bitumo tankio sietis (B70/100)

Kinematinės klampos ir penetracijos sietis (B70/100):

$$\text{Penetracija} = 149,375 - 0,1859 \cdot K_K$$

Koreliacijos koef. – 0,7763

$$R^2=0,6027$$



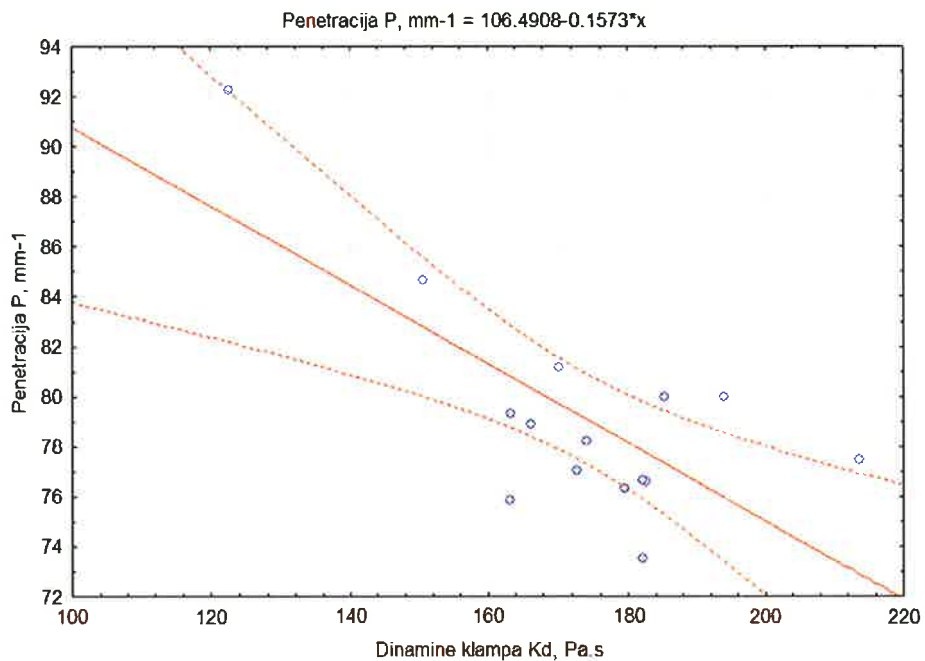
3.17 pav. Bitumo penetracijos ir kinematinės klampos sietis (B70/100)

Dinaminės klampos ir penetracijos sietis (B70/100):

$$\text{Penetracija} = 106,491 - 0,157 \cdot K_D$$

Koreliacijos koef. – 0,7164

$$R^2=0,5132$$



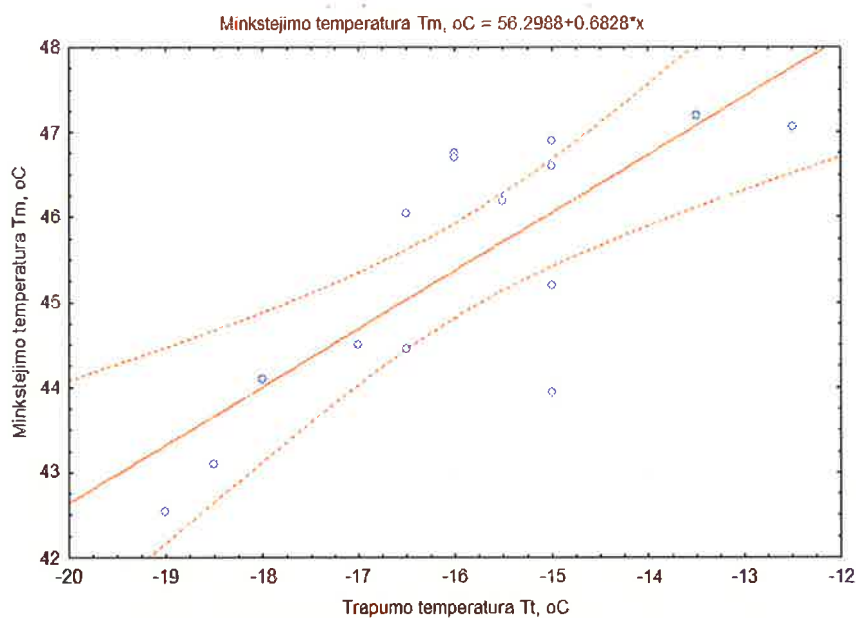
3.18 pav. Bitumo penetracijos ir dinaminės klampos sietis (B70/100)

Trapumo temperatūros ir minkštėjimo temperatūros sietis (B70/100):

$$T_M = 56,299 + 0,6828 \cdot T_T$$

Koreliacijos koef. 0,7812

$$R^2=0,6103$$



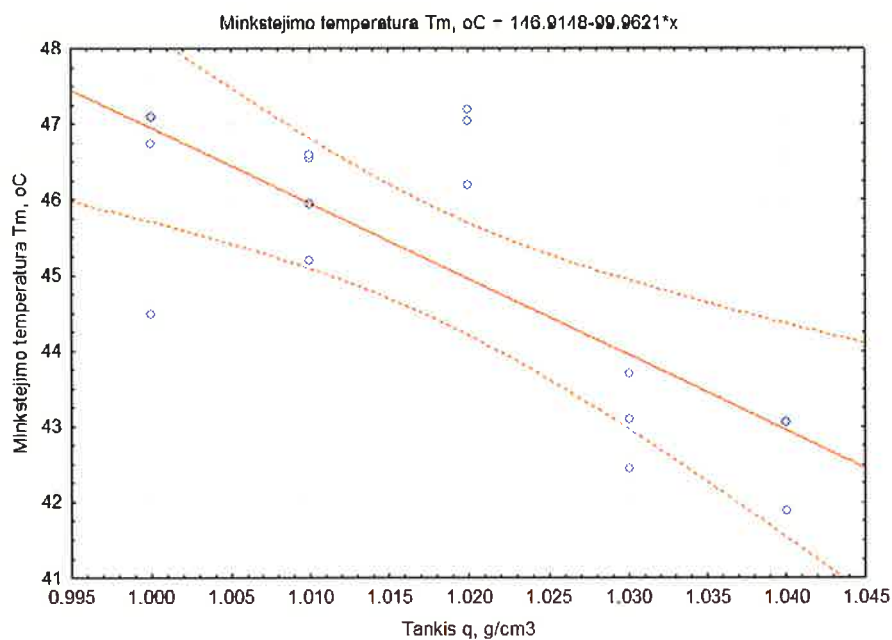
3.19 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir trapumo temperatūros sietis (B70/100)

Bitumo tankio ir minkštėjimo temperatūros sietis (B70/100):

$$T_M = 146,915 - 99,962 \cdot q$$

Koreliacijos koef. – 0,7339

$$R^2=0,5387$$



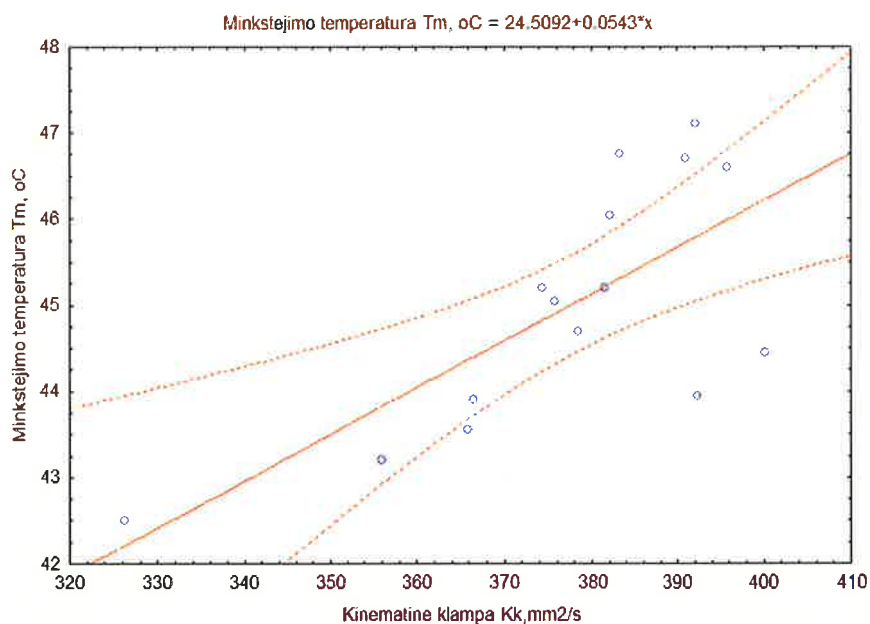
3.20 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir bitumo tankio sietis (B70/100)

Kinematinės klamos ir minkštėjimo temperatūros sietis (B70/100):

$$T_M = 24,509 + 0,0543 \cdot K_K$$

Koreliacijos koef. 0,7122

$$R^2 = 0,5072$$



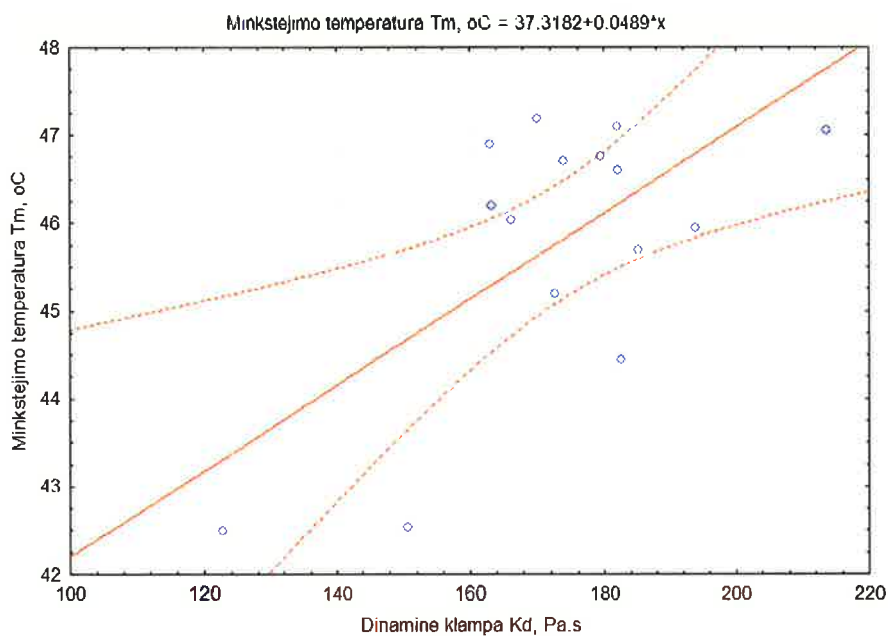
3.21 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir kinematinės klamos sietis (B70/100)

Dinaminės klamos ir minkštėjimo temperatūros sietis (B70/100):

$$T_M = 37.318 + 0,0489 \cdot K_D$$

Koreliacijos koef. 0,6521

$$R^2 = 0,4252$$



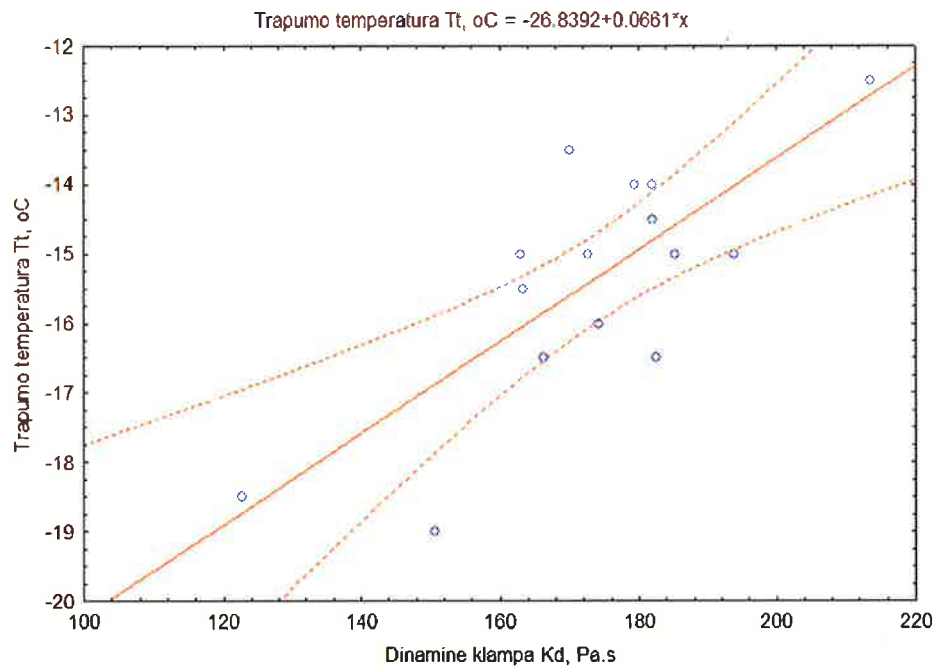
3.22 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir dinaminės klamos sietis (B70/100)

Dinaminės klampos ir trapumo temperatūros sietis (B70/100):

Trapumo temperatūra $T_T = -26,839 + 0,066 \cdot K_D$

Koreliacijos koef. 0,7718

$R^2=0,5956$



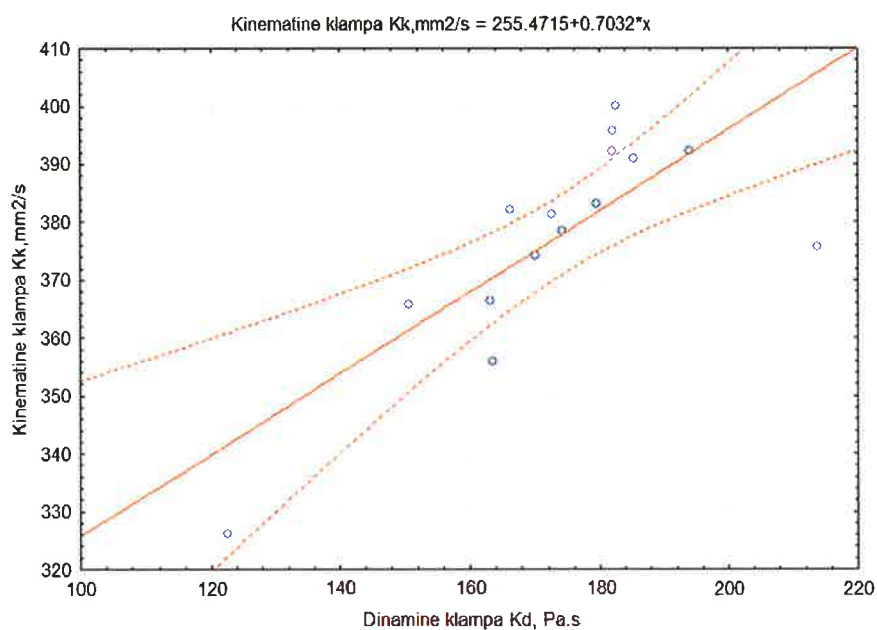
3.23 pav. Bitumo trapumo temperatūros ir dinaminės klampos sietis (B70/100)

Dinaminės ir kinematinės klampos sietis (B70/100):

Kinematinė klampa $K_K = 255,472 + 0,703 \cdot K_D$

Koreliacijos koef. 0,7669

$R^2=0,5881$



3.24 pav. Bitumo kinematinės ir dinaminės klampos sietis (B70/100)

Iš pateiktų 3.15–3.24 pav. koreliacinių priklausomybių matome nedidelę duomenų sklaidą. Sudarant koreliacines priklausomybes, buvo atmesta iki 5 anomalių verčių, 6–10 verčių patenka už ribos. Nustatyta glaudi sietis tarp gautų rezultatų, dyžiai yra tiesiškai priklausomi. Glaudžiausia sietis nustatyta tarp penetracijos ir minkštėjimo temperatūros, penetracijos ir kinematinės klampos, minkštėjimo ir trapumo temperatūros. Koreliacijos koeficiento vertės svyruoja nuo $R = -0,65$ iki $R = -0,83$, o rodiklio R^2 vertės nuo $R^2 = 0,42$ iki $R^2 = 0,69$.

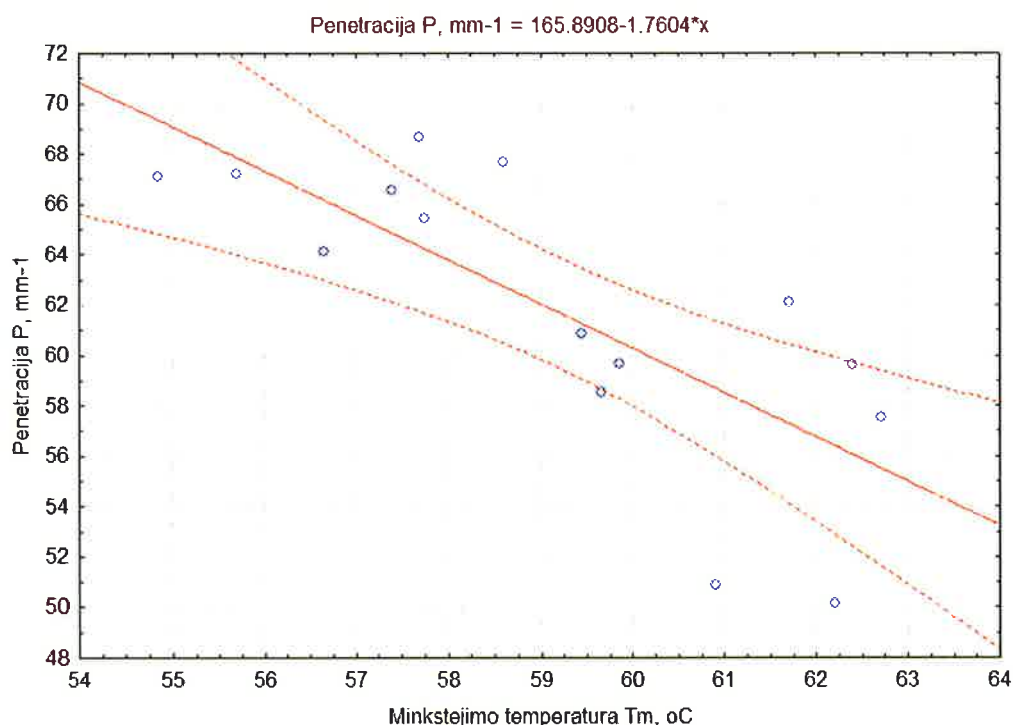
Toliau nagrinėjams polimerais modifikuoto bitumo PMB 45/80-55E savybės ir kokybės rodikliai (3.25 – 3.32 pav.).

Minkštėjimo temperatūros ir penetracijos sietis (PMB 45/80-55E):

$$\text{Penetracija} = 165,891 - 1,7604 \cdot T_M$$

Koreliacijos koef. – 0,756

$$R^2 = 0,5716$$



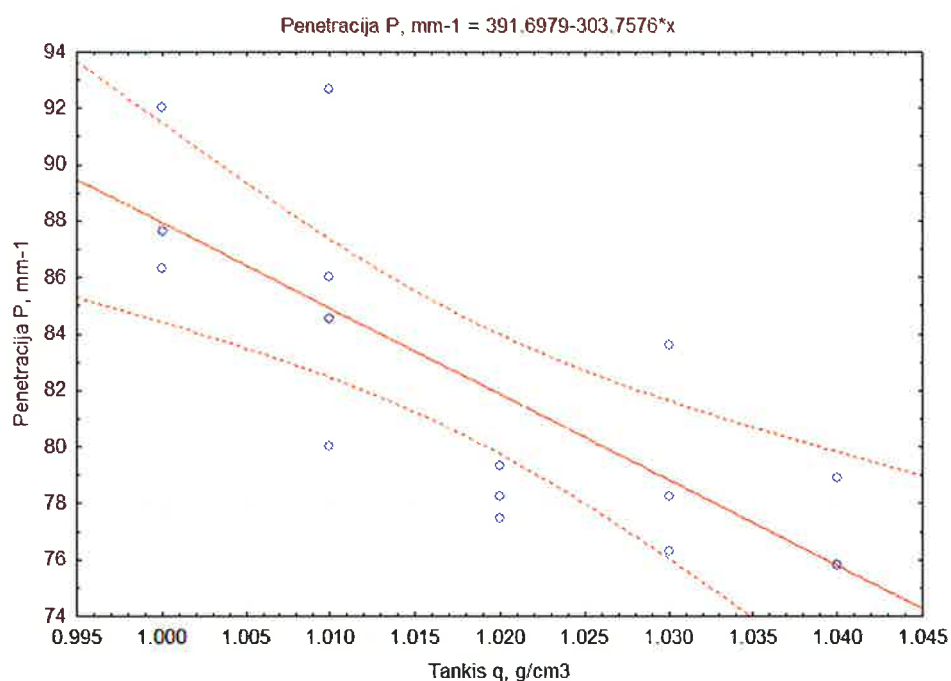
3.25 pav. Bitumo penetracijos ir jo minkštėjimo temperatūros sietis (PMB 45/80-55E)

Bitumo trapumo temperatūros ir penetracijos sietis (PMB45/80-55E):

$$\text{Penetracija } P = 13,027 - 2,781 \cdot T_T$$

Koreliacijos koef. – 0,7598

$$R^2=0,5773$$



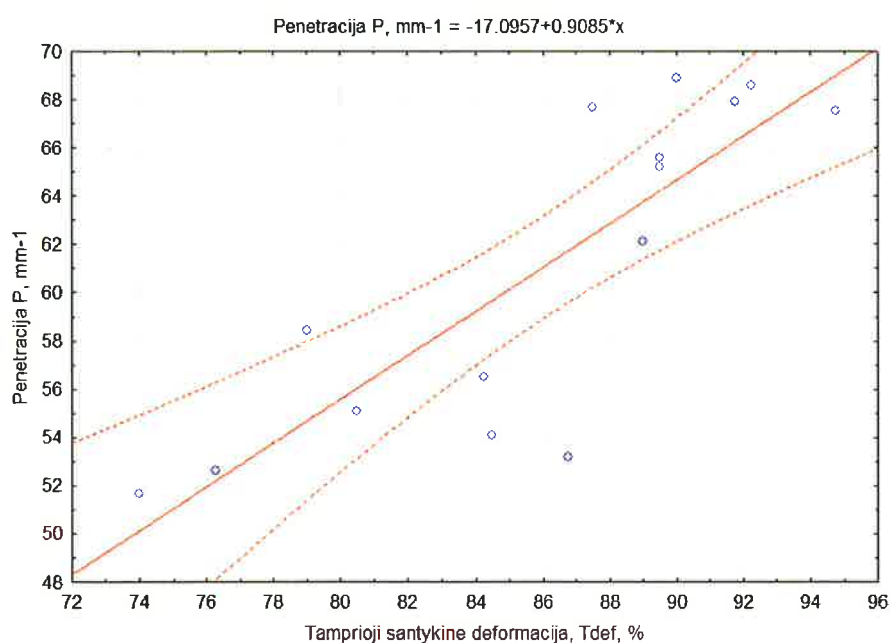
3.26 pav. Bitumo penetracijos ir trapumo temperatūros sietis (PMB45/80-55E)

Tampriosios santykinės deformacijos ir penetracijos sietis (PMB45/80-55E):

$$\text{Penetracija } P = -17,096 + 0,909 \cdot T_{\text{def}}$$

Koreliacijos koef. 0,8345

$$R^2=0,6963$$



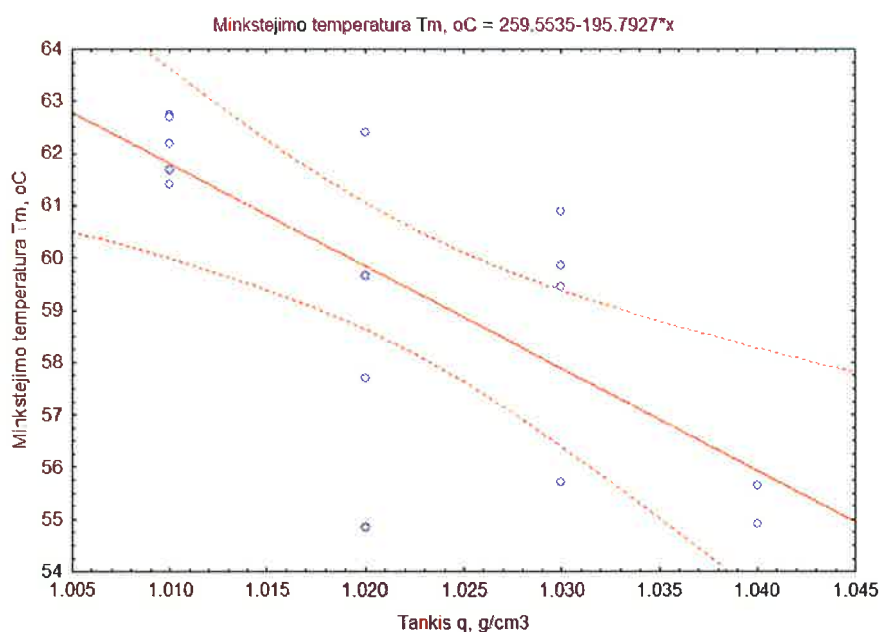
3.27 pav. Bitumo penetracijos ir tampriosios santykinės deformacijos sietis (PMB45/80-55E)

Bitumo tankio ir minkštėjimo temperatūros sietis (PMB45/80-55E):

Minkštėjimo temperatūra $T_M = 259,554 - 195,793 \cdot q$

Koreliacijos koef. – 0,7169

$R^2=0,5140$



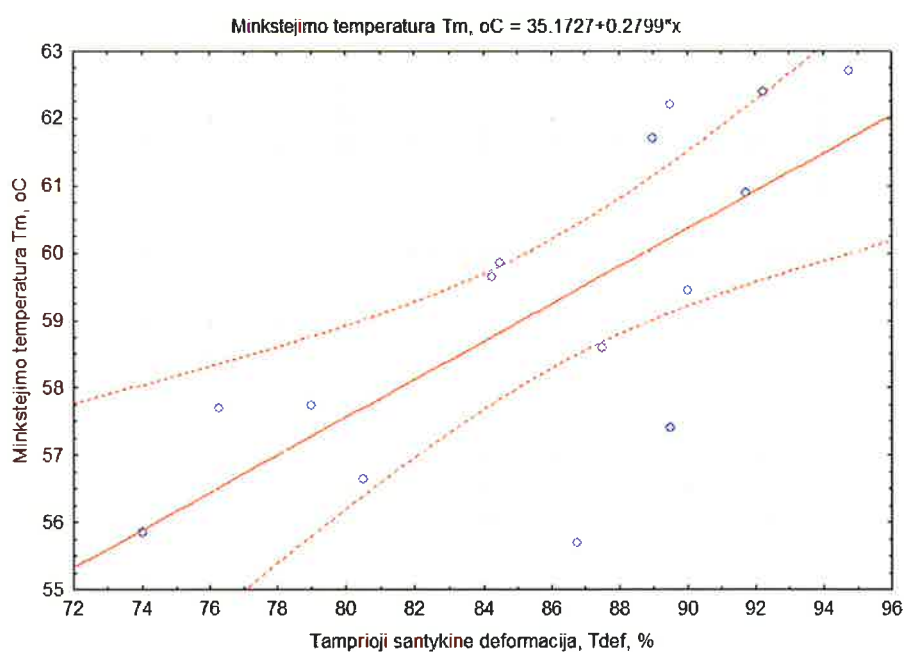
3.28 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir bitumo tankio sietis (PMB45/80-55E)

Tampriosios santykinės deformacijos ir minkštėjimo temperatūros sietis (PMB45/80-55E):

Minkštėjimo temperatūra $T_M = 35,173 + 0,279 \cdot T_{def}$

Koreliacijos koef. 0,7202

$R^2=0,5187$



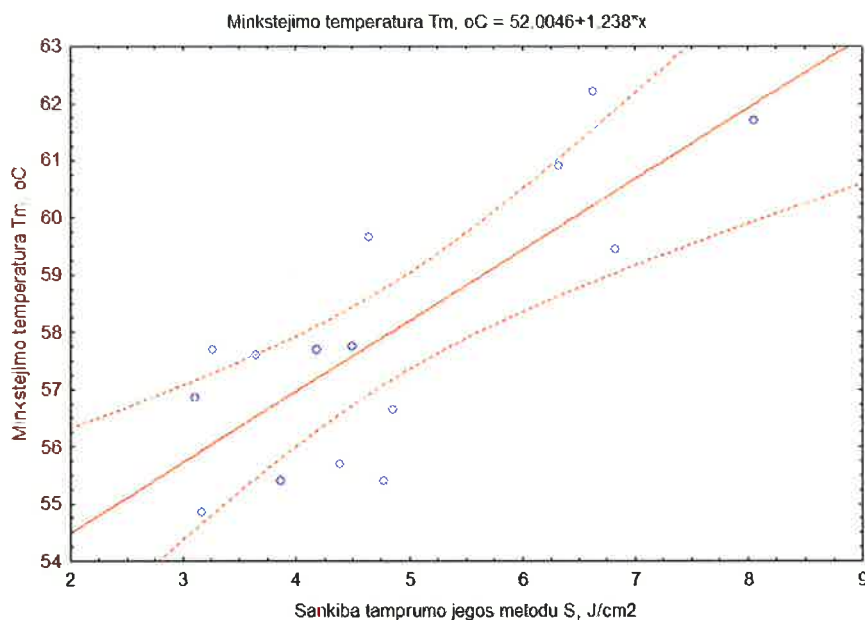
3.29 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir tampriosios santykinės deformacijos sietis (PMB45/80-55E)

Sankibos tamprumo jėgos metodu ir minkštėjimo temperatūros sietis (PMB45/80-55E):

$$T_M = 0,884 + 1,002 \cdot T_{def}$$

Koreliacijos koef. 0,7235

$$R^2 = 0,5235$$



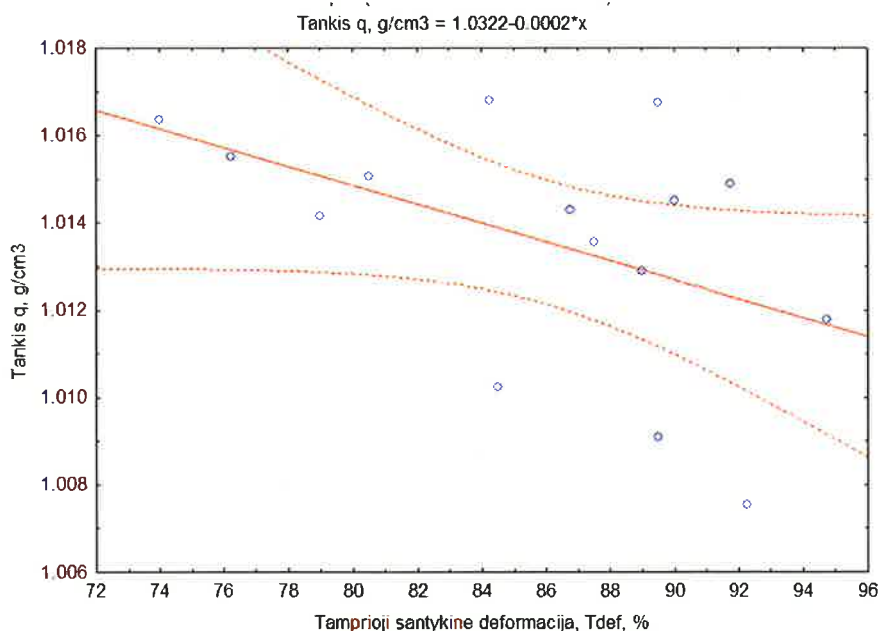
3.30 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir sankibos tamprumo jėgos metodu sietis (PMB45/80-55E)

Tampriosios santykinės deformacijos ir bitumo tankio sietis (PMB45/80-55E):

$$\rho = 1,0322 - 0,0002 \cdot T_{def}$$

Koreliacijos koef. -0,694

$$R^2 = 0,482$$



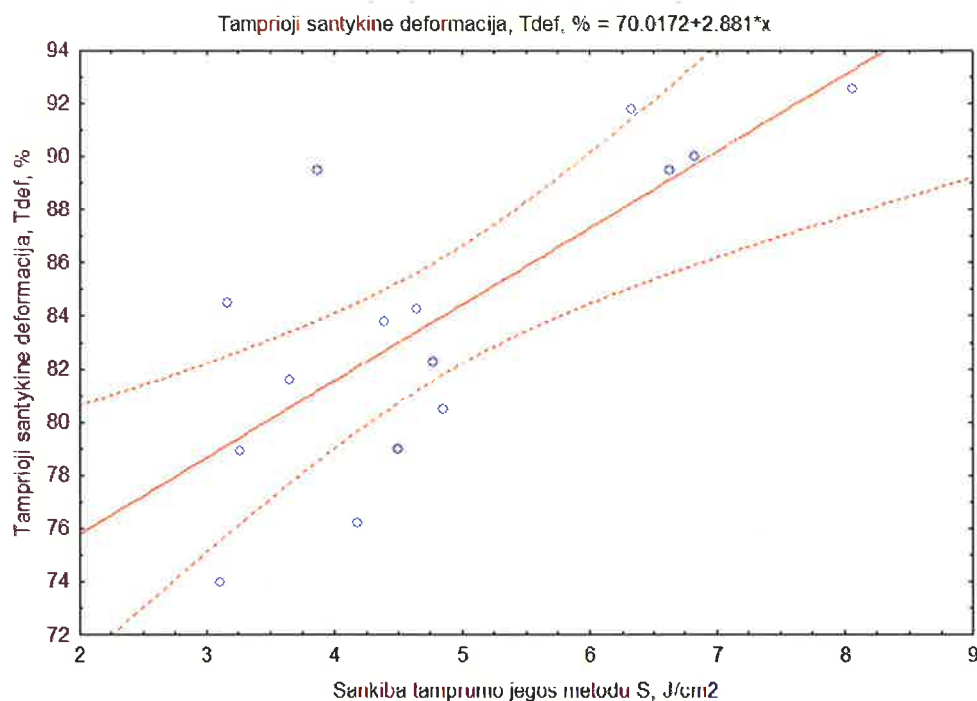
3.31 pav. Bitumo tankio ir tampriosios santykinės deformacijos sietis (PMB45/80-55E)

Tampriosios santykinės deformacijos ir sankibos tamprumo jėgos metodu sietis (PMB45/80-55E):

Tamprioji santykinė deformacija $T_{def} = 70,017 + 2,881 \cdot S$

Koreliacijos koef. 0,7475

$R^2 = 0,5587$



3.32 pav. Tampriosios santykinės deformacijos ir sankibos tamprumo jėgos metodu sietis (PMB45/80-55E)

Iš pateiktų 3.25–3.32 pav. koreliacinių priklausomybių matome nedidelę duomenų sklaidą. Sudarant koreliacines priklausomybes, buvo atmesta iki 5 anomalijų verčių, 6–10 verčių patenka už ribos. Nustatyta glaudi sietis tarp gautų rezultatų, dyžiai yra tiesiškai priklausomi. Glaudžiausia sietis nustatyta tarp penetracijos ir minkštėjimo temperatūros, penetracijos ir tampriosios santykinės deformacijos. Koreliacijos koeficiento vertės svyruoja nuo $R = -0,69$ iki $R = -0,83$, o rodiklio R^2 vertės nuo $R^2 = 0,45$ iki $R^2 = 0,67$.

Antroje tyrimo dalyje nagrinėjama bitumo kiekio ir bitumo savybių įtaka asfaltbetonio eksploataciniams rodikliams: pastovumui, takumui, Maršalo koef., asfaltbetonio tankiui ir tuštymėtumui.

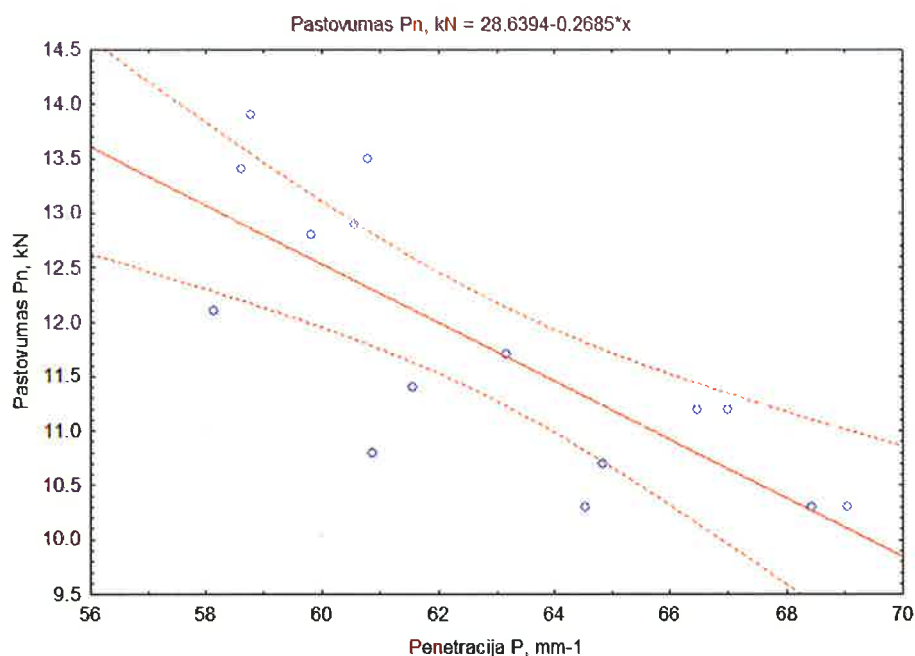
Toliau pateikti bitumo B50/70 ir asfaltinio mišinio AC VS 11 su šiuo bitumu regresinės analizės rezultatai (3.33 – 3.46 pav.)

