



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

KELIŲ KATEDRA

Diana Stankevičiūtė

**LIETUVOS SVARBIAUSIŲ MAGISTRALINIŲ KELIŲ EKSPLOATACINIŲ
SAVYBIŲ KITIMO ANALIZĖ**

**ANALYSIS OF THE CHANGE IN SERVICE PROPERTIES OF THE MOST
IMPORTANT MAIN ROADS IN LITHUANIA**

Baigiamasis magistro darbas

Civilinė inžinerija, valstybinis kodas 62402T105

Keliai

Statybos inžinerija (02T)

Vilnius, 2010

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
KELIŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(parašas)

Alfredas Laurinavičius

Vardas, pavardė)

(Data)

Diana Stankevičiūtė

**LIETUVOS SVARBIAUSIŲ MAGISTRALINIŲ KELIŲ EKSPLOATACINIŲ
SAVYBIŲ KITIMO ANALIZĖ**
**ANALYSIS OF THE CHANGE IN SERVICE PROPERTIES OF THE MOST
IMPORTANT MAIN ROADS IN LITHUANIA**

Baigiamasis magistro darbas

Civilinė inžinerija, valstybinis kodas 62402T105

Keliai

Statybos inžinerija (02T)

Vadovas prof. dr. K. Petkevičius

parašas)

(data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2010

Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas

VGTU Aplinkos inžinerijos fakultetas

KELIU KATEDRA

Civilinės inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas.

Lietuvos svarbiausių magistralinių kelių eksploatacinių savybių kitimo analizė

Autorius: Diana Stankevičiūtė

Vadovas: Kazys Petkevičius

Kalba - lietuvių

Anotacija

Prieš rengiant kelių investicinius projektus surenkami ir detalios analizuojami esami kelių eksploatacinių rodiklių duomenys ir jų atitikimas reglamentuotoms norminėms reikšmėms. Baigiamajame darbe išanalizuoti automobilių kelių asfaltbetonio dangos būklės, patikimumo bei šių rodiklių gavimo ir apdorojimo metodai. Pateikiama automobilių kelių asfaltbetonio dangos reikiama eksploatacinių rodiklių teorinis pagrindimas, reglamentuotos norminės reikšmės bei eksploatacinių rodiklių gerinimo svarba. Naudojantis tyrimu, atliktu Lietuvos svarbiausiuose magistraliniuose keliuose A1 Vilnius – Kaunas - Klaipėda ir A5 Kaunas – Marijampolė - Suvalkai, duomenimis, atlikta pagrindinių eksploatacinių rodiklių - dangos lygumo, rato su danga sukibimo koeficiento, dangos suirimo masto rodiklio, konstrukcijos deformacijos modulio bei provėžų gylio analizė ir šių rodiklių kitimas laiko atžvilgiu. Nustatyta dangos būklę apibūdinančių rodiklių sistė. Analizės pagrindu pateikti rekomenduojami leistinieji dangos lygumo rodikliai. Pateiktos išvados ir rekomendacijos. Baigiamojo darbo aprašomojo skyriaus apimtis – 89 psl., 17 lentelių, 90 paveikslų, 44 bibliografiniai šaltiniai.

Raktiniai žodžiai: Dangos lygumas, dangos suirimo rodiklis, provėžų gylis, dangos konstrukcijos deformacijos modulis, rato su danga sukibimo koeficientas

Vilnius Gediminas Technical University

VGTU Aplinkos inžinerijos fakultetas

KELIU KATEDRA

Civil Engineering study programme master thesis.

Analysis of the Change in Service Properties of the Most Important Main Roads in Lithuania

Author: Diana Stankeviciute

Academic supervisor: Kazys Petkevicius

Thesis language - Lithuanian

Annotation

Before the preparation of highway investment projects, the available data of highway maintenance indices are collected and analysed and their conformity with the standard values is established. The thesis deals with the analysis of reliability of the condition of highway asphalt concrete pavement and the indices collection and procession methods. The thesis includes the theoretical grounding of the necessary maintenance indices of the highway asphalt concrete pavement, standard values and the importance of improvement of the maintenance indices. Using the data of the testing performed in the main Lithuanian highways A1 Vilnius – Kaunas - Klaipeda and A5 Kaunas – Marijampole - Suvalkai, the analysis of the basic maintenance indices, i.e. pavement smoothness, wheel adherence coefficient, pavement breakup degree index, construction deformation module and furrow depth, and the change of such indices in the terms of time has been carried out. The link between the indices characterising the condition of the pavement has been determined. Basing on the analysis, the recommended permitted pavement smoothness indices are presented. The conclusions and recommendations of the thesis are introduced. Theses consist of: 89 p. text without appendixes, 90 pictures, 17 tables, 44 bibliographical entries.

Keywords: Pavement smoothness, pavement breakup degree index, furrow depth, pavement construction deformation module, wheel adherence coefficient.

Turinys

ĮVADAS	12
1. LIETUVOS AUTOMOBILIŲ KELIAI IR JŲ EKSPLOATACINĖ BŪKLĖ	13
1.1. Lietuvos automobilių kelių tobulinimo raida.....	13
1.2. Automobilių keliai ir transporto priemonių eismas	16
1.3. Automobilių kelių dangos ir jos konstrukcijos būklė	17
1.4. Kelių eksploatacinių savybių įtaka ekonominiam efektyvumui ir kita gautina nauda	19
1.5. Skyriaus išvados	22
1.6. Darbo tikslas ir uždaviniai	23
2. AUTOMOBILIŲ KELIŲ DANGOS IR JOS KONSTRUKCIJOS REIKIAMOS EKSPLOATACINĖS SAVYBĖS	24
2.1. Automobilių kelių asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos funkcionavimo sąlygos	24
2.2. Kelių dangos konstrukcijos projektavimo ypatumai ir jų įtaka dangos bei jos konstrukcijos funkcionavimo trukmei.....	26
2.3. Automobilių kelių dangos ir jos konstrukcijos eksploatacinė būklė bei jos rodiklių vertinimo normos	28
2.4. Automobilių kelių asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos reikiamų eksploatacinių savybių teorinis pagrindimas.....	33
2.5. Skyriaus išvados	40
3. LIETUVOS MAGISTRALINIŲ KELIŲ ASFALTBETONIO DANGOS BŪKLĖS IR EKSPLOATACINIŲ SAVYBIŲ ANALIZĖ	41
3.1. Metodika tyrimams atlikti ir duomenims apdoroti	41
3.2. Svarbiausių magistralinių kelių asfaltbetonio dangos būklės ir eksploatacinių rodiklių kitimo analizė	47
3.3. Skyriaus išvados	76
4. LIETUVOS AUTOMAGISTRALIŲ ASFALTBETONIO DANGOS KOKYBĖS RODIKLIŲ VERTINIMAS	79
4.1 Asfaltinės dangos ir jos konstrukcijos rekomenduojami leistinieji eksploataciniai rodikliai	79
4.2. Kelių eksploatacinių savybių gerinimo svarba	81
4.3. Skyriaus išvados	84
BENDROSIOS IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS	85
LITERATŪRA	86
PRIEDAI.....	90

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

- 1.1. pav. Asfaltuotų kelių plėtra ir jos prognozės 1950-2015 m.
- 1.2. pav. Europos kelių tinklo koridoriai
- 1.3. pav. Lietuvos magistralinių kelių tinklas
- 1.4 pav. Eismo intensyvumo kitimas 2000-2009 m.
- 1.5 pav. Lietuvos kelių sudėtis
- 1.6 pav. Magistralinių ir krašto kelių stiprumo indekso kitimas 1992 – 2008 m
- 1.7 pav. Kelių dangos lygumo Y ir transporto išlaidų sietis
- 1.8 pav. Kelių dangos lygumo Y ir transporto priemonių srauto važiavimo greičio v sietis
- 1.9 pav. Eismo įvykių, juose sužeistųjų ir žuvusiųjų skaičius 2001-2009 m.
- 1.10 pav. Koreliacijos ryšys tarp sukibimo koeficiento ir a) santykinio sužeistų žmonių skaičiaus; b) žuvusių žmonių skaičiaus
- 2.1 pav. Ryšiai tarp atskirų dangos pažeidimų
- 2.2 pav. Skersinis plyšys užtaisytas bitumu magistraliniame kelyje A5 Kaunas – Marijampolė - Suvalkai
- 2.3 pav. Krintant temperatūrai, dangos konstrukcijoje atsiveria plyšys
- 2.4 pav. Kylant temperatūrai, dangos konstrukcijoje plyšiai užspaudžiami
- 2.5 pav. Asfaltbetonio defektų grupavimo schema
- 2.6 pav. Asfaltbetonio dangos suirimo lygio ir jos lygumo sietis
- 2.7 pav. Asfaltbetonio dangos suirimo lygio ir nestandžios dangos konstrukcijos stiprio sietis
- 2.8 pav. Nestandžios konstrukcijos stiprio ir asfaltbetonio dangos lygumo sietis
- 2.9 pav. Asfaltbetonio dangos funkcionavimo bei jos suirimo lygio sietis
- 3.1. pav. Lazerinis profilografas DYNATEST 5051 RSP
- 3.2. pav. Matavimo sijoje sumontuotų lazerinių matuoklių išdėstymo schema
- 3.3 pav. Mobili kelių tyrimo laboratorija RST – 28
- 3.4 pav. Krintančio svorio deflektometro Dynatest 8000 schema
- 3.5 pav. Normalinio pasiskirstymo kreivės
- 3.6 pav. Eismo intensyvumo augimas kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ir jo prognozė 2019 metais
- 3.7 pav. Eismo intensyvumo augimas kelyje A5 Kaunas- Marijampolė -Suvalkai ir jo prognozė 2019 metais

3.8 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos su automobilio ratu sukibimo koeficientas 2008 metais

3.9 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos su automobilio ratu sukibimo koeficientas 2008 metais

3.10 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos su automobilio rato padangos sukibimo koeficiento vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2008 metais

3.11 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos su automobilio rato padangos sukibimo koeficiento vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2008 metais

3.12 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė - Suvalkai ruožų dangos su automobilio ratu sukibimo koeficientas 2008 metais

3.13 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė - Suvalkai ruožų dangos su automobilio rato padangos sukibimo koeficiento vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2008 metais

3.14 pav. Magistralinių kelių tinklo lygumas intervaluose

3.15 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos lygumas 2000 metais

3.16 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos lygumo vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2000 metais

3.17 pav. Dangos lygumo vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio sietis kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2000 metais

3.18 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos lygumas 2004 metais

3.19 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos lygumo vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2004 metais

3.20 pav. Dangos lygumo vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio sietis kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2004 metais

3.21 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos lygumas 2006 metais

3.22 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos lygumo vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2006 metais

3.23 pav. Dangos lygumo vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio sietis kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2006 metais

3.24 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos lygumo aritmetinis vidurkis 2007 metais

3.25 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos lygumo vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2007 metais

- 3.26 pav. Dangos lygumo vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio sietis kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2007 metais
- 3.27 pav. Kelio A1 Vilniaus – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos lygumo aritmetinis vidurkis 2007, 2009 metais
- 3.28 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų lygumas intervaluose 2000 -2007 m.
- 3.29 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda lygumo patikimumas 2000-2007
- 3.30 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai dangos lygumas 2000 metais
- 3.31 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai ruožų dangos lygumo vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2000 metais
- 3.32 pav. Dangos lygumo vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio sietis kelyje A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai 2000 metais
- 3.33 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai dangos lygumas 2004 metais
- 3.34 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai ruožų dangos lygumo vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2004 metais
- 3.35 pav. Dangos lygumo vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio sietis kelyje A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai 2004 metais
- 3.36 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė- Suvalkai dangos lygumas 2006 metais
- 3.37 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai ruožų dangos lygumo vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2006 metais
- 3.38 pav. Dangos lygumo vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio sietis kelyje A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai 2006 metais
- 3.39 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė- Suvalkai dangos lygumas 2007 metais
- 3.40 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai ruožų dangos lygumo vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2007 metais
- 3.41 pav. Dangos lygumo vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio sietis kelyje A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai 2007 metais
- 3.42 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai ruožų lygumas intervaluose 2000-2007 m.
- 3.43 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai lygumo patikimumas 2000-2007 m
- 3.44 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 1 krypties 1 juostos ruožų suirimo lygis 2007 metais
- 3.45 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2 krypties 1 juostos ruožų suirimo lygis 2007 metais

- 3.46 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 1 krypties 1 juostos [240;249] km suirimo lygis 2007 metais
- 3.47 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2 krypties 1 juostos [180;189] km suirimo lygis 2007 metais
- 3.48 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai 1 krypties ruožų suirimo lygis 2007 metais
- 3.49 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai 2 krypties ruožų suirimo lygis 2007 metais
- 3.50 pav. Dangos lygumo ir suirimo lygio sietis magistralėje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2007 m
- 3.51 pav. Dangos lygumo ir suirimo lygio sietis magistralėje A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai 2007 m duomenys
- 3.52 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 1 krypties 1 ir 2 juostų provėžų gylių aritmetiniai vidurkiai
- 3.53 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 1 krypties 1 ir 2 juostų provėžų gylių vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai
- 3.54 pav. Dangos lygumo aritmetinio vidurkio ir provėžų gylio aritmetinio vidurkio sietis kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda
- 3.55 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai provėžų gylių aritmetiniai vidurkiai
- 3.56 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai provėžų gylių vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai
- 3.57 pav. Dangos lygumo aritmetinio vidurkio ir provėžų gylio aritmetinio vidurkio sietis kelyje A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai
- 3.58 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos ekvivalentinio deformacijos modulio vidurkiai 2007 metais
- 3.59 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos ekvivalentinio deformacijos modulio vidurkiai 2007 metais pritaikius sezoniškumo koeficientą
- 3.60 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos ekvivalentinio deformacijos modulio vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2007 metais
- 3.61 pav. A1 Kelio Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos ekvivalentinio deformacijos modulio patikimumas pritaikius sezoniškumo koeficientą
- 3.62 pav. Deformacijos modulio vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio sietis magistralėje Vilnius – Kaunas - Klaipėda

3.63 pav. Dangos lygumo mažėjimo ir ekvivalentinio deformacijos modulio sietis kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2007 m duomenys

3.64 pav. Dangos suirimo laipsnio didėjimo ir deformacijos modulio sietis kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2007 m duomenys

3.65 Kelio A5 Kaunas – Marijampolė - Suvalkai ruožų dangos ekvivalentinio deformacijos modulio vidurkiai 2006 metais

3.66 Kelio A5 Kaunas – Marijampolė - Suvalkai ruožų dangos ekvivalentinio deformacijos modulio vidurkiai 2006 metais pritaikius sezoniškumo koeficientą – 0,58

3.67 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė - Suvalkai ruožų dangos ekvivalentinio deformacijos modulio vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2006 metais

3.68 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai ruožų dangos ekvivalentinio deformacijos modulio patikimumas

3.69 pav. Deformacijos modulio vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio sietis magistralėje Kaunas – Marijampolė - Suvalkai

4.1 pav. Į tarptautinius koridorius investuoto 1 Lt grynoji nauda projekto gyvavimo laikotarpiu 2008 m kainomis

4.2 pav. Įgyvendintų projektų vidinė gražos norma

LENTELIŲ SĄRAŠAS

- 1.1 lentelė Lietuvos kelių ir jų dangos ilgio kitimas 2003-2010 metais
- 1.2 lentelė Lietuvos magistralinių kelių sąrašas
- 1.3 lentelė Transporto priemonių skaičiaus kitimo dinamika 2000–2009 metais
- 1.4 lentelė Lietuvos kelių dangos 2010.01.01
- 1.5 lentelė. Avaringumo priklausomybė nuo kelio dangos būklės
- 2.1 lentelė. Tarptautinio lygumo rodiklio IRI ribos naujoms įrengtoms dangoms
- 2.2 lentelė. Tarptautinio lygumo rodiklio IRI ribos eksploatuojamoms dangoms
- 2.3 lentelė. Automobilių kelių dangos ir konstrukcijos reikiamos eksploatacinės savybės pagal priežiūros lygius
- 2.4 lentelė. Defektų vizualaus vertinimo normos
- 2.5 lentelė. Magistralinių kelių asfaltbetonio dangos būklės, atsižvelgiant į suirimo lygio D vertės, vertinimas balais
- 2.6 lentelė. Lietuvos automagistralių asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos eksploatacinių rodiklių leistinosios vertės
- 3.1 lentelė Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda dangos lygumo statistiniai rodikliai
- 3.2 lentelė Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai dangos lygumo statistiniai rodikliai
- 4.1 lentelė Kelio A1 Vilnius –Kaunas – Klaipėda 2009 m naujai rekonstruotų dangų vidutinio lygumo ir standartinio nuokrypio duomenys
- 4.2 lentelė. Kelių dangos parametrų leistinosios ir ribinės vertės
- 4.3 lentelė. Kelių dangos parametrų siūlomos leistinosios ir ribinės vertės
- 4.4 lentelė. Nagrinėjamų magistralinių kelių remonto darbų kiekiai per paskutiniuosius 15 metų

IVADAS

Keliai ir jų tiesimas yra labai svarbūs visuomenei. Kelių transporto sistemos sėkmingas vystimasis turi tiesioginės įtakos valstybės ekonomikos augimui. Lietuvos geopolitinė padėtis sudaro sąlygas sėkmingai integruotis į Europos kelių tinklą. Šiandien Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių tinklą sudaro 21 268,4 km kelių, iš jų: magistralinių kelių 1 738,5 km, krašto kelių 4 939,3 km, rajoninių kelių 14 590,6 km. Kelių tinklo tankumas 2010-ųjų metų pradžioje 1000-iui gyventojų sudarė 6,39 km, o 1000-iui km² – 326 km. Lietuvoje yra E kategorijos kelių 1 506,5 km, pirmos kategorijos kelių 575,2 km, iš jų 309,1 km automagistralių. Valstybės kelius valdo ir prižiūri Lietuvos automobilių kelių direkcija (LAKD).

Sparčiai didėjantis transporto priemonių skaičius rodo ekonomikos augimą. Automobilių kelių transportui tenka didžiausia dalis krovinių ir keleivių vežimų. 2008 m statistiniais duomenimis, kelių transportu buvo pervežta 59 426,5 tūkst. t. krovinių, tai 7,49 % lenkia geležinkelių transporto krovinių pervežimo apimtį, kurios yra antroje vietoje. Tačiau gaunama nauda visuomenei sukelia ir nepageidaujamų socialinių ir ekonominių pasekmių. Automobilių transporto eismo augimas daro didelę įtaką kelių dangų ir jos konstrukcijos kokybei. Kasmet didėjant eismo intensyvumui Lietuvos kelių danga neženkliai silpsta – jos stipris pagal modifikuotą struktūrinį skaičių SNC kasmet vidutiniškai sumažėja 2 % [1]. Jeigu kelio dangos paviršius yra nelygus, tai padidėja apkrovų dinamiškumas, sumažėja važiojimo saugumas, greitis ir komfortabilumas. Taigi, kad automobilių keliai gebėtų atlikti savo funkcinę paskirtį, jų danga turi būti pakankamai lygi ir šiurkšti, o dangos konstrukcija pakankamai stipri – šias savybes keliai turi išlaikyti funkcionuodami pakankamai ilgą laiką – visą norminį ar numatytą tarpremontinį laikotarpį.

Visos institucijos, kurių darbas yra susietas su kelių tiesimu ir eksploatavimu, turi rasti ekonominių klausimų sprendimus, subalansuotus su saugiu eismu, projektų techniniais bei inžineriniais rodikliais, aplinkos apsauga visuose kelių tiesimo ir eksploataavimo darbų etapuose.

Šio darbo tikslas – išanalizuoti magistralinių kelių dangos ir jos konstrukcijos svarbiausius eksploatacinius rodiklius, jų kitimą laiko požiūriu bei eksploatacinių rodiklių tarpusavio sietį.

1. LIETUVOS AUTOMOBILIŲ KELIAI IR JŲ EKSPLOATACINĖ BŪKLĖ

1.1. Lietuvos automobilių kelių tobulinimo raida

Dabartinis Lietuvos kelių tinklas buvo vystomas ilgas šimtmečius. Istorijos šaltiniai rodo, kad jau viduramžiais Lietuvos teritorijoje buvo išplėtotas vieškelių – gruntkelių tinklas. Pagrindinė, tuometinio kelių sankirta buvo Vilnius. Iš čia keliai vedė į Polocką, Lydą, Gardiną, Kauną ir kitas vietas, o XV a. sustiprėjus Lietuvos valstybei šie keliai nusitęsė iki Maskvos, Kijevo, Poznanės, Karaliaučiaus, Rygos ir kitų svarbių prekybos centrų.

Didelį palikimą dabartiniam kelių tinklui paliko carinė Rusija XIX a. pirmoje pusėje, siekdama palaikyti glaudesnius ryšius su Vakarų Europa, nutiesė Peterburgo – Varšuvos plentą, kuris ėjo per Zarasus, Uteną, Ukmergę, Kauną, Marijampolę, Kalvariją, su atšaka nuo Marijampolės į Karaliaučių.

Kitas carinės Rusijos nutiestas plentas buvo Peterburgas – Ryga – Karaliaučius, kuris ėjo per Joniškį, Šiaulius, Kryžkalnį, Tauragę. Tačiau automobilių transportą nukonkuravęs geležinkelis pristabdė kelių plėtojimą. Todėl naujų, stambesnių plentų tiesyba buvo atnaujinta maždaug tik po 70 metų pradėjus aštrėti nesutarimams tarp didžiųjų Europos valstybių. Šiuo metu Rusija pradėjo tiesti strateginius plentus, jungiančius Kauno fortus su šalies giluma.