Asfaltbetonio pastovumo ir bitumo penetracijos sietis (AC 11VS su B50/70):

$$\text{Pastovumas } P_N = 28,639 - 0,269 \cdot P$$

Koreliacijos koef. -0,7831

$$R^2 = 0,6132$$



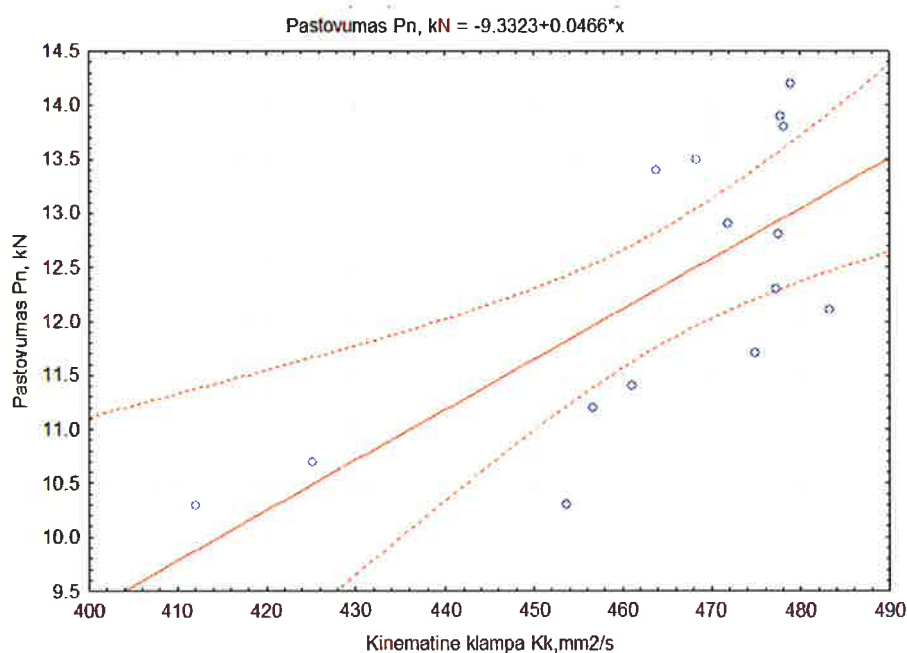
3.33 pav. Bitumo penetracijos ir asfaltbetonio pastovumo pagal Maršalą sietis

Asfaltbetonio pastovumo ir bitumo kinematinės klampos sietis (AC 11VS su B50/70):

$$\text{Pastovumas } P_N = -9,332 + 0,047 \cdot K_K$$

Koreliacijos koef. 0,7209

$$R^2 = 0,5197$$



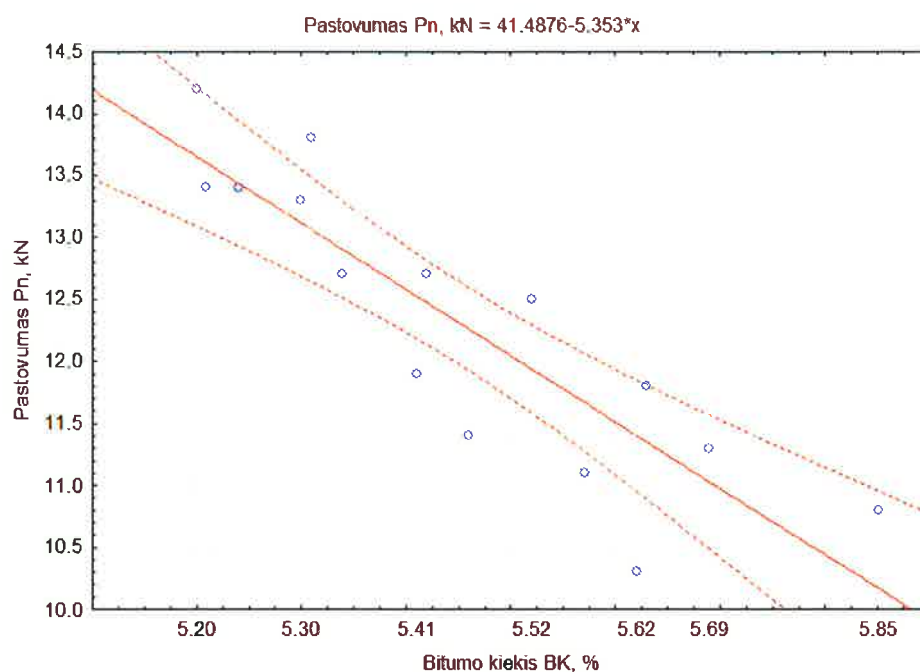
3.34 pav. Bitumo kinematinės klampos ir asfaltbetonio pastovumo pagal Maršalą sietis

Asfaltbetonio pastovumo ir bitumo kiekio sietis (AC 11VS su B50/70):

$$\text{Pastovumas } P_N = 41,488 - 5,353 \cdot B_K$$

Koreliacijos koef. -0,8723

$$R^2 = 0,761$$



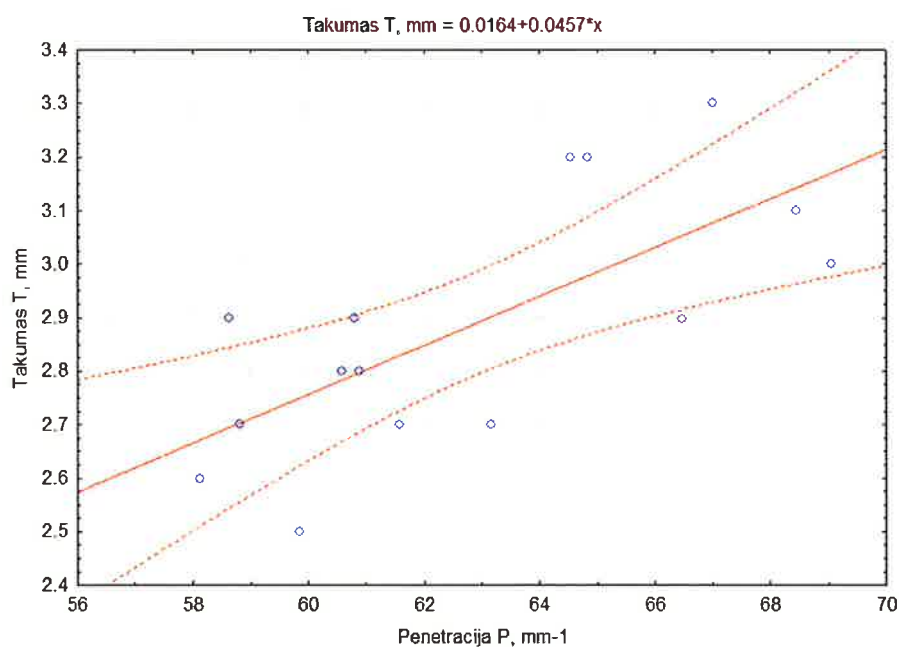
3.35 pav. Bitumo kiekio ir asfaltbetonio pastovumo pagal Maršalą sietis

Asfaltbetonio takumo ir bitumo penetracijos sietis (AC 11VS su B50/70):

$$\text{Takumas } T = 0,0164 + 0,046 \cdot P$$

Koreliacijos koef. 0,7086

$$R^2 = 0,5021$$



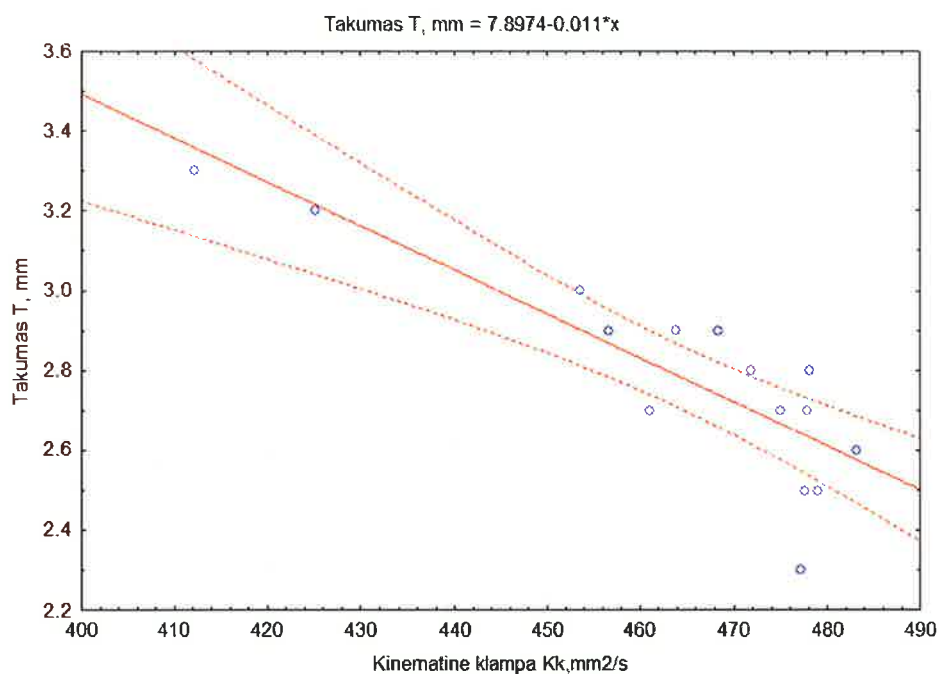
3.36 pav. Bitumo penetracijos ir asfaltbetonio takumo pagal Maršalą sietis

Asfaltbetonio takumo ir bitumo kinematinės klampos sistis (AC 11VS su B50/70):

$$\text{Takumas } T = 7,897 - 0,011 \cdot K_K$$

Koreliacijos koef. - 0,8555

$$R^2 = 0,7319$$



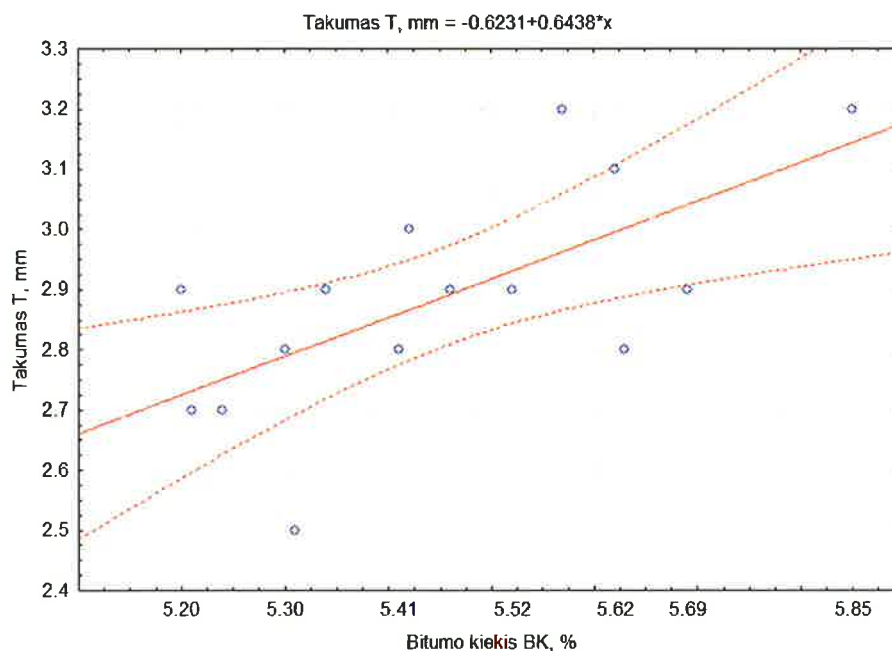
3.37 pav. Bitumo kinematinės klampos ir asfaltbetonio takumo pagal Maršalą sistis

Asfaltbetonio takumo ir bitumo kiekio sistis (AC 11VS su B50/70):

$$\text{Takumas } T = -0,623 + 0,644 \cdot B_K$$

Koreliacijos koef. 0,6578

$$R^2 = 0,4327$$



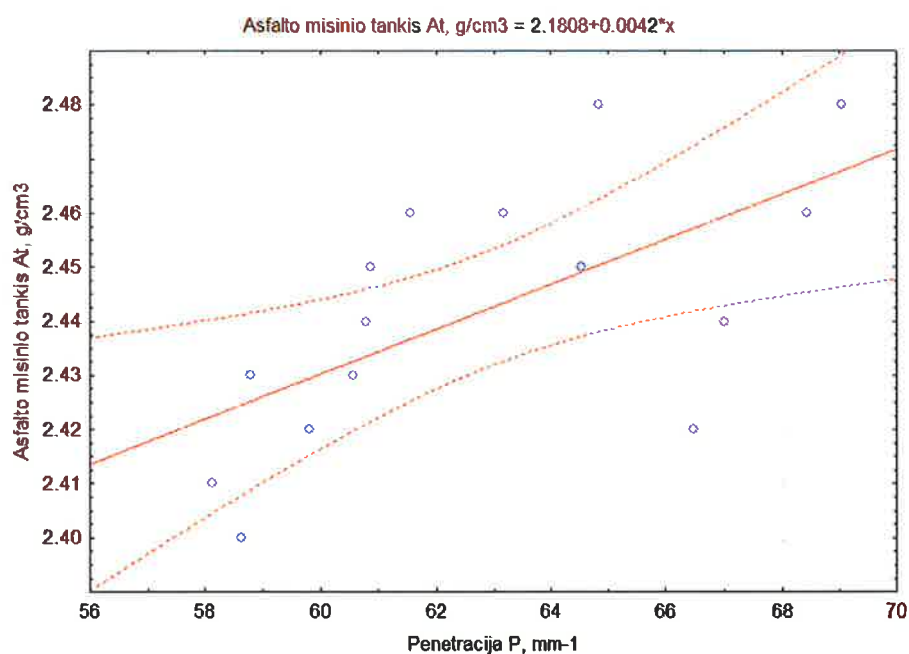
3.38 pav. Bitumo kiekio ir asfaltbetonio takumo pagal Maršalą sistis

Asfaltbetonio mišinio tankio ir bitumo penetracijos sietis (AC 11VS su B50/70):

$$\text{Tankis } A_T = 2,181 + 0,004 \cdot P$$

Koreliacijos koef. 0,6341

$$R^2 = 0,402$$



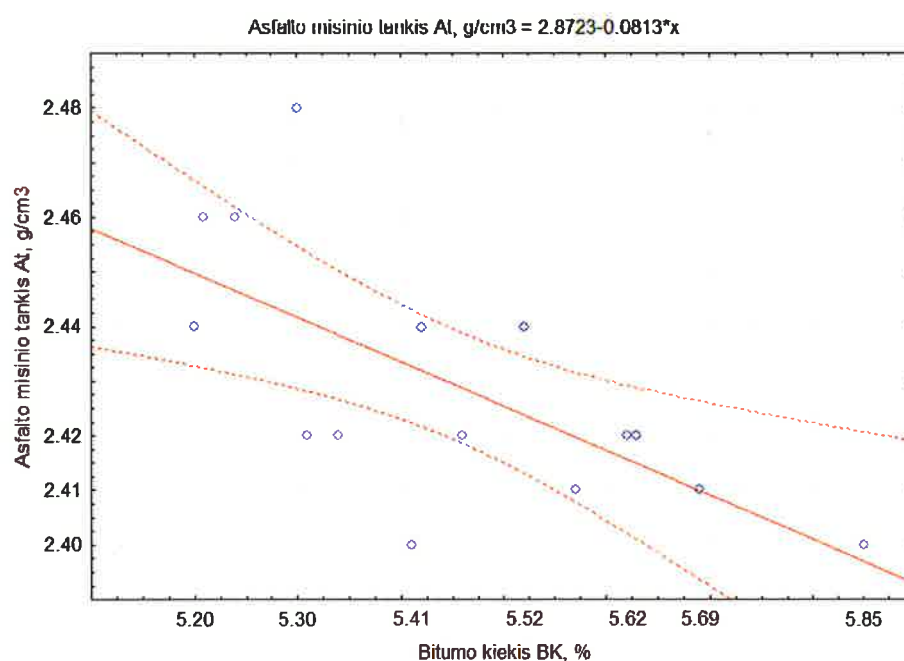
3.39 pav. Bitumo penetracijos ir asfaltinio mišinio tankio sietis

Asfaltbetonio mišinio tankio ir bitumo kiekio sietis (AC 11VS su B50/70):

$$\text{Tankis } A_T = 2,872 - 0,081 \cdot B_K$$

Koreliacijos koef. – 0,6675

$$R^2 = 0,4456$$



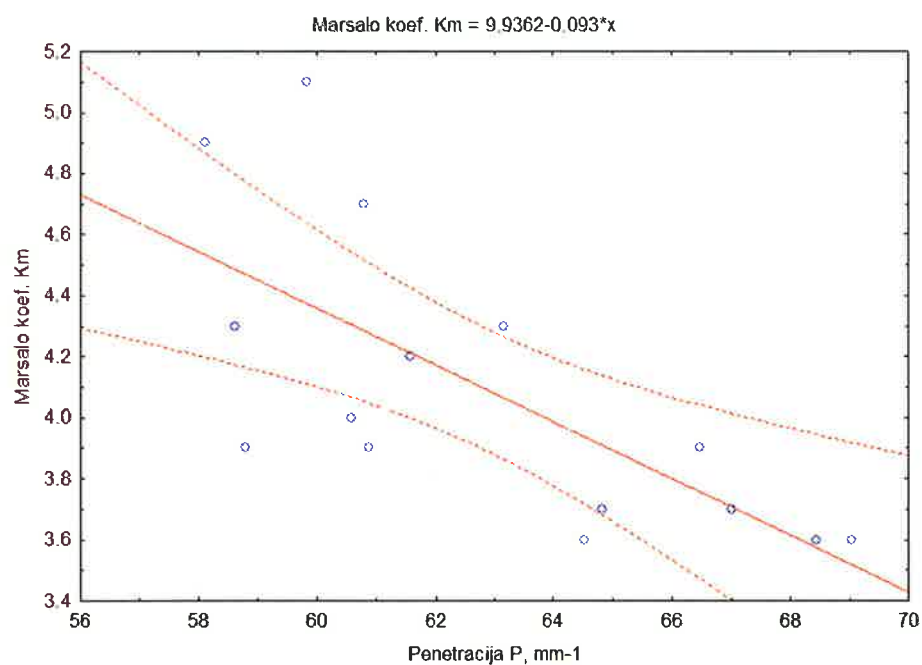
3.40 pav. Bitumo kiekio ir asfaltinio mišinio tankio sietis

Maršalo koeficiento ir bitumo penetracijos sietis (AC 11VS su B50/70):

Maršalo koef. $K_M = 9,936 - 0,093 \cdot P$

Koreliacijos koef. $-0,7012$

$R^2 = 0,4917$



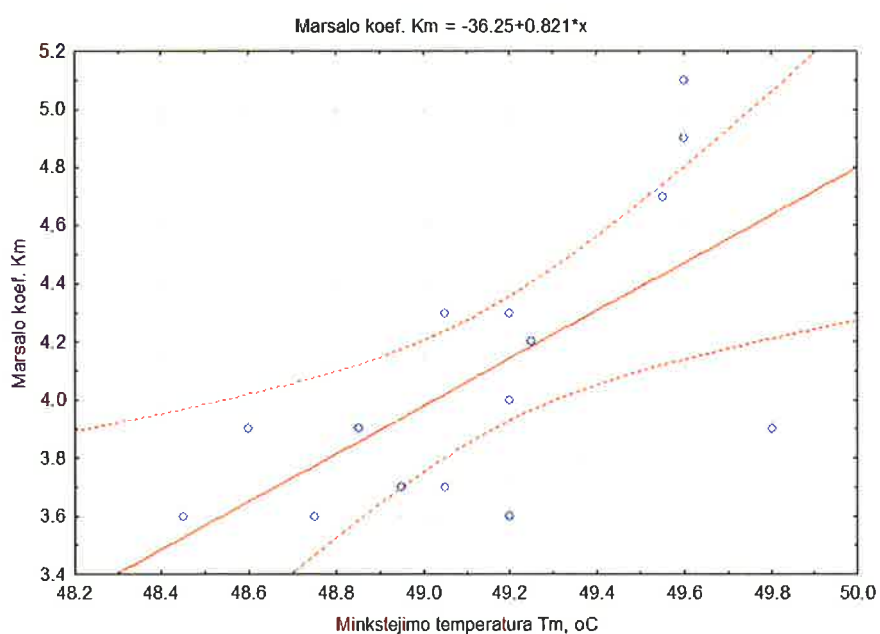
3.41 pav. Bitumo penetracijos ir Maršalo koef. sietis

Maršalo koeficiento ir bitumo minkštėjimo temperatūros sietis (AC 11VS su B50/70):

Maršalo koef. $K_M = -36,25 + 0,821 \cdot T_M$

Koreliacijos koef. $0,6569$

$R^2 = 0,4315$



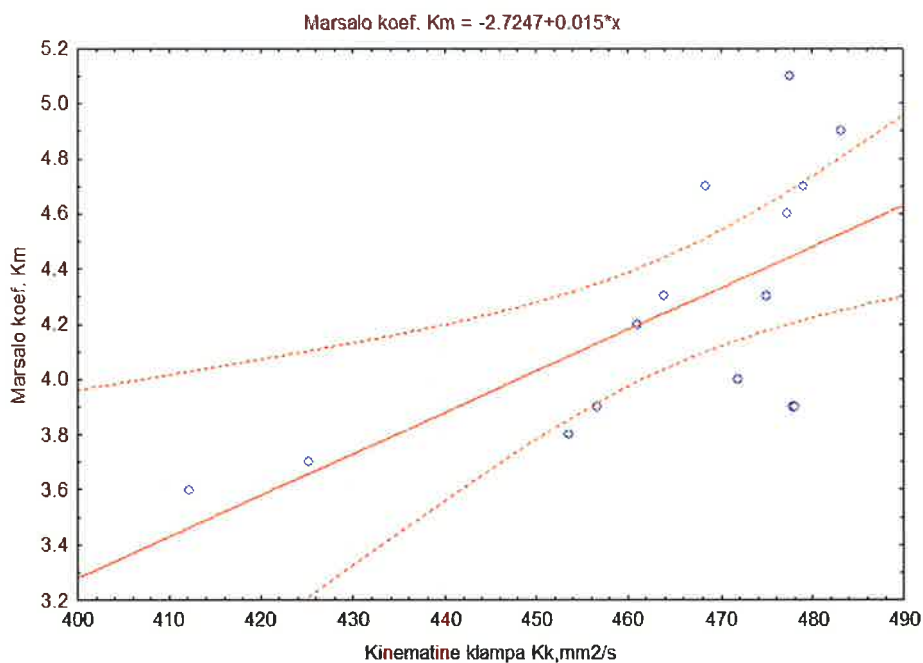
3.42 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir Maršalo koef. sietis

Maršalo koeficiento ir bitumo kinematinės klampos sietis (AC 11VS su B50/70):

Maršalo koef. $K_M = -2,725 + 0,015 \cdot K_K$

Koreliacijos koef. 0,6615

$R^2 = 0,4375$



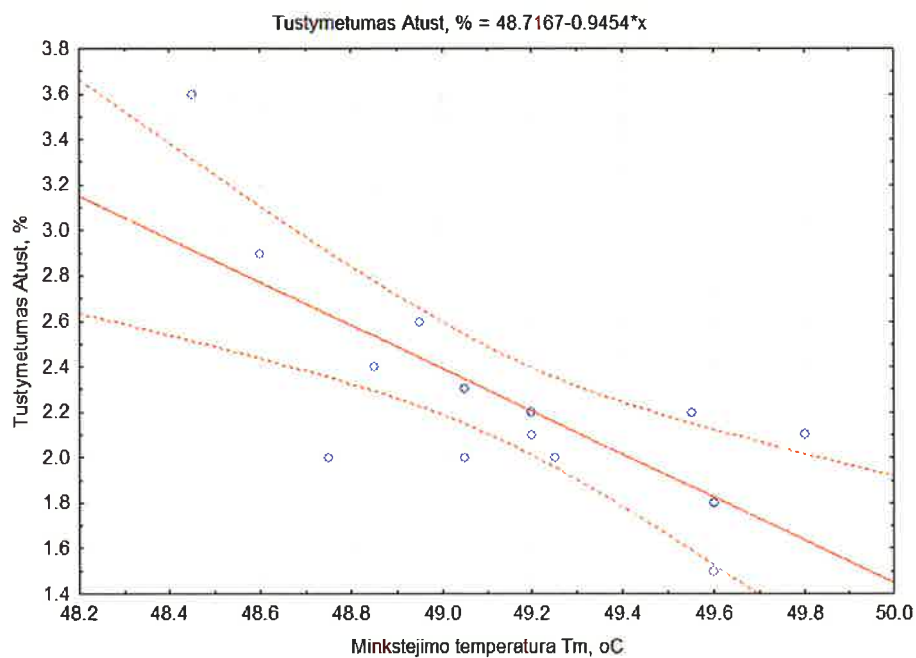
3.43 pav. Bitumo kinematinės klampos ir Maršalo koef. sietis

Asfaltbetonio tuštymėtumo ir bitumo minkštėjimo temperatūros sietis (AC 11VS su B50/70):

Tuštymėtumas $A_T = 48,717 - 0,945 \cdot T_M$

Koreliacijos koef. -0,7445

$R^2 = 0,5543$



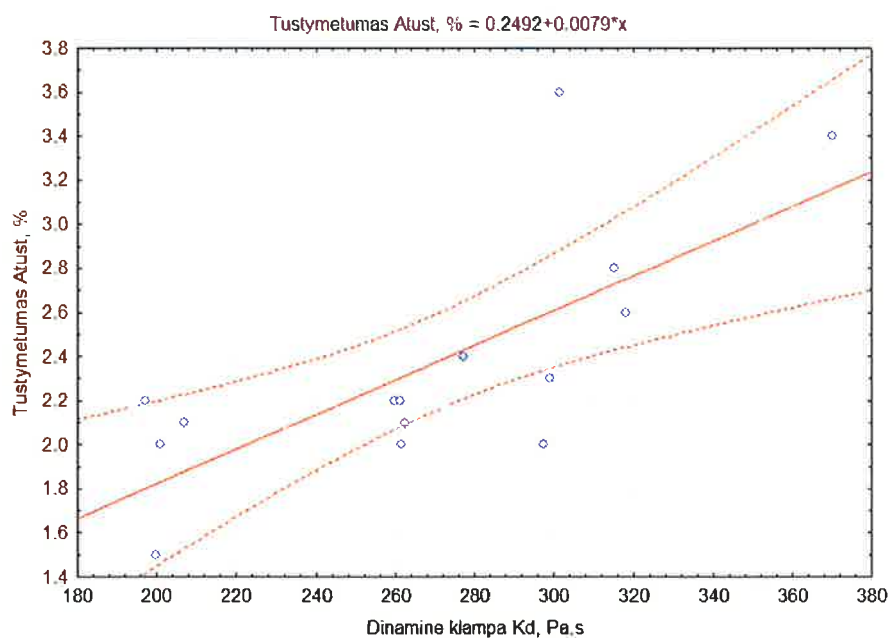
3.44 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir tuštymėtumo rodiklio sietis

Asfaltbetonio tuštymėtumo ir bitumo dinaminės klampos sietis (AC 11VS su B50/70):

$$\text{Tuštymėtumas } A_T = 0,2492 + 0,008 \cdot K_D$$

Koreliacijos koef. 0,7277

$$R^2 = 0,5295$$



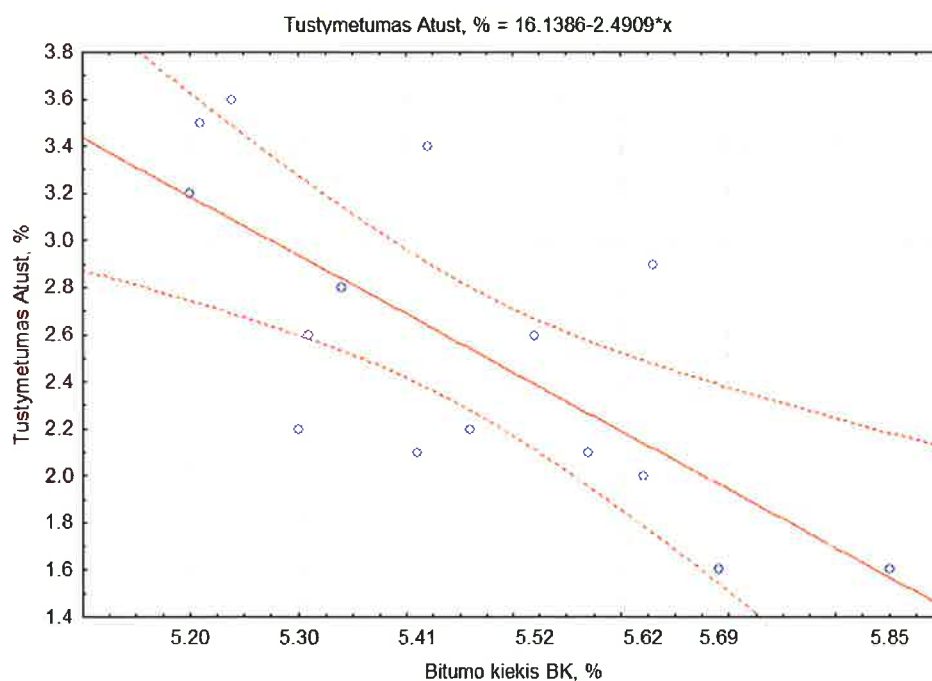
3.45 pav. Bitumo dinaminės klampos ir tuštymėtumo rodiklio sietis

Asfaltbetonio tuštymėtumo ir bitumo kiekio sietis (AC 11VS su B50/70):

$$\text{Tuštymėtumas } A_T = 16,139 - 2,491 \cdot B_K$$

Koreliacijos koef. – 0,7269

$$R^2 = 0,5284$$



3.46 pav. Bitumo kiekio ir tuštymėtumo rodiklio sietis

Pagal atliktas ir pateiktas 3.33–3.46 pav. koreliacines regresines nustatyta galudi sietis tarp gautų rezultatų, dydžiai yra tiesiškai priklausomi. Glaudžiausia sietis nustatyta tarp asfaltbetonio pastovumo ir bitumo kiekio, tarp asfaltbetonio takumo ir bitumo kinematinės klampos. Koreliacijos koeficiento vertės svyruoja nuo $R = -0,63$ iki $R = -0,87$, o rodiklio R^2 vertės nuo $R^2 = 0,4$ iki $R^2 = 0,76$. Likusios priklausomybės pateiktos darbo prieduose, kadangi jų koreliacinis ryšys yra silpnas.

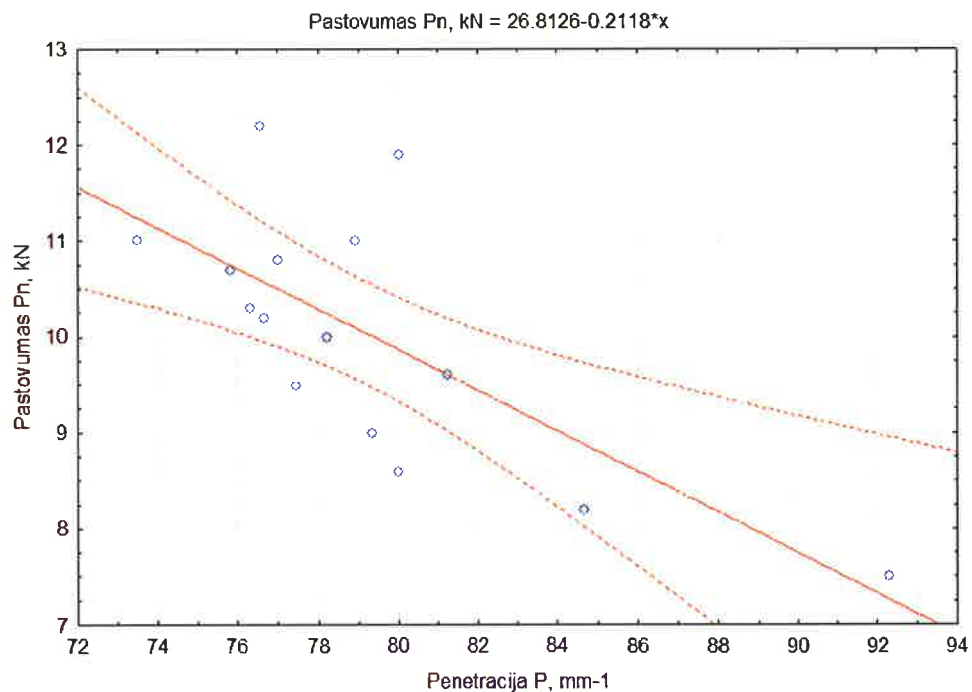
Toliau pateikti bitumo B70/100 ir asfaltinio mišinio AC VN 11 su šiuo bitumu regresinės analizės rezultatai (3.47 – 3.57 pav.).

Asfaltbetonio pastovumo ir bitumo penetracijos sietis (AC 11VN su B70/100):

Pastovumas $P_N = 26,813 - 0,212 \cdot P$

Koreliacijos koef. $-0,716$

$R^2 = 0,5126$



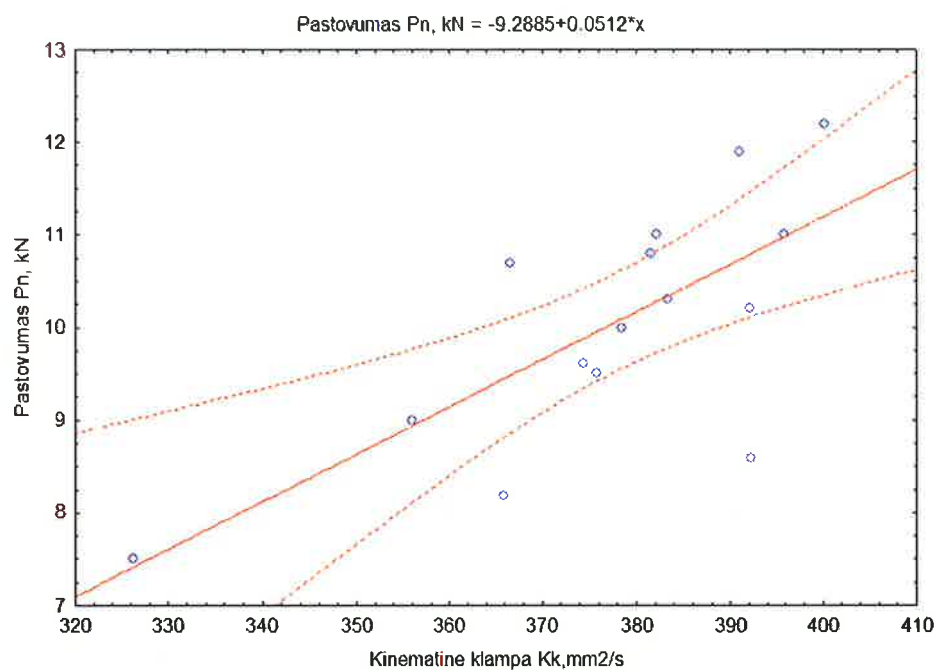
3.47 pav. Bitumo penetracijos ir asfaltbetonio pastovumo pagal Maršalą sietis

Asfaltbetonio pastovumo ir bitumo kinematinės klampos sietis (AC 11VN su B70/100):

$$\text{Pastovumas } P_N = -9,289 + 0,051 \cdot K_K$$

Koreliacijos koef. 0,7226

$$R^2 = 0,5221$$



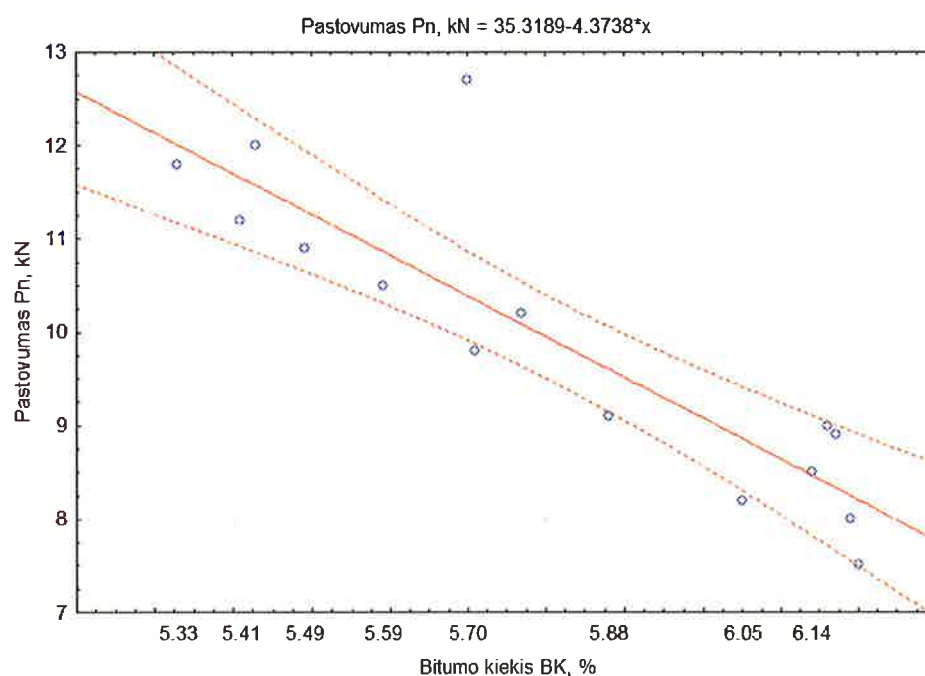
3.48 pav. Bitumo kinematinės klampos ir asfaltbetonio pastovumo pagal Maršalą sietis

Asfaltbetonio pastovumo ir bitumo kiekio sietis (AC 11VN su B70/100):

$$\text{Pastovumas } P_N = 35,3189 - 4,374 \cdot B_K$$

Koreliacijos koef. -0,8753

$$R^2 = 0,7662$$



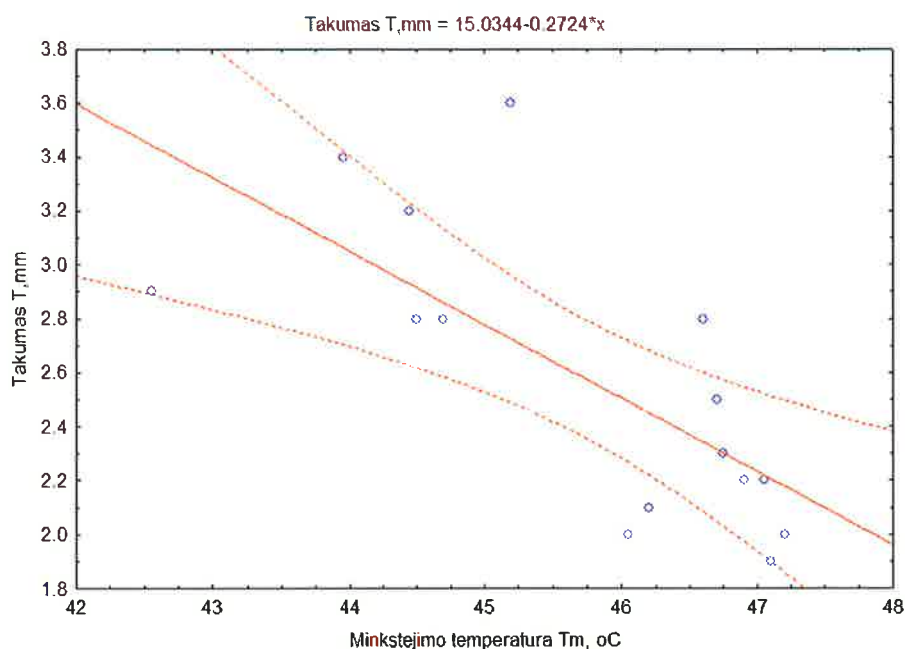
3.49 pav. Bitumo kiekio ir asfaltbetonio pastovumo pagal Maršalą sietis

Asfaltbetonio takumo ir bitumo minkštėjimo temperatūros sietis (AC 11VN su B70/100):

$$\text{Takumas } T = 15,034 - 0,272 \cdot T_M$$

Koreliacijos koef. -0,7130

$$R^2 = 0,5083$$



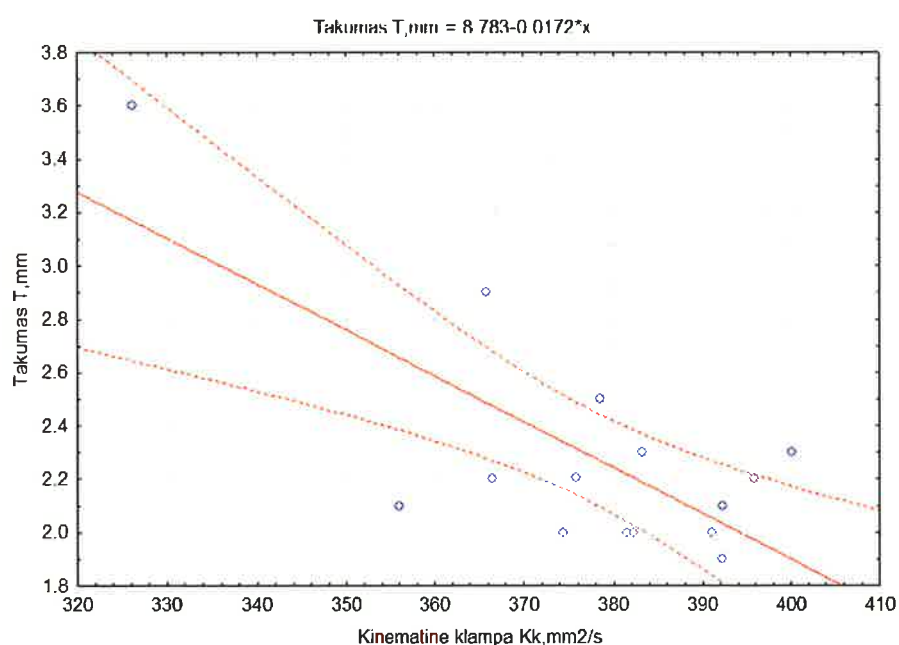
3.50 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir asfaltbetonio takumo pagal Maršalą sietis

Asfaltbetonio takumo ir bitumo kinematinės klampos sietis (AC 11VN su B70/100):

$$\text{Takumas } T = 8,78 - 0,017 \cdot K_K$$

Koreliacijos koef. -0,7303

$$R^2 = 0,5333$$



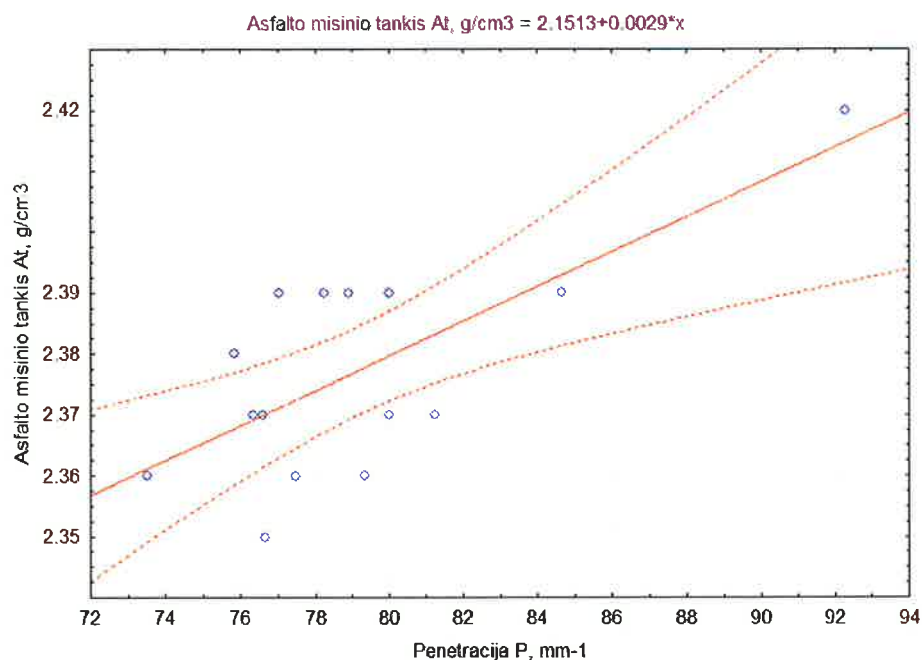
3.51 pav. Bitumo kinematinės klampos ir asfaltbetonio takumo pagal Maršalą sietis

Asfaltbetonio mišinio tankio ir bitumo penetracijos sietis (AC 11VN su B70/100):

$$\text{Tankis } A_T = 2,151 + 0,003 \cdot P$$

Koreliacijos koef. 0,7129

$$R^2 = 0,5083$$



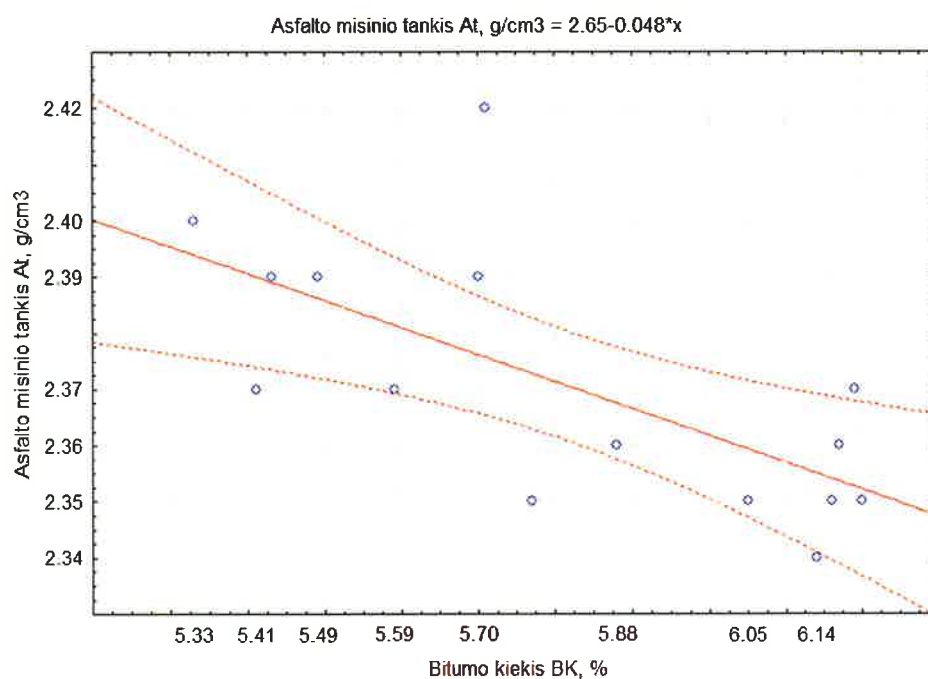
3.52 pav. Bitumo penetracijos ir asfaltinio mišinio tankio sietis