Po Pirmojo pasaulinio karo jau Nepriklausoma Lietuva paveldėjo apie 1200 km plentų. Nuo šiol kelių tinklo plėtojimu pradėjo rūpintis Lietuvos Kelių valdyba, kuri per dešimtmetį nutiesė apie 700 km plentų, iš kurių reikšmingiausi yra: Žemaičių plentas, 170 km Cinkiškio – Kėdainių – Panevėžio – Biržų – Skaistkalnės plentas, Kretingos – Palangos, Biržų – Vabalninko plentai, rekonstruotas Nemuno pakrante vingiuojantis Kauno – Jurbarko kelias.

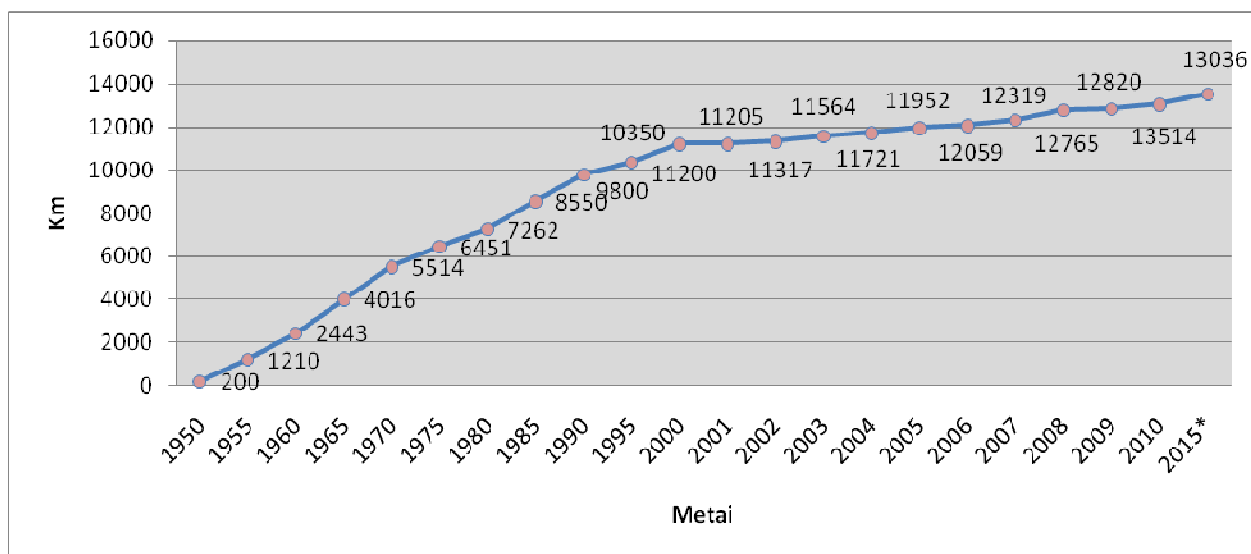
Karo metu Lietuvos kelių tinklas smarkiai nukentėjo. Jų atstatymas vyko itin lėtai dėl nevieningos atskirų žinybų veiklos, lėšų ir profesionalios darbo jėgos trūkumo.

1950 m. atlikus kelių inventorizaciją buvo nustatyta, kad Lietuvos kelių tinklą sudarė 40,8 tūkst.km kelių, iš jų tik 7,2 tūkst. km (17,6%) buvo laikomi pravažiuojamais ištisus metus oro sąlygų atžvilgiu.

1949-1970 metais nutiestas pirmasis I kategorijos kelias Lietuvoje Vilnius – Kaunas. Joje kiekvienai eismo kryptiai įrengta po 2 juostas, priešpriešinio eismo juostos atskirtos žaliaja juosta. 100 kilometrų ruože įrengta 18 skirtingo lygio sankryžų, pastatyti 3 viadukai bei 2 tiltai. 1972-1987 metais kelias pratęsta iki Klaipėdos, joje įrengta 31 skirtingų lygių sankryža, 13 skirtingo lygio

pervažų skersai kelią, viena žiedinė sankryža, pastatyti du viadukai per geležinkelius, 4 dideli tiltai per Nerį, Nevėžį, Dubysą, Miniją ir daug trumpesnių tiltų [2].

Pateikiama kaip didėjo asfaltuotų kelių tinklas 1950-2007 m. ir koks asfaltuotų kelių ilgis prognozuojamas 2015 m. įgyvendinus „2002-2015 metų Lietuvos Respublikos Valstybinės reikšmės kelių priežiūros ir plėtros programą“ [3] (1.1. pav).



1.1 pav. Asfaltuotų kelių ilgis 1950-2010 m. ir jo prognozė 2015 m.

1.1 lentelė Lietuvos kelių ir jų dangos ilgio kitimas 2003-2010 metais

	Valstybinės reikšmės keliai				
	2003	2005	2007	2008	2010
Asfalto dangos	12 151	12 587,32	12 872,56	13 136,29	13 584,389
Cementbetonio dangos	86	86,05	84,40	84,47	72,46
Žvyro dangos	9079	8 663,24	8 360,21	8 091,92	7 604,084
Grindinys	19	8,21	7,68	7,52	7,426
Iš viso	21 335	21 344,82	21 324,85	21 320,20	21 268,409

Nuo 1993 metų, Lietuvai pasirašius sutartį su kitomis Europos valstybėmis dėl tarptautinių magistralių, Europos kelių tinklui priskirtos šešios pagrindinės magistralės:



- E67 (Helsinkis - Talinas – Ryga – Panevėžys - Kaunas – Varšuva - Vroclavas - Praha)
- E28 (Berlynas - Gdanskas - Karaliaučius (Kaliningradas) - Marijampolė - Prienai - Vilnius - Minskas)
- E77 (Pskovas - Ryga - Šiauliai - Karaliaučius (Kaliningradas) - Varšuva - Krokua - Budapeštas)
- E85 (Klaipėda - Kaunas - Vilnius - Lyda - Černovcai - Bukareštas - Aleksandropolis)
- E262 (Kaunas - Utena - Daugpilis - Rzekne - Ostravas)
- E272 (Vilnius - Panevėžys - Šiauliai - Palanga - Klaipėda).

Visą magistralinių kelių tinklą sudaro 18 magistralinių kelių.



1.3 pav. Lietuvos magistralinių kelių tinklas [4]

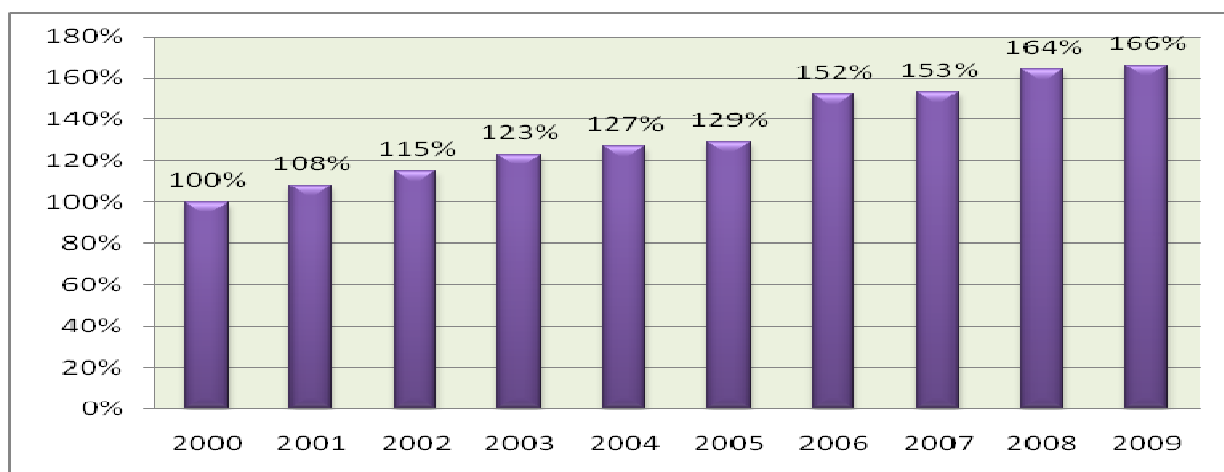
1.2 lentelė Lietuvos magistralinių kelių sąrašas

Kelio Nr.	Kelio pavadinimas	Kelio ilgis (km)
A1	Vilnius–Kaunas–Klaipėda	311,40
A2	Vilnius–Panevėžys	135,92
A3	Vilnius–*Minskas	33,99
A4	Vilnius–Varėna–*Gardinas	134,46
A5	Kaunas–Marijampolė–*Suvalkai	97,06
A6	Kaunas–Zarasai–*Daugpilis	185,40
A7	Marijampolė–Kybartai–*Kaliningradas	42,21
A8	Panevėžys–Aristava–Sitkūnai	87,86
A9	Panevėžys–Šiauliai	78,94
A10	Panevėžys–Pasvalys–*Ryga	66,10
A11	Šiauliai–Palanga	146,85
A12	Ryga*–Šiauliai–Tauragė–*Kaliningradas	186,09
A13	Klaipėda–Liepoja	45,15
A14	Vilnius–Utena	95,60
A15	Vilnius–*Lyda	49,28
A16	Vilnius–Prienai–Marijampolė	137,51
A17	Panevėžio aplinkkelis	22,28
A18	Šiaulių aplinkkelis	17,08
Iš viso		1873,18

Lietuvos kelių tinklas – tai didžiulis valstybės turtas, kurį reikia nuolat tinkamai prižiūrėti, modernizuoti ir plėtoti. Kuo geresni keliai, kuo racionaliau išplėtotas jų tinklas, kuo sparčiau ir saugiau galima jais važiuoti, tuo geresnis mūsų šalies įvaizdis.

Išlaikyti visais aspektais optimalų automobilių kelių tinklą yra didelis uždavinys. Ypač šis uždavinys sunkėja sparčiai intensyvėjant automobilių eismui bei krovinių automobilių srautui. Dėl to blogėja dangos eksploataciniai rodikliai, mažėja kelių eismo saugumas, blogėja aplinkosaugos padėtis, didėja automobilių transporto eksploataavimo išlaidos.

1.2. Automobilių keliai ir transporto priemonių eismas



1.4 pav. Eismo intensyvumo kitimas 2000-2009 m.