Asfaltbetonio mišinio tankio ir bitumo kiekio sietis (AC 11VN su B70/100):

$$\text{Tankis } A_T = 2,65 - 0,048 \cdot B_K$$

Koreliacijos koef. – 0,6724

$$R^2 = 0,4522$$



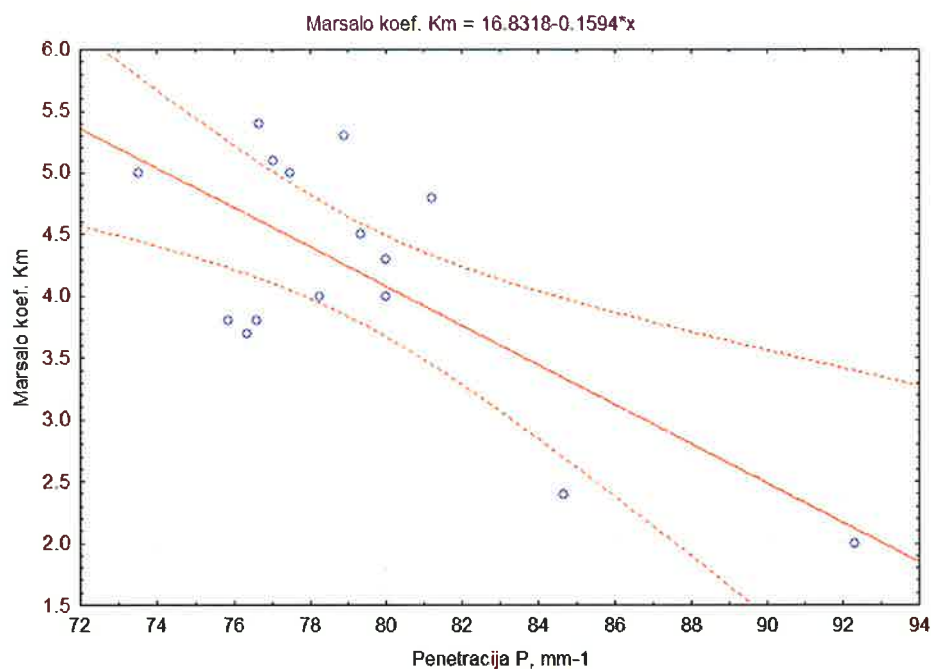
3.53 pav. Bitumo kiekio ir asfaltinio mišinio tankio sietis

Maršalo koeficiento ir bitumo penetracijos sietis (AC 11VN su B70/100):

Maršalo koef. $K_M = 16,832 - 0,159 \cdot P$

Koreliacijos koef. $-0,7152$

$R^2 = 0,5116$



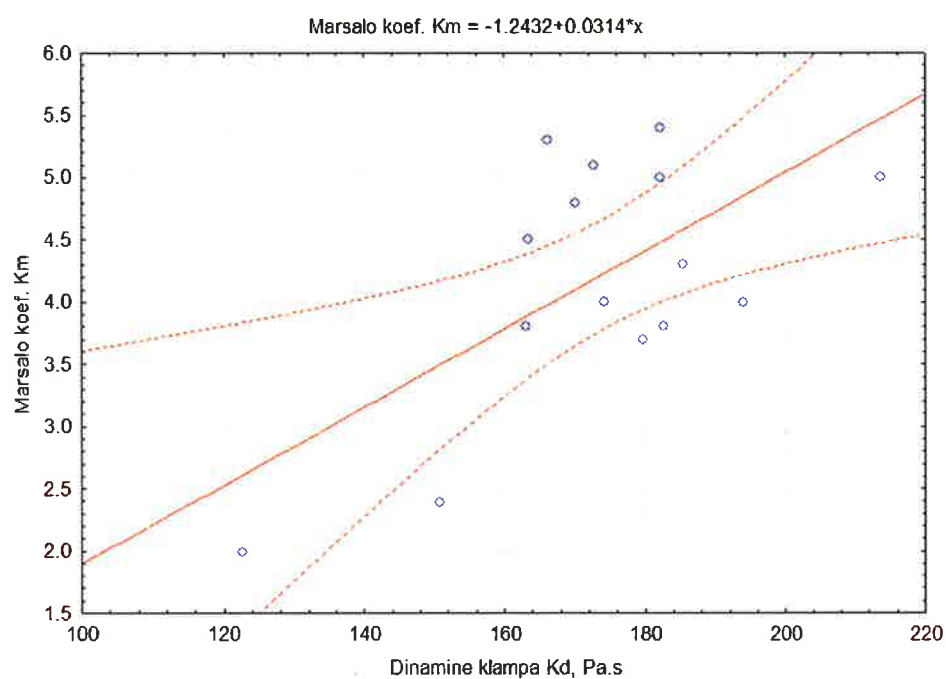
3.54 pav. Bitumo penetracijos ir Marašalo koef. sietis

Maršalo koeficiento ir bitumo dinaminės klampos sietis (AC 11VN su B70/100):

Maršalo koef. $K_M = -1,243 + 0,031 \cdot K_D$

Koreliacijos koef. $0,6422$

$R^2 = 0,4124$



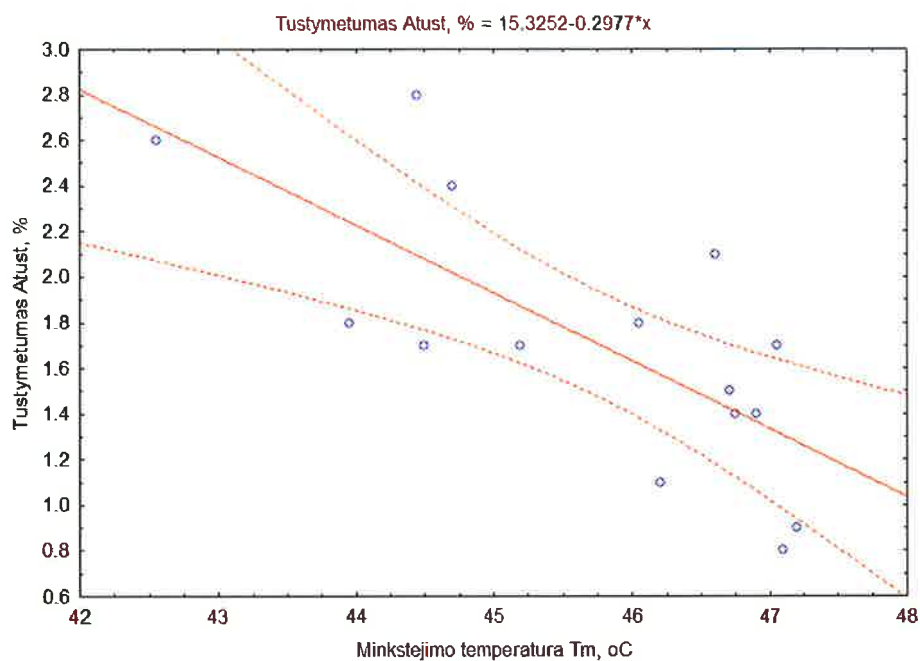
3.55 pav. Bitumo dinaminės klampos ir Marašalo koef. sietis

Asfaltbetonio tuštymėtumo ir bitumo minkštėjimo temperatūros sietis (AC 11VN su B70/100):

$$\text{Tuštymėtumas } A_T = 15,325 - 0,298 \cdot T_M$$

Koreliacijos koef. -0,725

$$R^2 = 0,5257$$



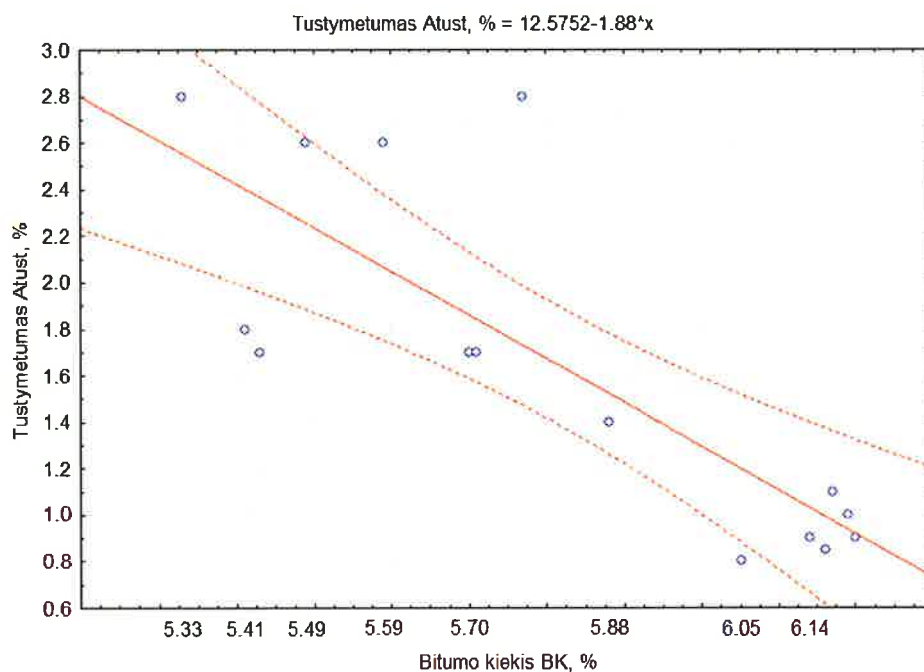
3.56 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir tuštymėtumo rodiklio sietis

Asfaltbetonio tuštymėtumo ir bitumo kiekio sietis (AC 11VN su B70/100):

$$\text{Tuštymėtumas } A_T = 12,575 - 1,88 \cdot B_K$$

Koreliacijos koef. -0,8071

$$R^2 = 0,6514$$



3.57 pav. Bitumo kiekio ir tuštymėtumo rodiklio sietis

Pagal atliktas ir pateiktas 3.47–3.57 pav. koreliacines regresines nustatyta galudi sietis tarp gautų rezultatų, dydžiai yra tiesiškai priklausomi. Koreliacijos koeficiento vertės svyruoja nuo $R = -0,64$ iki $R = -0,87$, o rodiklio R^2 vertės nuo $R^2 = 0,41$ iki $R^2 = 0,64$. Likusios priklausomybės pateiktos darbo prieduose, kadangi jų koreliacinis ryšys yra silpnas.

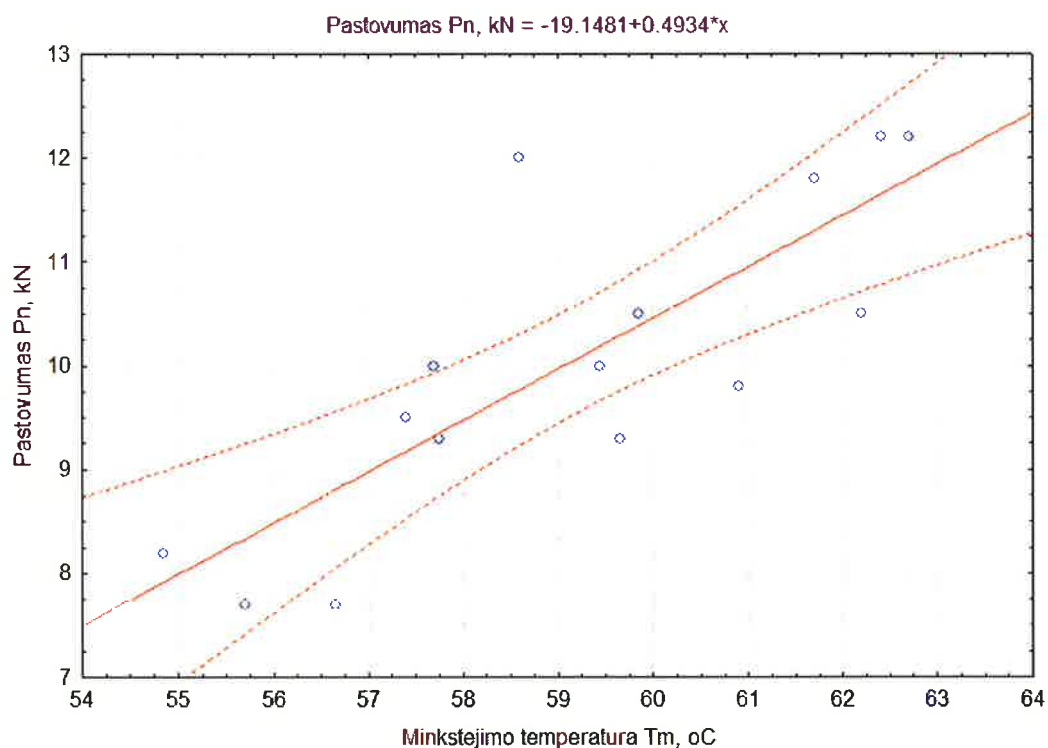
Toliau pateikiami polimerais modifikuoto bitumo PMB 45/80-55E ir skaldos ir mastikos asfalto SMA 11 S su šiuo bitumu regresinės analizės rezultatai (3.58 – 3.68 pav.)

Pastovumo ir bitumo minkštėjimo temperatūros sietis (SMA 11S su PMB45/80-55E):

$$\text{Pastovumas } P_N = -19,148 + 0,493 \cdot T_M$$

Koreliacijos koef. 0,8073

$$R^2 = 0,6417$$



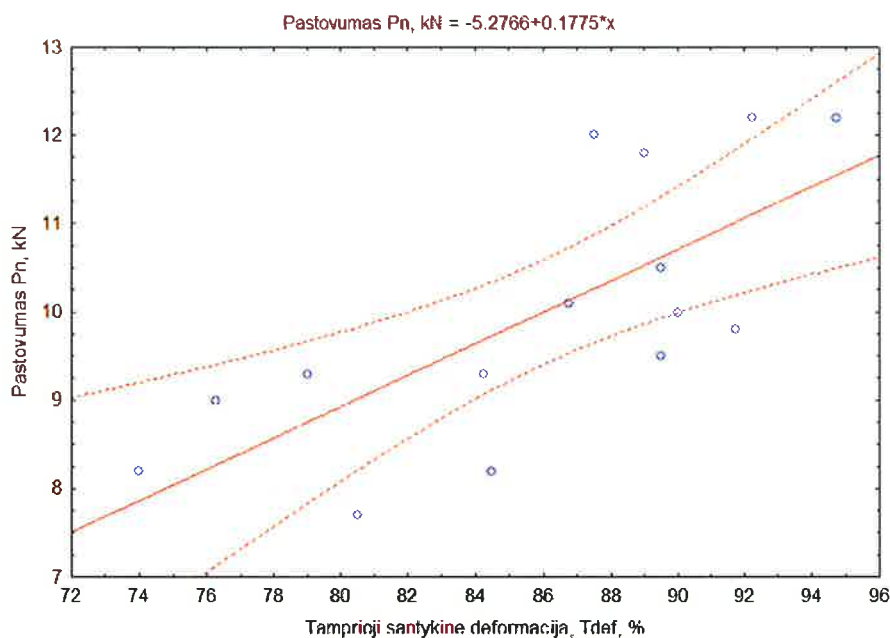
3.58 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir skaldos ir mastikos asfalto pastovumo pagal Maršalą sietis

Pastovumo ir bitumo tampriosios santykinės deformacijos sietis (SMA 11S su PMB45/80-55E):

$$\text{Pastovumas } P_N = -5,277 + 0,178 \cdot T_{\text{def}}$$

Koreliacijos koef. 0,7278

$$R^2 = 0,5298$$



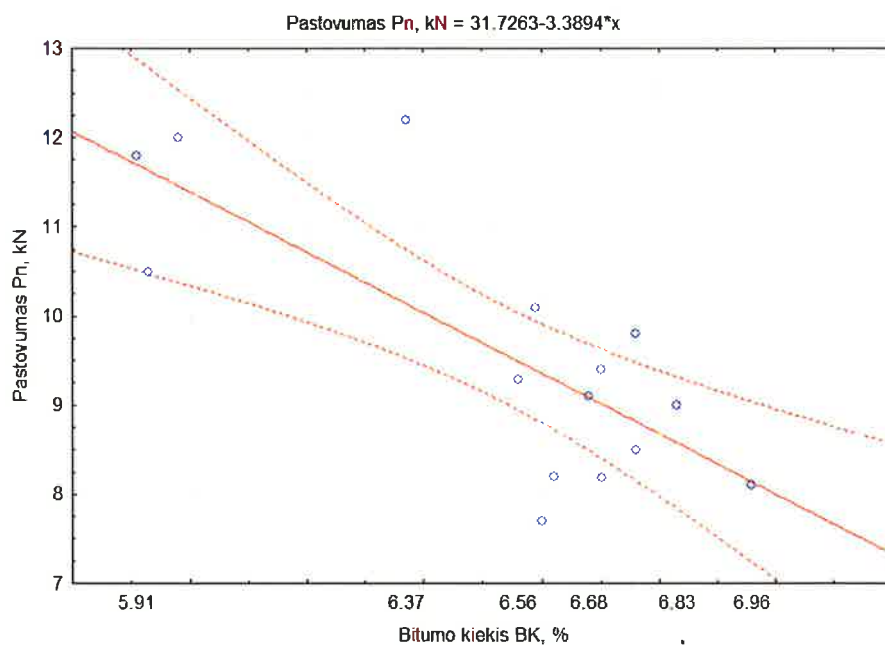
3.59 pav. Bitumo tampriosios santykinės deformacijos ir skaldos ir mastikos asfalto pastovumo pagal Maršalą sietis

Pastovumo ir bitumo kiekio sietis (SMA 11S su PMB45/80-55E):

$$\text{Pastovumas } P_N = 31,726 - 3,389 \cdot B_K$$

Koreliacijos koef. -0,7683

$$R^2 = 0,5902$$



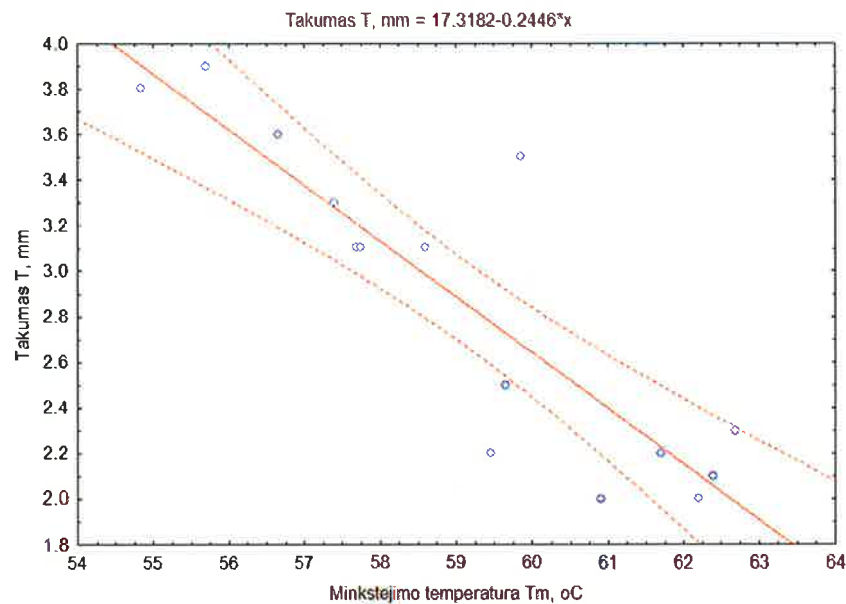
3.60 pav. Bitumo kiekio ir skaldos ir mastikos asfalto pastovumo pagal Maršalą sietis

Takumo ir bitumo minkštėjimo temperatūros sietis (SMA 11S su PMB45/80-55E):

$$\text{Takumas } T = 17,318 - 0,245 \cdot T_M$$

Koreliacijos koef. -0,8838

$$R^2 = 0,7811$$



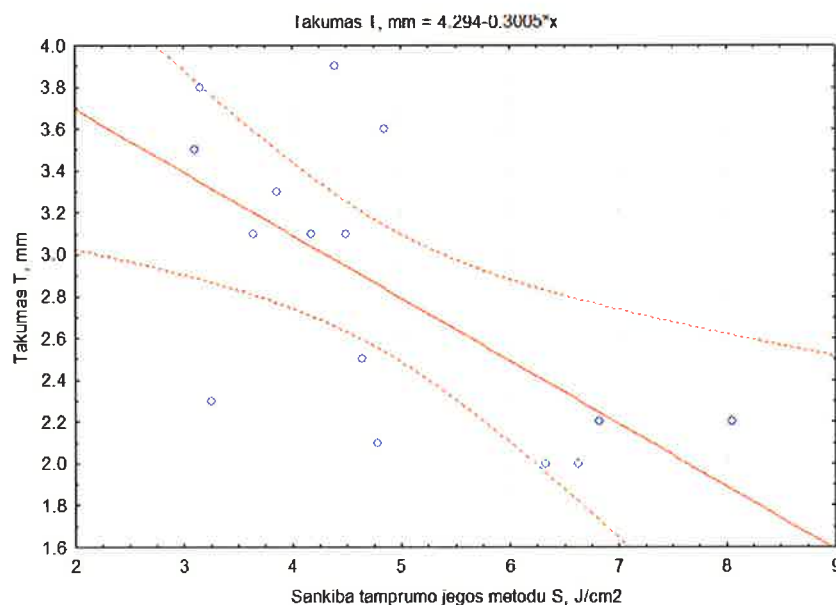
3.61 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir skaldos ir mastikos asfalto takumo pagal Maršalą sietis

Takumo ir bitumo sankibos tamprumo jėgos metodu sietis (SMA 11S su PMB45/80-55E):

$$\text{Takumas } T = 4,294 - 0,301 \cdot S$$

Koreliacijos koef. - 0,6490

$$R^2 = 0,4211$$



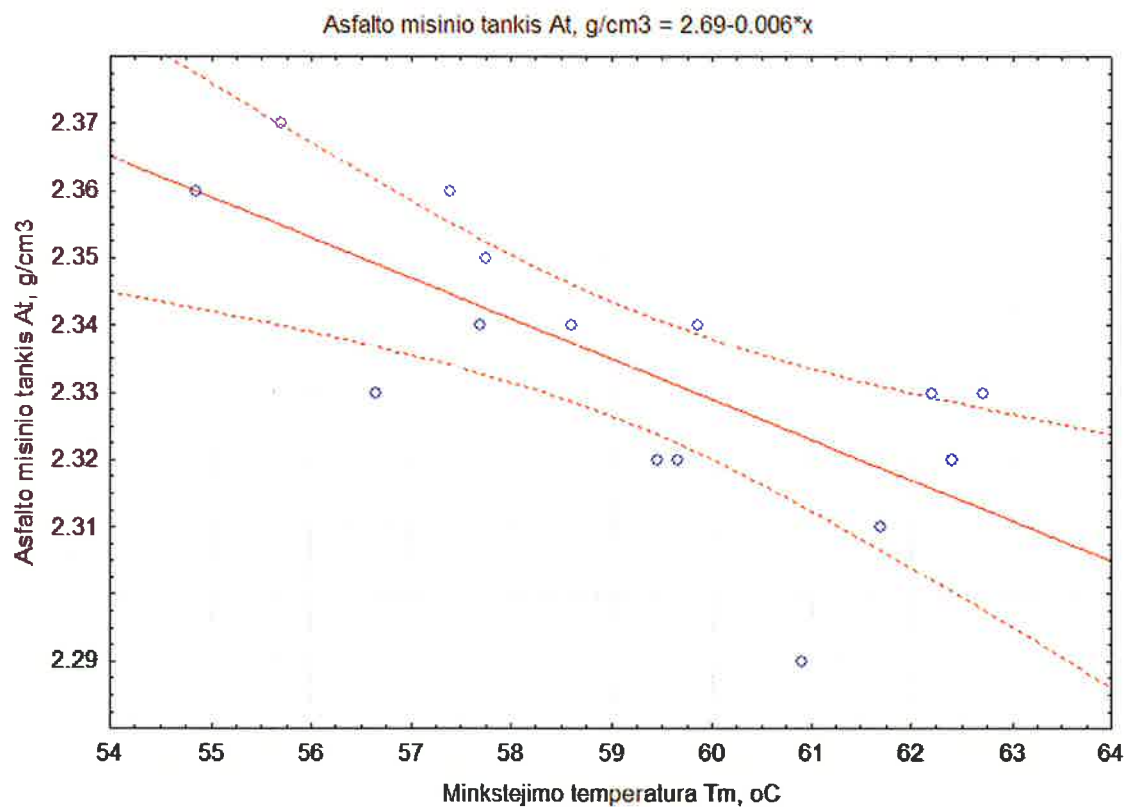
3.62 pav. Bitumo sankibos tamprumo jėgos metodu ir skaldos ir mastikos asfalto takumo pagal Maršalą sietis

Skaldos ir mastikos asfalto mišinio tankio ir bitumo minkštėjimo temperatūros sietis (SMA 11S su PMB45/80-55E):

$$\text{Tankis } A_T = 2,69 - 0,006 \cdot T_M$$

Koreliacijos koef. 0,7147

$$R^2 = 0,5108$$



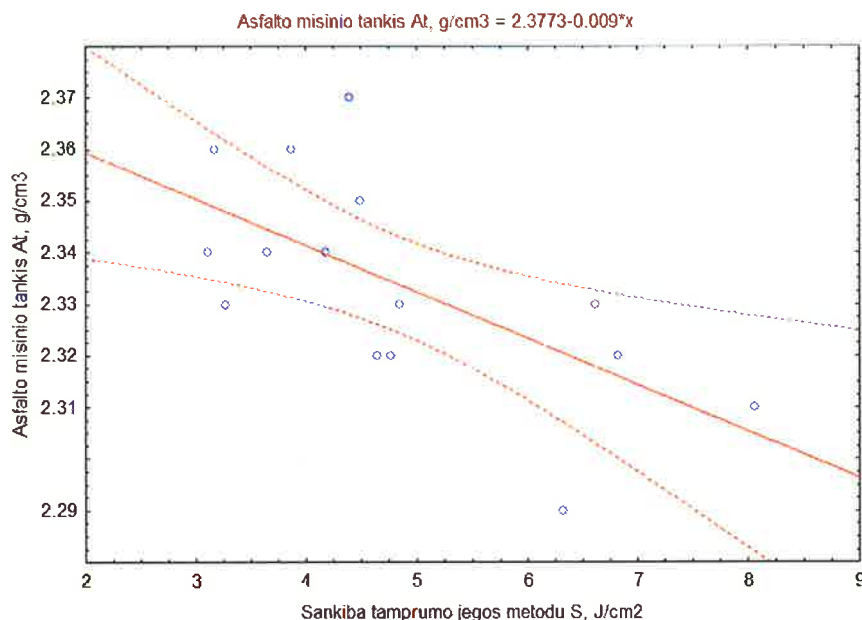
3.63 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir skaldos ir mastikos asfaltinio mišinio tankio sietis

Skaldos ir mastikos asfalto mišinio tankio ir bitumo sankibos tamprumo jėgos metodu sietis (SMA 11S su PMB45/80-55E):

$$\text{Tankis } A_T = 2,377 - 0,009 \cdot S$$

Koreliacijos koef. 0,6382

$$R^2 = 0,4073$$



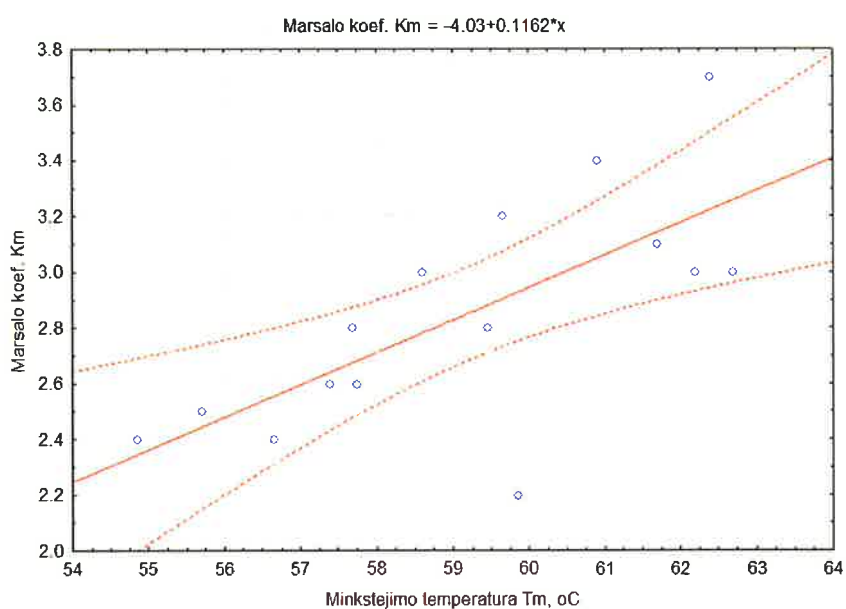
3.64 pav. Bitumo sankibos tamprumo jėgos metodu ir skaldos ir mastikos asfaltinio mišinio tankio sietis

Maršalo koeficiento ir bitumo minkštėjimo temperatūros sietis (SMA 11S su PMB45/80-55E):

$$\text{Maršalo koef. } K_M = -4,03 + 0,116 \cdot T_M$$

Koreliacijos koef. 0,7058

$$R^2 = 0,4981$$



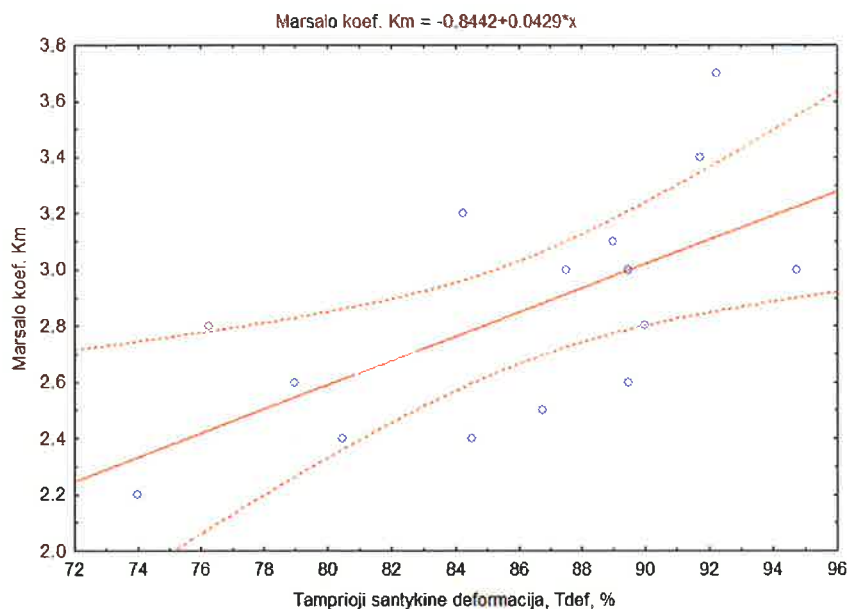
3.65 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir Maršalo koef. sietis

Maršalo koeficiento ir bitumo tampriosios santykinės deformacijos sietis (SMA 11S su PMB45/80-55E):

Maršalo koef. $K_M = -0,8442 + 0,0429 \cdot T_{\text{def}}$

Koreliacijos koef. 0,6405

$R^2 = 0,4102$



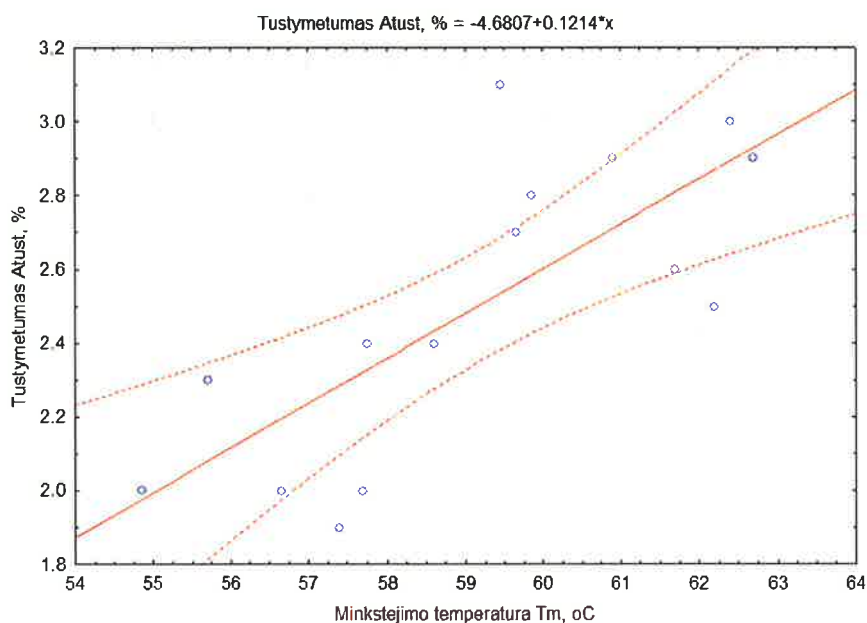
3.66 pav. Bitumo tampriosios santykinės deformacijos ir Maršalo koef. sietis

Asfalto mišinio tuštymėtumo ir bitumo minkštėjimo temperatūros sietis (SMA 11S su PMB45/80-55E):

Tuštymėtumas $A_T = -4,681 + 0,1214 \cdot T_M$

Koreliacijos koef. 0,756

$R^2 = 0,5716$



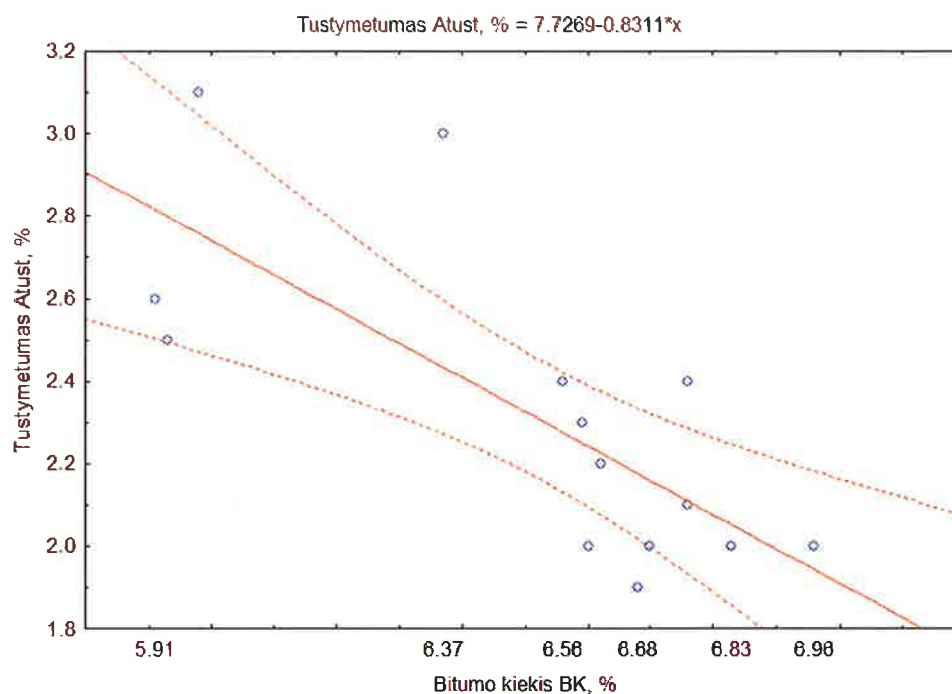
3.67 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir tuštymėtumo rodiklio sietis

Asfalto mišinio tuštymėtumo ir bitumo kiekio sietis (SMA 11S su PMB45/80-55E):

Tuštymėtumas $A_T = 7,727 - 0,831 \cdot B_K$

Koreliacijos koef. – 0,743

$R^2 = 0,5522$



3.68 pav. Bitumo kiekio ir tuštymėtumo rodiklio sietis

Pagal atliktas ir pateiktas 3.48–3.68 pav. koreliacines regresines nustatyta galudi sietis tarp gautų rezultatų, dydžiai yra tiesiškai priklausomi.. Glaudžiausia sietis nustatyta tarp asfaltbetonio pastovumo ir bitumo penetracijos, tarp asfaltbetonio takumo ir bitumo minkštėjimo temperatūros. Koreliacijos koeficiento vertės svyruoja nuo $R = -0,63$ iki $R = -0,88$, o rodiklio R^2 vertės nuo $R^2 = 0,40$ iki $R^2 = 0,78$. Likusios priklausomybės pateiktos darbo prieduose, kadangi jų koreliacinis ryšys yra silpnas.

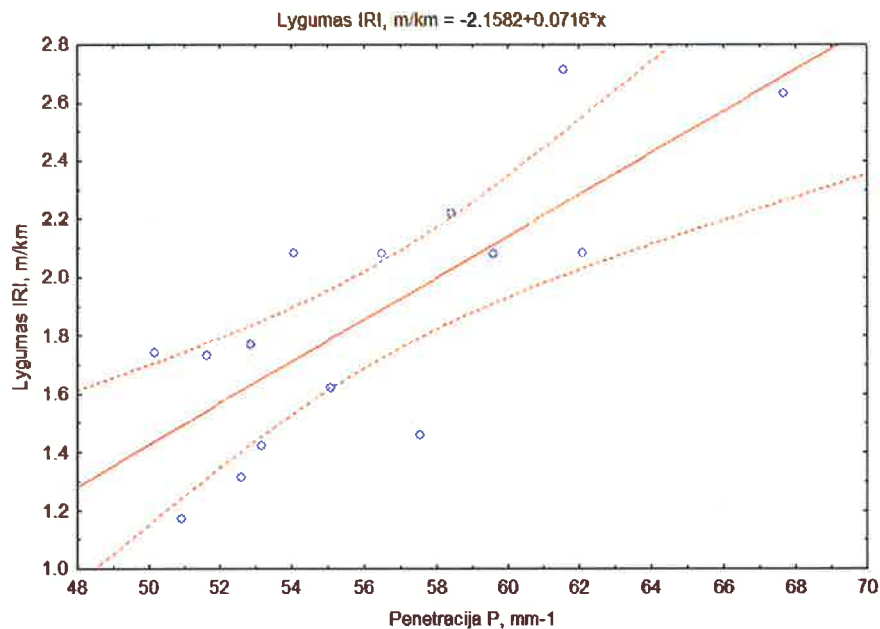
Toliau pateiktos koreliacinės priklausomybės tarp dangos lygumo rodiklio IRI ir polimerais modifikuoto bitumo PMB 45/80-55E (kuris buvo panaudotas skaldos ir mastikos asfaltinio mišinio SMA 11 S įrengimui tirtame ruože) (3.69 – 3.73 pav.)