1.3 lentelė Transporto priemonių skaičiaus kitimo dinamika 2000–2009 metais [4]

Metai	Transporto priemonių skaičius							
	Iš viso	Transporto priemonės 1000 gyv.	Lengvieji automobiliai	Lengvieji automobiliai 1000 gyv.	Krovininiai automobiliai	Autobusai	Motociklai	Priekabos ir puspriekabės
2000	1286392	348	1065415	288	73289	15542	21741	110405
2001	1383724	396	1116473	319	142916	16631	25192	82512
2002	1479099	427	1180718	340	144801	17299	27532	108749
2003	1580476	458	1260034	365	156326	16881	28775	118460
2004	1634354	476	1318562	384	152278	15515	28995	119004
2005	1789657	524	1457954	427	160788	15676	30487	124752
2006	1950302	575	1595928	471	173114	16452	32478	132357
2007	1973622	585	1596186	473	177622	15776	40811	143227
2008	2106848	629	1704063	509	183969	15566	50739	152379
2009	2133720	641	1726462	519	178865	15144	57147	156102

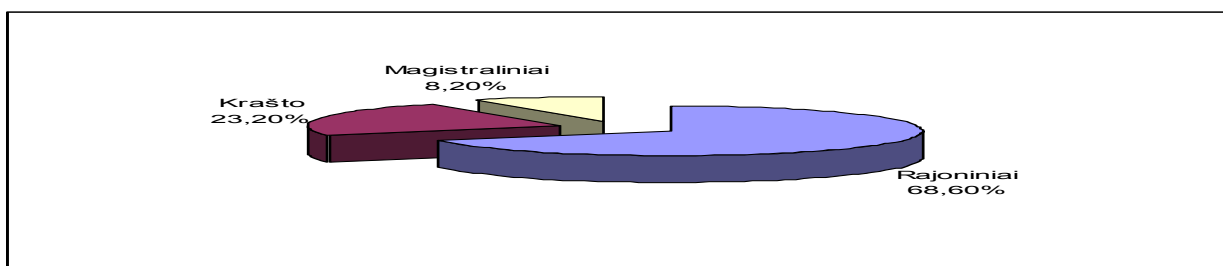
Eismo intensyvumo analizė parodė, kad:

- ✓ 2009 m. eismo intensyvumas lyginat su 2000 m. išaugo 66 proc.;
- ✓ 2008 metais, Statistikos departamento duomenimis, Lietuvoje buvo registruota 1,94 mln. kelių transporto priemonių;
- ✓ nuo 1995 m. kelių transporto priemonių parkas išaugo 2,15 karto [5];
- ✓ labai padidėjo tranzito krovinų transporto priemonių eismo intensyvumas, 2009 m. palyginti su 2000 m. išaugo 2,4 karto;
- ✓ eismo intensyvumas atskiruose ruožuose jau išaugo iki 30 tūkst. transporto priemonių per parą, o intensyviausiame eismo ruože Lietuvoje jau siekia 39 tūkst. transporto priemonių per parą;
- ✓ padidėjo automobilių važiavimo greičiai, pasikeitė eismo sudėtis, padidėjo automobilių svoris ir ašies apkrovos;
- ✓ krovinų vežimo apimtys 2013 m., palyginti su 2004 m., Lietuvos keliuose turėtų išaugti apie 50 - 60%;
- ✓ prognozuojama, kad eismo intensyvumas ateityje augs ir 2014 m., palyginti su 2009 m., padidės daugiau kaip 27 %;
- ✓ techniniai Lietuvos kelių tinklo parametrai netenkina didėjančių transporto srautų poreikių ir gerokai atsilieka nuo Europos Sąjungos kelių transporto infrastruktūros išsivystymo lygio.

1.3. Automobilių kelių dangos ir jos konstrukcijos būklė

1.4 lentelė Lietuvos kelių dangos 2010.01.01 [4]

Dangos	Valstybinės reikšmės keliai			
	Magistraliniai	Krašto	Rajoniniai	Iš viso
Asfalto dangos	1 666,93	4 939,354	6 978,105	13 584,389
Cementbetonio dangos	71,12	-	1,34	72,46
Žvyro dangos	-	-	7 604,084	7 604,084
Grindinys	0,42	-	7,006	7,426
Iš viso	1 738,47	4 939,354	14 590,585	21 268,409



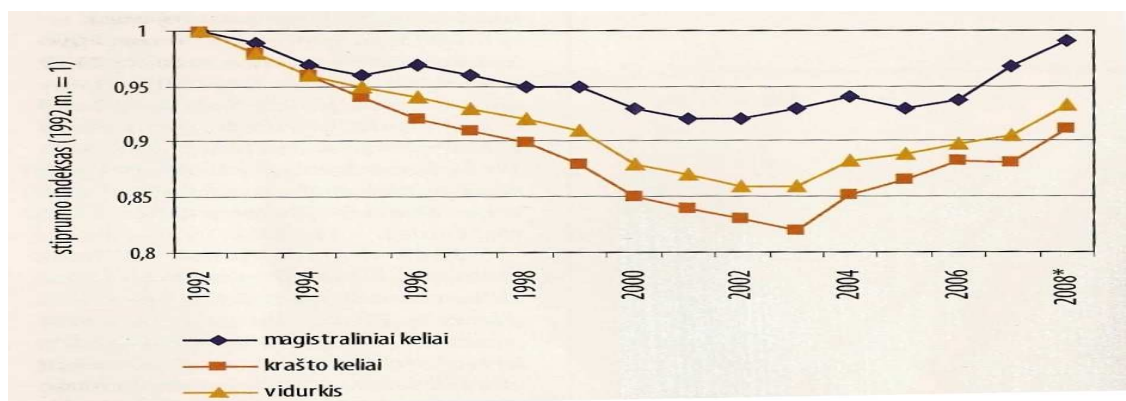
1.5 pav. Lietuvos kelių sudėtis

Kaip matyti iš diagramos magistraliniai keliai sudaro tik 8,20 % viso kelių tinklo, tačiau jiems tenka pats didžiausias transporto priemonių eismo apkrovimas.

Eismo intensyvumo pažiūriu didžiausias transporto priemonių skaičiaus didėjimo šuolis magistraliniuose keliuose jaučiamas nuo 2004-ųjų metų – Lietuvai tapus ES nare. Tai įtakojo spartų valstybės sieną kirtusių transporto priemonių, daugiausiai krovininių automobilių skaičiaus padidėjimą. Didžiausias eismo intensyvumo pokytis nustatytas kelyje A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai (Via Baltica automagistralė). Via Baltica kelias yra viena intensyviausio eismo tarptautinių magistralių ir viena iš pagrindinių Lietuvos transporto arterijų, turinčių ypač didelę įtaką Lietuvos ekonomikai. Via Baltica priklauso I Kretos transporto koridoriui, yra įtraukta į tarptautinės reikšmės kelių tinklą ir įteisinta kaip europinės reikšmės magistralė E67. Palyginus 2003 m. ir 2009 m. laikotarpius sunkiojo transporto eismo intensyvumas vidutiniškai padidėjo 2,1 karto, o tai reiškia, kad neigiamas poveikis kelio dangai padidėjo 5 kartus. Magistrale Via Baltica važiuojančių transporto priemonių skaičius 2009 metais jau pasiekė vidutiniškai 12500 automobilius per parą, o didžiausio eismo intensyvumo, Kauno miesto vakarinio apvažiavimo atkarpoje – net 29544 automobilių per parą, iš kurių 5020 sunkvežimiai.

Lietuvos kelių stiprumo indekso kitimas nuo 1992 metų pateiktas 1.6 pav. Kaip matyti iš diagramos Lietuvos įstojimas į Europos Sąjungą ir krovininio transporto padidėjimas turėjo gana didelę neigiamą įtaką magistralinių kelių dangų stiprumui. Lietuvoje keliai pagal savo parametrus (dangos plotį ir lygumą, dangos konstrukcijos stiprį) nėra pritaikyti atlaikyti sparčiai didėjančias automobilių ašių apkrovas ir ženkliai padidėjusį sunkiasvorio transporto eismą. Be to dauguma šalies kelių buvo suprojektuoti ir nutiesti, kai galiojo 10 t projekcinė ašies apkrova, todėl, nuo šiuo metu leidžiamos 11-13 t ašies apkrovos, sukeliamas pernelyg didelis visos dangos konstrukcijos ardymo poveikis [6].

Tačiau laiku suskubus ir padidinus kelių sektoriaus finansavimą kelio stiprumas buvo atstatytas ir 2008 metais beveik siekė 1993 metų lygį.

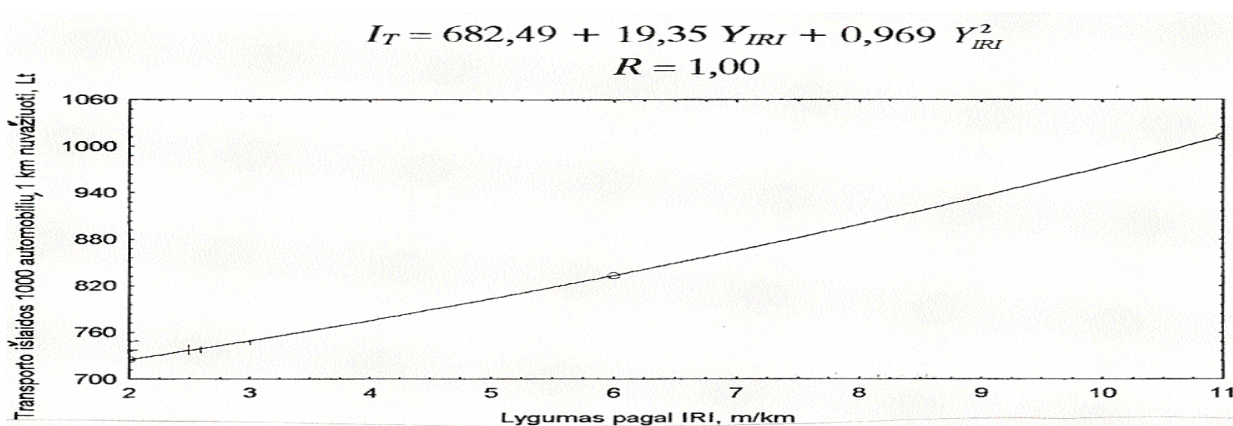


1.6 pav. Magistralinių ir krašto kelių stiprumo indekso kitimas 1992 – 2008 m [7]

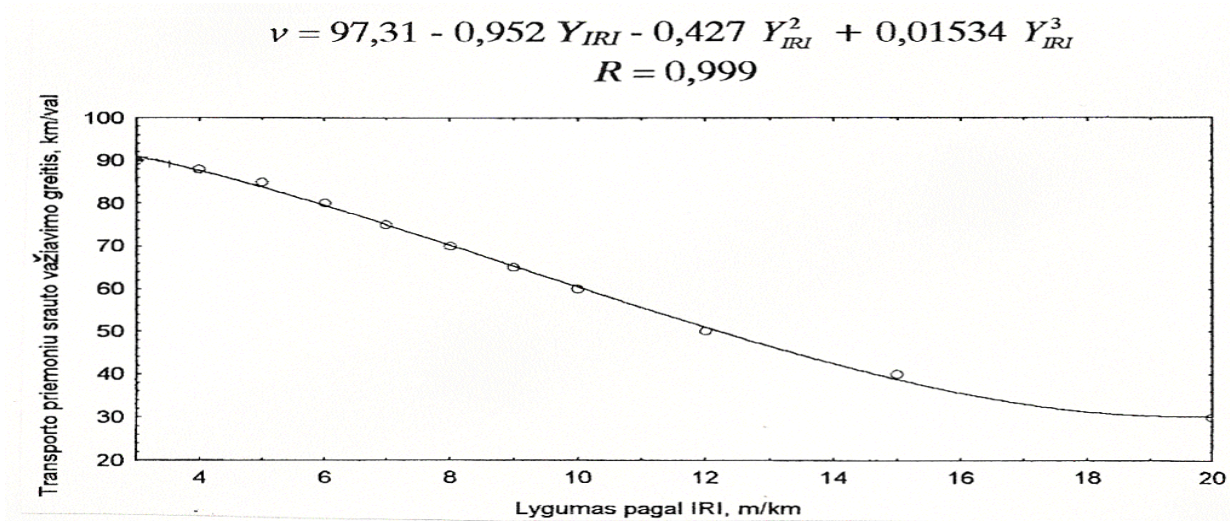
1.4. Kelių eksploatacinių savybių įtaka ekonominiam efektyvumui ir kita gautina nauda