Dangos lygumo rodiklio ir bitumo penetracijos sietis:

$$\text{Lygumas IRI} = -2,158 + 0,072 \cdot P_N$$

Koreliacijos koef. – 0,7759

$$R^2 = 0,6020$$



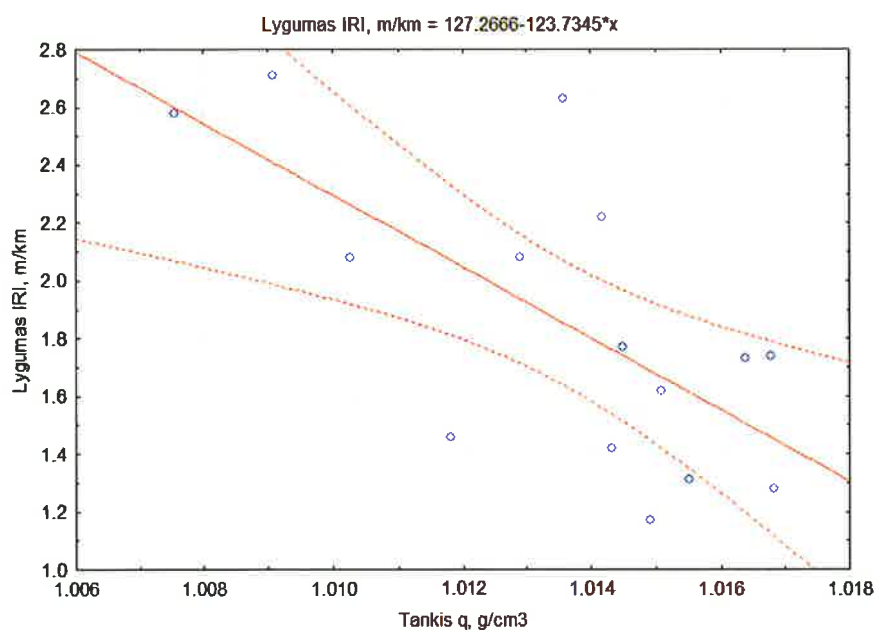
3.69 pav. Dangos lygumo ir bitumo penetracijos sietis

Dangos lygumo rodiklio ir bitumo tankio sietis:

$$\text{Lygumas IRI} = 127,266 - 123,734 \cdot q$$

Koreliacijos koef. – 0,6786

$$R^2 = 0,4604$$



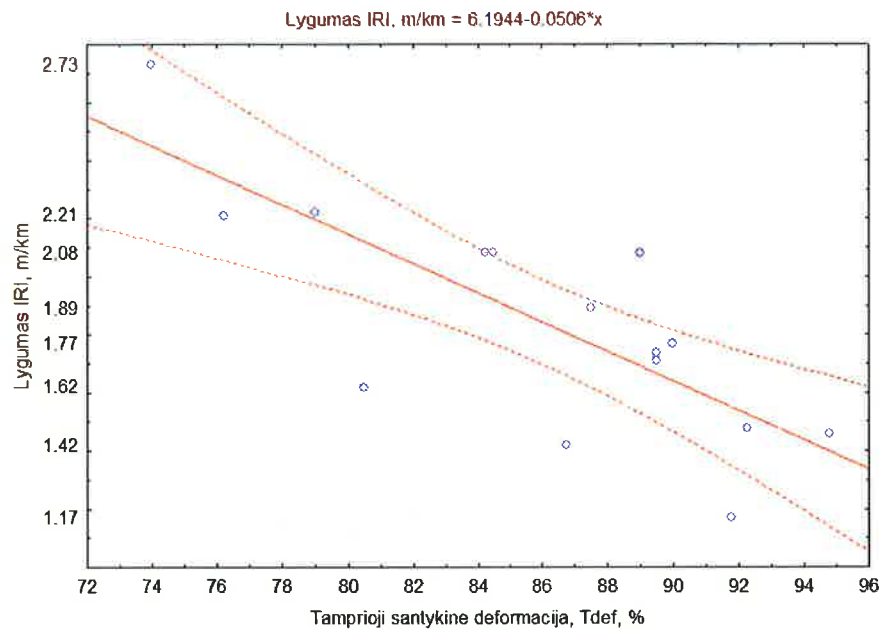
3.70 pav. Dangos lygumo ir bitumo tankio sietis

Dangos lygumo rodiklio ir bitumo tampriosios santykinės deformacijos sietis:

$$\text{Lygumas IRI} = 6,194 - 0,0506 \cdot T_{\text{def}}$$

Koreliacijos koef. – 0,7765

$$R^2 = 0,6030$$



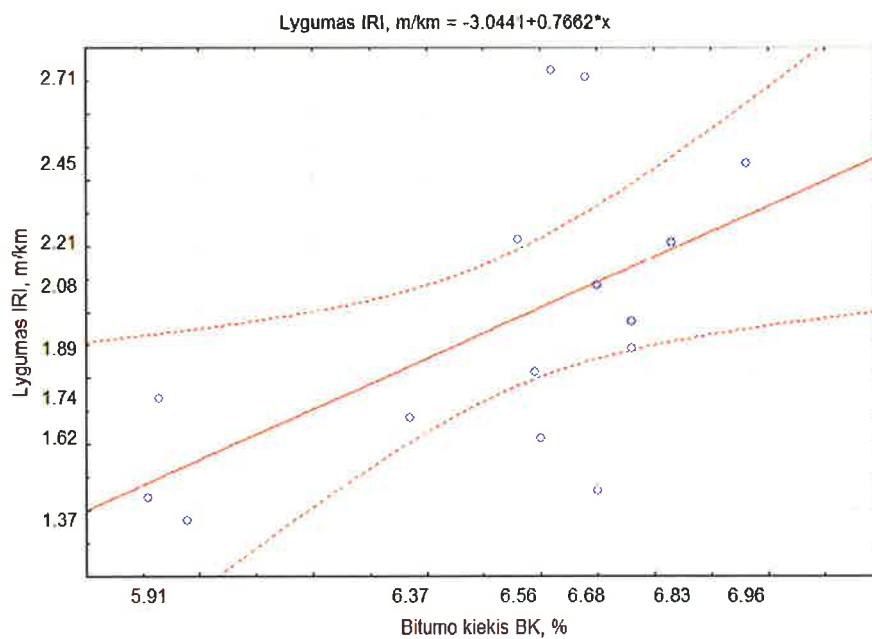
3.71 pav. Dangos lygumo ir bitumo tampriosios santykinės deformacijos sietis

Dangos lygumo rodiklio ir bitumo kiekio sietis:

$$\text{Lygumas IRI} = -3,044 + 0,766 \cdot B$$

Koreliacijos koef. 0,5834

$$R^2 = 0,3404$$



3.72 pav. Dangos lygumo ir bitumo kiekio sietis

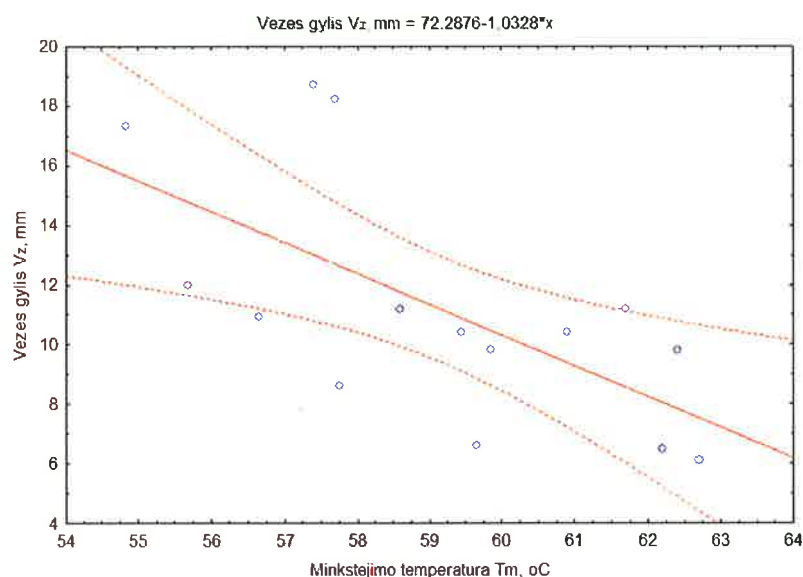
Toliau pateiktos koreliacinės priklausomybės tarp dangos vėžės gylio V_z ir polimerais modifikuoto bitumo PMB 45/80-55E (kuris buvo panaudotas skaldos ir mastikos asfaltinio mišinio SMA 11 S įrengimui tirtame ruože) (3.73 – 3.76 pav.)

Dangos vėžės gylio ir bitumo minkštėjimo temperatūros sietis:

$$V_z = 72,287 - 1,032 \cdot T_M$$

Koreliacijos koef. – 0,6428

$$R^2 = 0,4132$$



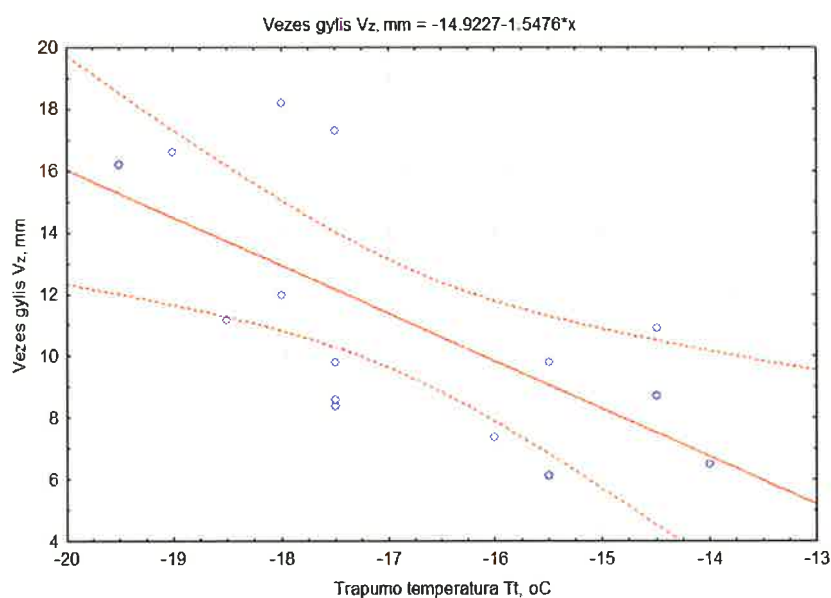
3.73 pav. Dangos vėžės gylio ir bitumo minkštėjimo temperatūros sietis

Dangos vėžės gylio ir bitumo trapumo temperatūros sietis:

$$V_z = -14,922 - 1,547 \cdot T_T$$

Koreliacijos koef. – 0,6655

$$R^2 = 0,4429$$



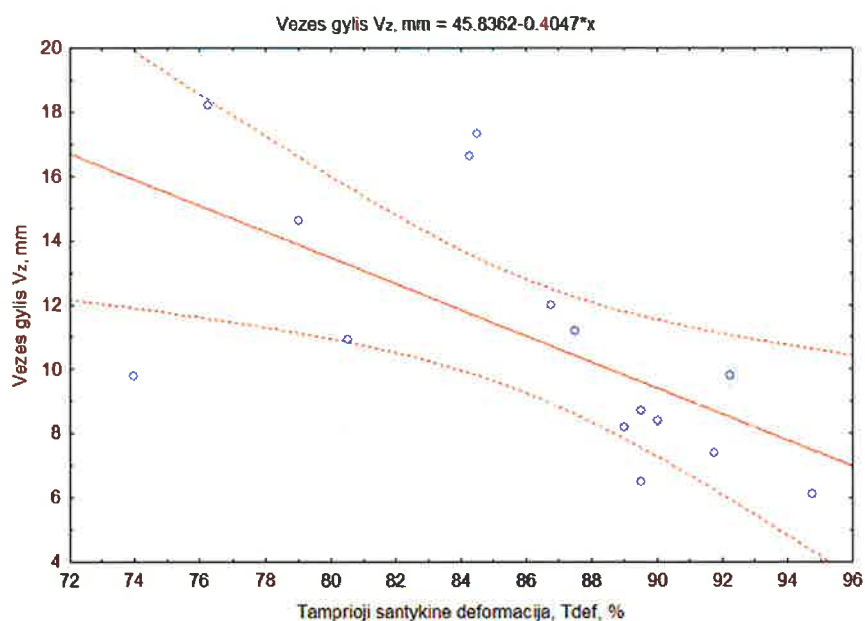
3.74 pav. Dangos vėžės gylio ir bitumo trapumo temperatūros sietis

Dangos vėžės gylis ir bitumo tampriosios santykinės deformacijos sietis:

$$V_{\text{ž}} = 45,836 - 0,4047 \cdot T_{\text{def}}$$

Koreliacijos koef. – 0,6294

$$R^2 = 0,3962$$



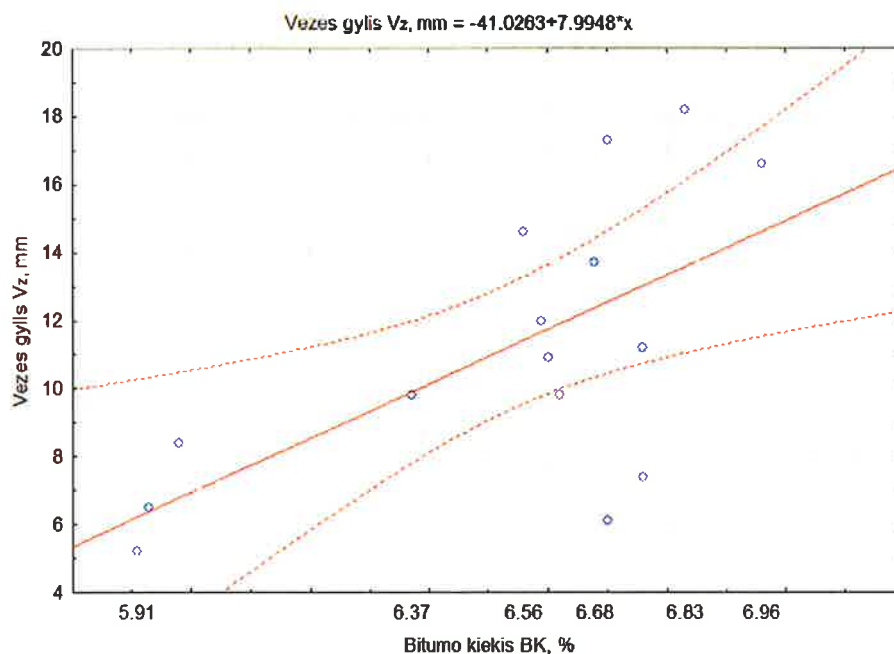
3.75 pav. Dangos vėžės gylis ir bitumo tampriosios santykinės deformacijos sietis

Dangos vėžės gylis ir bitumo kiekio sietis:

$$V_{\text{ž}} = -41,026 + 7,994 \cdot B$$

Koreliacijos koef. – 0,6371

$$R^2 = 0,4060$$



3.76 pav. Dangos vėžės gylis ir bitumo kiekio sietis

3.3 Skyriaus išvados

Atlikus tyrimus bitumų ir asfaltbetonio savybių tyrimus gauti šie rezultatai:

- Nustatyta automobilių kelių bitumų (PMB 45/80-55E, B50/70, B70/100) savybių rodiklių sistis;
- Nustatyta asfaltbetonio mišinių kokybės rodiklių ir bitumo savybių bei bitumo kiekio sistis;
- Nustatyta kelio dangos eksploatacinių rodiklių ir bitumo savybių bei bitumo kiekio sistis.

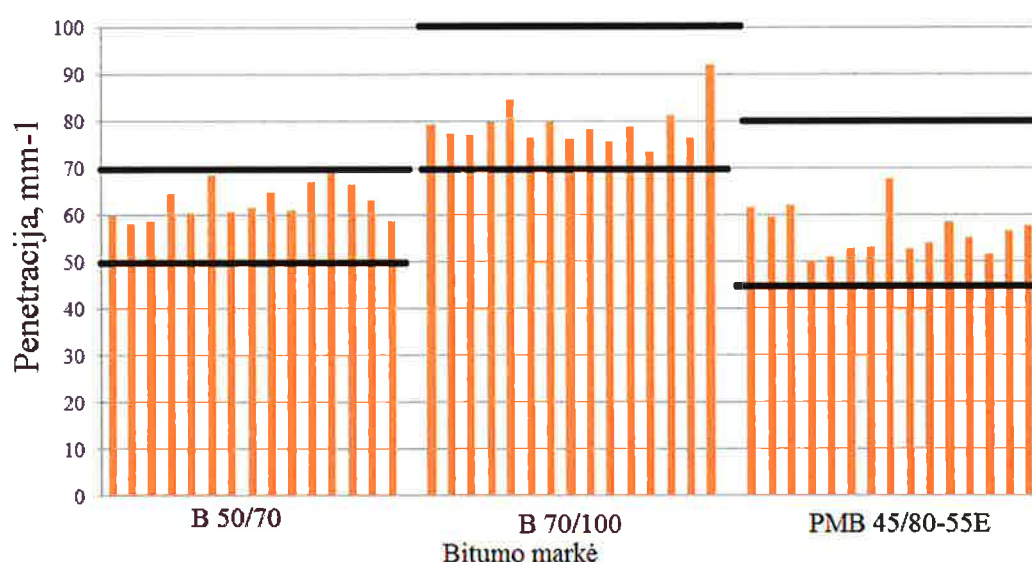
Apdorojus rezultatus bei nustačius tarp šių rodiklių koreliacines regresines priklausomybes, galima daryti šias išvadas:

1. Pagal gautus kelių bitumo B 50/70 savybių bandymų rezultatus ir nustatytas priklausomybes, paaiškėjo, kad geriausia sistis yra tarp penetracijos ir minkštėjimo temperatūros bei tarp minkštėjimo temperatūros ir kinematinės klamos;
2. Pagal gautus kelių bitumo B 70/100 savybių bandymų rezultatus ir nustatytas priklausomybes, paaiškėjo, kad geriausia sistis yra tarp penetracijos ir minkštėjimo temperatūros bei tarp kinematinės ir dinaminės klamos;
3. Pagal gautus polimerais modifikuoto bitumo PMB 45/80-55E savybių bandymų rezultatus ir nustatytas priklausomybes, paaiškėjo, kad geriausia sistis yra tarp penetracijos ir minkštėjimo temperatūros bei tarp penetracijos ir santykinės tampriosios deformacijos;
4. Atlikus asfaltinio mišinio AC 11 VS su B50/70 bitumu tyrimus, paaiškėjo, kad asfaltbetonio pastovumui didžiausią įtaką daro bitumo kiekis, asfaltbetonio takumui – bitumo kinematinė klampa, asfalto mišinio tankiui – bitumo minkštėjimo temperatūra, asfaltbetonio oro tuštymių kiekiui – bitumo kiekis.
5. Atlikus asfaltinio mišinio AC 11 VN su B70/100 bitumu tyrimus, paaiškėjo, kad asfaltbetonio pastovumui didžiausią įtaką daro bitumo kiekis, asfaltbetonio takumui – bitumo kinematinė klampa, asfalto mišinio tankiui – bitumo penetracija, asfaltbetonio oro tuštymių kiekiui – bitumo kiekis.
6. Atlikus skaldos ir mastikos asfalto mišinio SMA 11S su PMB 45/80-55E bitumu tyrimus, paaiškėjo, kad visus asfaltbetonio dangos eksploatacinius rodiklius labiausiai veikia bitumo minkštėjimo temperatūra.
7. Ištyrus dangos lygumo rodiklio IRI priklausomybę nuo bitumo, panaudoto asfaltiniam mišiniui pagaminti, kokybės rodiklių, nustatyta, kad didžiausią įtaką lygumo rodikliui IRI turi bitumo penetracija ir tamprioji santykinė deformacija.
8. Ištyrus dangos vėžės gylio priklausomybę nuo bitumo, panaudoto asfaltiniam mišiniui pagaminti, kokybės rodiklių, nustatyta, kad didžiausią įtaką vėžės gyliui turi bitumo trapumo temperatūra ir bitumo kiekis.

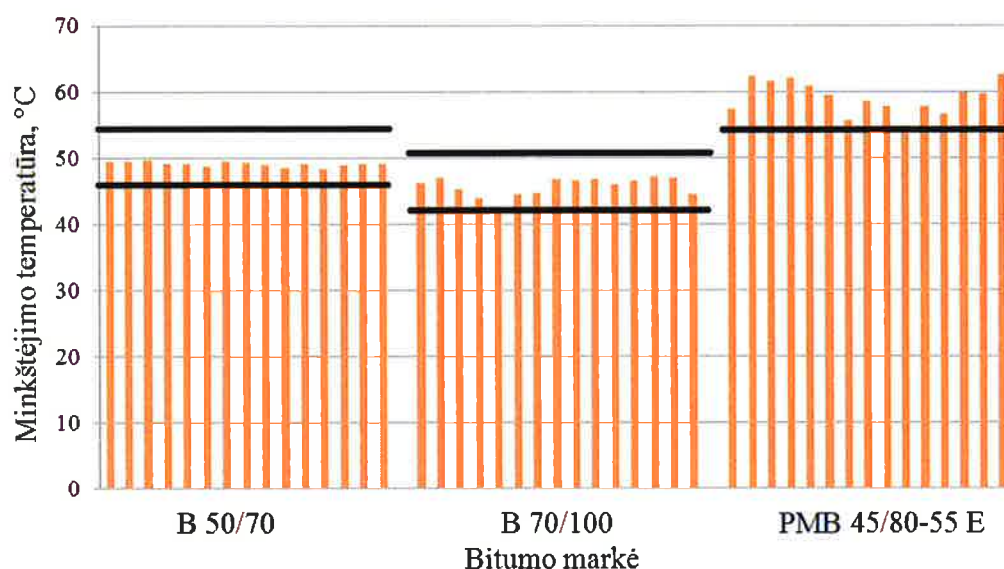
4. BITUMO, NAUDOJAMO MAGISTRALINIŲ KELIŲ ASFALTBETONIO DANGOS ĮRENGIMUI, KOKYBĖS RODIKLIŲ IR JŲ ĮTAKOS DANGOS EKSPLOATACINIAMS RODIKLIAMS VERTINIMAS

4.1. Bitumo savybių vertinimas

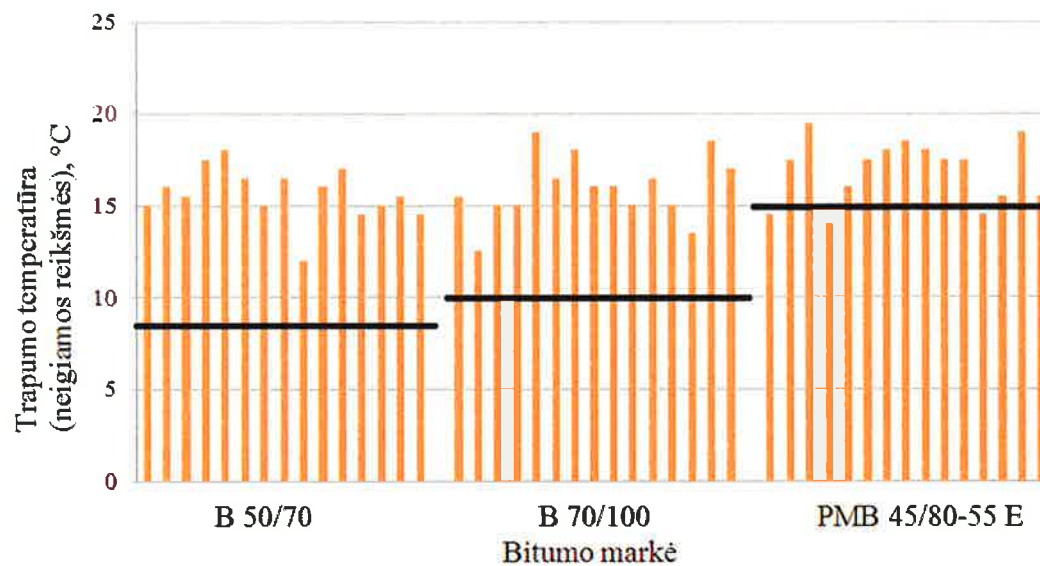
Bitumo kokybę nusako tokie pagrindiniai rodikliai: penetracija, minkštėjimo temperatūra, kinematinė klampa, dinaminė klampa, trapumo temperatūra, bitumo tankis, tamprioji santykinė deformacija, sankiba tamprumo jėgos metodu ir kt. Šiame darbe buvo išnagrinėti visi šie bitumo kokybės rodikliai. 4.1 – 4.8 pav. pateiktos diagramos, kuriose matyti bitumo tyrimų rezultatų kitimas.



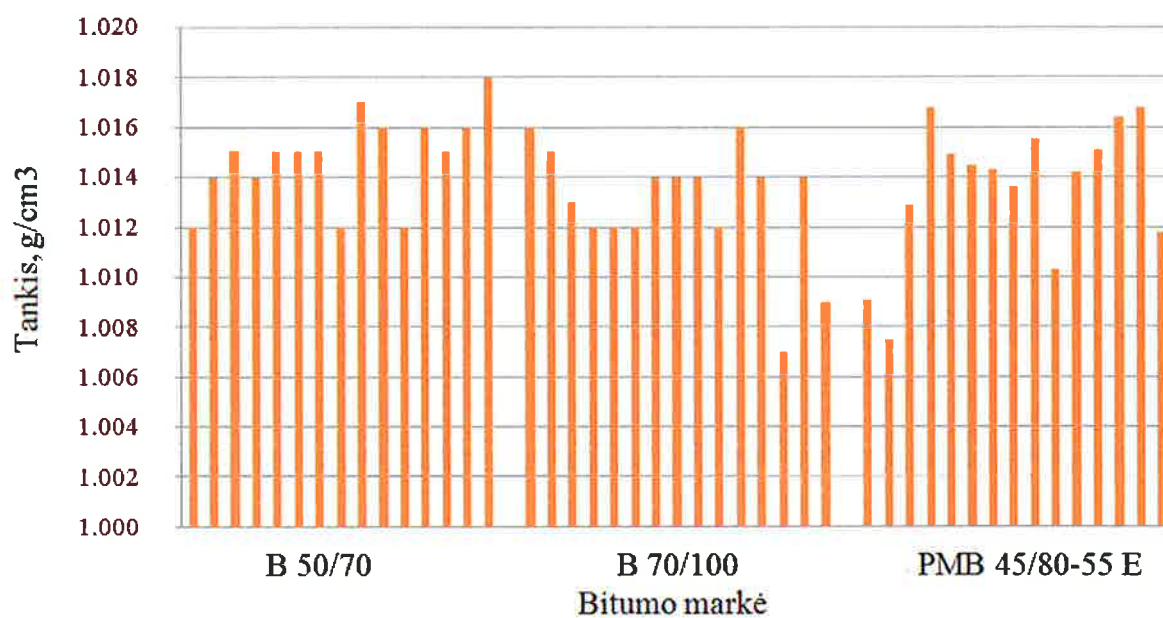
4.1 pav. Bitumo savybės – penetracijos tyrimų rezultatų kitimas



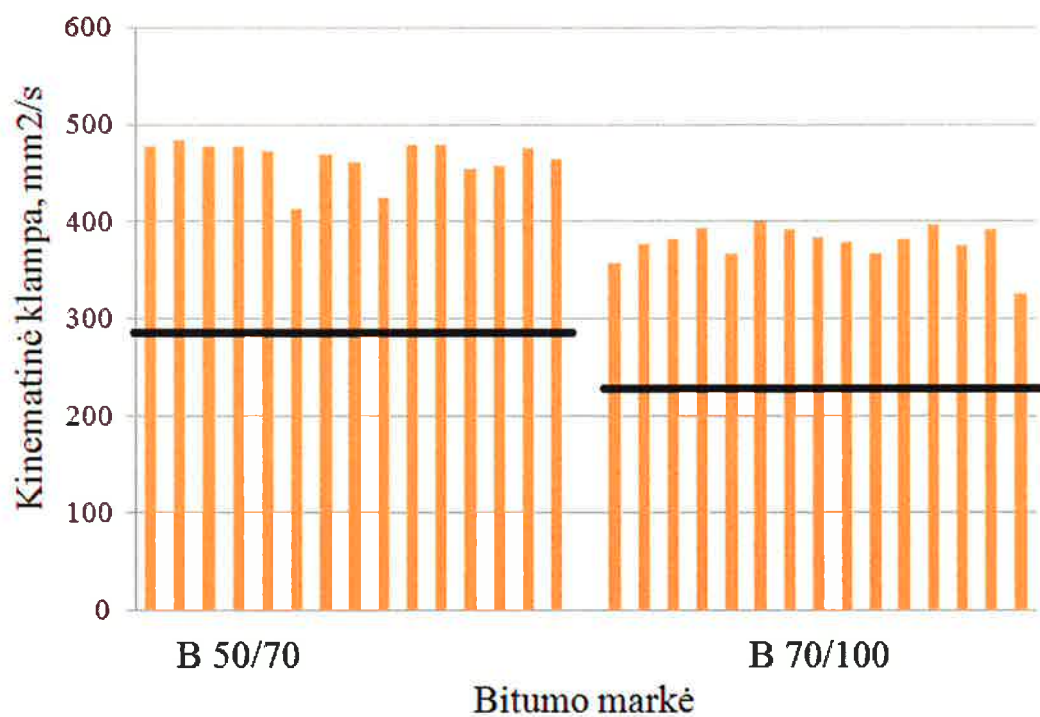
4.2 pav. Bitumo savybės – minkštėjimo temperatūros tyrimų rezultatų kitimas



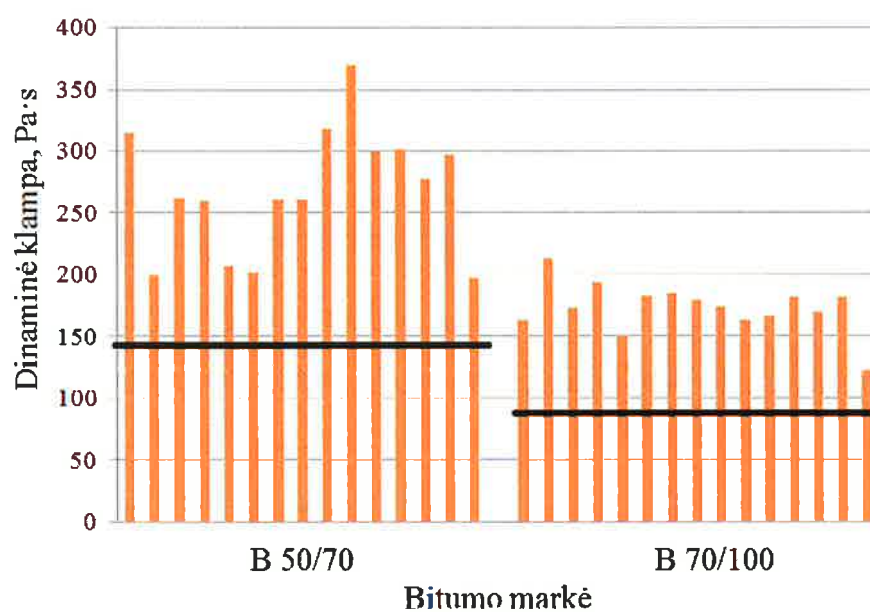
4.3 pav. Bitumo savybės – trapumo temperatūros tyrimų rezultatų kitimas



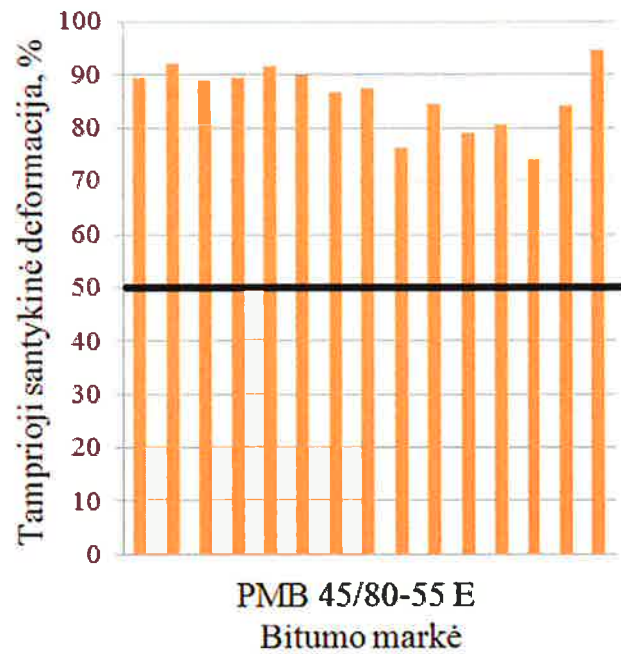
4.4 pav. Bitumo savybės – bitumo tankio tyrimų rezultatų kitimas



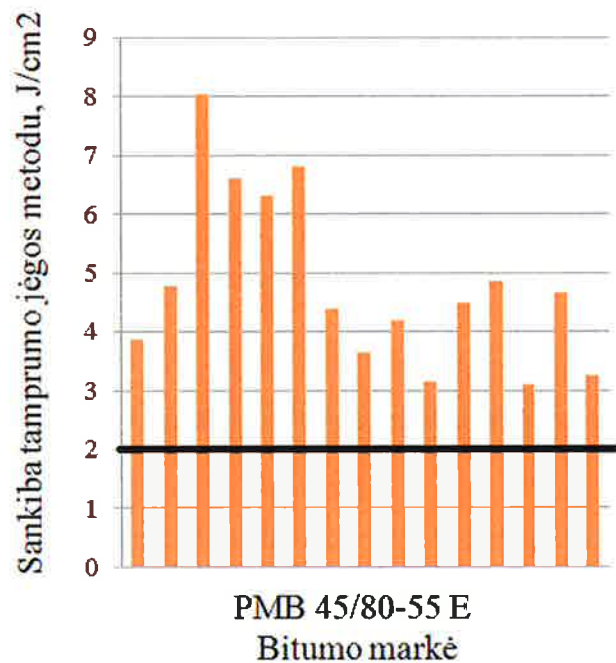
4.5 pav. Bitumo savybės – kinematinės klamos tyrimų rezultatų kitimas



4.6 pav. Bitumo savybės – dinaminės klamos tyrimų rezultatų kitimas



4.7 pav. Bitumo savybės – tampriosios santykinės deformacijos tyrimų rezultatų kitimas



4.8 pav. Bitumo savybės – sankibos tamprumo jėgos metodu tyrimų rezultatų kitimas

Pagal 4.1–4.8 pav. pateiktas diagramas matome bitumo savybių tyrimų rezultatų kitimą. Didėjant penetracijos vertėms, mažėja minkštėjimo temperatūros, tankio, kinematinės klampos ir dinaminės klampos vertės, nežymiai didėja trapumo temperatūros tyrimų rezultatai.

Priklausomybės tarp penetracijos, minkštėjimo temperatūros ir kitų bitumo kokybės rodiklių daugybinė regresinė analizė atlikta naudojant statistinį paketą „Statistica“ (4.1 – 4.6 priklausomybės)

Kelių bitumas B50/70

$$P_N = 127,95 - 53,16T_M - 1319,65q - 273,21K_K + 0,012T_t - 1,82K_D; \quad (4.1)$$

$$R^2 = 0,791;$$

$$T_M = 13,78 - 19,22P_N - 225,87T_t - 1,11q + 0,81K_K - 0,023K_D; \quad (4.2)$$

$$R^2 = 0,638;$$

Kelių bitumas B70/100

$$P_N = 89,73 - 100,08T_M - 1258,01q - 73,1K_K + 0,82T_t - 165,3K_D; \quad (4.3)$$

$$R^2 = 0,745;$$

$$T_M = -53,18 - 1,22P_N + 379,28T_t - 69,18q + 0,058K_K - 15,23K_D; \quad (4.4)$$

$$R^2 = 0,619;$$

Polimerais modifikuotas bitumas PMB 45/80-55E

$$P_N = 1,54 - 148,29T_M - 852,19q + 2012,85T_{def} + 1,56T_t + 0,095S; \quad (4.5)$$

$$R^2 = 0,804;$$

$$T_M = -458,72 - 165,21P_N - 1188,23q + 1,25T_{def} + 18,61S + 0,058T_t; \quad (4.6)$$

$$R^2 = 0,599;$$

Čia :

P_N – bitumo penetracija, mm^{-1} ;

T_M – bitumo minkštėjimo temperatūra, $^{\circ}\text{C}$;

q – bitumo tankis, g/cm^3 ;

T_t – bitumo trapumo temperatūra, $^{\circ}\text{C}$;

K_K – bitumo kinematinė klampa, mm^2/s ;

K_D – bitumo dinaminė klampa, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

T_{def} – bitumo tamprioji santykinė deformacija, %;

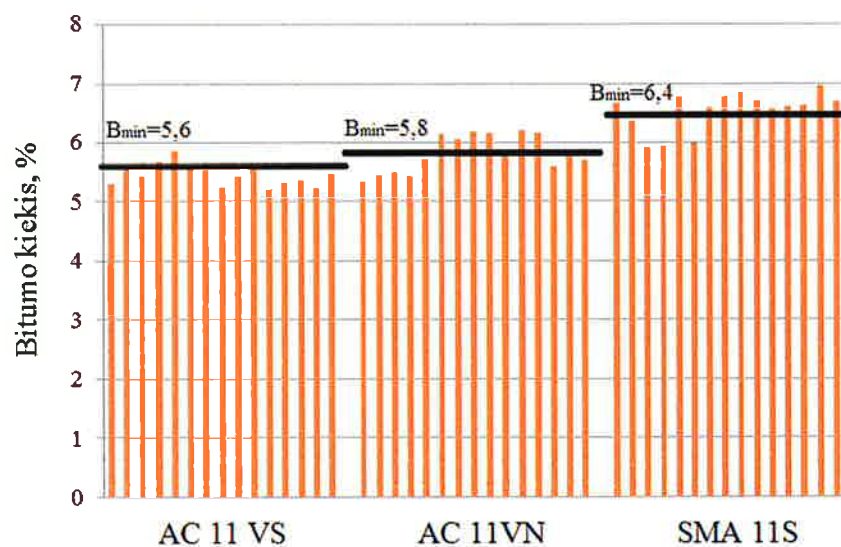
S – bitumo sankiba tamprumo jėgos metodu, J/cm^2 .

Pagal šias formules galima teigti, kad daugiausia įtakos penetracijai turi bitumo tankis, o minkštėjimo temperatūrai – trapumo temperatūra kelių bitumams ir tankis polimerais modifikuotiems bitumams.

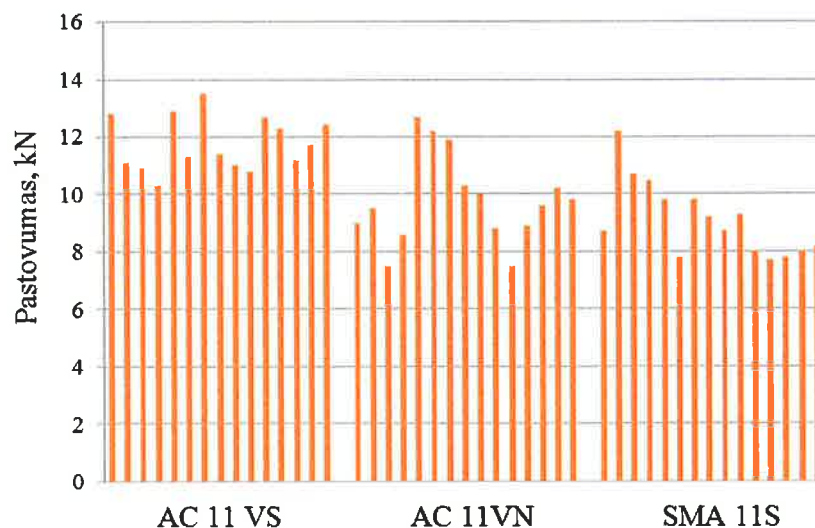
4.2. Bitumo savybių ir bitumo kiekio įtakos dangos kokybės rodikliams vertinimas

Bitumo savybės bei bitumo kiekis asfaltbetonio mišinyje įtakoja jo eksploatacinius rodiklius. Didinant bitumo kiekį, mišinio stipris didėja tik iki tam tikros ribos. Jei dar padidinsime bitumo kiekį, asfaltbetonio stipris sumažės. Bitumo kiekis laikomas optimaliu, kai asfaltbetonis įgauna didžiausią stiprį ir kitus geriausius savybių rodiklius. Bitumo rūšis bei bitumo savybės taip pat įtakoja asfaltbetonio mišinio savybes. Didėjant minkštėjimo temperatūrai padidėja ir mišinio pastovumas, o esant dideliai bitumo penetracijai didėja ir mišinio plastiškumo (takumo) rodiklis.

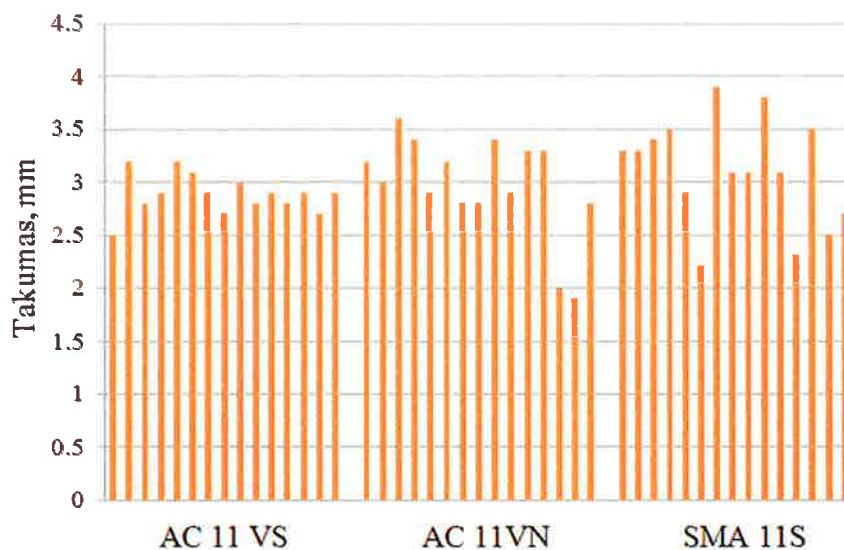
4.9 – 4.14 pav. pateiktos diagramos, kuriose matyti bitumo kiekio ir asfalto mišinio kokybės rodiklių kitimas. Kadangi nagrinėjami asfaltbetonio mišiniai paimti iš gamyklos, todėl bitumo kiekio ir asfalto mišinio fizinių bei mechaninių rodiklių kitimas nurodytas skirtingiems asfaltiniams mišiniams.



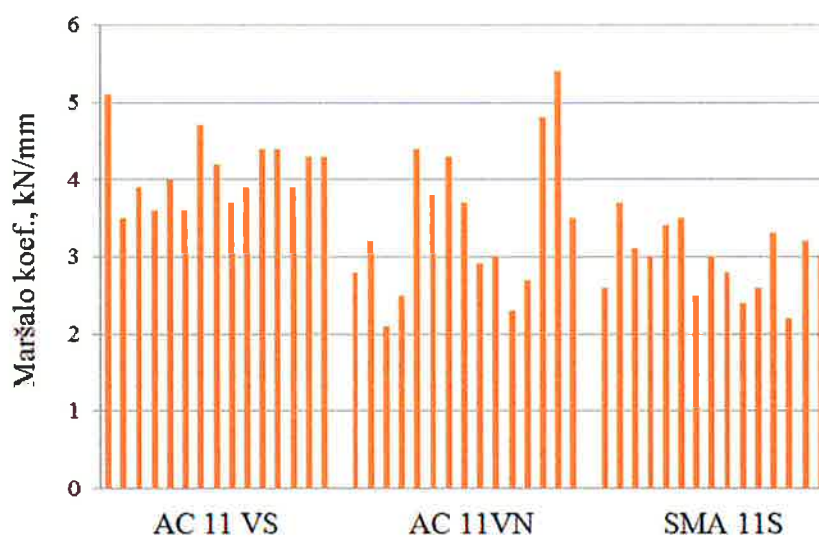
4.9 pav. Bitumo kiekio reikšmių kitimas (pagal asfaltbetonio mišinių tipus)



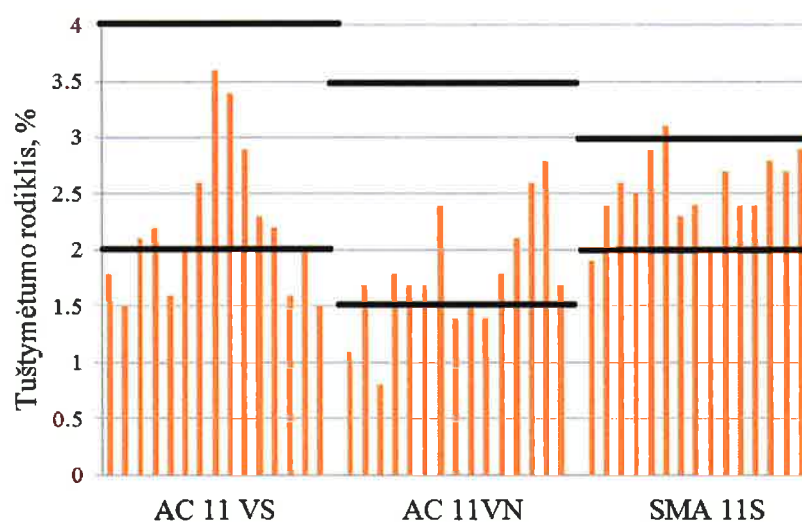
4.10 pav. Pastovumo reikšmių kitimas (pagal asfaltbetonio mišinių tipus)



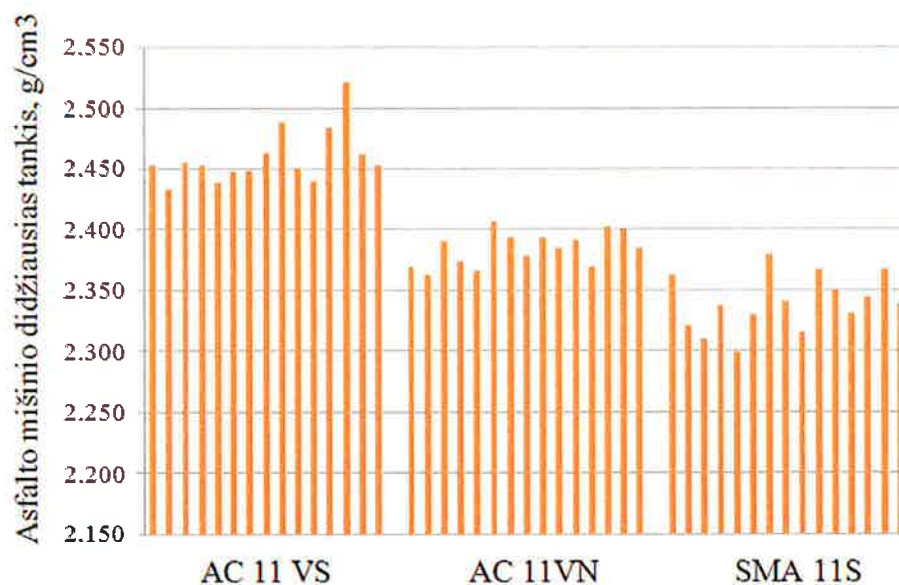
4.11 pav. Takumo reikšmių kitimas (pagal asfaltbetonio mišinių tipus)



4.12 pav. Maršalo koef. reikšmių kitimas (pagal asfaltbetonio mišinių tipus)

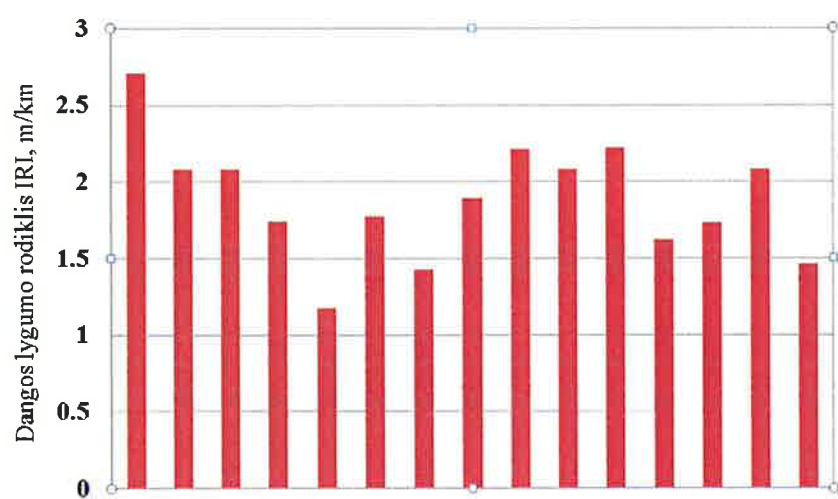


4.13 pav. Tušymetumo rodiklio kitimas (pagal asfaltbetonio mišinių tipus)

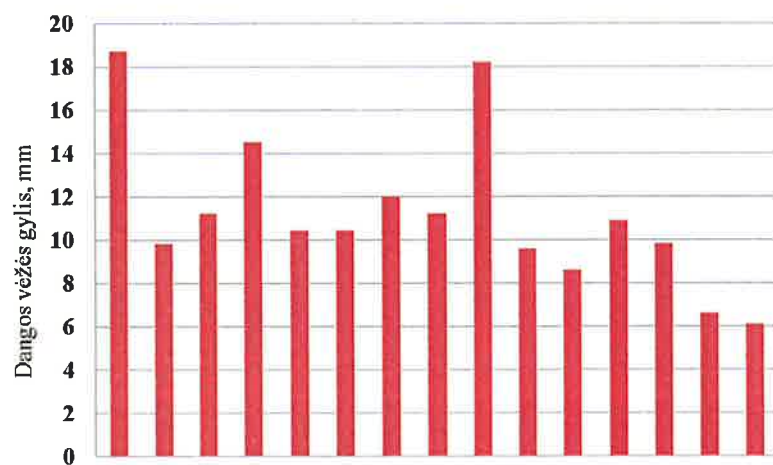


4.14 pav. Asfalto mišinio didžiausias tankis (pagal asfaltbetonio mišinio tipus)

4.15 – 4.16 pav. pateiktos diagramos, kuriose matyti dangos lygumo rodiklio IRI ir vėžės gylio kitimas tirtame ruože.



4.15 pav. Dangos lygumo rodiklio IRI kitimas tirtame ruože



4.16 pav. Dangos vėžės gylio kitimas tirtame ruože

4.1 – 4.3 lentelėse pateikiamos pagrindinės bitumo kiekio ir asfaltbetonio mišinio kokybės rodiklių statistinės vertės: vidurkis, standartinis nuokrypis, minimumas ir maksimumas.

4.1 lentelė. Bitumo kiekio ir asfaltbetonio mišinio (AC 11 VS) kokybės rodiklių statistinės vertės.

	Pastovumas, kN	Takumas, mm	Maršalo koef., kN/mm	Asfaltbetonio tuštymėtumo rodiklis, %	Bitumo kiekis, %	Asfalto mišinio didžiausias tankis, g/cm ³
Imtis	15	15	15	15	15	15
Vidurkis	9,77	2,97	3,42	1,77	5,81	2,459
Standartinis nuokrypis	1,55	0,48	0,95	0,54	0,32	0,72
Minimumas	7,5	1,9	2,1	0,8	5,33	2,433
Maksimumas	12,7	3,6	5,4	2,8	6,20	2,521

4.2 lentelė. Bitumo kiekio ir asfaltbetonio mišinio (AC 11 VS) kokybės rodiklių statistinės vertės.

	Pastovumas, kN	Takumas, mm	Maršalo koef., kN/mm	Asfaltbetonio tuštymėtumo rodiklis, %	Bitumo kiekis, %	Asfalto mišinio didžiausias tankis, g/cm ³
Imtis	15	15	15	15	15	15
Vidurkis	11,75	2,89	4,09	2,22	5,45	2,384
Standartinis nuokrypis	0,94	0,19	0,45	0,65	0,19	0,25
Minimumas	10,3	2,5	3,5	1,5	5,20	2,366
Maksimumas	13,5	3,2	5,1	3,6	5,85	2,407

4.3 lentelė. Bitumo kiekio ir asfaltbetonio mišinio (SMA 11S) kokybės rodiklių statistinės vertės.

	Pastovumas, kN	Takumas, mm	Maršalo koef., kN/mm	Asfaltbetonio tuštymėtumo rodiklis, %	Bitumo kiekis, %	Asfalto mišinio didžiausias tankis, g/cm ³
Imtis	15	15	15	15	15	15
Vidurkis	9,09	3,11	2,97	2,53	6,53	2,339
Standartinis nuokrypis	1,31	0,51	0,43	0,33	0,33	0,56
Minimumas	7,7	2,2	2,2	1,9	5,91	2,299
Maksimumas	12,2	3,9	3,7	3,1	6,96	2,379

Priklausomybės tarp bitumo savybių, bitumo kiekio bei asfaltbetonio mišinio kokybės rodiklių pastovumo, takumo, tuštymėtumo ir dangos eksploatacinių rodiklių lygumo ir vėžės gylio daugybinė regresinė analizė atliekta naudojant statistinį paketą „Statistica“ (4.7 – 4.17 priklausomybės).

Asfaltbetonis AC 11 VS (su B50/70 bitumu)

$$P = 12,85 - 52,18P_N + 21,57K_K - 9,91B + 0,0018T_M + 0,41K_D; \quad (4.7)$$

$$R^2 = 0,551;$$

$$T = 5,21 + 152,07P_N - 2,85K_K + 93,62B + 1,21T_M - 0,0082K_D; \quad (4.8)$$

$$R^2 = 0,492;$$

$$A_{\text{tušt}} = -1,258 - 273,11T_M + 41,5K_K - 37,82B + 0,123P_N - 0,075K_D; \quad (4.9)$$

$$R^2 = 0,618;$$

Asfaltbetonis AC 11 VN (su B70/100 bitumu)

$$P = 894,25 - 482,45P_N + 27,7K_K - 152,18B + 1,42T_M + 0,57K_D; \quad (4.10)$$

$$R^2 = 0,663;$$

$$T = -2,62 + 13,5T_M - 7,83K_K + 0,125B + 0,25K_D + 3,56P_N; \quad (4.11)$$

$$R^2 = 0,481;$$

$$A_{\text{tušt}} = 0,985 - 32,63T_M - 2,78B + 0,37P_N - 1,258K_K + 0,0012K_D; \quad (4.12)$$

$$R^2 = 0,672;$$

Skaldos ir mastikos asfaltas SMA 11 S (su PMB 45/80-55 E)

$$P = 1,05 + 7,32P_N + 1,225T_{\text{def}} - 2,85B + 0,718T_M + 0,058S; \quad (4.13)$$

$$R^2 = 0,483;$$

$$T = -0,883 - 11,81T_M - 8,27T_{\text{def}} + 1,07B + 2,85S + 0,362P_N ; \quad (4.14)$$

$$R^2 = 0,637;$$

$$A_{\text{tušt}} = 23,81 + 27,33T_M - 8,59B + 1,298P_N - 0,35T_{\text{def}} + 0,012S; \quad (4.15)$$

$$R^2 = 0,608;$$

$$\text{IRI} = 12,3 - 52,3P_N + 3,82T_{\text{def}} - 21,5B + 0,018T_M + 0,158S; \quad (4.16)$$

$$R^2 = 0,502;$$

$$V_{\text{ž}} = 5,95 - 16,53T_M - 8,78B + 2,37P_N - 12,58T_{\text{def}} + 0,812S; \quad (4.17)$$

$$R^2 = 0,485;$$

Čia:

P – pastovumas pagal Maršalą, kN;

T – takumas pagal Maršalą, mm;

$A_{\text{tušt}}$ – asfaltbetonio tuštymėtumo rodiklis, %;

B – bitumo kiekis, %;

P_N – bitumo penetracija, mm^{-1} ;

T_M – bitumo minkštėjimo temperatūra, °C;

K_K – bitumo kinematinė klampa, mm^2/s ;

K_D – bitumo dinaminė klampa, Pa·s;

T_{def} – bitumo tamprioji santykinė deformacija, %;

S – bitumo sankiba tamprumo jėgos metodu, J/cm^2 ;

IRI – dangos lygumo rodiklis IRI, m/km;

$V_{\text{ž}}$ – dangos vėžės gylis, mm.

4.4 – 4.6 lentelėse pateiktas sunormintų bitumo kokybės rodiklių ir asfalto mišinių kokybės rodiklių palyginimas su norminiais leistinaisiais kokybės rodikliais. Skaliausteliuose normomis tobojamos vertės paimtos iš R 35-01, kadangi, naujajame standarte (TRA ASFALTAS 08) asfaltbetonio fizinių-mechaninių savybių (pastovumo, takumo) normų ribos nenustatytos. Grafinis modeliavimas, pagal kurį nustatytos asfaltbetonio kokybės rodiklių norminės vertės, pateiktas prieduose.

4.4 lentelė Sunormintų asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių palyginimas su leistinaisiais norminiais kokybės rodikliais (AC 11VS)

	Pastovumas, kN		Takumas, mm		Maršalo koef., kN/mm		Asfaltbetonio tuštymėtumo rodiklis, %		Bitumo kiekis, %	
Normomis ribojami	$(\geq 8,0)$		$(2,5 - 4,5)$		-		2,0 - 4,0		$\geq 5,6$	
Siūlomos norminės vertės	Nuo	Iki	Nuo	Iki	Nuo	Iki	Nuo	Iki	Nuo	Iki
	10,25	13,5	2,5	3,5	3,5	4,75	1,5	3,25	5,2	6,75

4.5 lentelė Sunormintų asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių palyginimas su leistinaisiais norminiais kokybės rodikliais (AC 11 VN)

	Pastovumas, kN		Takumas, mm		Maršalo koef., kN/mm		Asfaltbetonio tuštymėtumo rodiklis, %		Bitumo kiekis, %	
Normomis ribojami	$(\geq 8,0)$		$(2,5 - 4,5)$		-		1,5 - 3,5		$\geq 5,8$	
Siūlomos norminės vertės	Nuo	Iki	Nuo	Iki	Nuo	Iki	Nuo	Iki	Nuo	Iki
	8,5	12,25	2,1	3,5	2,75	4,5	0,9	2,75	5,2	6,25

4.6 lentelė Sunormintų asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių palyginimas su leistinaisiais norminiais kokybės rodikliais (SMA 11 S)

	Pastovumas, kN		Takumas, mm		Maršalo koef., kN/mm		Asfaltbetonio tuštymėtumo rodiklis, %		Bitumo kiekis, %	
Normomis ribojami	$(\geq 8,0)$		$(2,5 - 4,5)$		-		2,0 - 3,0		$> 6,4$	
Siūlomos norminės vertės	Nuo	Iki	Nuo	Iki	Nuo	Iki	Nuo	Iki	Nuo	Iki
	8,0	12,0	2,25	4,0	2,85	3,25	2,0	3,0	6,0	7,25

4.3 Skyriaus išvados

Iš ketvirtojo skyriaus galima daryti šias išvadas:

1. Pateiktos pagrindinės bitumo kokybės rodiklių (penetracijos, minkštėjimo temperatūros, kinematinės klampos, dinaminės klampos, trapumo temperatūros, bitumo tankio, tampriosios santykinės deformacijos, sankibos tamprumo jėgos metodu) atitikimas norminiams reikalavimams bei šių rodiklių statistinės vertės.
2. Pritaikius daugybinės regresinės priklausomybes, buvo sudaryti matematiniai prognozavimo modeliai bitumo penetracijai ir minkštėjimo temperatūrai nustatyti, kai visi kiti rodikliai yra pastovūs.
3. Pateiktos pagrindinės bitumo kiekio ir asfaltbetonio mišinių kokybės rodiklių atitikimas norminiams reikalavimams bei šių rodiklių statistinės vertės.
4. Pritaikius daugybinės regresinės priklausomybes, buvo sudaryti matematiniai prognozavimo modeliai asfaltbetonio pastovumui, takumui, tuštymetumui, dangos lygumo rodikliui bei vėžės gyliui priklausomai nuo bitumo savybių ir bitumo kiekio.
5. Atliktas bitumo kiekio ir asfaltbetonio kokybės rodiklių norminimas.

BENDROSIOS IŠVADOS

1. Gaminamų bitumų kokybė labai priklauso nuo žaliavų, iš kurių gaminami bitumai, kokybės ir naudojamų bitumo gamybos technologijų;
2. Kuo lėčiau bitumas senėja, tuo bitumas ir asfaltbetonis (esant kitoms sąlygoms vienodoms) ilgiau funkcionuoja kelio dangoje.
3. Bitumo markė, bitumo kiekis asfaltbetonyje ir bitumo struktūros tipas daro ženkliai įtaką dangos asfaltbetonyje atsiradusiems įtempiams σ ir deformacijoms ϵ .
4. Atlikta bitumų (PMB 45/80-55E, B 50/70, B 70/100) kokybės rodiklių regresinė analizė leido sunorminti bitumų kokybės rodiklių vertes, kurios laiduoja bitumo kokybę.
5. Nustatytos asfaltinių mišinių (SMA 11 S, AC 11 VS, AC 11 VN) bitumo kiekio, bitumo savybių ir fizinių bei mechaninių rodiklių tarpusavio koreliacinės regresinės analizės. Gautos koreliacijos regresijos priklausomybės leido sunorminti šių rodiklių vertes, kurios laiduoja norminiuose dokumentuose nurodytą asfaltinių mišinių kokybę.
6. Nustatytos kelio dangos eksploatacinių rodiklių dangos lygumo, vėžės gylio bitumo savybių ir bitumo kiekio tarpusavio koreliacinės regresinės analizės. Daugybinės regresinės analizės pagalba nustatytos formulės gali būti taikomos prognozuojant kelio dangos eksploatacinius rodiklius, atsižvelgus į rišančiosios medžiagos asfaltiniame mišinyje savybes ir kiekį.

LITERATŪRA

1. Lietuvos automobilių kelių direkcijos interneto svetainė. 2014-02-21. Interneto prieiga <http://www.lra.lt>.
2. Asociacijos „Lietuvos keliai“ interneto svetainė. 2013-10-05. Interneto prieiga <http://www.lietuvoskeliai.lt>.
3. Lietuvos statistikos departamento interneto svetainė. 2013-09-23. Interneto prieiga <http://www.stat.gov.lt>.
4. ASA.lt interneto svetainė. 2014-02-12. Interneto prieiga <http://www.asa.lt>.
5. VĮ Transporto ir Kelių tyrimo instituto interneto svetainė. 2013-05-28. Interneto prieiga <http://www.tkti.lt>.
6. Palšaitis E., Sakalauskas K., Vidugiris L. Kelių eksploatacija. Vilnius: Mokslas, 1990, p. 195.
7. Automobilių kelių standartizuotų dangų konstrukcijų projektavimo taisyklės. KPT SDK VI SK V-7. Vilnius: Lietuvos automobilių kelių direkcija, 2007.
8. Petkevičius K., Sivilevičius H.. Automobilių kelių asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos reikiamos savybės ir racionali funkcionavimo trukmė. Transportas. Vilnius: Technika, 2000, XV tomas, nr. 4, p. 184 – 195.
9. Руденская, И. М.; Руденский, А. В. Органические вяжущие для дорожного строительства. Москва: Транспорт, 1984. 230 с.
10. Королев, И. В.; Финашин, В. Н.; Феднер, Л. А. Дорожно-строительные материалы. Москва: Транспорт, 1988. 304 с.
11. Рыбьев, И. А. Строительное материаловедение: Учебное пособие для строительных вузов. Москва: Высшая школа, 2008. 702 с.
12. Рыбьев, И. А. Асфальтовые бетоны: Учебное пособие для строительных вузов. Москва: Высшая школа, 1969. 400 с.
13. Печеный Б. Г. Долговечность битумных и битумоминеральных покрытий Москва: Стройиздат, 1981
14. Robert N. Hunter. Bituminous mixtures in road construction. London: Thomas Telford, 1994. 441 p.
15. Дорожно-строительные материалы: Учебник для вузов / И. М. Грушко, И. В. Королев, И. М. Борщ, Г. М. Мищенко. Москва: Транспорт, 1991. 357 с.
16. Колбановская, А. С.; Михайлов, В. В. Дорожные битумы. Москва: Транспорт, 1973. 264 с.
17. Печеный, Б. Г. Битумы и битумные композиции. Москва: Химия, 1990. 256 с.

18. Руденская, И. М.; Руденский, А. В. Органические вяжущие для дорожного строительства. Москва: ИНФРА, 2010. 256 с.
19. Яромко, В. Н.; Жайлович, И. Л. К вопросу определения трещиностойкости асфальтобтона. Наука и техника в дорожной отрасли, 2009, № 4, с. 22–25.
20. Першин М. Н.; Баринов Е. Н.; Кореневский В. Вспененные битумы в дорожном строительстве, Москва: Транспорт, 1989. 80 с.
21. Vaitkus A., Čygas D., Laurinavičius A., Tumavičė A. Automobilių kelių tiesybos medžiagos. Bitumai, bituminiai rišikliai ir mišiniai. Vilnius: Technika, 2011.
22. Automobilių kelių bitumų ir polimerais modifikuotų bitumų techninių reikalavimų aprašas. TRA BITUMAS 08. Vilnius: Lietuvos automobilių kelių direkcija, 2008.
23. Automobilių kelių asfaltbetonio ir žvyro dangos statybos rekomendacijos. R 35 – 01. Vilnius: Lietuvos automobilių kelių direkcija, 2001.
24. Sakalauskas L. Informacinės technologijos inžinerijoje. Paskaitų konspektas. Vilnius: Technika, 2003. 88 p.
25. Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 1 dalis. Tirpiojo rišiklio kiekis. LST EN 12697-1:2006. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2002.
26. Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 34 dalis. Maršalo bandymas. LST EN 12697-34+A1. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2007. 13 p.
27. Bituminiai mišiniai. Karštojo asfalto mišinio bandymo metodai. 8 dalis. Bituminių bandinių tuštytumo rodiklių nustatymas. LST EN 12697-8:2006. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2003. 9 p.
28. Bitumas ir bituminiai rišikliai. Minkštėjimo temperatūros nustatymas. Žiedo ir rutulio metodas. LST EN 1427:2007. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2000.
29. Bitumas ir bituminiai rišikliai. Penetracijos adatos būdu nustatymas. LST EN 1426:2007. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2007. 14 p.
30. Automobilių kelių asfalto mišinių techninių reikalavimų aprašas. TRA ASFALTAS 08. Vilnius: Lietuvos automobilių kelių direkcija, 2008.
31. Automobilių kelių dangos konstrukcijos asfalto sluoksnių įrengimo taisyklės. IT ASFALTAS 08. Vilnius: Lietuvos automobilių kelių direkcija, 2008.
32. Karlsson, R.; Isacsson, U. 2006. Material- related aspects of asphalt recycling- state of the art, Journal of Materials in Civil Engineering 18(1): 81-92. doi:10.1061/(ASCE)0899-1561(2006)18:1(81).

33. Petkevičius E. Automobilių kelių asfaltbetonio dangos eksploatacinių rodiklių leistinųjų verčių pagrindimas. Daktaro disertacija. Vilnius, Technika, 2010. 118 p.
34. Bulevičius M. Kelių tampriosios dangos konstrukcijų savybių įtaka jų viršutinio sluoksnio eksploataciniams rodikliams. Daktaro disertacija. Vilnius, Technika, 2013. 125 p.
35. Bitumas ir bituminiai rišikliai. Trapumo temperatūros paga Frasą nustatymas. LST EN 12593:2007. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2007.
36. Bitumas ir bituminiai rišikliai. Tankio ir savitojo sunkio matavimas. LST EN 15326:2007. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2007.
37. Bitumas ir bituminiai rišikliai. Kinematinės klampos nustatymas. LST EN 12595:2007. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2007.
38. Bitumas ir bituminiai rišikliai. Dinaminės klampos nustatymas vakuuminiu kapiliaru. LST EN 12596:2007. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2007.
39. Bitumas ir bituminiai rišikliai. Modifikuotojo bitumo tempiamųjų savybių nustatymas tūsumo priklausomybės nuo jėgos metodu. LST EN 13589:2007. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2007.

PRIEDAI

1. Lentelė. Reikalavimai viršutiniojo dėvimojo dangos sluoksnio (SMA 11S) asfaltbetonio mišiniams (TRA ASFALTAS 08)

Mineralinės medžiagos			Riškis		Mišinys
Stambiausios mineralinės medžiagos (>2 mm), %	Smulkiosios mineralinės medžiagos (0,063 - 2 mm), %	Dalelės mažesnės kaip 0,063 mm, %	Tipas ir markė	Mažiausias riškio kiekis, %	Oro tuštymių kiekis, %
35 - 45	20 - 30	8 - 12	PMB 45/80-55 PMB 25/55-60 B 50/70	6,4	2,0 - 3,0

2. Lentelė. Reikalavimai viršutiniojo dėvimojo dangos sluoksnio (AC 11VS) asfaltbetonio mišiniams (TRA ASFALTAS 08)

Mineralinės medžiagos			Riškis		Mišinys
Stambiausios mineralinės medžiagos (>2 mm), %	Smulkiosios mineralinės medžiagos (0,063 - 2 mm), %	Dalelės mažesnės kaip 0,063 mm, %	Tipas ir markė	Mažiausias riškio kiekis, %	Oro tuštymių kiekis, %
40 - 50	7 - 17	5 - 9	B 50/70 B 70/100 PMB45/80-55	5,6	2,0 - 4,0

3. Lentelė. Reikalavimai viršutiniojo dėvimojo dangos sluoksnio (AC 11VN) asfaltbetonio mišiniams (TRA ASFALTAS 08)

Mineralinės medžiagos			Riškis		Mišinys
Stambiausios mineralinės medžiagos (>2 mm), %	Smulkiosios mineralinės medžiagos (0,063 - 2 mm), %	Dalelės mažesnės kaip 0,063 mm, %	Tipas ir markė	Mažiausias riškio kiekis, %	Oro tuštymių kiekis, %
45 - 55	8 - 22	6 - 12	B 50/70 B 70/100 B 100/150	5,8	1,5 - 3,5

4 lentelė. Reikalavimai kelių bitumų fizikinėms ir cheminėms savybėms pagal TRA BITUMAS 08.

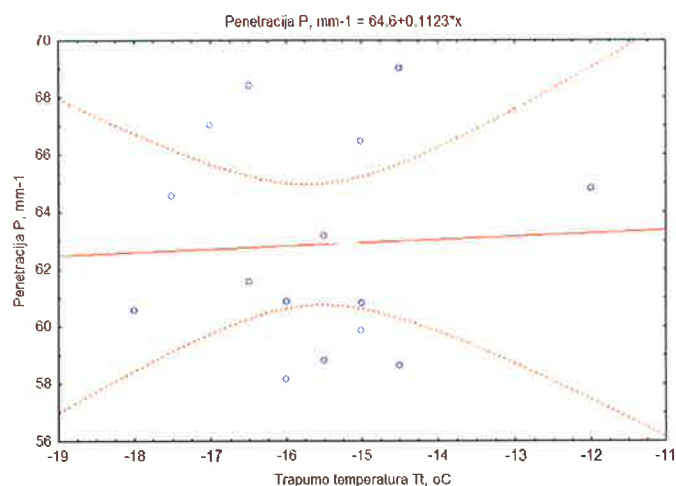
Savybė	Matavimo vienetas	Bandymo metodas	Rnšys					
			20/30	35/50	50/70	70/100	100/150	160/220
Penetracija, kai yra 25 °C	0.1 mm	LST EN 1426	20-30	35-50	50-70	70-100	100-150	160-220
Minikstėjimo temperatūra pagal žiedo ir rutulio metodą	°C	LST EN 1427	55.0-63.0	50.0-58.0	46.0-54.0	43.0-51.0	39.0-47.0	35.0-43.0
Plūpsnio temperatūra	°C	LST EN ISO 2592	≥ 240	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 220
Tirpumas	%	LST EN 12592	≥ 99.0	≥ 99.0	≥ 99.0	≥ 99.0	≥ 99.0	≥ 99.0
Penetracijos indeksas		LST EN 12591. A priedas	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Kinematinė klampa, kai yra 135°C	mm ² /s	LST EN 12595	≥ 530	≥ 370	≥ 295	≥ 230	≥ 175	≥ 135
Dinaminė klampa, kai yra 60°C	Pa · s	LST EN 12596	≥ 440	≥ 225	≥ 145	≥ 90	≥ 55	≥ 30
Triapumo temperatūra pagal Frasą	°C	LST EN 12593	-	≤ - 5	≤ - 8	≤ - 10	≤ - 12	≤ - 15
Atsparumas kietėjimui, kai yra 163°C:		LST EN 12607-1						
liekamoji penetracija	%	LST EN 1426	≥ 55	≥ 53	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 37
minikstėjimo temperatūros pagal žiedą ir rutulį padidėjimas	°C	LST EN 1427	≤ 8	≤ 8	≤ 9	≤ 9	≤ 10	≤ 11
masės pokytis	%	LST EN 12607-1	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.8	≤ 0.8	≤ 1.0
NR - neregamentuojama								

5 lentelė. Reikalavimai elastomerams modifikuotų bitumų fizikinėms ir cheminėms savybėms pagal TRA BITUMAS 08.

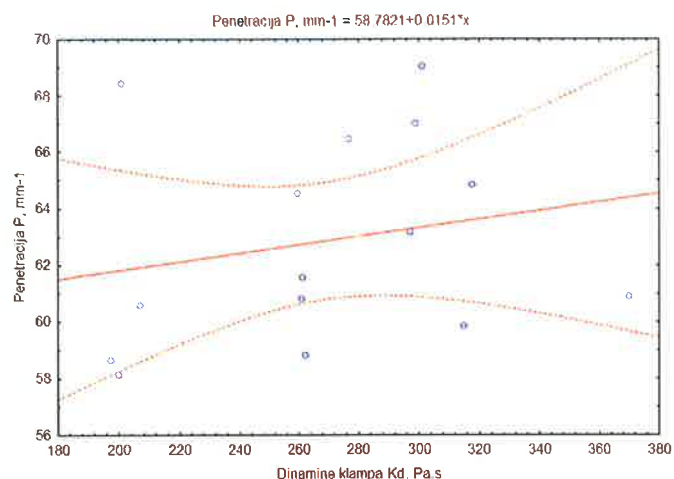
Savybė	Matavimo vienetas	Bandyimo metodas	Reikšmės													
			KL 40/100-65 E	KL	10/40-65 E	KL	25/55-60 E	KL	45/80-55 E	KL	65/105-50 E	KL	90/150-45 E	KL 120/200-40 E		
Penetracija, kai yra 25 °C	0,1 mm	LST EN 1426	5	40–100	2	10–40	3	25–55	4	45–80	6	65–105	8	90–150	9	120–200
Minikšėjimo temperatūra pagal žiedo ir rutulio metodą	°C	LST EN 1427	5	≥ 65	5	≥ 65	6	≥ 60	7	≥ 55	8	≥ 50	9	≥ 45	10	≥ 40
Sankiba tamprumo jėgos metodu, kai yra nurodyta temperatūra	J/cm²	LST EN 13589 LST EN 13703	2	≥ 3 (kai yra 5 °C)	6	≥ 2 (kai yra 10°C)	2	≥ 3 (kai yra 5 °C)	3	≥ 2 (kai yra 5 °C)	4	≥ 1 (kai yra 5 °C)	5	≥ 2 (kai yra 0 °C)	5	≥ 2 (kai yra 0 °C)
Pliūpsnio temperatūra	°C	LST EN ISO 2592	3	≥ 235	3	≥ 235	3	≥ 235	3	≥ 235	3	≥ 235	4	≥ 220	4	≥ 220
Trapumo temperatūra pagal Frasą	°C	LST EN 12593	7	≤ -15	3	≤ -5	5	≤ -10	7	≤ -15	8	≤ -18	9	≤ -20	9	≤ -20
Tamprioji saulykinė deformacija, kai yra 25 °C	%	LST EN 13398	3	≥ 70	5	≥ 50	5	≥ 50	5	≥ 50	5	≥ 50	5	≥ 50	5	≥ 50
Tamprioji saulykinė deformacija, kai yra 10 °C	%	LST EN 13398	0	NPD	0	NPD	0	NPD	0	NPD	0	NPD	0	NPD	0	NPD
Plastiskumo sritis	°C	LST EN 14023, 5.1.9 punktas	0	NPD	0	NPD	0	NPD	0	NPD	0	NPD	0	NPD	0	NPD
Parvarnumas sandėliuojant	°C	LST EN 13399	2	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5
Minikšėjimo temperatūrų skirtumas		LST EN 1427														
Parvarnumas sandėliuojant		LST EN 13399	3	≤ 13	2	≤ 9	2	≤ 9	2	≤ 9	3	≤ 13	4	≤ 19	5	≤ 26
Penetracijų skirtumas	0,1 mm	LST EN 1426														
Atsparumas kietėjimui, kai yra 163 °C:		LST EN 12607-1														
masės pokytis	%	LST EN 12607-1	3	≤ 0,5	3	≤ 0,5	3	≤ 0,5	3	≤ 0,5	3	≤ 0,5	4	≤ 0,8	5	≤ 1,0
liekamoji penetracija	%	LST EN 1426	7	≥ 60	7	≥ 60	7	≥ 60	7	≥ 60	7	≥ 60	6	≥ 55	5	≥ 50
minikšėjimo temperatūros pagal žiedą ir rutulį padidėjimas	°C	LST EN 1427	2	≤ 8	2	≤ 8	2	≤ 8	2	≤ 8	2	≤ 8	3	≤ 10	3	≤ 10
minikšėjimo temperatūros pagal žiedą ir rutulį sumažėjimas	°C	LST EN 1427	3	≤ 5	2	≤ 2	2	≤ 2	2	≤ 2	2	≤ 2	2	≤ 2	2	≤ 2
tamprioji saulykinė deformacija, kai yra 25 °C	%	LST EN 13398	4	≥ 50	4	≥ 50	4	≥ 50	4	≥ 50	4	≥ 50	4	≥ 50	4	≥ 50
tamprioji saulykinė deformacija, kai yra 10 °C	%	LST EN 13398	0	NPD	0	NPD	0	NPD	0	NPD	0	NPD	0	NPD	0	NPD
NPD – savybė nenustatyta																

NPD – savybė nenustatyta

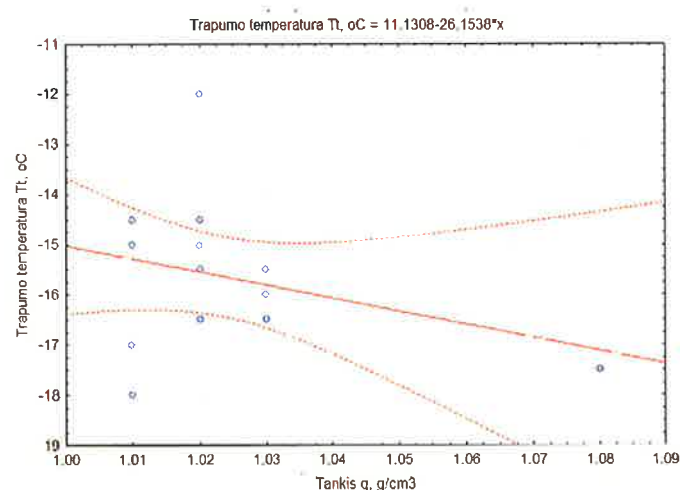
Bitumo B 50/70 kokybės rodiklių korecialinės priklausomybės



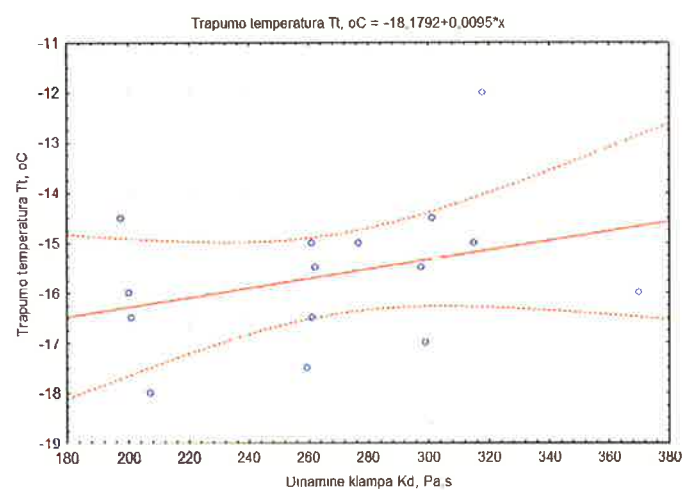
1 pav. Penetracija – Trapumo temperatūra



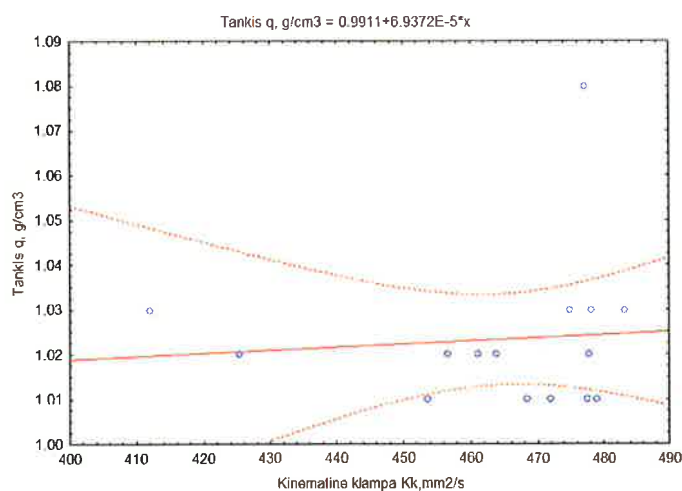
2 pav. Penetracija – dinaminė klampa



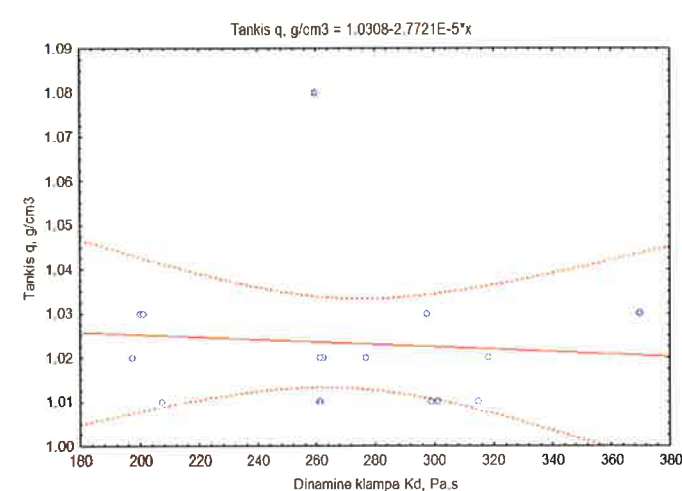
3 pav. Trapumo temperatūra – bitumo tankis



4 pav. Trapumo temperatūra – dinaminė klampa

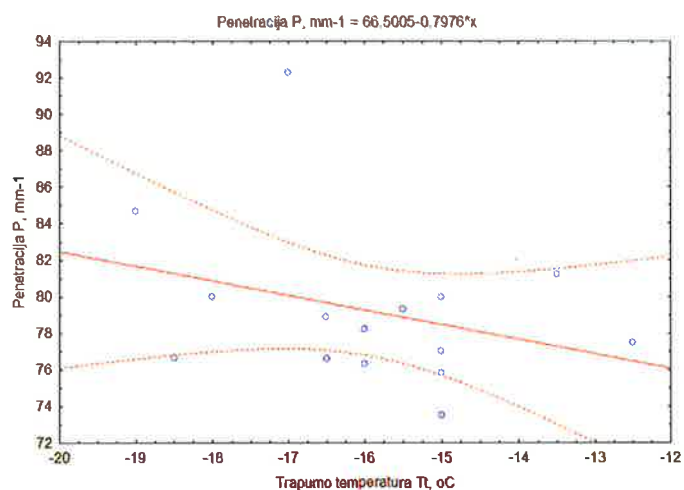


5 pav. Bitumo tankis – kinematinė klampa

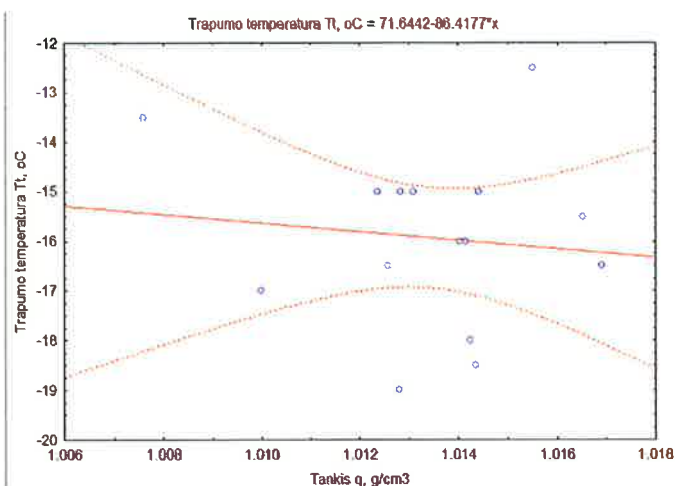


6 pav. Bitumo tankis – dinaminė klampa

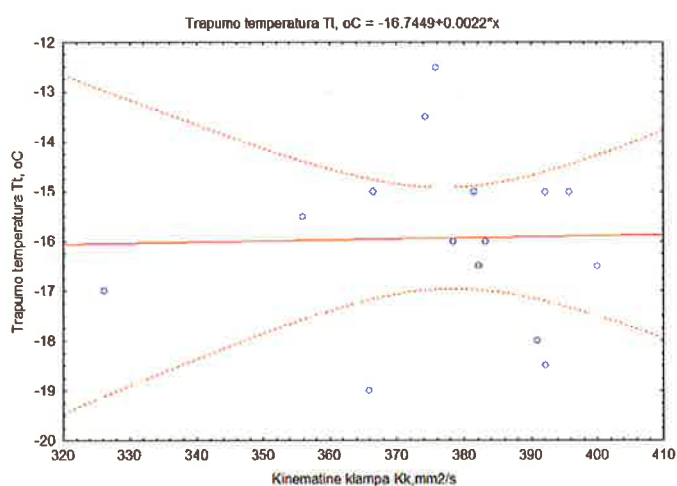
Bitumo B 70/100 kokybės rodiklių korecialinės priklausomybės