Dėl kelių dangos eksploatacinių rodiklių geros kokybės pasiekama visapusiška nauda. Kelių transporto infrastruktūros gerinimas ir modernizavimas yra vienas svarbiausių ekonomikos pažangą užtikrinančių priemonių. Tyrimais [8] įrodyta, kad Lietuvos kelių tinklo parametrai netenkina didėjančių transporto srautų poreikių ir atsilieka nuo daugelio Vakarų Europos kelių transporto infrastruktūros išsivystymo lygio. Todėl kelių eksploatacinių savybių gerinimas ir tobulinimas būtinas bet kokiomis priemonėmis. Būtina imtis priemonių valstybinės reikšmės kelių infrastruktūros irimui sustabdyti ir sukurti veiksmingą, lanksčią, ir saugią transporto sistemą, skatinančią šalies ūkinę raidą, jos ekonominę bei socialinę patrauklumą ir užtikrinančią žmonių darbui, studijoms bei laisvalaikiui būtiną patogumą ir mobilumą.

Ankščiau atlikti tyrimai [8] įrodė, kad nuo kelio lygumo būklės priklauso transporto priemonių srauto greitis ir išlaidos. Tai matyti šių rodiklių sisties diagramose (1.7 pav. ir 1.8 pav.). Tai akivaizdus įrodymas, kaip kelių būklė daro įtaką šalies ekonomikai.



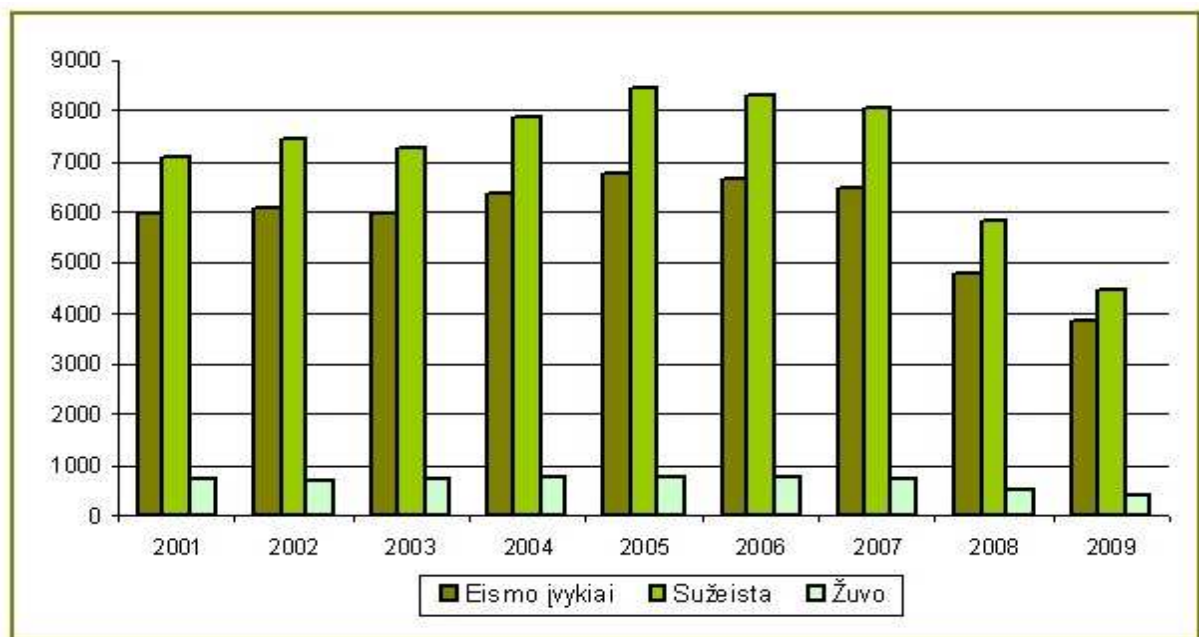
1.7 pav. Kelių dangos lygumo Y ir transporto išlaidų sisties [8]



1.8 pav. Kelių dangos lygumo Y ir transporto priemonių srauto važiavimo greičio v sietis [8]

Kitas labai svarbus aspektas, priklausantis nuo kelių būklės, yra eismo saugumas. Juk akivaizdu, jog lėšos skiriamos kelių eksploatacinių savybių gerinimui gerokai mažesnis, nei patiriami nuostoliai dėl avarijų, įvykusių dėl blogų kelių būklės rodiklių: dangos nelygumo, dangos su rato sukibimo koeficiento, defektingumo lygio.

Kiekvienais metais Lietuvoje įvyksta daugybė eismo įvykių, kuriuose žūsta arba sužalojami žmonės.



1.9 pav. Eismo įvykių, juose sužeistųjų ir žuvusiųjų skaičius 2001-2009 m. [4]

Nors Lietuvoje pastaraisiais metais pavyko suvaldyti augantį avaringumo lygį, tačiau avaringumas vis tiek viršija Europos Sąjungos vidurkį.

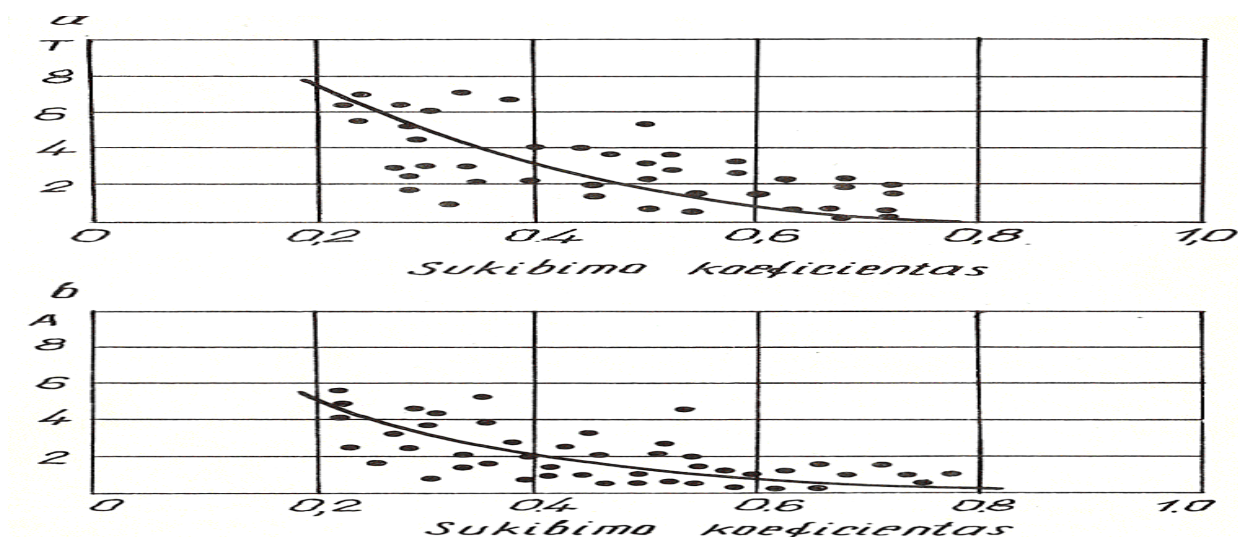
Analizuojant avarijų statistikos suvestines nustatyta, jog pagrindinės avarijų priežastys yra vairuotojų klaidos ir transporto priemonių defektai. Tačiau nemažai avarijų įvyksta dėl kelio sąlygų, kurias sudaro geometrinių elementų ir eksploatacinių rodiklių, turinčių tiesioginę įtaką eismui, visuma. Kelio elementai ir eksploataciniai rodikliai gali būti pastovūs, kurie eksploatuojant kelią, nesikeičia - tai horizontalių kreivių spindulys, išilginis nuolydis, ir kintami, kurie keičiasi dėl meteorologinių sąlygų ir kelio priežiūros kokybės - tai kelio dangos lygumas, sukibimas su automobilio ratais. Šie visi veiksniai daro tiesioginę įtaką keliui bei jo sąveikai su automobiliu, taip pat eismo režimui ir saugumui. Netiesioginę įtaką eismo saugumui daro žemės sankasos ir dangos stiprumas, nuo kurių priklauso dangos lygumas. Manoma, kad eismas nelygia danga būna saugus dėl mažo greičio, tačiau statistiniai duomenys rodo, kad ruožuose su nelygia danga avarijų būna dažniau. Rusijoje atlikti tyrimai rodo, kad dėl nepakankamo kelių dangos lygumo rodiklio įvyksta iki 20 % avarijų. Pakitus lygumui nuo 100 iki 300 cm/km, avarijų kiekis 1 mln. autokilometrų padidėja beveik 2 kartus [9]. Svarbu paminėti, kad provėžos yra labai pavojingas defektas saugiam eismui, ypač esant šlapiai dangai. Esant giliom provėžom, intensyviai lietui ir dideliu važiavimo greičiu sukeliamas akvaplaningo reiškinys.

Nustatyta [9], kad vairuotojas, važiuojantis lygia danga, įvažiuodamas į nelygios dangos ruožą, kurį pastebėti iš anksto sudėtinga, priverstas staigiai stabdyti, taip sukeldamas avarinę situaciją užpakalyje važiuojančiam automobiliui. Ilguose nelygios dangos ruožuose automobiliai dažnai susiduria, nes, aplenkdami duobes dangoje, jie išvažiuoja į priešpriešinio eismo juostą.

Automobilio ratų sukibimas su danga yra vienas svarbiausių rodiklių, apibūdinančių dangos būklę. Automobilio varantieji ratai, tik gerai sukibdami su kelio danga, gali varyti jį pirmyn. Kai rato ir dangos sukibimas mažas, automobilio varantieji ratai buksuoja ir automobilis, turėdamas tam tikrą pradinį greitį, gali pajudėti nelaukta kryptimi ir sudaryti ant kelio labai pavojingą avarinę situaciją. S. Roko [9] atlikta autoavarijų statistikos duomenų analizė rodo, kad padidėjus kelio slidumui, t. y. sumažėjus automobilių ratų su kelio danga sukibimui, avaringumas smarkiai padidėja. Nustatyta, kad tarp sukibimo koeficiento ir automobilių avarijose sužeistų bei žuvusių žmonių skaičiaus yra glaudus ryšys (1.10 pav.).