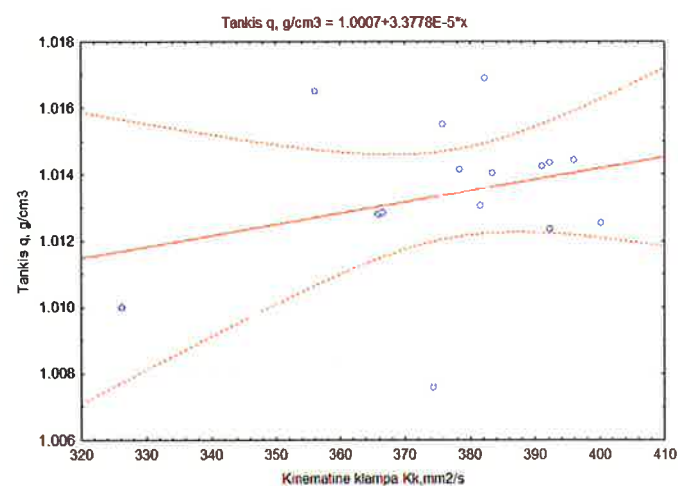
7 pav. Penetracija – Trapumo temperatūra



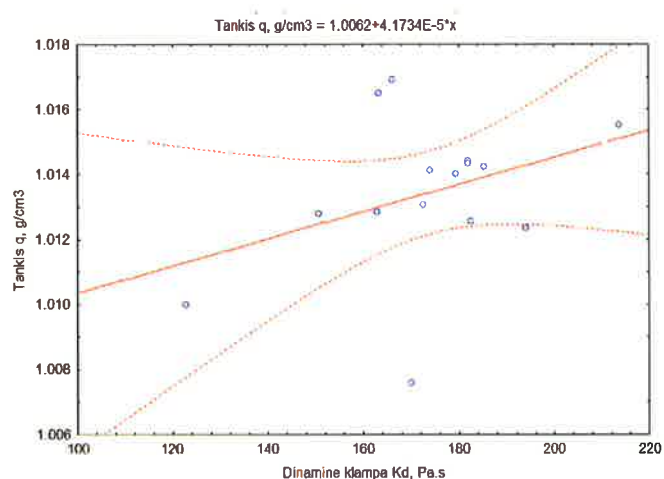
8 pav. Trapumo temperatūra – bitumo tankis



9 pav. Trapumo temperatūra – kinematinė klampa

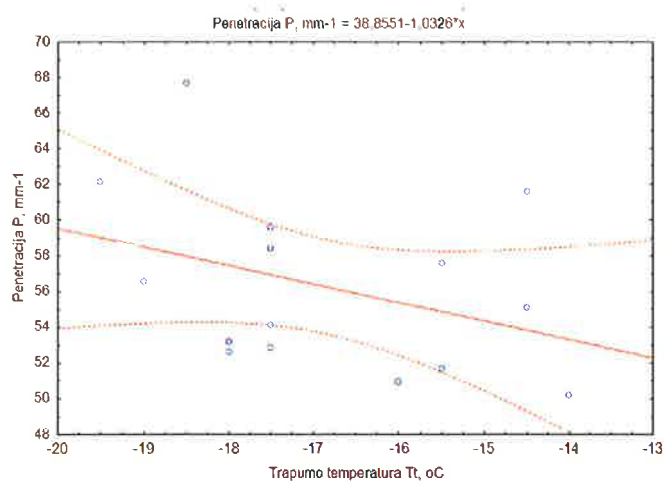


10 pav. Bitumo tankis – kinematinė klampa

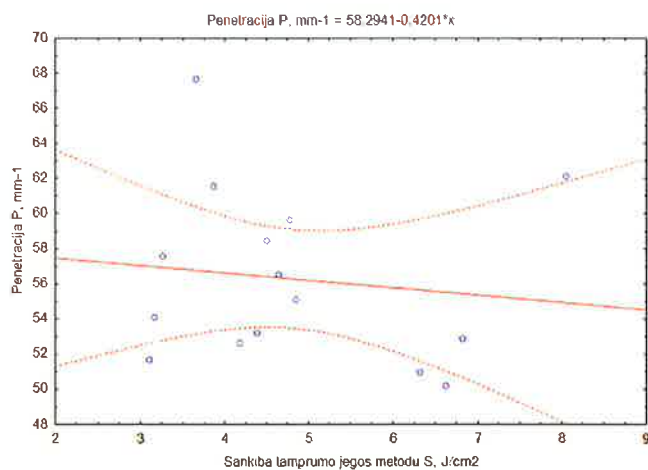


11 pav. Tankis – dinaminė klampa

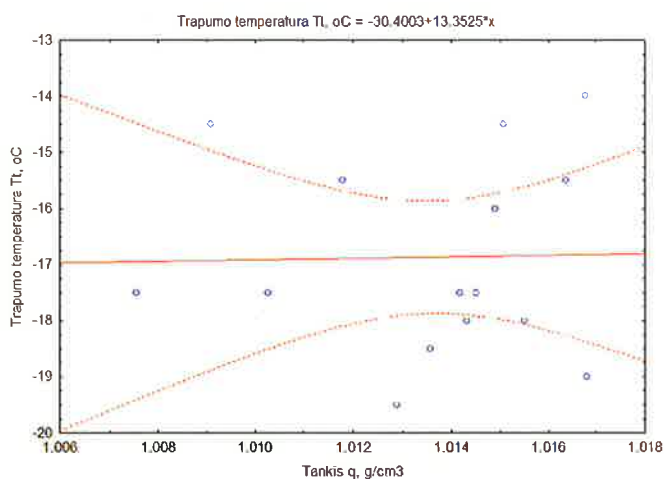
Bitumo PMB 45/80-55 E kokybės rodiklių korecinalinės priklausomybės



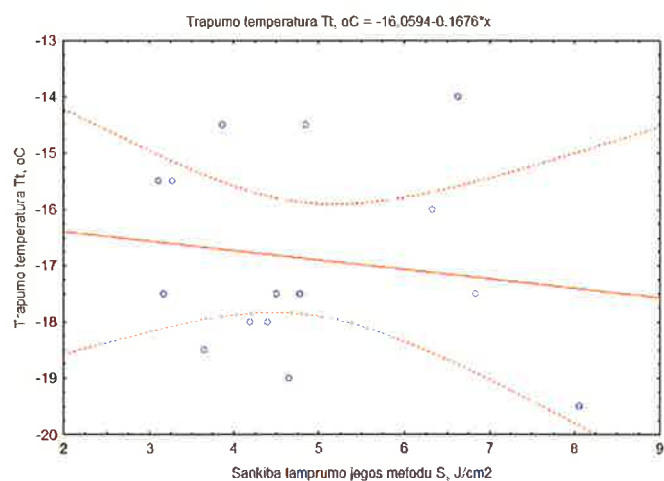
12 pav. Penetracija – Trapumo temperatūra



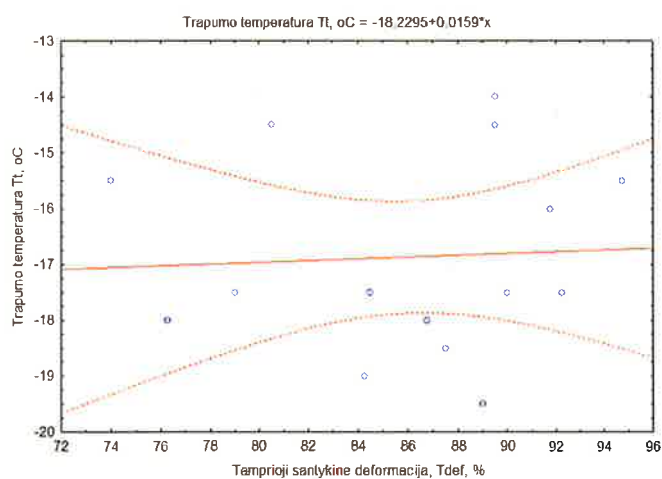
13 pav. Penetracija – sankiba tamprumo jėgos metodu



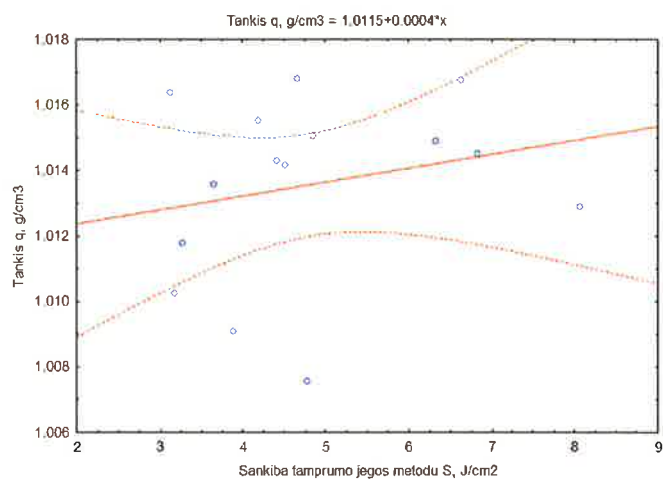
14 pav. Trapumo temperatūra – bitumo tankis



15 pav. Trapumo temperatūra – sankiba tamprumo jėgos metodu

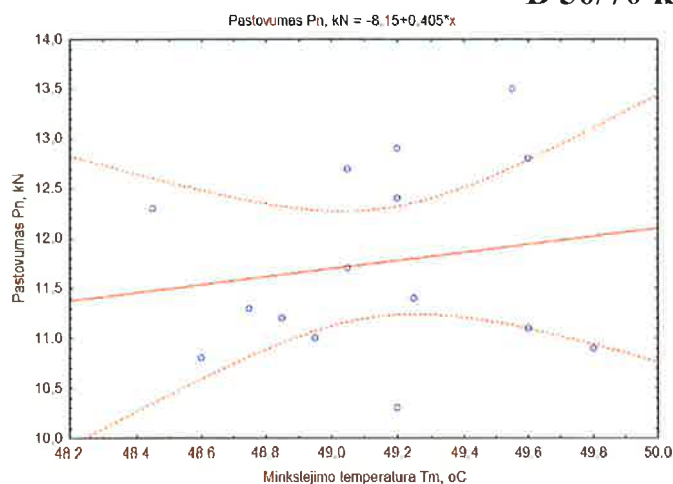


16 pav. Trapumo temperatūra – tamprioji santykinė deformacija

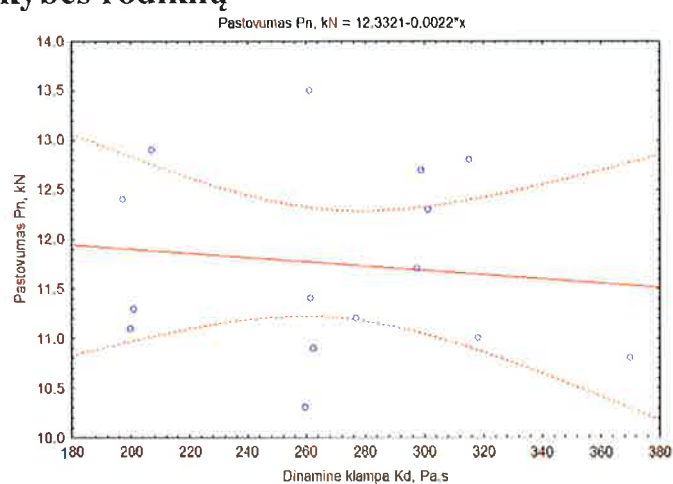


17 pav. Bitumo tankis – sankiba tamprumo jėgos metodu

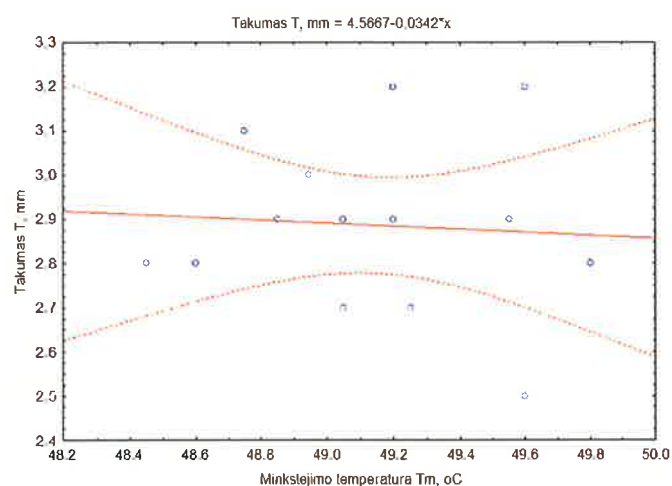
Asfaltinio mišinio AC 11 VS savybių koreliacinės priklausomybės nuo bitumo B 50/70 kokybės rodiklių



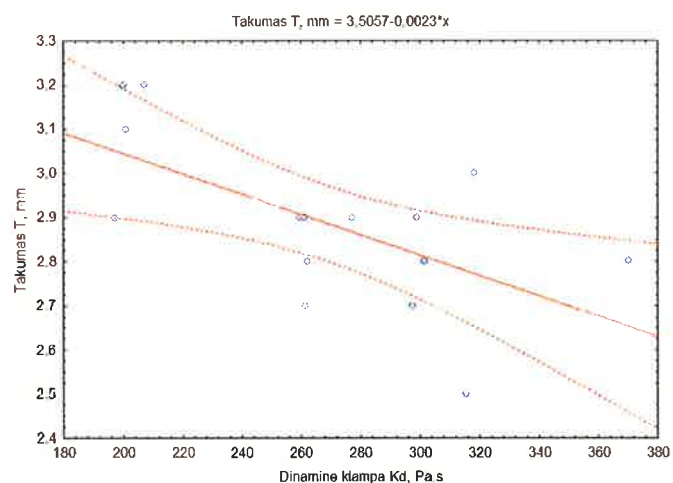
18 pav. Pastovumas – minkštėjimo temperatūra



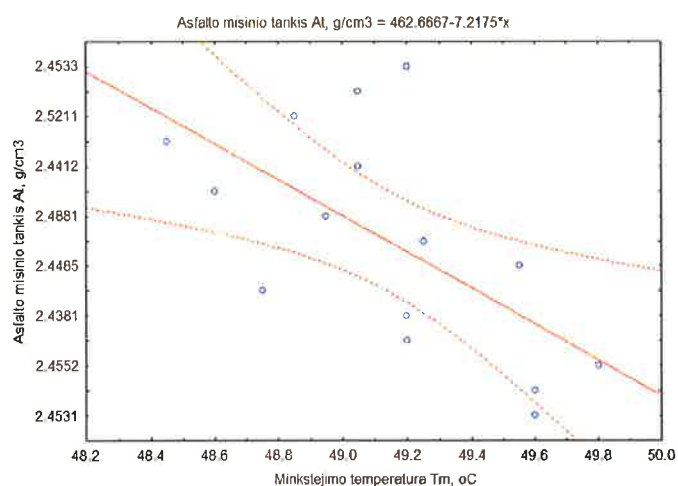
19 pav. Pastovumas – dinaminė klampa



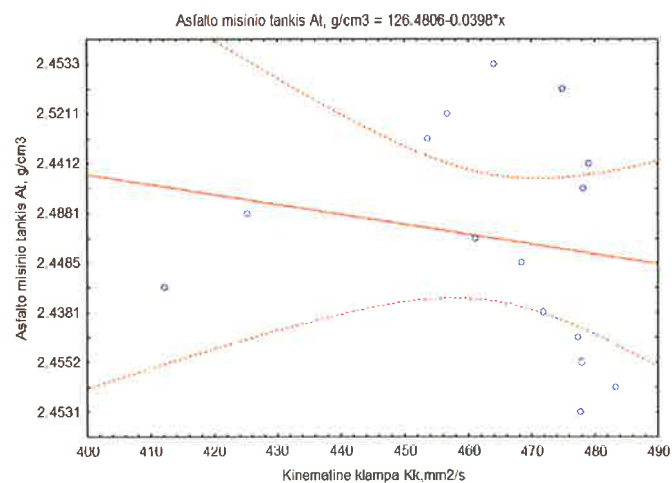
20 pav. Takumas – minkštėjimo temperatūra



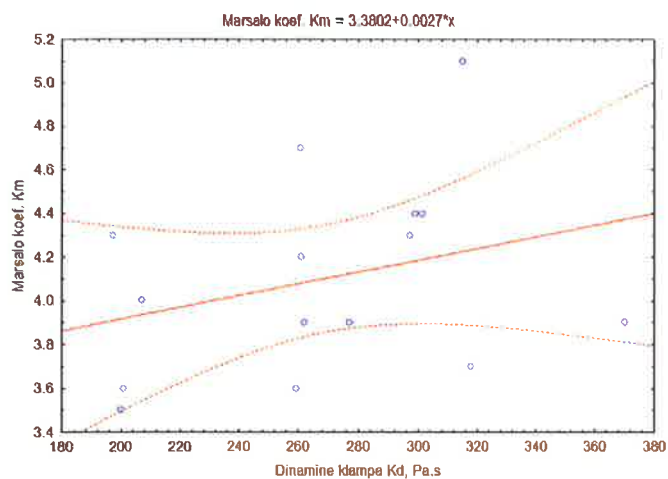
21 pav. Takumas – dinaminė klampa



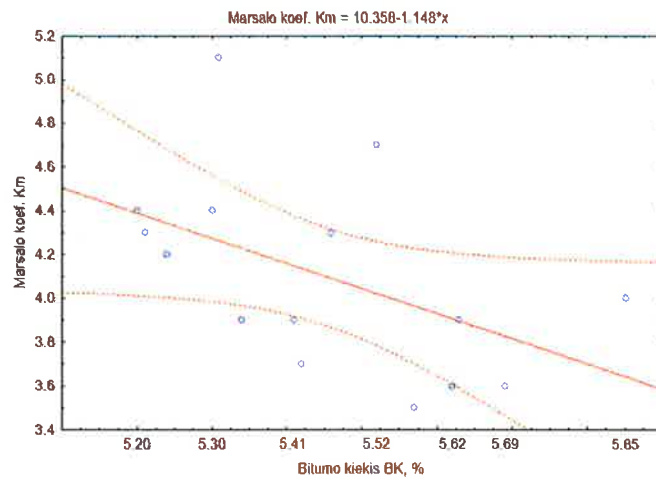
22 pav. Asfaltinio mišinio tankis – bitumo minkštėjimo temperatūra



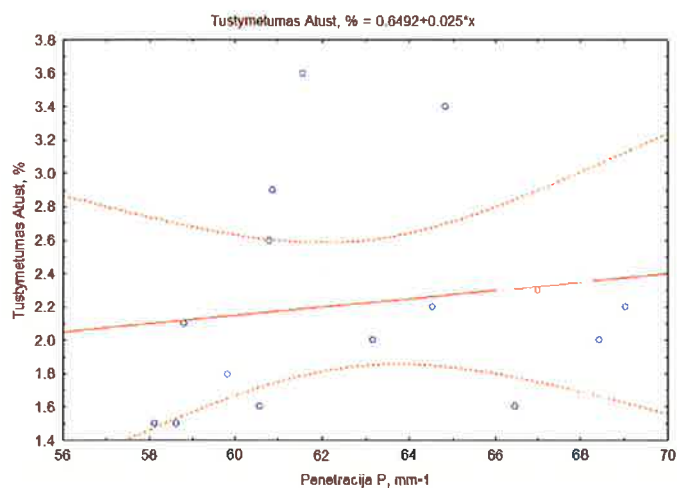
23 pav. Asfaltinio mišinio tankis – bitumo kinematinė klampa



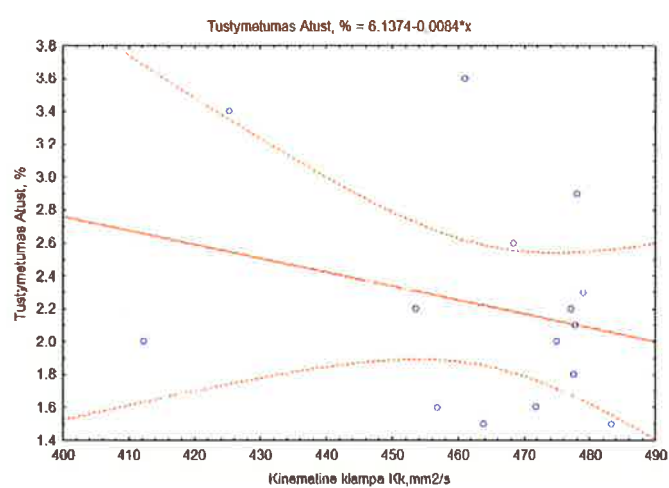
24 pav. Maršalo koef. – dinaminė klampa



25 pav. Maršalo koef. – bitumo kiekis

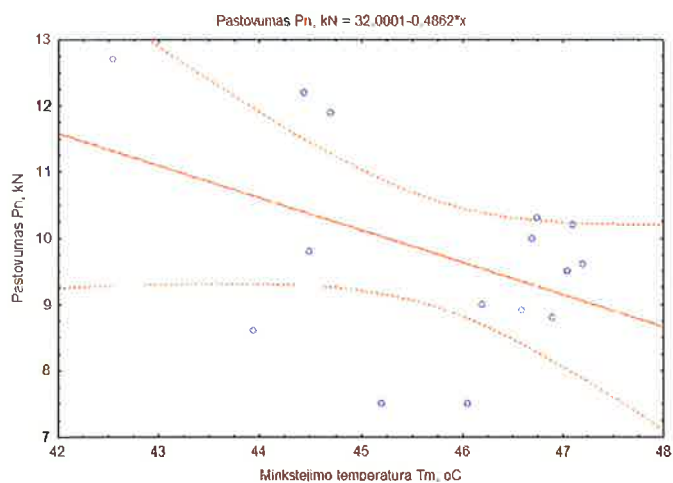


26 pav. Tuštymėtumas – bitumo penetracija

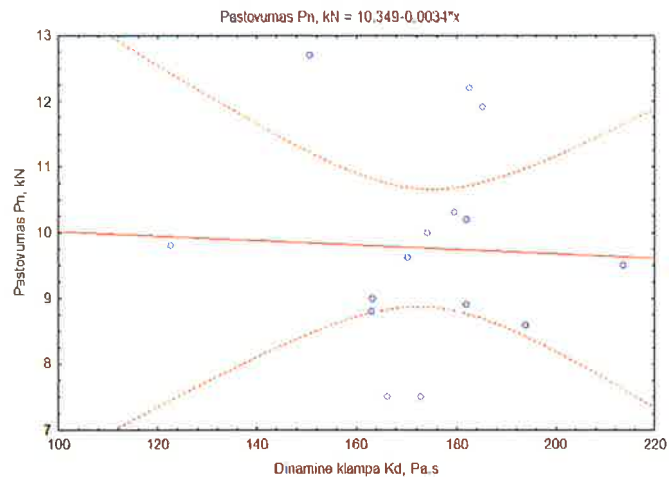


27 pav. Tuštymėtumas – kinematinė klampa

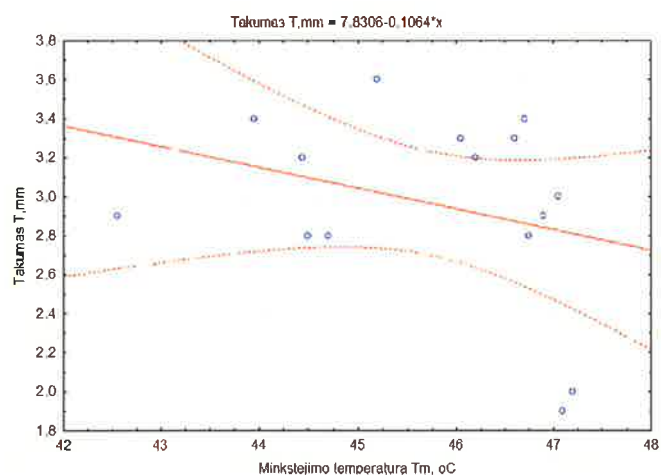
Asfaltinio mišinio AC 11 VN savybių koreliacinės priklausomybės nuo bitumo B 70/100 kokybės rodiklių



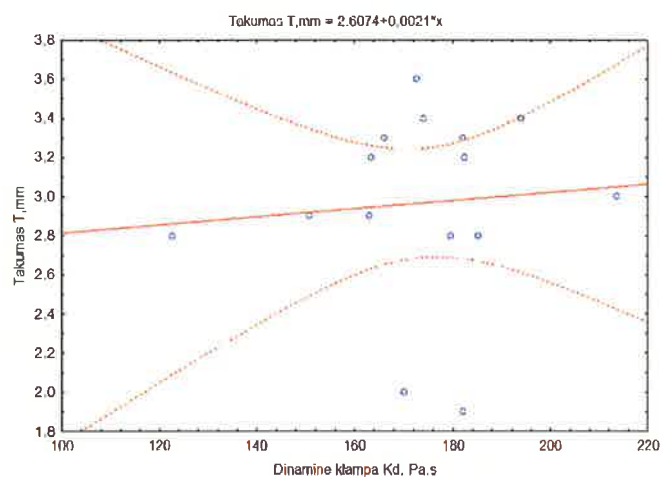
28 pav. Pastovumas – minkštėjimo temperatūra



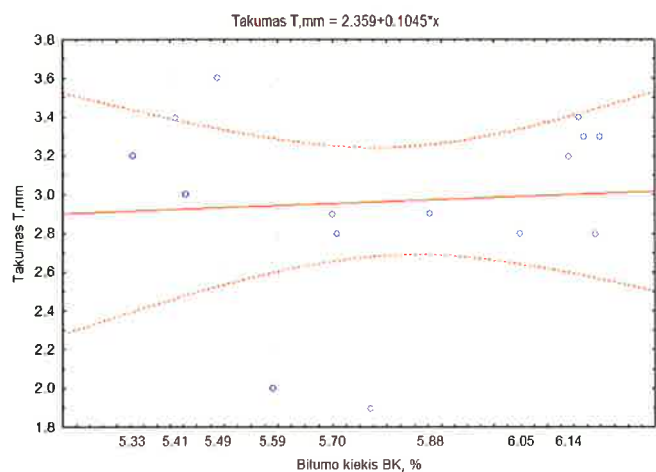
29 pav. Pastovumas – dinaminė klampa



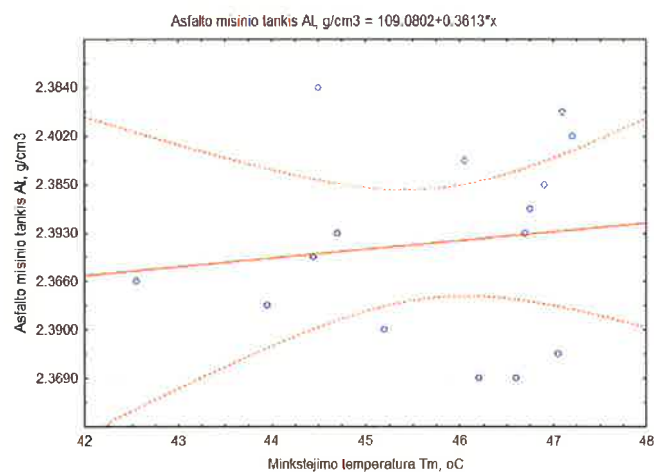
30 pav. Takumas – minkštėjimo temperatūra



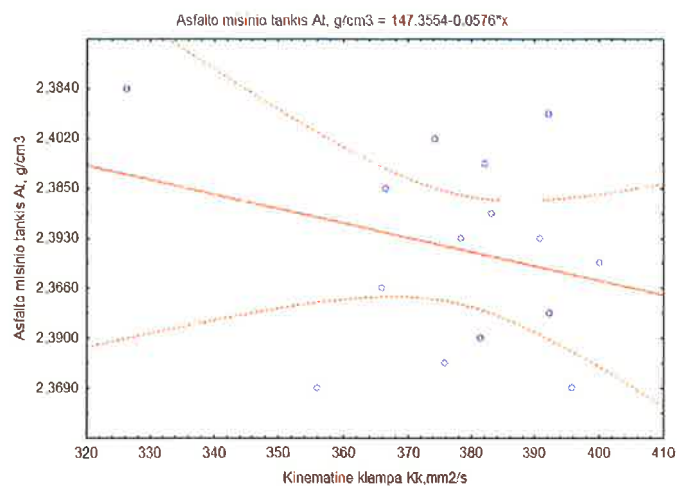
31 pav. Takumas – dinaminė klampa



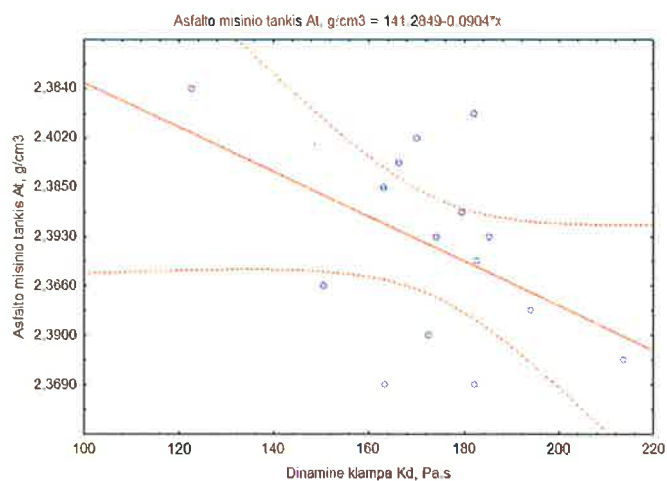
32 pav. Takumas – bitumo kiekis



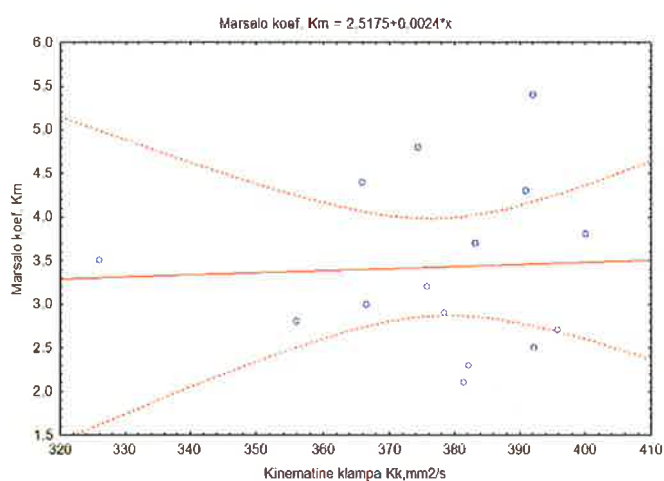
33 pav. Asfaltinio mišinio tankis – bitumo minkštėjimo temperatūra



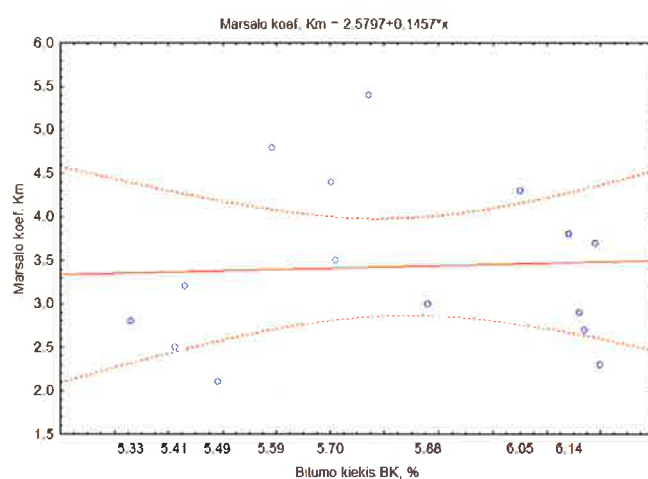
34 pav. Asfaltinio mišinio tankis – bitumo kinemtinė klampa



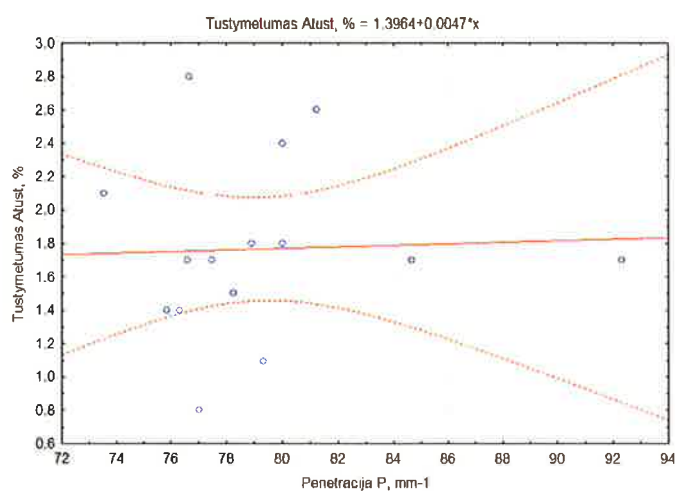
35 pav. Asfaltinio mišinio tankis – bitumo dinaminė klampa



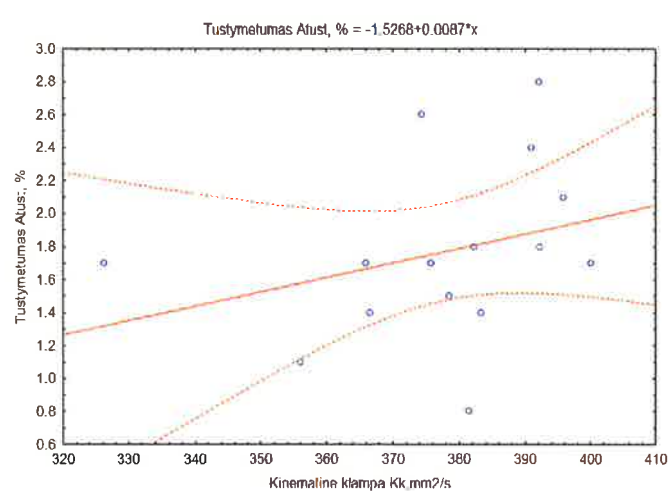
36 pav. Maršalo koef. – kinemtinė klampa



37 pav. Maršalo koef. – bitumo kiekis

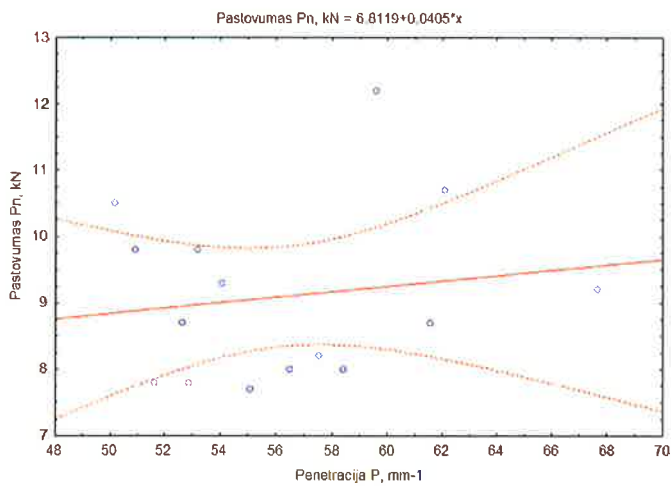


38 pav. Tuštymėtumas – bitumo penetracija

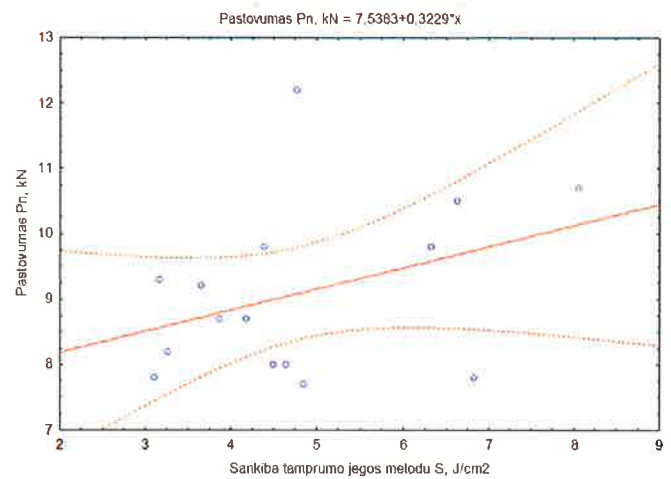


39 pav. Tuštymėtumas – kinematinė klampa

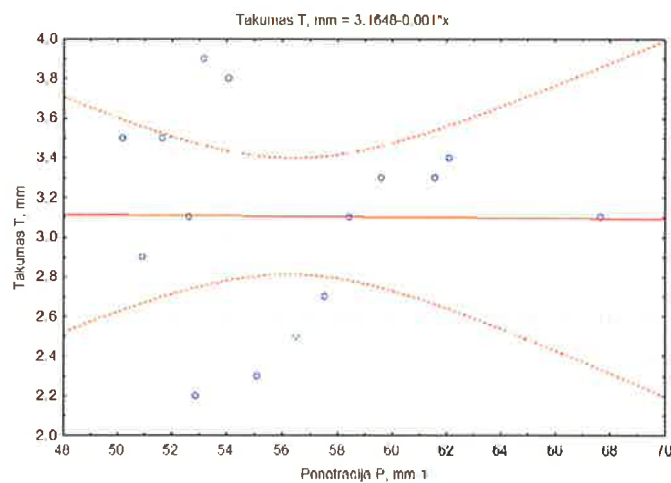
Asfaltinio mišinio SMA 11 S savybių koreliacinės priklausomybės nuo bitumo PMB 45/80-55 E kokybės rodiklių



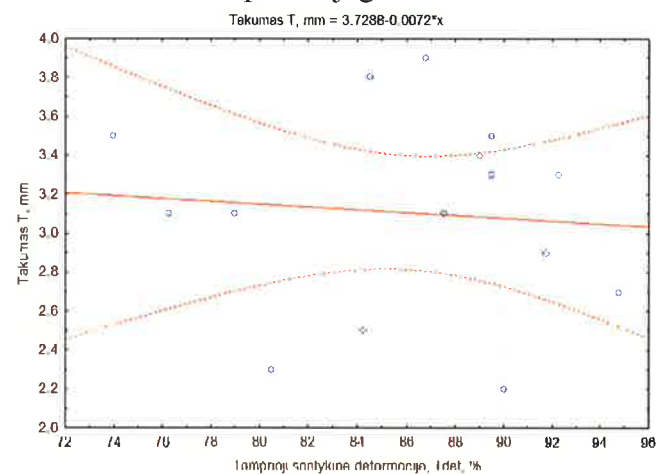
40 pav. Pastovumas – bitumo penetracija



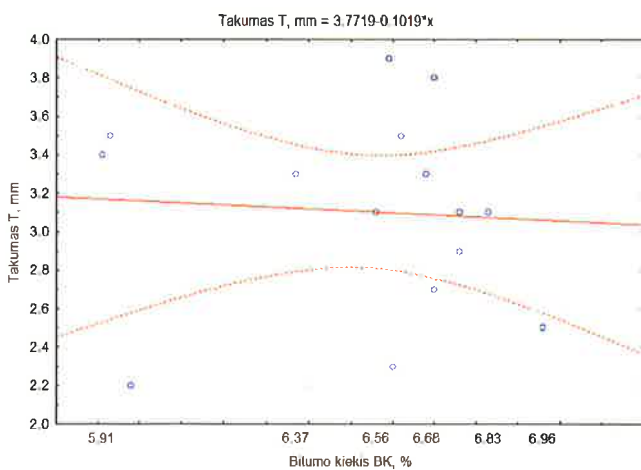
41 pav. Pastovumas – bitumo sankiba tamprumo jėgos metodu



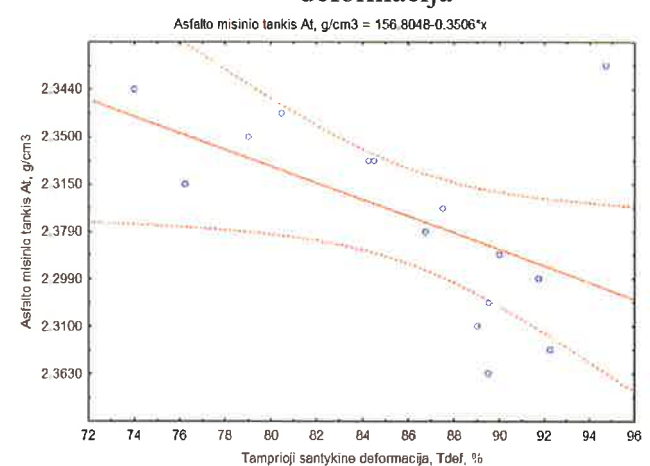
42 pav. Takumas – bitumo penetracija



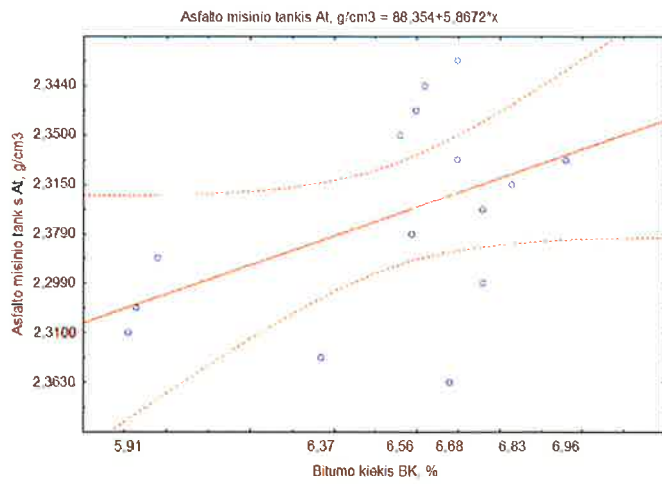
43 pav. Takumas – tamprioji santykinė deformacija



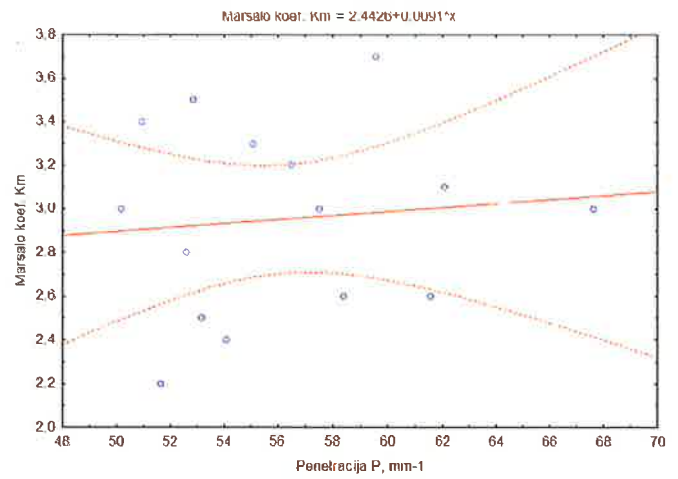
44 pav. Takumas – bitumo kiekis



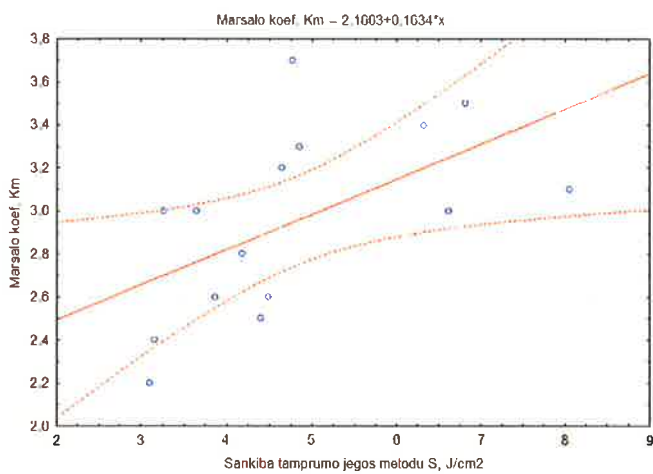
45 pav. Asfaltinio mišinio tankis – bitumo tamprioji santykinė deformacija



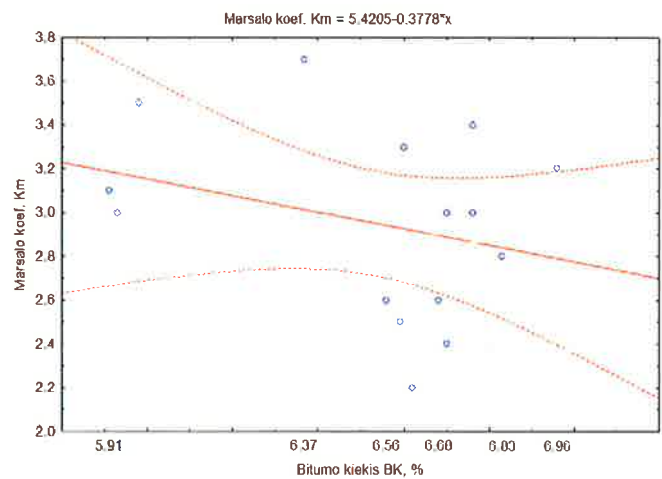
46 pav. Asfaltinio mišinio tankis – bitumo kiekis



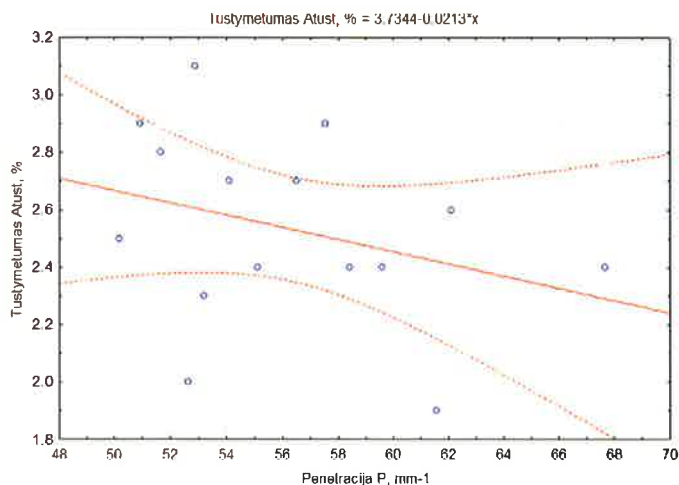
47 pav. Maršalo koef. – bitumo penetracija



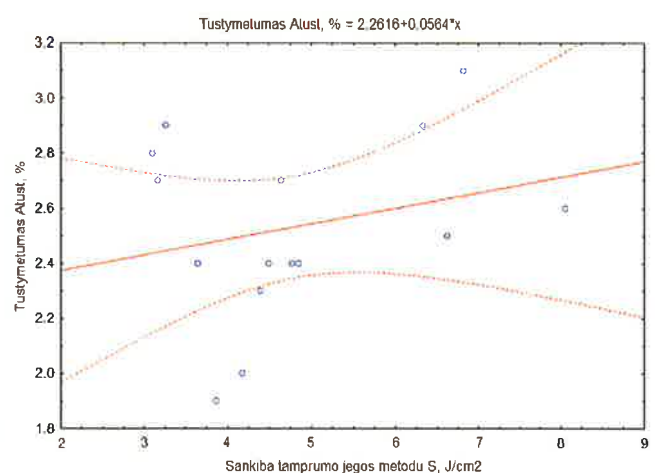
48 pav. Maršalo koef. – sankiba tamprumo jėgos metodu



49 pav. Maršalo koef. – bitumo kiekis

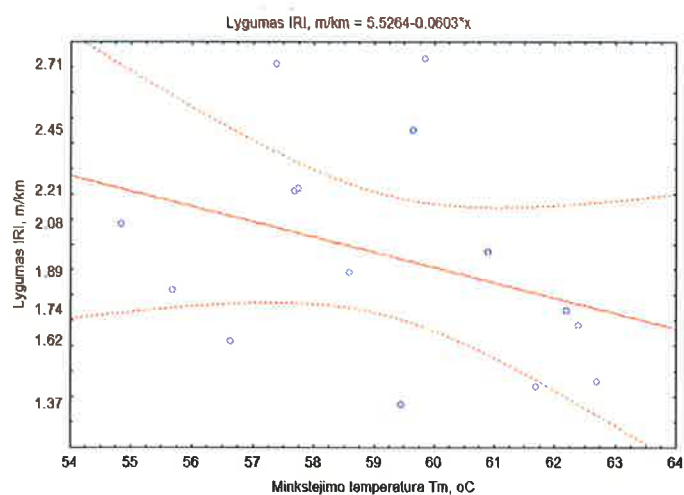


50 pav. Tuštymetumas – bitumo penetracija

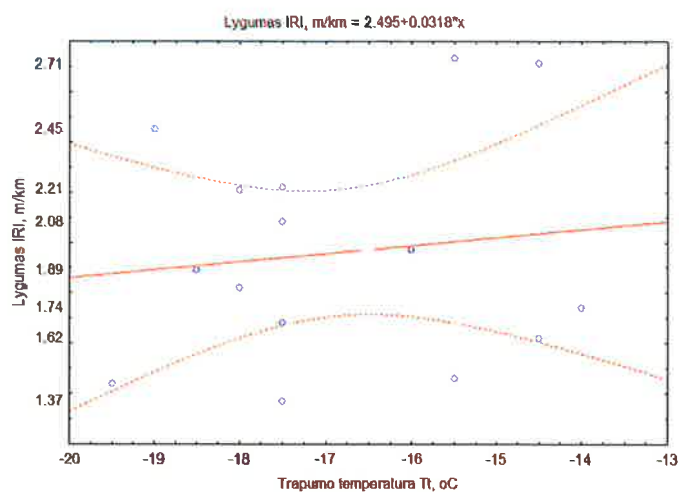


51 pav. Tuštymetumas – sankiba tamprumo jėgos metodu

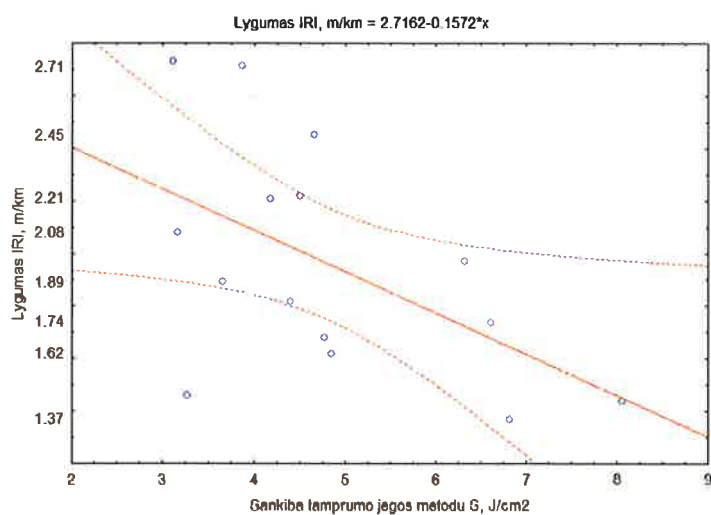
Dangos lygumo ir polimerais modifikuoto bitumo koreliacinės priklausomybės



52 pav. Dangos lygumas – bitumo minkštėjimo temperatūra

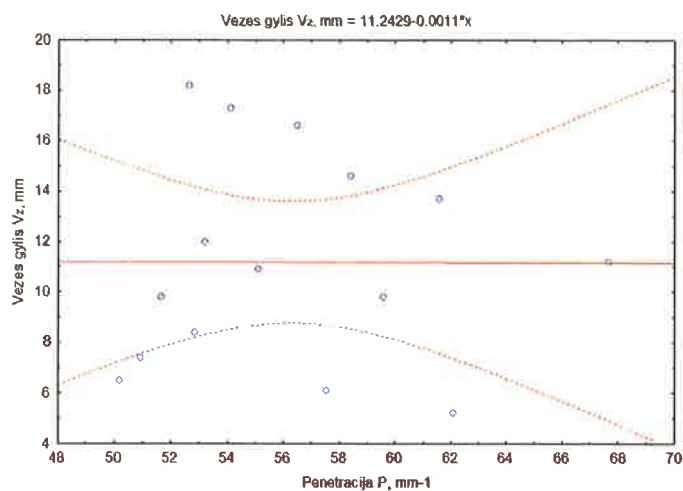


53 pav. Dangos lygumas – trapumo temperatūra

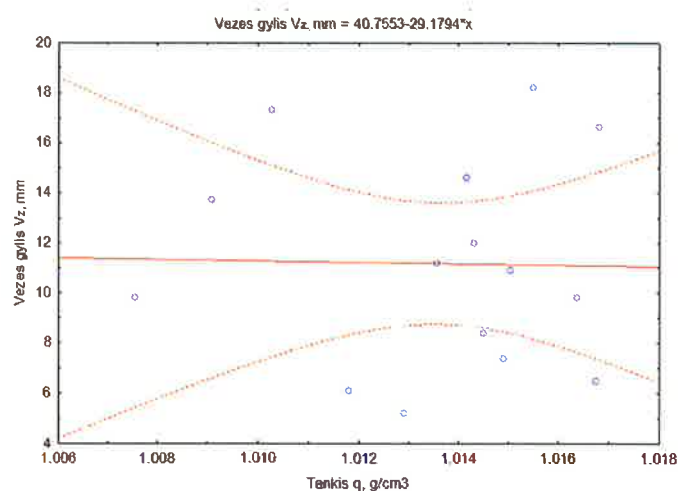


54 pav. Dangos lygumas – sankiba tamprumo jėgos metodu

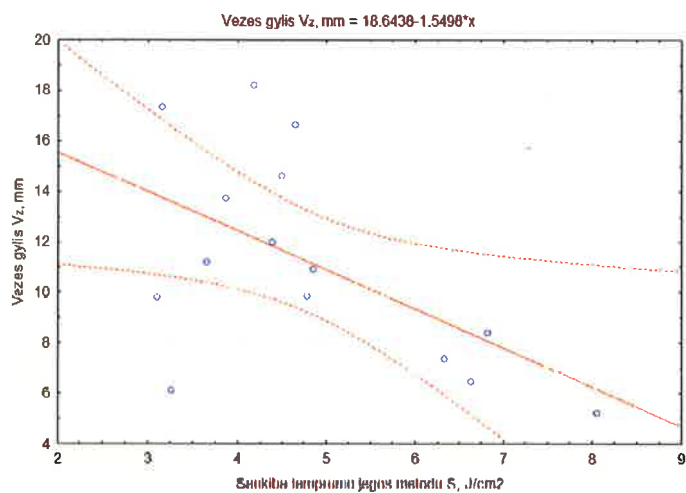
Dangos vėžės gylis ir polimerais modifikuoto bitumo koreliacinės priklausomybės



55 pav. Vėžės gylis – bitumo penetracija

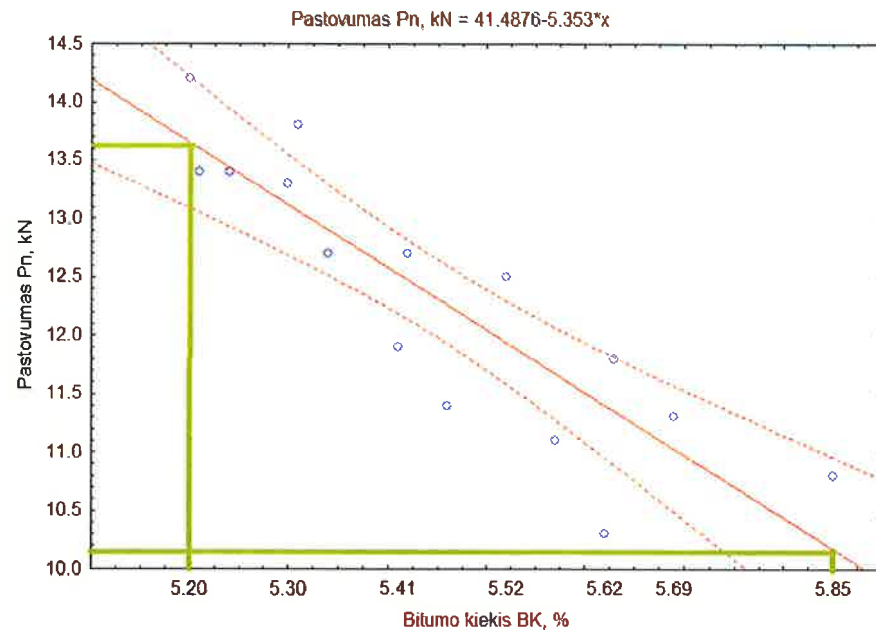


56 pav. Vėžės gylis – bitumo tankis

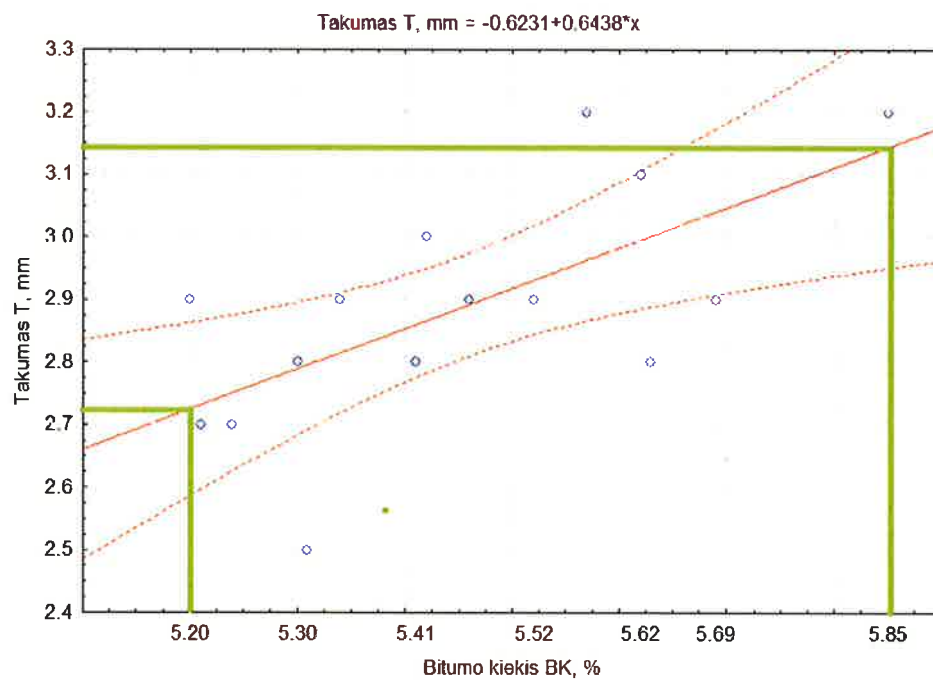


57 pav. Vėžės gylis – sunkia tamptumo jėgos metodu

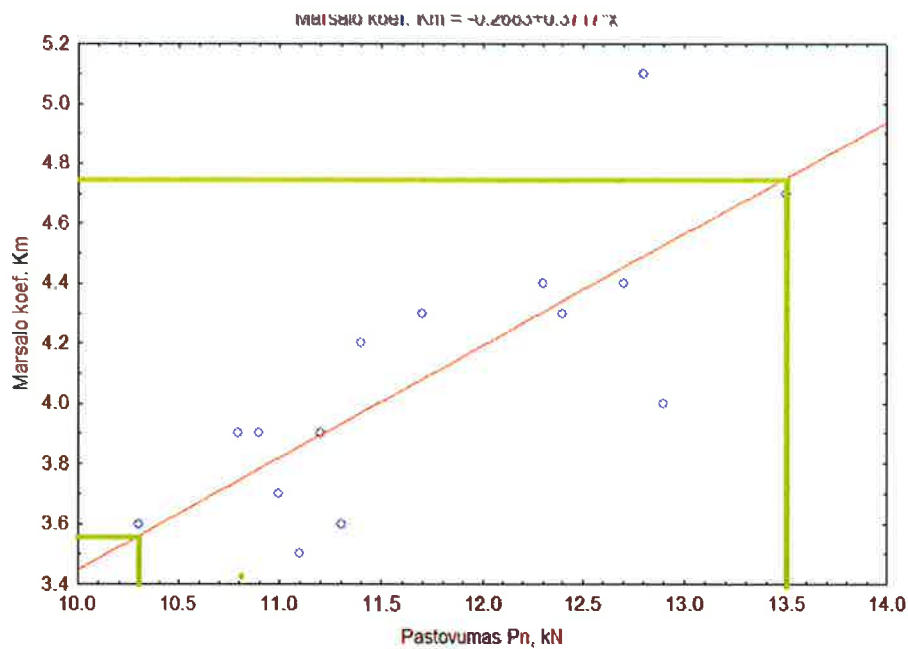
Grafinis modeliavimas kokybės rodiklių norminėms vertėms nustatyti AC 11 VS



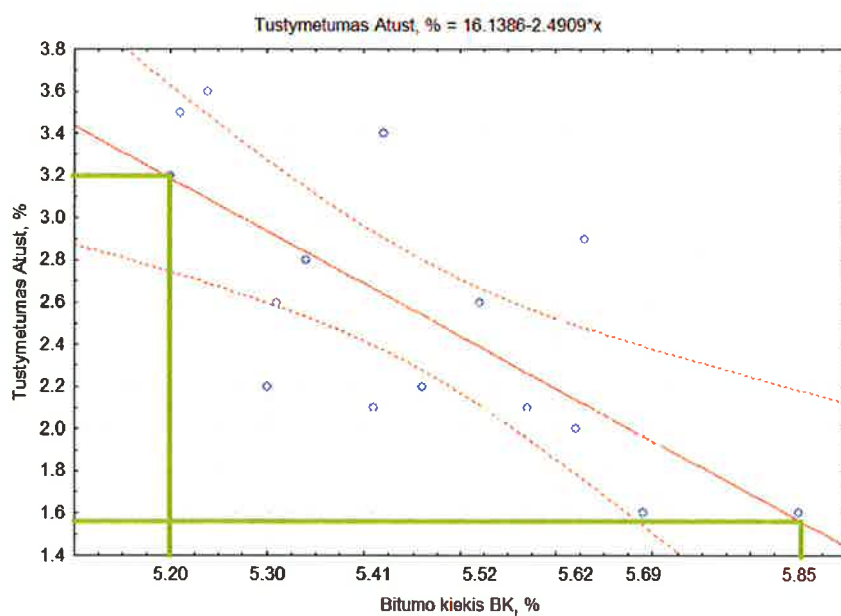
58 pav. Pastovumo ir bitumo kiekio modeliavimas



59 pav. Takumo ir bitumo kiekio modeliavimas

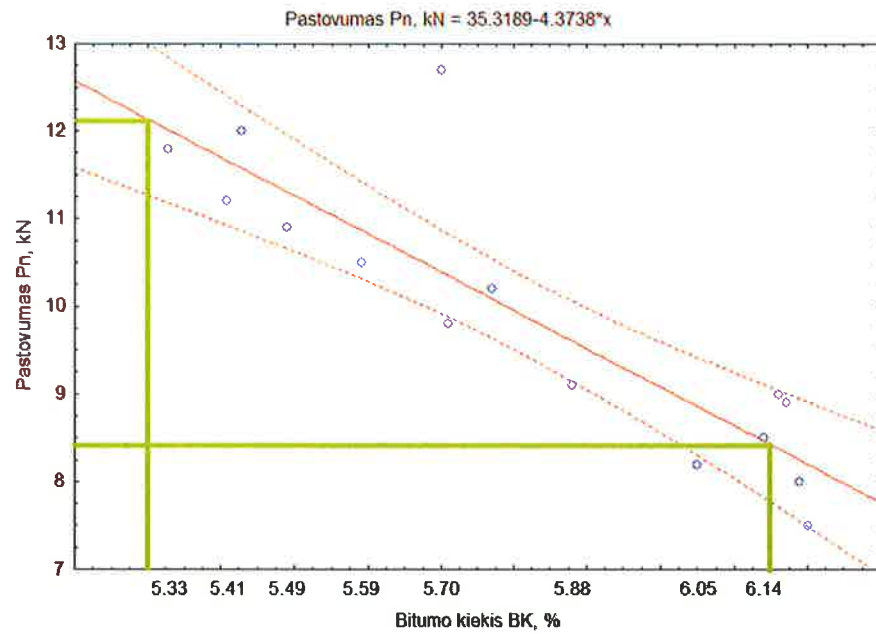


60 pav. Maršalo koef. ir pastovumo modeliavimas

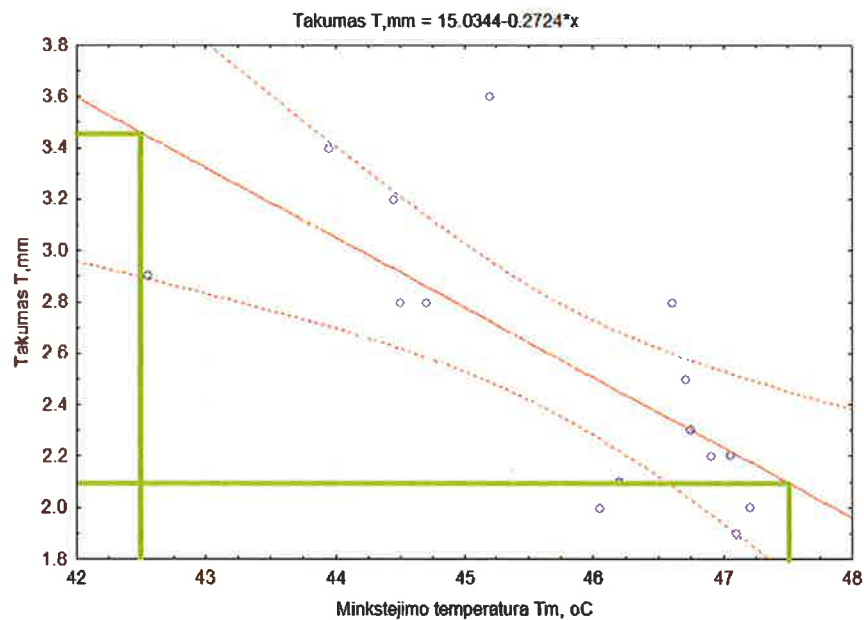


61 pav. Bitumo kiekio ir asfaltbetonio tuštymetumo modeliavimas

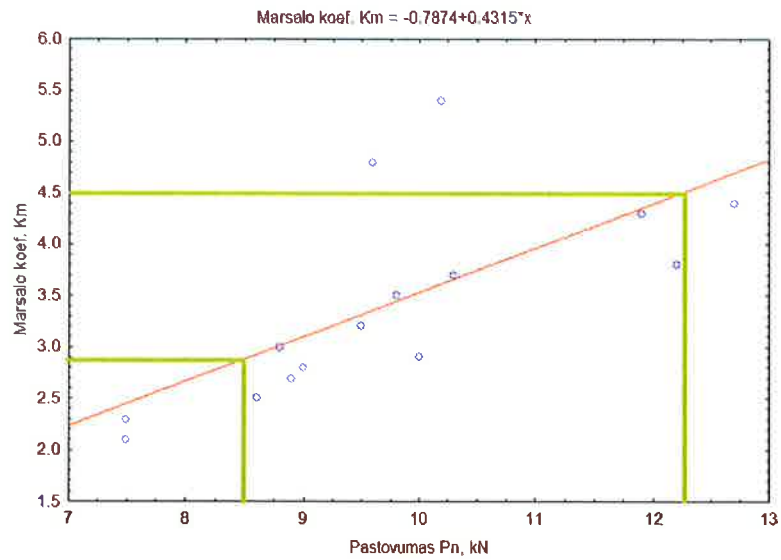
AC 11 VN



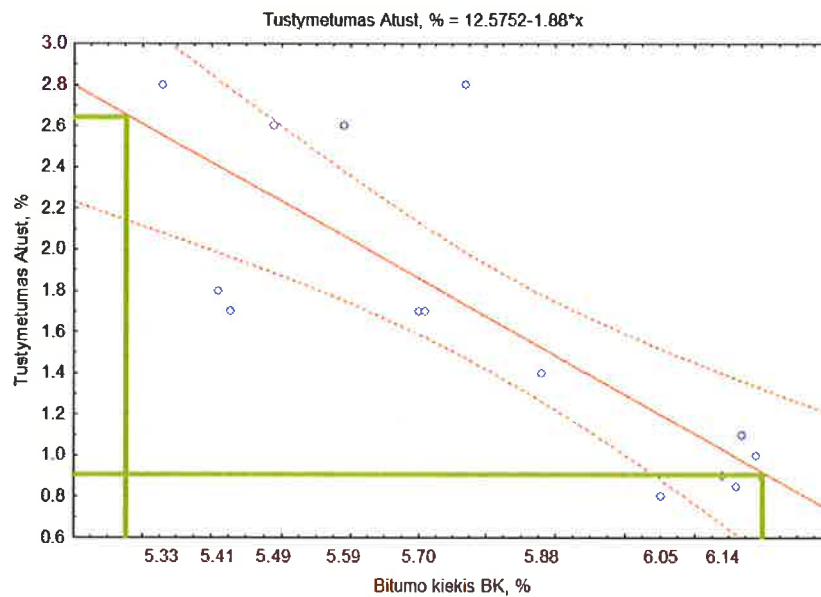
62 pav. Pastovumo ir bitumo kiekio modeliavimas



63 pav. Takumo ir minkštėjimo temperatūros modeliavimas



64 pav. Maršalo koef. ir pastovumo modeliavimas



65 pav. Asfaltbetonio tuštymetumo ir bitumo kiekio modeliavimas



Magistralinių kelių dangos viršutinio sluoksnio asfaltbetonio bitumo kokybės analizė ir įtaka asfaltbetonio savybėms

Ivetta Sivilevičienė

Anotacija: Šio darbo tikslas – ištirti Lietuvos automobilių keliams naudojamų bitumų savybes, šių savybių įtaką asfalto kokybės rodikliams. Pagal laboratorijoje atliktus bitumų tyrimų duomenis, nustatyta bitumo savybių sietis. Išanalizavus viršutiniojo asfalto sluoksnio kokybės rodiklius nustatytas bitumo kiekio ir mišinio fizikinių – mechaninių rodiklių tarpusavio ryšys. Tyrimų medžiaga apdorota statistiniu paketu „Statgraphics“. Atliktas bitumų kokybės rodiklių vertinimas. Pateiktos išvados ir rekomendacijos.

Prasminiai žodžiai: Bitumo savybės, bitumo penetracija, bitumo minkštėjimo temperatūra, bitumo kiekis, fiziniai – mechaniniai rodikliai, pastovumas, plastiškumas pagal Maršalą, oro tuštymių kiekis, koreliacinis ryšys.

1. Įvadas

Bitumas – brangiausia mišinio medžiaga, todėl svarbu ne tik garantuoti aukštus asfaltbetonio mišinių rodiklius, bet ir panaudoti minimalų rišiklio kiekį.

Bitumai parenkami atsižvelgiant ne tik į eismo sąlygas, bet ir į vyraujanti klimatą. Keliams tiesti ir taisyti naudojami bitumai privalo turėti visą kompleksą struktūrinių ir mechaninių, taip pat reikiamų sukibimo savybių, platų temperatūrų intervalą, turi būti termiškai stabilūs esant aukštoms temperatūroms, būti atsparūs senėjimui veikiant įvairiems klimato veiksniams bei automobilių transporto eismui. (Першин М. Н.; Баринов Е. Н.; Кореневский В. 1989)

Bitumų struktūra – vienas svarbiausių veiksnių, nuo kurių priklauso bitumų reologinės savybės, todėl jų struktūros tyrimai labai svarbūs vertinant jų eksploatacines savybes automobilių kelių asfaltbetonio dangoje.

2. Metodika tyrimams atlikti ir duomenims apdoroti

Daugelyje mokslo darbų bitumų struktūrą siūloma charakterizuoti jų dispersiškumo rodikliu D_r , (Руденская, И. М.; Руденский, А. В. 2010):

$$D_r = \frac{S + C}{A + P}, \quad (2.1)$$

Čia: S – smalų kiekis, % bitume;

C – ciklinių angliavandenilių kiekis, %;

A – asfaltų kiekis, %;

P – prisotintųjų angliavandenilių kiekis, % bitume.

Kai asfaltų ir prisotintųjų angliavandenilių kiekis bitume būna labai didelis, jo dispersiškumo rodiklis D_r būna mažas ($D_r = 0,49 - 0,55$), kai bitume būna labai daug smalų ir ciklinių angliavandenilių, jo dispersiškumo rodiklis D_r būna didelis – tada būna silpna bitumo vidaus struktūra.

Visumoje bitumų reologinės savybės, parodančios jų deformatyvumą, priklauso nuo bitumų komponentų, įeinančių į bitumų sudėtį, cheminės sudėties, tiek ir nuo jų kokybės. Žaliavų cheminė sudėtis (naftos kilmė ir savybės) turi ženklios įtakos bitumų struktūrai ir jų reologinėms savybėms. Bitumų gamybos būdas taip pat ženkliai apsprendžia jų kokybės rodiklius. Likutiniams bitumams būdingas didesnis stabilumas, bet mažesnė plastiškumo intervalo vertė, lyginant su bitumais, pagamintais sunkiųjų naftos frakcijų oksidavimo oro deguonimi būdu. (Руденская, И. М.; Руденский, А. В. 2010).

Ukrainoje atlikti tyrimai (Zolotariov, V. A. 2010) parodė, kad bitumo markė (penetracija ir kitos savybės), bitumo kiekis asfaltbetonyje (%) ir bitumo struktūros tipas (gelis, zolis–gelis ir zolis) daro ženklią įtaką asfaltbetonio dangoje atsirandantiems įtempiams σ ir deformacijoms ϵ .

Tyrimui buvo naudojami trijų markių bitumai naudojami asfaltbetonio mišiniams gaminti (PMB45/80-55E, B50/70 ir B70/100,) o taip asfaltbetonio mišinių su šiais bitumais tyrimai. Siekiant nustatyti kokybės rodiklius, buvo atliekami šie automobilių kelių bitumo bandymai:

1. Bitumo minkštėjimo temperatūra pagal žiedo ir rutulio metodą, LST EN 1427:2007;
2. Bitumo penetracijos rodiklis (adatos būdu), LST EN 1426:2007;

Minkštėjimo temperatūra – temperatūra, kurioje bandinys standartizuotomis bandymo sąlygomis pasiekia specifinę konsistenciją. Minkštėjimo temperatūra nustatoma taip – du horizontalūs bituminio rišiklio diskai, esantys nustatytų matmenų žalvariniuose žieduose, buvo kaitinami skysčio vonioje, kol išlaikė plieninį rutulį. Minkštėjimo temperatūra laikomos tokios temperatūros, kuriose du diskai suminkštėja tiek, kad kiekvienas plieninis rutulys, esantis bituminiame rišiklyje, nukrenta ($25,0 \pm 0,4$) mm atstumą.

Penetracija – konsistencija išreikšta kaip standartinis adatos vertikalus įsmigimas į medžiagos bandinį milimetrais, kai yra nustatyta bandymo temperatūra, apkrova ir apkrovos trukmė.

Taip pat laboratorijoje buvo atlikti tokie asfaltbetonio mišinių (SMA 11S, AC11VS ir AC 11VN) bandymai:

1. Pastovumas ir plastiškumas pagal Maršalą (prie 60 °C), LST EN 12697-34+A1:2007;
2. Tuštymetumo rodiklis, LST EN 12697-6+A1:2007;
3. Bitumo kiekis, LST EN 12697-1:2006.

Bandymai buvo atliekami paėmus asfaltbetonio mišinių ėminių iš gamyklos.

Bitumų bei asfaltbetonio mišinių tyrimų metu gautų rezultatų statistiniai skaičiavimai atlikti naudojant statistinį paketą „STATGRAPHICS“.

Šios programos privalumas - aukštas skaičiavimo tikslumas. Atliktos tiesinės regresinės analizės, su 99 % tikimybe, kurios parodo vieno kintamojo skaitinės reikšmės priklausomybę nuo kito kintamojo. Anomalios reikšmės atmestos dėl nuokrypių nuo projektinės vertės.

Vienmatės regresijos modelis - statistinis modelis, leidžiantis vieno kintamojo reikšmes prognozuoti pagal kito kintamojo reikšmes. Statistiniai metodai, skirti regresijos modeliui sudaryti, patikrinti, ar jis tinkamas, ir taikyti prognozėms turi bendrą pavadinimą – regresinė analizė.

Dviejų kintamųjų tiesinei priklausomybei įvertinti naudojamas koreliacijos koeficientas, kuris parodo, ar matuojamų kintamųjų tiesinė priklausomybė stipri.

Galima patikrinti, ar koreliacija statistiškai reikšminga. Jei koreliacija lygi 0, vadinasi šie dydžiai yra nepriklausomi. Jei koreliacija lygi 1 arba -1, vadinasi šie dydžiai yra tiesiškai priklausomi. Dažnai tokios informacijos per mažai ištirti ryšius tarp dviejų kintamųjų, todėl atliekamos regresinės analizės. Svarbiausias tiesinės regresinės analizės privalumas yra tai, kad parenkama kintamuosius siejanti funkcija. (Sakalauskas 2003)

Apytikslė kintamojo y priklausomybė nuo x aprašoma lygtimi:

$$y = bx + c \quad (2.2)$$

Naudojantis laboratorijoje atliktų tyrimų duomenimis ir atliktais tyrimais, buvo analizuojamos bitumo savybės, bitumo kiekis, asfaltbetonio mišinio fiziniai, mechaniniai rodikliai. Naudojant statistinį paketą „STATGRAPHICS“ buvo apskaičiuoti pagrindiniai duomenų imties statistiniai rodikliai: imtis, aritmetinis vidurkis, standartinis nuokrypis, standartinė paklaida, minimali reikšmė, maksimali reikšmė.

3. Tyrimų rezultatai

Tyrimui buvo naudojami trijų markių bitumai (PMB45/80-55E, B50/70 ir B70/100) bei asfaltbetonio mišinių (SMA 11S, AC11VS ir AC 11VN) tyrimai.

3.1 lentelėje pateikiami kelių bitumų tyrimų rezultatai, o 3.2 lentelėje pateikiami asfaltbetonio mišinių tyrimų rezultatai.

3.1 lentelė. Bitumų bandymų rezultatų suvestinė

Eil.Nr.	Penetracija, mm ⁻¹	Minkštėjimo temperatūra, ° C	Penetracija, mm ⁻¹	Minkštėjimo temperatūra, ° C	Penetracija, mm ⁻¹	Minkštėjimo temperatūra, ° C
	LST EN 1426:2007	LST EN 1427:2007	LST EN 1426:2007	LST EN 1427:2007	LST EN 1426:2007	LST EN 1427:2007
	PMB45/80-55E		B50/70		B70/100	
1	52	55,7	53	48,5	77	46,1
2	48	59,2	58	49,4	78	47
3	53	55,6	58	49,7	72	46
4	52	57,0	49	49,3	77	45,8
5	50	55,9	60	48,7	74	46,1
6	53	62,8	62	48,3	82	45,6
7	50	56,3	64	48,0	80	45,2
8	52	64,0	60	48,4	85	45,5
9	48	57,7	60	48,3	81	47
10	50	62,0	60	48,3	77	45,1
11	48	62,5	58	48,8	79	45,8
12	52	61,0	59	48,8	78	46,4
13	48	57,0	54	48,3	77	46,1
14	50	60,0	53	49,4	79	46
15	48	56,3	51	49,0	76	45,9

3.2 lentelė. Asfaltbetonio mišinių bandymų rezultatų suvestinė

Eil.Nr.	Pastovumas, kN	Plastiškumas, mm	Maršalo koef., kN/mm	Asfaltbetonio tuštymėtumo rodiklis, %	Bitumo kiekis, %
SMA 11 S (su PMB45/80-55E)					
1	8,7	3,3	2,6	1,9	6,68
2	12,2	3,3	3,7	2,4	6,37
3	10,7	3,4	3,1	2,6	5,91
4	10,5	3,5	3,0	2,5	5,93
5	9,8	2,9	3,4	2,9	6,76
6	7,8	2,2	3,5	3,1	5,98
7	9,8	3,9	2,5	2,3	6,59
8	9,2	3,1	3,0	2,4	6,76
9	8,7	3,1	2,8	2,0	6,83
10	9,3	3,8	2,4	2,7	6,70
11	8,0	3,1	2,6	2,4	6,56
12	7,7	2,3	3,3	2,4	6,60
13	7,8	3,5	2,2	2,8	6,62
14	8,0	2,5	3,2	2,7	6,96
15	8,2	2,7	3,0	2,9	6,70

3.2 lentelės tęsinys

Eil.Nr.	Pastovumas, kN	Plastiškumas, mm	Maršalo coef., kN/mm	Asfaltbetonio tuštymėtumo rodiklis, %	Bitumo kiekis, %
AC 11 VN (su B50/70)					
16	12,8	2,5	5,1	1,8	5,31
17	11,1	3,2	3,5	1,5	5,57
18	10,9	2,8	3,9	2,1	5,41
19	10,3	2,9	3,6	2,2	5,69
20	12,9	3,2	4,0	1,6	5,85
21	11,3	3,1	3,6	2,0	5,62
22	13,5	2,9	4,7	2,6	5,52
23	11,4	2,7	4,2	3,6	5,24
24	11,0	3,0	3,7	3,4	5,42
25	10,8	2,8	3,9	2,9	5,63
26	12,7	2,9	4,4	2,3	5,20
27	12,3	2,8	4,4	2,2	5,30
28	11,2	2,9	3,9	1,6	5,34
29	11,7	2,7	4,3	2,0	5,21
30	12,4	2,9	4,3	1,5	5,46
AC 11 VN (su B70/100)					
31	9,0	3,2	2,8	1,1	5,33
32	9,5	3,0	3,2	1,7	5,43
33	7,5	3,6	2,1	0,8	5,49
34	8,6	3,4	2,5	1,8	5,41
35	12,7	2,9	4,4	1,7	5,70
36	12,2	3,2	3,8	1,7	6,14
37	11,9	2,8	4,3	2,4	6,05
38	10,3	2,8	3,7	1,4	6,19
39	10,0	3,4	2,9	1,5	6,16
40	8,8	2,9	3,0	1,4	5,88
41	7,5	3,3	2,3	1,8	6,20
42	8,9	3,3	2,7	2,1	6,17
43	9,6	2,0	4,8	2,6	5,59
44	10,2	1,9	5,4	2,8	5,77
45	9,8	2,8	3,5	1,7	5,71

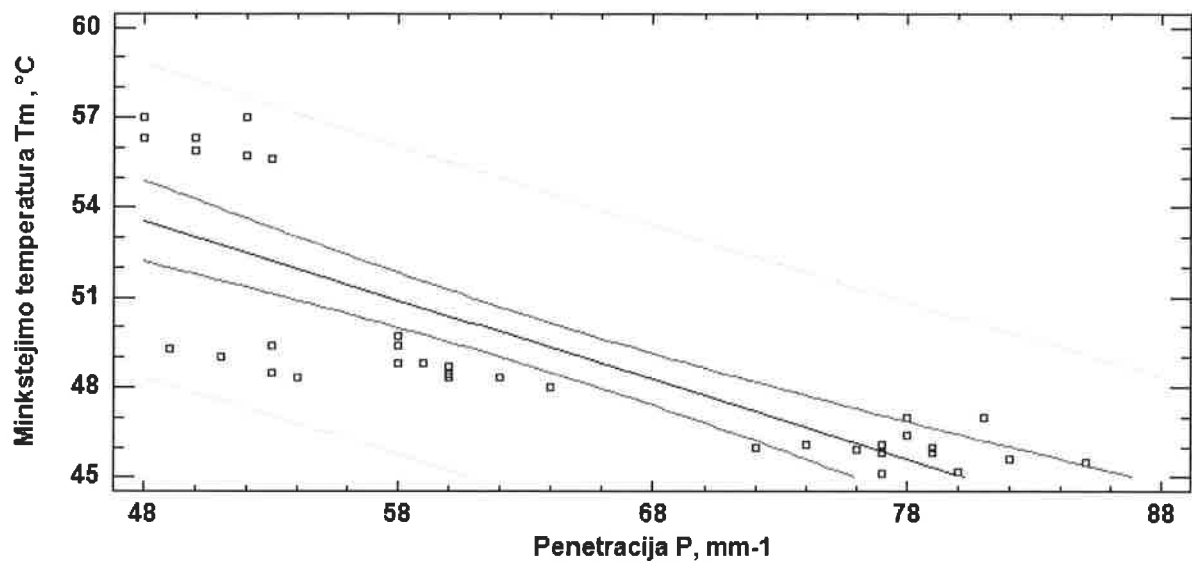
Pagal gautus bitumų rezultatus nustatomos priklausomybės tarp penetracijos ir minkštėjimo temperatūros, pastovumo, plastiškumo, Maršalo coef. ir tyštymėtumo rodiklio. Regresinės analizės pateikiamos 3.1–3.5 pav.