1.5 lentelė. Avaringumo priklausomybė nuo kelio dangos būklės [9]

<i>Kelio dangos paviršiaus būklė</i>	<i>Apytikris sukibimo koeficientas</i>	<i>Avaringumo koeficientas</i>
Purvinas, slidus	0,20-0,30	2,5
Slidus	0,40	2,0
Švarus, sausas	0,60	1,3
Šiurkštus	0,70	1,0
Labai šiurkštus	0,75-0,80	0,75



1.10 pav. Koreliacijos ryšys tarp sukibimo koeficiento ir a) santykinio sužeistų žmonių skaičiaus; b) žuvusių žmonių skaičiaus [9]

Automobilio ratų ir dangos sankiba - nepastovus dydis, kurį veikia važiavimo greitis, klimato sąlygos, dangos ir padangų nusidėvėjimo laipsnis, dangos užterštumas. Kad sukibimo rodiklis būtų kuo didesnis, stengiamasi kloti šiurkščias dangas. Tačiau važiuojant tokia danga, greičiau dėvisi automobilio padangos, didėja kuro sąnaudos.

1.5. Skyriaus išvados

1. 2009 m. eismo intensyvumas lyginat su 2000 m. išaugo 66 proc. Atskiruose ruožuose eismo intensyvumas jau išaugo iki 30 tūkst. transporto priemonių per parą, tačiau prognozuojama, kad eismo intensyvumas vis dar augs ir 2014 metais vidutiniškai padidės 27 proc. ir daugiau;
2. Nuo kelių eksploatacinių savybių tiesiogiai priklauso transporto priemonių išlaidos ir srauto važiavimo greitis, o nuo šių rodiklių priklauso ekonomikos augimo efektyvumas;

3. Nustatyta, kad esant mažam - $\varphi = 0,20 - 0,30$, dangos ir automobilio rato sukibimui koeficientui, avaringumo koeficientas išauga 3,33 kartus, nei sukibimo koeficientui esant $\varphi = 0,75 - 0,8$.

1.6. Darbo tikslas ir uždaviniai

Magistrantūros studijų baigiamojo darbo tikslas – pagal surinktus duomenis išanalizuoti magistralinių kelių *Vilnius – Kaunas – Klaipėda (A1)* bei *Kaunas – Marijampolė – Suvalkai* (A5)* dangos eksploatacines savybes, nustatyti jų pasiskirstymo statistinius rodiklius, įvertinti jų atitiktį keliamiems reikalavimams bei pasiūlyti jų normines vertes bei priemones joms gerinti.

Norint pasiekti pasirinktą darbo tikslą, reikia išspręsti šiuos uždavinius:

- apžvelgti kelių asfaltbetonio dangos būklę charakterizuojančius rodiklius ir jų vertinimo bei nustatymo metodus;
- išanalizuoti pasirinktų magistralinių kelių dangos lygumo (pagal tarptautinį lygumo indeksą IRI) rodiklį Y_{IRI} , automobilių ratų sankibos su danga koeficientą φ , dangos suirimo lygį D , dangos konstrukcijos deformacijos modulį E_{ekv} , bei provėžų gylį;
- sunorminti svarbiausių Lietuvos magistralinių kelių dangos lygumo rodiklius.

2. AUTOMOBILIŲ KELIŲ DANGOS IR JOS KONSTRUKCIJOS REIKIAMOS EKSPLOATACINĖS SAVYBĖS

2.1. Automobilių kelių asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos funkcionavimo sąlygos

Kelias - sudėtinga sistema, veikiamą daugybės sudėtingų veiksnių. Pagrindiniai kelio dangą veikiantys veiksniai yra suskirstyti į šias grupes ir pogrupius [10]:

1) kelias:

- kelio dangos konstrukcija;
- kelio dangos eksploatacinės savybės;
- kelio geometriniai parametrai;
- kelio darbai;

2) automobilių eismas:

- automobilis;
- automobilių srautas;

3) aplinka:

- klimatas;
- geologija (hidrogeologija);
- laikas.

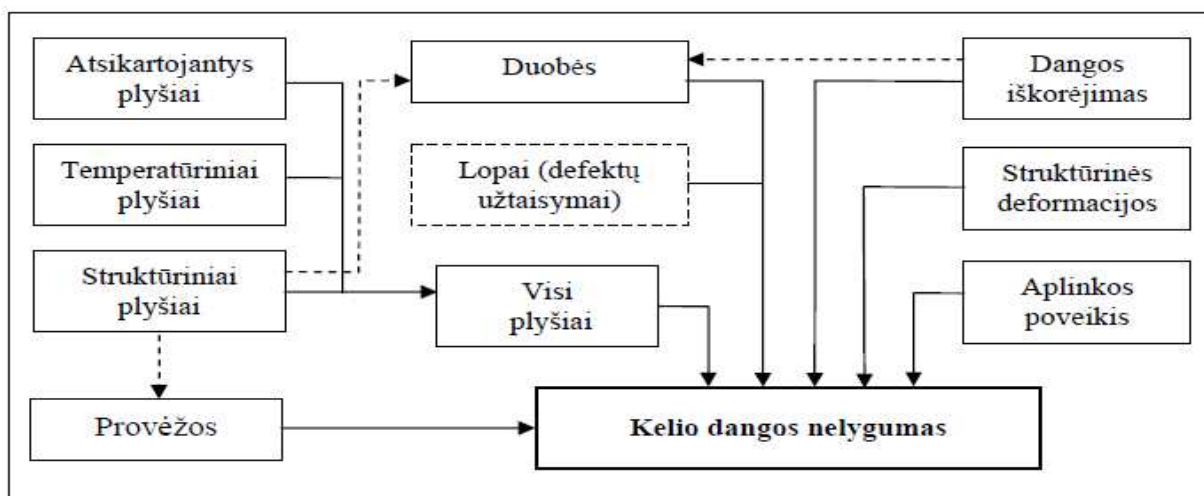
Deja, šių veiksnių absoliučiai tikslų poveikį keliui ištirti ir įvertinti yra praktiškai neįmanoma. Žinoma, didžiausiu ardomuoju poveikiu kelio dangos konstrukcijai pasižymi automobilių eismas. Nuo automobilio charakteristikų (masės, ašių skaičiaus ir apkrovos į ašį, ratų tipo, padangų slėgio ir slėgio į kelio dangą, pakabos tipo) priklauso jo poveikis kelio dangos konstrukcijai.

Kelio geometriniai parametrai lemia eismo sąlygas, nuo eismo juostos pločio priklauso automobilių apkrovos pasiskirstymo kelio skersiniame pjūvyje, išilginis profilis (išilginiai nuolydžiai) gali lemti tai, kaip pasiskirsto įtempiai dangos konstrukcijoje nuo automobilių rato perduodamos apkrovos, o kelio skersinis profilis veikia konstrukcijos drenavimo sąlygas. Vykdamas kelio remonto ir eksploatacijos darbus yra mažinamas tiesioginių, neigiamų veiksnių poveikis kelio dangos konstrukcijai.

Taip pat dangą veikia klimatiniai ir geologiniai veiksniai – temperatūriniai svyravimai, kritulių ir gruntinis vanduo. Netgi esant tik laiko veiksniai kelio dangos konstrukcijoje vykta

pakitimai dėl natūralaus medžiagų senėjimo. Tačiau beveik nuolatos visi šie veiksniai kelio dangos konstrukciją veikia vienu metu ir atsiradus kokiam nors kelio defektui visų šių veiksnių sąveikos ardomasis poveikis padidėja.

Svarbiausias rodiklis, lemiantis asfaltbetonio dangos funkcionavimo trukmę iki jos remonto, yra jos lygumas. Dangos lygumas tiesiogiai priklauso nuo kelio konstrukcijos stiprio, o šis priklauso nuo asfaltbetonio sudėties, struktūros, fizikinių, mechaninių, deformacijos ir kitų rodiklių. Kelio dangos pažaidų tarpusavio sąveika, dėl kurios palaipsniui vystosi kelio dangos nelygumas pavaizduota 2.1 pav.



2.1 pav. Ryšiai tarp atskirų dangos pažaidų [10]

Dangos defektus galima suskirstyti į 5 pagrindines grupes:

- Dangos paviršiaus suirimas (išaižėjimas, ištrupėjimas) atsiranda dėl nepakankamos asfaltbetonio mišinio kokybės, bitumo blogo sukibimo su mineralinėmis medžiagomis, dangos sluoksnių blogo sukibimo ir vandens nuo dangos paviršiaus blogo nuleidimo;
- Šlyties liekamosios deformacijos dangoje atsiranda tada, kai asfaltbetonio mišinio savybės neatitinka dangos eksploatacinėms sąlygoms keliamų reikalavimų. Šlyties deformacijos kartais atsiranda dėl asfaltbetonio dangos viršutinio ir apatinio sluoksnių nepakankamos sankabos. Kai sankaba tarp sluoksnių bloga, vietoj šlyties deformacijų dangoje gali atsirasti ir plyšių;
- Temperatūriniai plyšiai dangoje atsiranda tada, kai asfaltbetonio mechaniniai ir fizikiniai parametrai bei sluoksnių storai neatitinka klimato sąlygų (temperatūrų svyravimo ir įšalo). Svarbu ir kelio konstrukcijos pagrindo įtaka. Kai pagrindas standus, temperatūros plyšiai atsiranda dažniau negu tada, kai pagrindas nestandus – tai lemia šių pagrindų tipų skirtingi

temperatūriniai plėtimosi koeficientai. Temperatūriniai plyšiai yra visi skersiniai dangos plyšiai (išskyrus tuos, kurie sudaro plyšių tinklą) [10].

- Struktūriniai plyšiai, kitaip dar vadinami nuovargio plyšiai dažniausiai atsiranda tada, kai dangos konstrukcijos stipris neatitinka transporto apkrovų. Plyšiai primenantys krokodilo odą, atsiranda dėl pagrindų ir žemės sankasos nepakankamo stiprio. Šie plyšiai dažniausiai atsiranda laipsniškai dėl medžiagų nuovargio, tačiau, esant nepalankioms sąlygoms (pvz. polaidžio metu) susidarę kritiniai įtempiai gali sąlygoti ir staigų struktūrinių plyšių atsivėrimą. Struktūriniai plyšiai yra visi tinkliniai ir išilginiai dangos plyšiai [10].
- Pasitaiko ir „paveldėtų“ plyšių, t. y. tokių, kurie atsiranda dangos vietose, kuriose tokius pačius plyšius turi kelio dangos pagrindas. „Paveldėtieji“ plyšiai dažniausiai atsiranda žiemą $-20-(-25)^0$ C ir žemesnėje temperatūroje. Tokie plyšiai gali atsirasti asfaltbetonio dangoje, įrengtoje tiek ant asfaltbetonio, tiek ant cementbetonio pagrindo, kai pagrindo sluoksniai būna nepakankamo storio.

Asfaltbetonio dangos reikiama stiprį ir funkcionavimo trukmę lemia:

- Patvarumas –gebėjimas ilgą laiką priešintis daug kartų pasikartojančioms transporto priemonių apkrovoms ir dėl to atsirandantiems tempimo įtempimas bei deformacijoms;
- Atsparumas šlyčiai – pakankamas priešinimasis daug kartų pasikartojančių transporto priemonių apkrovų sukeltoms horizontalioms jėgoms;
- Atsparumas plyšiams – pakankamas priešinimasis temperatūros įtempimas;
- Atsparumas dilimui – pakankama bitumo sankiba su mineralinių medžiagų grūdeliais;
- Atsparumas senėjimui – rišančios medžiagos pradinių savybių ilgalaikis išlaikymas;
- Atsparumas eroziniam suirimui – dangos vientisumo (monolitiškumo) esant daugkartiniam vandens ir šalčio poveikiui išlaikymas.

Nesant išvardytoms sąlygoms, danga labai greitai pradeda irti ir praranda stiprį bei lygumą.

2.2. Kelių dangos konstrukcijos projektavimo ypatumai ir jų įtaka dangos bei jos konstrukcijos funkcionavimo trukmei

Atlikus magistralinių kelių dangos būklės ir eksploatacinių rodiklių analizę ir ištyrus kelio dangos deformacijų pobūdį ir defektų charakterį galima daryti prielaidą, kad ne visi defektai atsiranda dėl automobilio poveikio į dangą. Nes tiriamuose ruožuose esant tam pačiam automobilio poveikiui į kelio dangą defektų reikšmės gerokai skyrėsi.

Tuo remiantis, galima patvirtinti prielaidą, kad kelių tiesybai panaudojamų medžiagų savybių kitimas, nuokrypia nuo tiesybos darbų technologijos, kuriuos neretai sąlygoja statybos metu buvusios gamtinės sąlygos, turi, turėjo ir visada turės atsitiktinį charakterį. Tokiu būdu konkretaus apibrėžto dangos ploto fizinės, o laikui bėgant ir eksploatacines savybes nulemia daugelis atsitiktinių kelio tiesybos metu ir jo eksploatacijos laikotarpiu veikusių veiksnių.

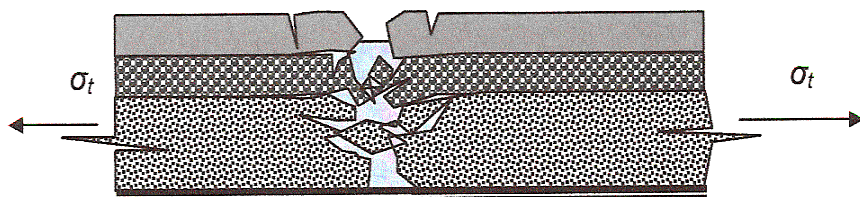
Magistralėje A1 Vilnius – Kaunas –Klaipėda stebimi ruožai, kai vienoje automagistralės pusėje danga yra išvagota kas 7-40 m pasikartojančiais skersiniais plyšiais, o kitoje pusėje tokių defektų nėra arba jie pasitaiko retai. Ypač kelio eksploatacines savybes bloginanti tokių skersinių plyšių savybė yra dangos pakilimas iš abiejų plyšio pusių.



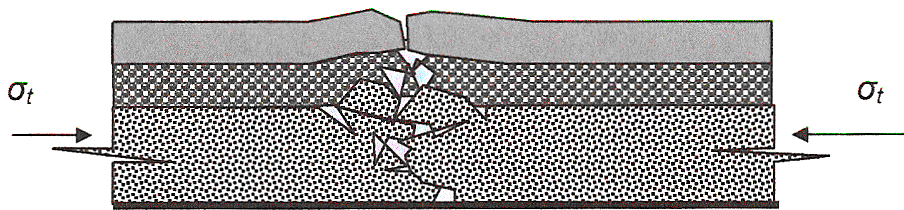
2.2 pav. Skersinis plyšys užtaisytas bitumu magistraliniame kelyje A5 Kaunas – Marijampolė-Suvalkai

Šie kelio dangos defektai kelia daug rūpesčių ir išlaidų kelių eksploatacijai, nes daugelyje ruožų, kuriuose dominuoja skersiniai plyšiai buvo atlikti remontai, tačiau šie defektai pasikartojo tokiu pačiu intensyvumu.

Kaip jau buvo aptarta ankstesniame skyriuje, didžiausią poveikį skersinių plyšių atsiradimui daro temperatūros gradientas. Plyšių atsiradimo mechanizmą galima aprašyti taip: atšaldoma danga traukiasi ir kada sluoksnio medžiagos traukimosi temperatūros įtempis pasiekia vertę, didesnę už dangos konstrukcijos sluoksnio ribinę stiprio tempimui vertę – įvyksta sluoksnio deformacija. Šis skersinių plyšių atsiradimo mechanizmas pateikiamas schemomis.



2.3 pav. Krintant temperatūrai, dangos konstrukcijoje atsiveria plyšys [11]



2.4 pav. Kylant temperatūrai, dangos konstrukcijoje plyšiai užspaudžiami [11]

Nustatyta jog dažniausiai skersinio plyšio atsiradimą įtakoja šie reikalavimų pažeidimai: nepakankamas grunto sluoksnių sutankinimas, drėgmės režimo neišlaikymas mišinio gamybos metu ir įrengto sluoksnio priežiūros pažeidimai.

2.3. Automobilių kelių dangos ir jos konstrukcijos eksploatacinė būklė bei jos rodiklių vertinimo normos

Automobilių kelias turi laiduoti transporto priemonių saugų ir komfortabilų eismą optimaliu greičiu. Transporto priemonių važiavimo greitis, saugumas, komfortabilumas, kuro sąnaudos priklauso nuo eksploatuojamo kelio dangos būklės. Pagrindinis parametras nusakantis kelio dangos kokybę ir gebėjimą užtikrinti kelio funkcinę paskirtį yra kelio dangos išilginis lygumas. Tai rodiklis nusakantis visų kelio defektų ir pažaidų sumines vertes 2.1 pav.

Kelių infrastruktūros įmonės periodiškai tiria kelių būklę, kad surinktų duomenis apie kelių dangos eksploatacines savybes.

Vadovaujantis „Automobilių kelių investicijų vadovu“, patvirtintu Lietuvos Automobilių kelių direkcijos 2006 m, rengiant investicinius projektus, dangos būklę charakterizuojantys rodikliai vertinami atliekant tyrimus ir vizualias apžiūras. Atliekant tyrimus įvertinami šie rodikliai: kelio dangos lygumas, asfaltbetonio dangos įlinkiai, kelio dangos suirimo mastas, rato sukibimo su danga koeficientas.

Vizualiųjų apžiūrų metu vertinami šie asfaltbetonio dangos defektai: plyšiai, lopai, duobės, paviršiaus defektai ir kt.

2.1 lentelė. Tarptautinio lygumo rodiklio IRI ribos naujoms įrengtoms dangoms [12]

Kelio dangos nelygumo reikalavimai	Kelio dangos nelygumo vertinimas		
	<i>geras</i>	<i>patenkinamas</i>	<i>nepatenkinamas</i>
<i>Magistraliniams keliams</i>	$\leq 1,5$ m/km	1,5-2,5 m/km	$\geq 2,5$ m/km
<i>Krašto keliams</i>	$\leq 2,5$ m/km	2,5-3,5 m/km	$\geq 3,5$ m/km
<i>Rajonų keliams (viensluoksnėms dangoms)</i>	$\leq 3,5$ m/km	3,5-4,5 m/km	$\geq 4,5$ m/km

2.2 lentelė. Tarptautinio lygumo rodiklio IRI ribos eksploatuojamoms dangoms [12]

Kelio dangos nelygumo reikalavimai	Kelio dangos nelygumo vertinimas			
	<i>l. geras</i>	<i>geras</i>	<i>patenkinamas</i>	<i>nepatenkinamas</i>
AM ir AI kategorijų magistraliniams keliams	≤ 1 m/km	1-2 m/km	2-3 m/km	≥ 3 m/km
<i>Magistraliniams keliams</i>	$\leq 1,5$ m/km	1,5-2,5 m/km	2,5-3,5 m/km	$\geq 3,5$ m/km
<i>Krašto keliams</i>	≤ 2 m/km	2-3 m/km	3-4 m/km	≥ 4 m/km
<i>Rajonų keliams</i>	≤ 3 m/km	3-4 m/km	4-5 m/km	≥ 5 m/km

2.3 lentelė. Automobilių kelių dangos ir konstrukcijos reikiamos eksploatacinės savybės pagal priežiūros lygius [13].

Reikalavimai	Priežiūros lygiai		
	<i>I- aukštas</i>	<i>II-vidutinis</i>	<i>III-žemas</i>
<i>Lygumas</i>			
prošvaistės po 3 m ilgio linioje (skersinis nelygumas) neturi būti didesnis kaip:			
- magistraliniuose keliuose	1,5 cm	2,0 cm	2,5 cm
- krašto keliuose	2,0 cm	2,5 cm	3,0 cm
- rajoniniuose keliuose	2,5 cm	3,5 cm	4,5cm

2.3 lentelės pabaiga

įlinkių suma pagal IRI sistemą (išilginis nelygumas) neturi būti didesnė kaip:			
- magistraliniuose keliuose	1,5 m/km	2,0 m/km	2,5 m/km
- krašto keliuose	2,5 m/km	3,0 m/km	3,5 m/km
- rajoniniuose keliuose	3,5 m/km	4,0 m/km	4,5 m/km
<i>Skersiniai, išilginiai plyšiai</i>			
dangoje neturi būti plyšių platesnių kaip	5 mm	10 mm	19 mm
<i>Įdubos, iškylos ir kiti nelygumai</i>			
dangoje neturi būti įdubų, iškylų ir kitų nelygumų, didesnių nei	10 cm	20 cm	40 cm
<i>Šiurkštumas</i>			
sankibos koeficientas vasaros metu turi būti ne mažesnis kaip	0,30	0,30	0,30
<i>Bangos, slinktys ir provėžos</i>			
didesnės nei 40 mm provėžos, slinktys, bangos, jei šios pažaidos sudaro mažiau kaip 3 % dangos ploto 1 kilometre, turi būti pašalintos per:			
- magistraliniuose keliuose	10 parų	20 parų	1 mėnesį
- krašto keliuose	20 parų	1 mėnesį	1,5 mėnesio
- rajoniniuose keliuose	1 mėnesį	1,5 mėnesio	2 mėnesius

I – aukštas priežiūros lygis turi užtikrinti gerą techninę ir estetinę kelio būklę bei saugų eismą ištisą parą visais metų laikais. Galimas trumpalaikis eismo nutrūkimas, esant sudėtingoms meteorologinėms sąlygoms žiemą. Aukštam kelių priežiūros lygiui užtikrinti nepakanka vien tik kokybiškai ir reikalingu periodiškumu atlikti privalomus kelių priežiūros darbus, tačiau reikia, kad kelio dangų konstrukcijos būtų laiku remontuojamos, t. y. atliekami rekonstravimo ar kapitalinio remonto darbai.