Regresinės analizės modelis: $Y = a + b \cdot X$;

Koreliacijos koeficientas yra $-0,96$;

$R^2 = 0,93$;

$T_M = 55,11 - 0,12 \cdot P_N$.



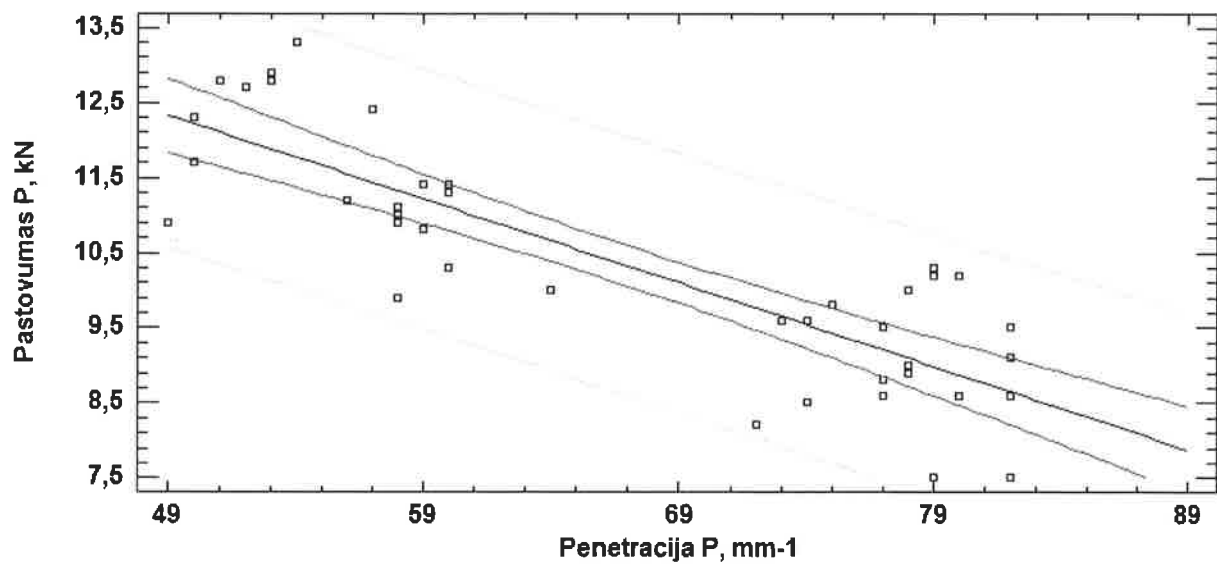
3.1 pav. Bitumo penetracijos ir jo minkštėjimo temperatūros sietis

Regresinės analizės modelis: $Y = a + b \cdot X$;

Koreliacijos koeficientas yra $-0,84$;

$R^2 = 0,71$;

$P = 17,77 - 0,11 \cdot P_N$.



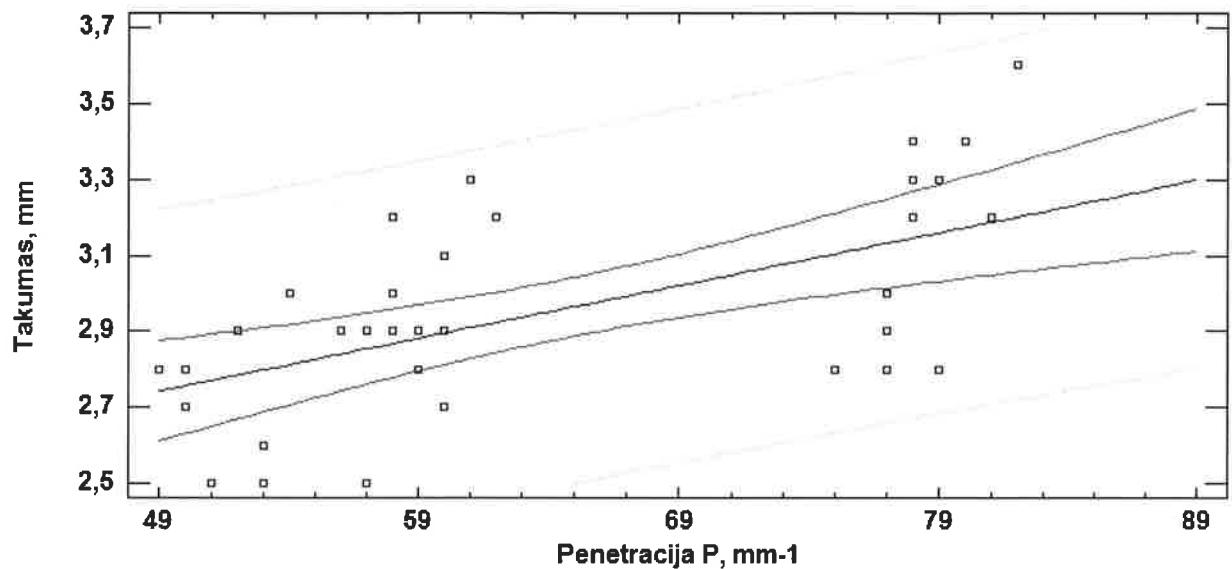
3.2 pav. Bitumo penetracijos ir asfaltbetonio pastovumo pagal Maršalą sietis

Regresinės analizės modelis: $Y = a + b \cdot X$;

Koreliacijos koeficientas yra 0,58;

$R^2 = 0,33$;

$T = 2,07 + 0,01 \cdot P_N$.



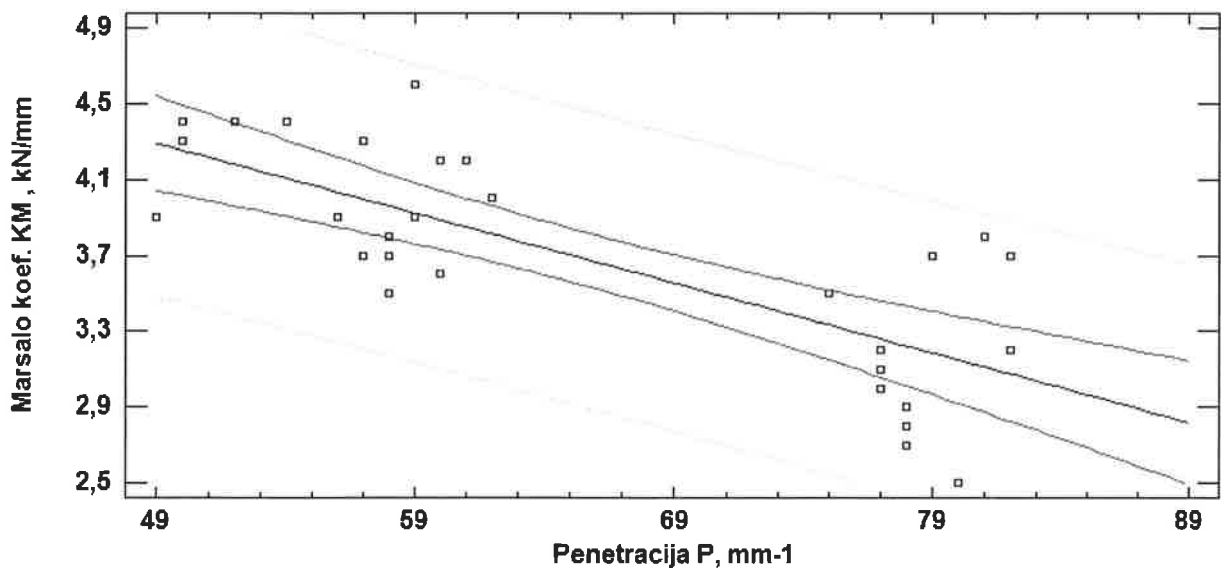
3.3 pav. Bitumo penetracijos ir asfaltbetonio plastiškumo pagal Maršalą sietis

Regresinės analizės modelis: $Y = a + b \cdot X$;

Koreliacijos koeficientas yra -0,75;

$R^2 = 0,57$;

$K_M = 6,08 - 0,04 \cdot P_N$.



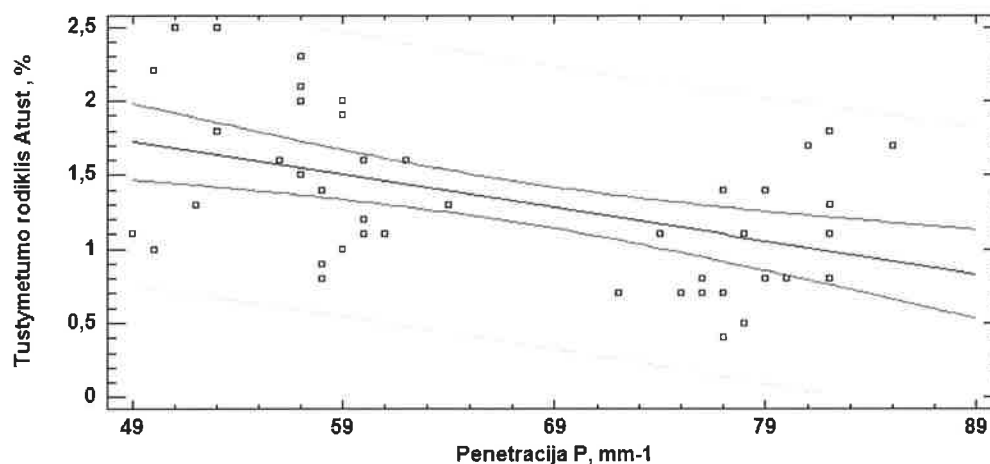
3.4 pav. Bitumo penetracijos ir Maršalo coef. verčių sietis

Regresinės analizės modelis: $Y = a + b \cdot X$;

Koreliacijos koeficientas yra $-0,48$;

$R^2 = 0,24$;

$A_{tušt} = 2,82 - 0,02 \cdot P_N$.



3.5 pav. Bitumo penetracijos ir asfaltbetonio tuštymetumo rodiklio sietis

Pagal atliktas ir pateiktas 3.1–3.5 pav. regresines analizes matome nedidelę duomenų išsibarstymą. Glaudžiausia sietis nustatyta tarp penetracijos ir minkštėjimo temperatūros, penetracijos ir pastovumo. Koreliacijos koeficiento vertės svyruoja nuo $R = -0,48$ iki $R = -0,96$, o rodiklio R^2 vertės nuo $R^2 = 0,24$ iki $R^2 = 0,93$.

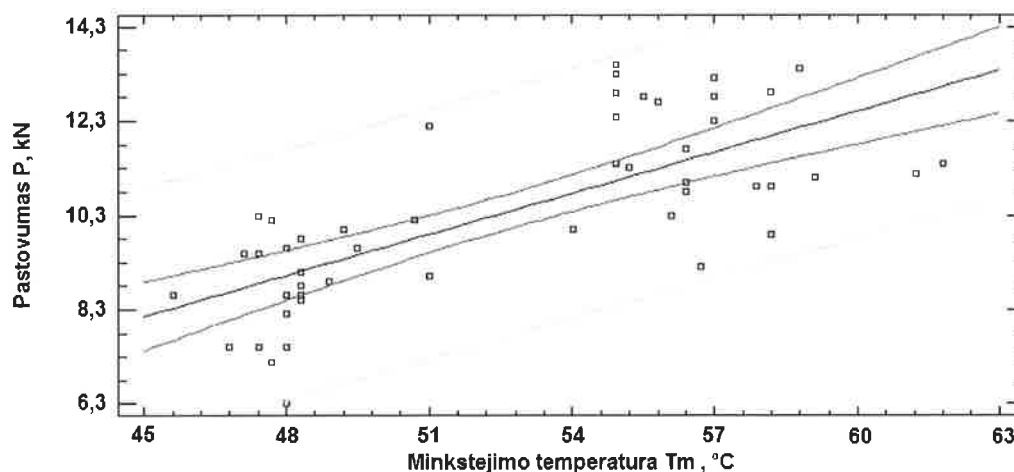
Nustatomos priklausomybės tarp minkštėjimo temperatūros ir pastovumo, plastiškumo, Maršalo koef. Regresinės analizės pateikiamos 3.6–3.8 pav.

Regresinės analizės modelis: $Y = a + b \cdot X$;

Koreliacijos koeficientas yra $0,63$;

$R^2 = 0,40$;

$P = -28,28 + 0,81 \cdot T_m$.



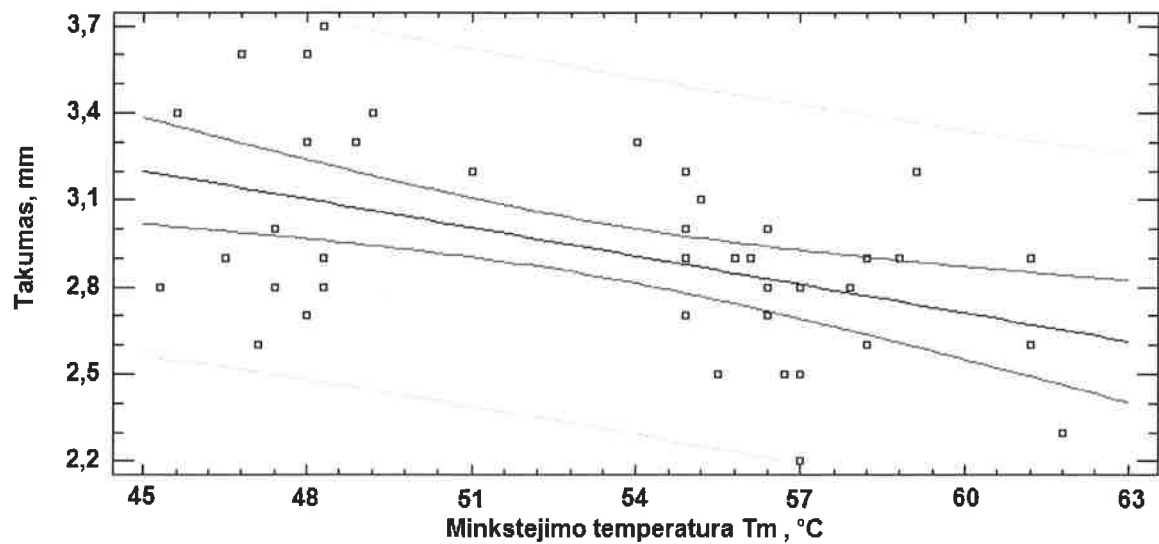
3.6 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir asfaltbetonio pastovumo pagal Maršalą verčių sietis

Regresinės analizės modelis: $Y = a + b \cdot X$;

Koreliacijos koeficientas yra $-0,77$;

$R^2 = 0,59$;

$T = 7,6 - 0,1 \cdot T_m$.



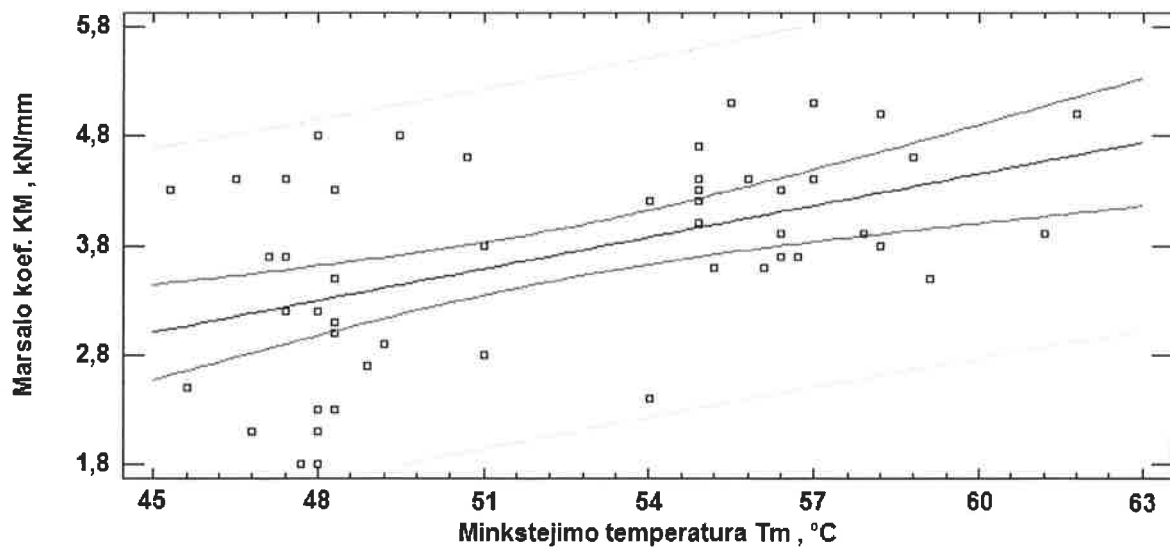
3.7 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir asfaltbetonio takumo pagal Maršalą sietis

Regresinės analizės modelis: $Y = a + b \cdot X$;

Koreliacijos koeficientas yra $0,49$;

$R^2 = 0,24$;

$K_M = -10,0 + 0,29 \cdot T_m$.



3.8 pav. Bitumo minkštėjimo temperatūros ir Maršalo coef. verčių sietis

Pagal atliktas ir pateiktas 3.6–3.8 pav. regresines analizes matome nedidelį duomenų išsibarstymą. Nustatyta glaudi sietis tarp gautų rezultatų, dyžiai yra tiesiškai priklausomi. Glaudžiausia sietis nustatyta tarp minkštėjimo temperatūros ir pastovumo. Koreliacijos koeficiento vertės svyruoja nuo $R = -0,47$ iki $R = 0,73$, o rodiklio R^2 vertės nuo $R^2 = 0,22$ iki $R^2 = 0,53$.

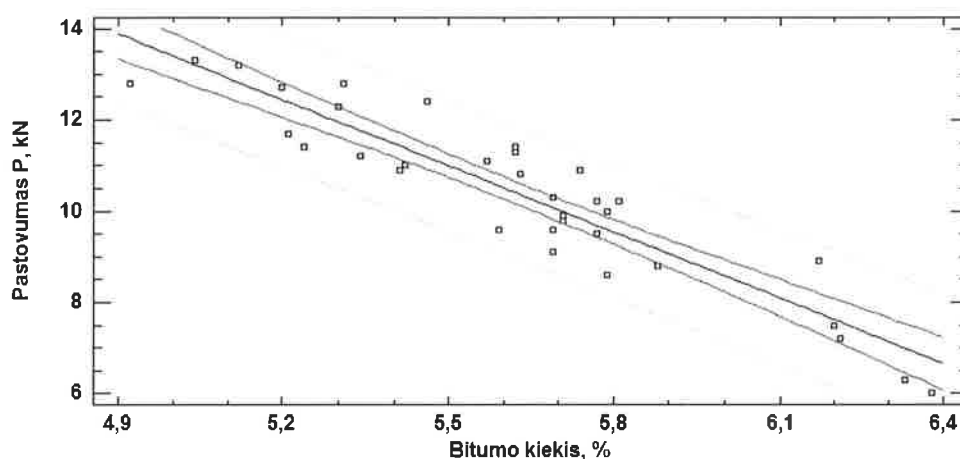
Nustatomos priklausomybės tarp bitumo kiekio ir pastovumo, plastiškumo, Maršalo coef. bei tuštymėtumo rodiklio. Regresinės analizės pateikiamos 3.9–3.12 pav.

Regresinės analizės modelis: $Y = a + b \cdot X$;

Koreliacijos koeficientas yra $-0,93$;

$R^2 = 0,86$;

$P = 37,49 - 4,82 \cdot BK$.



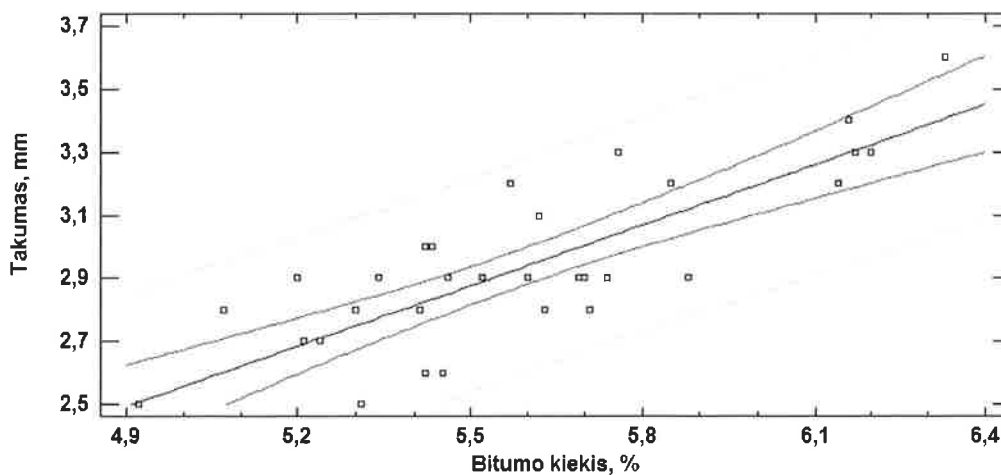
3.9 pav. Bitumo kiekio ir asfaltbetonio pastovumo pagal Maršalą verčių sietis

Regresinės analizės modelis: $Y = a + b \cdot X$;

Koreliacijos koeficientas yra $0,81$;

$R^2 = 0,66$;

$T = -0,63 + 0,64 \cdot BK$.



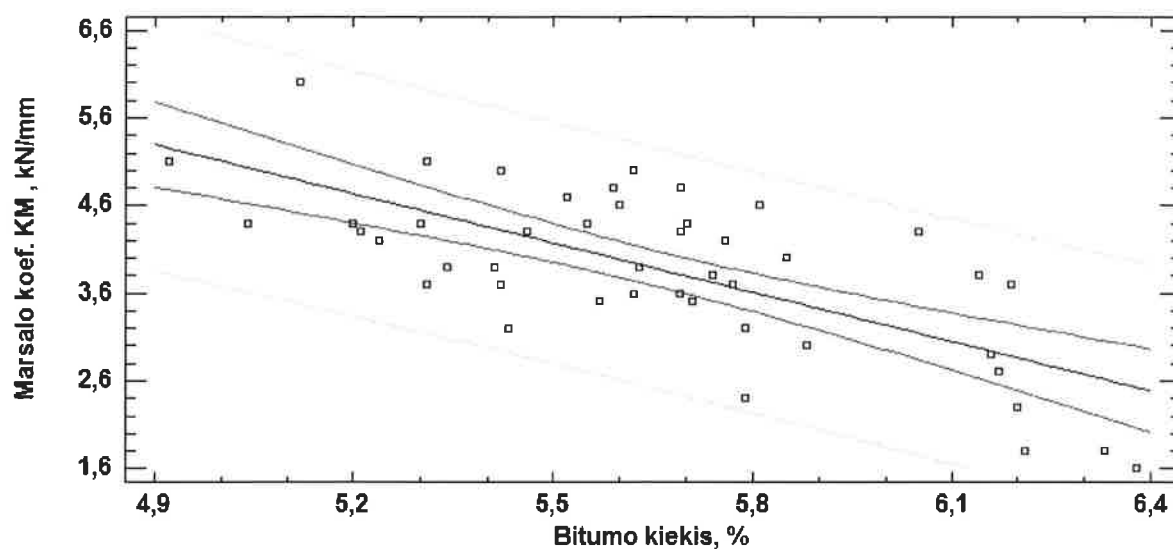
3.10 pav. Bitumo kiekio ir asfaltbetonio takumo pagal Maršalą verčių sietis

Regresinės analizės modelis: $Y = a + b \cdot X$;

Koreliacijos koeficientas yra $-0,71$;

$R^2 = 0,50$;

$K_M = 14,45 - 1,87 \cdot BK$.



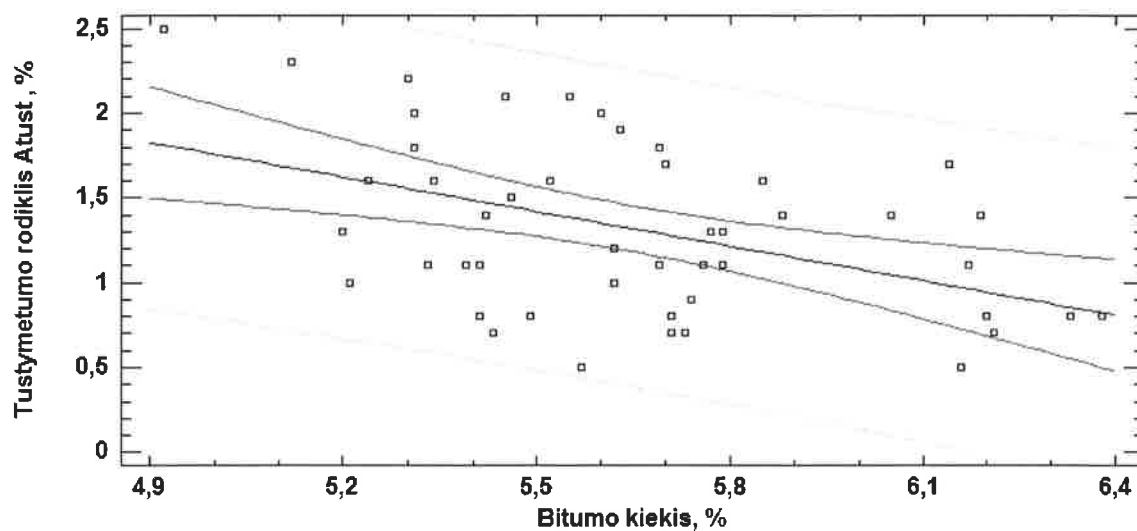
3.11 pav. Bitumo kiekio ir Maršalo koef. verčių sietis

Regresinės analizės modelis: $Y = a + b \cdot X$;

Koreliacijos koeficientas yra $-0,46$;

$R^2 = 0,21$;

$A_{tušt} = 5,15 - 0,68 \cdot BK$.

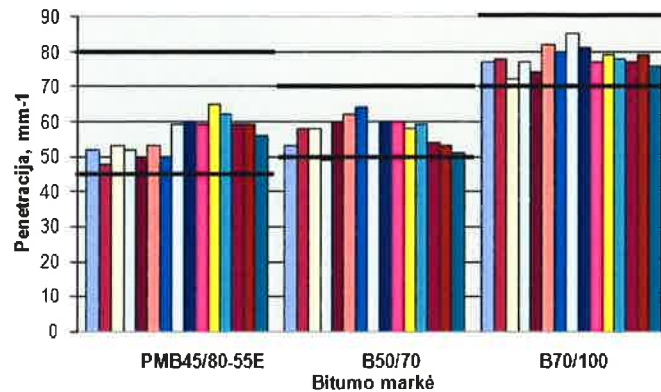


3.12 pav. Bitumo kiekio ir asfaltbetonio tuštymetumo rodiklio verčių sietis

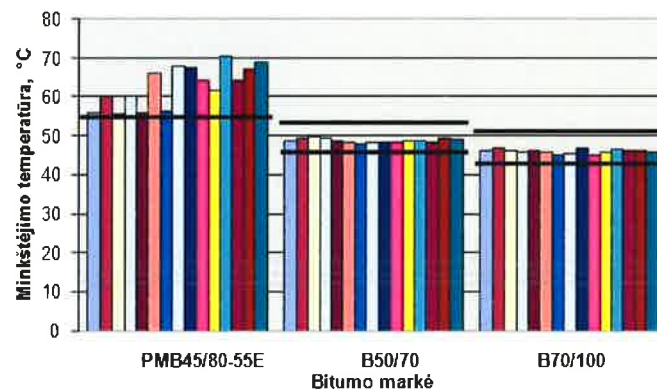
Pagal atliktas ir pateiktas 3.9–3.12 pav. regresines analizes matome nedidelį duomenų išsibarstymą. Glaudžiausia sietis nustatyta tarp bitumo kiekio ir pastovumo bei plastiškumo. Koreliacijos koeficiento vertės svyruoja nuo $R = -0,46$ iki $R = 0,93$, o rodiklio R^2 vertės nuo $R^2 = 0,21$ iki $R^2 = 0,86$.

4. Bitumo savybių ir bitumo kiekio įtakos dangos kokybės rodikliams vertinimas

Bitumo kokybę nusako didelis rodiklių skaičius: penetracija, minkštėjimo temperatūra, kinematinė klampa, dinaminė klampa, trapumo temperatūra ir kt. Šiame darbe buvo išnagrinėti du bitumo kokybės rodikliai: penetracija ir minkštėjimo temperatūra. 4.1 ir 4.2 pav. pateikiamos diagramos kuriose matyti bitumo tyrimų rezultatų kitimas.



4.1 pav. Bitumo savybės – penetracijos tyrimų rezultatų kitimas

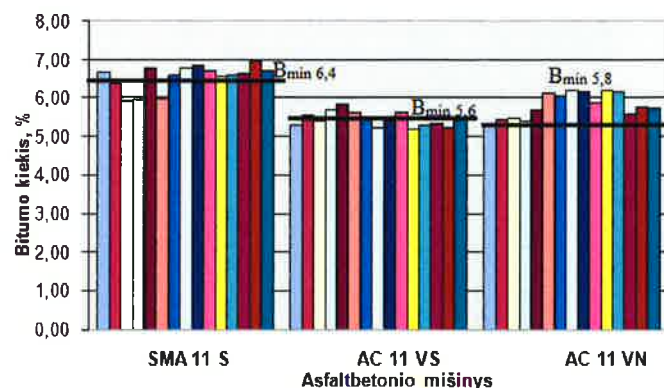


4.2 pav. Bitumo savybės – minkštėjimo temperatūros tyrimų rezultatų kitimas

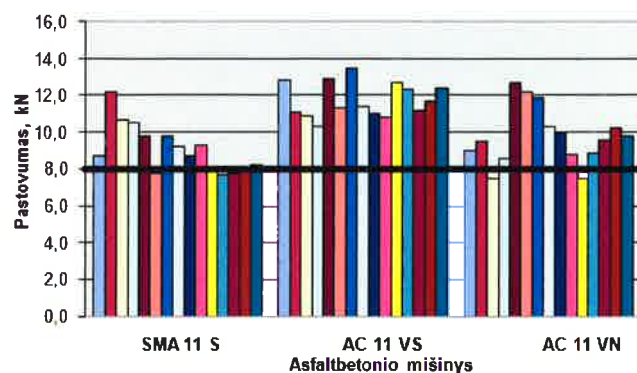
Pagal pateiktas diagramas matome bitumo savybių tyrimų rezultatų kitimą. Didėjant penetracijos reikšmėms, mažėja minkštėjimo temperatūros tyrimų rezultatai.

Bitumo savybės bei bitumo kiekis asfaltbetonio mišinyje įtakoja jo fizines – mechanines savybes. Didinant bitumo kiekį, mišinio stipris didėja tik iki tam tikros ribos. Jei dra padidinsime bitumo kiekį, asfaltbetonio stipris sumažės. Bitumo kiekis laikomas optimaliu, kai asfaltbetonis įgauna didžiausią stiprį ir kitus geriausius savybių rodiklius. Bitumo rūšis bei bitumo savybės taip pat įtakoja asfaltbetonio mišinio savybes. Didėjant minkštėjimo temperatūrai padidėja ir mišinio pastovumas, o esant dideliai bitumo penetracijai didėja ir mišinio plastiškumo (takumo) rodiklis.

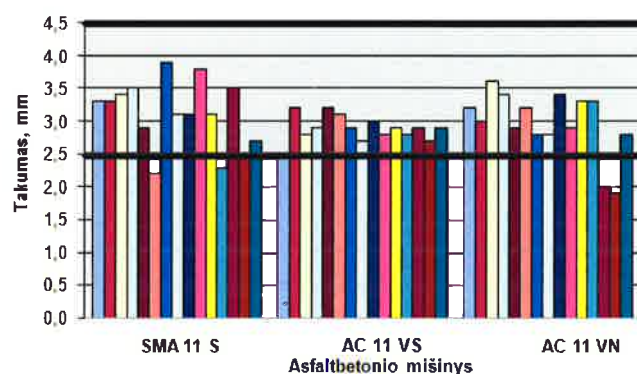
4.3 – 4.7 pav. pateikiamos diagramos, kuriose matyti bitumo kiekio ir asfalto mišinio fizikinių – mechaninių rodiklių kitimą. Kadangi nagrinėjami asfaltbetonio mišiniai paimti iš gamyklos, todėl bitumo kiekio ir asfalto mišinio fizinių – mechaninių rodiklių kitimas nurodytas pagal skirtingus asfaltbetonio mišinius.



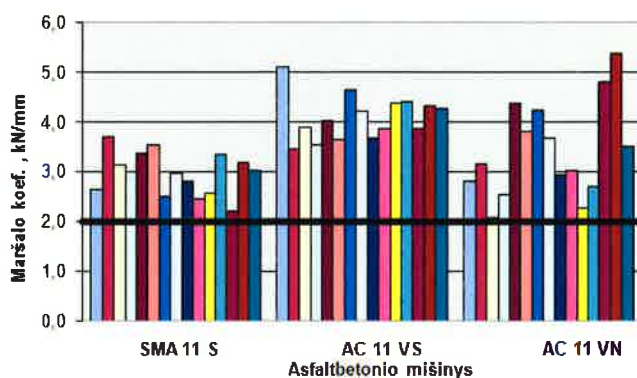
4.3 pav. Bitumo kiekio reikšmių kitimas (pagal asfaltbetonio mišinių tipus)



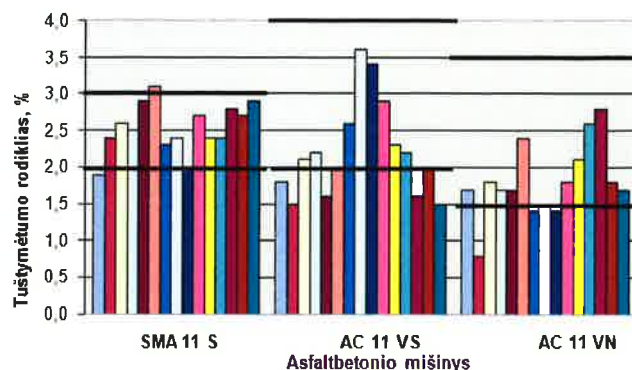
4.4 pav. Pastovumo reikšmių kitimas (pagal asfaltbetonio mišinių tipus)



4.5 pav. Plastiškumo(takumo) reikšmių kitimas (pagal asfaltbetonio mišinių tipus)



4.6 pav. Maršalo koef. reikšmių kitimas (pagal asfaltbetonio mišinių tipus)



4.7 pav. Tuštymetumo rodiklio kitimas (pagal asfaltbetonio mišinių tipus)

Priklausomybės tarp bitumo penetracijos, minkštėjimo temperatūros, bitumo kiekio bei asfaltbetonio mišinio fizinių – mechaninių rodiklių daugybinė regresinė analizė atliekama naudojant statistinį paketą „Statgraphics“. 4.1 – 4.4 formulėse pateikiami daugybinės regresinės analizės rezultatai.

Čia: P – pastovumas pagal Maršalą, kN;

T – takumas pagal Maršalą, mm;

K_M – Maršalo koeficientas, kN/mm;

$A_{tušt}$ – asfaltbetonio tuštymetumo rodiklis, %;

T_M – bitumo minkštėjimo temperatūra, °C;

P_N – bitumo penetracija, mm⁻¹;

BK – bitumo kiekis, %.

$$P = 0,278 \cdot T_M - 0,16 \cdot P_N - 9,912 \cdot BK + 0,0018 \cdot P_N \cdot T_M + 0,0004 \cdot (T_M)^2 - 0,000081 \cdot (P_N)^2 - 0,856 \cdot BK^2; \quad (4.1)$$

$$R^2 = 0,985;$$

$$T = -0,429 \cdot T_M + 0,039 \cdot P_N + 2,92 \cdot BK + 0,0008 \cdot P_N \cdot T_M - 0,0043 \cdot (T_M)^2 + 0,000061 \cdot (P_N)^2 + 0,272 \cdot BK^2;$$

$$(4.2)$$

$$R^2 = 0,986;$$

$$K_M = 0,456 \cdot T_M - 0,019 \cdot P_N - 6,33 \cdot BK - 0,0006 \cdot P_N \cdot T_M + 0,0041 \cdot (T_M)^2 - 0,00016 \cdot (P_N)^2 - 0,573 \cdot BK^2;$$

$$(4.3)$$

$$R^2 = 0,966;$$

$$A_{tušt} = -0,088 \cdot P_N - 3,35 \cdot BK - 0,0029 \cdot P_N \cdot T_M - 0,0006 \cdot (T_M)^2 + 0,00036 \cdot (P_N)^2 - 0,285 \cdot BK^2; \quad (4.4)$$

$$R^2 = 0,931;$$

5. Išvados, rekomendacijos

Bitumo markė, bitumo kiekis asfaltbetonyje ir bitumo struktūros tipas daro ženklią įtaką dangos asfaltbetonyje atsiradusiems įtempiams σ ir deformacijoms ϵ .

Nustatytos asfaltinių mišinių (SMA 11 S, AC 11 VS, AC 11 VN) bitumo kiekio, bitumo savybių ir fizinių bei mechaninių rodiklių tarpusavio koreliacinės regresinės priklausomybės.

Apdorojus rezultatus bei nustačius tarp šių rodiklių koreliacines regresines priklausomybes, galima daryti šias išvadas:

1. Pagal gautus bitumų (PMB45/80-55E, B50/70, B70/100) penetracijos bandymų rezultatus ir nustatytas priklausomybes, paaiškėjo, kad geriausia sietis yra tarp penetracijos ir pastovumo pagal Maršalą (koreliacijos koeficientas yra -0,84, o rodiklio R^2 vertė yra $R^2=0,71$);
2. Pagal gautus bitumų (PMB45/80-55E, B50/70, B70/100) minkštėjimo temperatūros bandymų rezultatus ir nustatytas priklausomybes, paaiškėjo, kad geriausia sietis yra tarp minkštėjimo temperatūros ir plastiškumo pagal Maršalą (koreliacijos koeficientas yra -0,77, o rodiklio R^2 vertė yra $R^2=0,59$);
3. Didžiausią įtaką bitumo kiekis turi pastovumui pagal Maršalą (koreliacijos koeficientas yra -0,93, o rodiklio R^2 vertė yra $R^2=0,86$);

Atlikti tyrimai parodė, kad norint užtikrinti aukštą asfalto kokybę, būtina nustatyti jo fizinių – mechaninių rodiklių (pastovumo ir plastiškumo pagal Maršalą) normines vertes ir jas pateikti techninių reikalavimų apraše TRA ASFALTAS 08.

Literatūra

1. Lietuvos automobilių kelių direkcijos interneto svetainė. 2012-02-21. Interneto prieiga <http://www.lra.lt>.
2. Palšaitis E., Sakalauskas K., Vidugiris L. Kelių eksploatacija. Vilnius: Mokslas, 1990, p. 195.
3. Petkevičius K., Sivilevičius H.. Automobilių kelių asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos reikiamos savybės ir racionali funkcionavimo trukmė. Transportas. Vilnius: Technika, 2000, XV tomas, nr. 4, p. 184 – 195.
4. Руденская, И. М.; Руденский, А. В. Органические вяжущие для дорожного строительства. Москва: Транспорт, 1984. 230 с.
5. Рыбьев, И. А. Строительное материаловедение: Учебное пособие для строительных вузов. Москва: Высшая школа, 2008. 702 с.
6. Рыбьев, И. А. Асфальтовые бетоны: Учебное пособие для строительных вузов. Москва: Высшая школа, 1969. 400 с.
7. Печеный Б. Г. Долговечность битумных и битумоминеральных покрытий Москва: Стройиздат, 1981

8. Robert N. Hunter. Bituminous mixtures in road construction. London: Thomas Telford, 1994. 441 p.
9. Дорожно-строительные материалы: Учебник для вузов / И. М. Грушко, И. В. Королев, И. М. Борщ, Г. М. Мищенко. Москва: Транспорт, 1991. 357 с.
10. Колбановская, А. С.; Михайлов, В. В. Дорожные битумы. Москва: Транспорт, 1973. 264 с.
11. Руденская, И. М.; Руденский, А. В. Органические вяжущие для дорожного строительства. Москва: ИНФРА, 2010. 256 с.
12. Яромко, В. Н.; Жайлович, И. Л. К вопросу определения трещиностойкости асфальтобетона. Наука и техника в дорожной отрасли, 2009, № 4, с. 22–25.
13. Vaitkus A., Čygas D., Laurinavičius A., Tumavičė A. Automobilių kelių tiesybos medžiagos. Bitumai, bituminiai rišikliai ir mišiniai. Vilnius: Technika, 2011.
14. Automobilių kelių asfalto mišinių techninių reikalavimų aprašas. TRA ASFALTAS 08. Vilnius: Lietuvos automobilių kelių direkcija, 2008.
15. Automobilių kelių dangos konstrukcijos asfalto sluoksnių įrengimo taisyklės. IT ASFALTAS 08. Vilnius: Lietuvos automobilių kelių direkcija, 2008.