II – vidutinis priežiūros lygis turi užtikrinti gerą techninę kelio būklę, saugų eismą, tačiau mažesnis dėmesys skiriamas estetinei būklei. Galimas trumpalaikis eismo nutrūkimas, esant sudėtingoms meteorologinėms sąlygoms žiemą. Vidutiniam kelių priežiūros lygiui užtikrinti

nepakanka kokybiškai ir reikalaujama periodiškumu atlikti privalomus kelių priežiūros darbus, tačiau reikia, kad kelio dangų konstrukcijos būtų laikui remontuojamos, t. y. atliekami kapitalinio remonto darbai.

III – žemas priežiūros lygis turi užtikrinti eismo saugumą ir kelio tinkamumą naudoti, tačiau skiriamas mažas dėmesys kelio estetinei būklei. Neužtikrinamas kelio arba jo atskirų elementų ilgaamžiškumas. Galimi eismo nutrūkimai esant polaidžiui, sudėtingoms meteorologinėms sąlygoms žiemą. Esant žemam kelių priežiūros lygiui kelio tinkamumo naudojimui užtikrinti pakanka reikalaujama periodiškumu atlikti privalomus kelių priežiūros darbus [13].

Vizualiųjų apžiūrų metu dangos defekto dydžio vertinimas nustatomas vadovaujantis „Automobilių kelių remontų planavimo normatyvais“.

2.4 lentelė. Defektų vizualaus vertinimo normos [14]

Defekto dydis	
<i>Tinkliniai plyšiai</i> – tinklo pavidalo susijusių plyšių derinys.	
<i>Išilginiai plyšiai</i> – plyšiai lygiagretūs kelio ašiai.	
<i>Skersiniai plyšiai</i> – plyšiai statmeni kelio ašiai.	
Mažas	Plyšiai, kurių plotis 6 mm, arba užtaisyti plyšiai, kurių pločių negalima išmatuoti
Vidutinis	Plyšiai, kurių plotis >6 mm ir <19 mm, ir mažesni plyšiai jų tasoje.
Didelis	Plyšiai, kurių plotis >19 mm ir mažesni plyšiai jų tasoje
<i>Lopai</i> – tai dangos plotai, didesni kaip 0,1 m ² , kuriuose danga pakeista nauja.	
Mažas	≥ 90 % lopo ploto būklė gera
Vidutinis	Defektai sudaro nuo 11 % iki 29 % lopo ploto
Didelis	Defektai sudaro > 30 % lopo ploto
<i>Išdaužos</i> – tai netaisyklingos, nedidelių šlaitelių suardytos kelio dangos vietos.	
Mažas	Išdaužos gylis < 25 mm
Vidutinis	Išdaužos gylis 25 – 50 mm
Didelis	Išdaužos gylis > 50 mm
<i>Bitumo dėmės</i> – tai bitumo perteklius asfaltinės dangos paviršiuje. Susidaro blizgantis, lipnus paviršius.	
Mažas	Dėl bitumo pertekliaus, lyginant su likusia danga, pasikeičia dangos paviršiaus spalva

2.4 lentelės pabaiga

Vidutinis	Dėl bitumo pertekliaus pasikeičia dangos paviršiaus tekstūra
Didelis	Dėl bitumo pertekliaus dangos paviršius pradeda blizgėti, užpildas patamsėja. Esant šiltam orui gali būti matomos padangų žymės.
<i>Vėžės (provėžos)</i> – tai išilginis paviršiaus įspaudimas ratų riedėjimo juostoje	
Defekto dydis neapibrėžtas	Vėžės vertinamos, kai dangoje įspaustų ratų riedėjimo juostoje vėžių gylis > 20 mm.
<i>Iškorėjimas</i> – tai kelio nusidėvėjimas, kai danga netenka rišančiųjų medžiagų ir iš dangos paviršiaus atitrūksta užpildo dalelės.	
Mažas	Užpildas arba rišančioji medžiaga pradeda nusidėvėti, bet procesas vyksta lėtai. Asfaltbetonio dangos paviršius gali netekti smulkių užpildų.
Vidutinis	Užpildas arba rišančioji medžiaga nusidėvėjusi, dangos paviršius šiurkštus ir nelygus. Atsiranda laisvų dalelių.
Didelis	Užpildas arba rišančioji medžiaga nusidėvėjusi, dangos paviršius labai šiurkštus ir nelygus. Asfaltbetonio dangos paviršius netenka stambių užpildų.
<i>Nukrypimas nuo projekcinio skersinio profilio</i> – tai skirtumas tarp projekcinio ir išmatuoto skersinio nuolydžio.	
Maži nuokrypiai	$\pm (0,5-1,0) \%$ nuo projekcinio skersinio nuolydžio
Vidutiniai nuokrypiai	$\pm (1,0-1,5) \%$ nuo projekcinio skersinio nuolydžio
Dideli nuokrypiai	$> \pm 1,5 \%$ nuo projekcinio skersinio nuolydžio
Mažas	Mažų nuokrypių dalis yra < 15 % ruožo ilgio ir/ar vidutinių nuokrypių dalis yra < 7 % ir/ar didelių nuokrypių dalis < 4 %.
Vidutinis	Mažų nuokrypių dalis yra 15 – 25 % ruožo ilgio ir/ar vidutinių nuokrypių dalis yra 7 - 12 % ir/ar didelių nuokrypių dalis yra 4 - 8 %.
Didelis	Mažų nuokrypių dalis yra > 25 % ruožo ilgio ir/ar vidutinių nuokrypių dalis yra > 12 % ir/ar didelių nuokrypių dalis > 8 %.

Įvairiuose darbuose rekomenduojami skirtingi dangos suirimo leistinieji plotai. 2.5 lentelėje pateikiamos didžiausios leistinosios vertės, kurias leido pasiūlyti Vilniaus Gedimino technikos universiteto Kelių katedroje atlikti tyrimai.

2.5 lentelė. Magistralinių kelių asfaltbetonio dangos būklės, atsižvelgiant į suirimo lygio D vertės, vertinimas balais [15]

Dangos būklė	Dangos būklės įvertinimas balais	Dangos suirimo lygis D, %
Puiki	10	<1
Labai gera	9	1-3
Gera	8	3-5
Pakankama	7	5-8
Patenkinama	6	8-12
Ribinė (kritinė)	5	12-16
Nepatenkinama	4	16-20
Bloga	3	20-25
Labai bloga	2	25-30
Visai bloga	1	>30

2.6 lentelė. Lietuvos automagistralių asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos eksploatacinių rodiklių leistinosios vertės [15]

Dangos ir jos konstrukcijos eksploatacinis rodiklis	Eksploatacinio rodiklio didžiausioji leistinoji vertė
Dangos suirimo lygis D, %:	
iki profilaktinio remonto D_v	8
iki kapitalaus remonto D_k	16
Eksplotavimo trukmė T, metais:	
Dangos – iki profilaktinio remonto T_v	6
Dangos konstrukcijos – iki kapitalaus remonto T_k	8

2.4. Automobilių kelių asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos reikiamų eksploatacinių savybių teorinis pagrindimas

Asfaltbetonio būklę charakterizuoja šie pagrindiniai eksploataciniai parametrai: dangos lygumas Y , dangos su rato padanga sukibimo koeficientas ϕ , dangos konstrukcijos stiprio

koeficientas K_{st} , dangos ir jos konstrukcijos tarpremontiniai laikotarpiai iki vidutinio T_v ir kapitalinio T_k remontų, dangos suirimo lygis D . Nuo šių dangos eksploatacinių rodiklių eismo intensyvumo bei sudėties priklauso transporto priemonių srauto vidutinis greitis ir kelio patikimumas.

Sprendžiant patikimumo uždavinius yra tokia samprata kaip trikdys (objekto, statinio, elemento ir pan.). Pagal patikimumo teoriją trikdys – tai įvykis, kuriam atsiradus sistemos pradinės charakteristikos nukrypsta už leistinųjų ribų. Automobilio kelio darbo trikdys suprantamas kaip atitinkamų kelio eksploatacinių rodiklių nuokrypis už leistinųjų ribų. Tai įvykis, kuriam įvykus transporto srautas negali atlikti atitinkamo darbo Q per tam tikrą laiko tarpą [14]:

$$Q = t * v_{vid} * \sum N_i * P_b, (1.1)$$

kur N_i – transporto srauto intensyvumas, automobilių skaičius per laiko vienetą t ;

v_{vid} – vidutinis valandinis srauto greitis per laiko tarpą t , km/h ;

P_b – automobilio masė (brutto), t.

Patogiau trikdžio kriterijų nustatyti paros laikotarpiui ($t = 1$ para). Tada skaičiuojamasis darbas Q_s lygus:

$$Q = v_{vid} * \sum N_s * P_s, (1.2)$$

kur N_s – vidutinis, skaičiuojamųjų automobilių, kurių masė P_s , paros intensyvumas, aut./parą ;

Sutrikus dangos darbui suprastėja jos eksploatacinės savybės – lygumas, sukibimas, stipris (arba vienas iš jų) ir transporto srautas negali atlikti darbo, nes sumažėja srauto greitis v , taikomi automobilių masės apribojimai.

Analizuojant kelio eksploatacines charakteristikas, jų atitikimą saugumo ir ekonomiško reikalavimams, įvertinant kelio kokybę po tiesimo, rekonstrukcijos ar remonto, įvertinant priežiūros lygį, planuojant kelio eksploatacines sąnaudas būtinas kompleksinis kelio vertinimas. Visus kompleksinio rodiklio metodus galima išskirti į tris grupes: kokybės vertinimas ir dangos konstrukcijos būseną; dangos geometrinių elementų įtakos vertinimas greičiui ir eismo saugumui; kelio ir jo įrenginių poveikio vairuotojams ir keleivių aptarnavimo lygiui vertinimas.

Užsienyje plačiai naudojama dangos eksploatacinio patikimumo indekso (PSI), kaip kompleksinio kelio vertinimo rodiklio, metodika [17].

Nestandžioms kelių dangoms:

$$P = 5,03 - 1,611 \lg(1 - SV) - 0,01 \sqrt{C + P} - 1,38(RD)^2, (1.3)$$

Standžioms kelių dangoms:

$$P = 5,03 - 1,911 \lg(1 - SV) - 0,09(C + P), (1.4)$$

čia : SV – dangos lygumo įvertinimas pagal važiuojamosios dalies nuolydžio pokytį;

C – plyšių kiekis, m/1000 m²;

P – užtaisytų išdaužų dangoje santykinis plotas, m²/1000 m²;

RD – vidutinis vėžės gylis.

Dangos būklės vertinimo skalė pagal indeksą P: P > 3,5 – dangos būklė labai gera; P = 2,5-3,5 – dangos būklė gera; P = 1,5-2,5 – dangos būklė patenkinama ir kaip P < 1,5 – dangos būklė nepatenkinama.

Kelio dangos konstrukcijos patikimumas ir ilgaamžiškumas charakterizuojamas funkcionavimo trukme T, priklausančia nuo eismo intensyvumo N :

$$N = N_0 \cdot (1 + q)^{T-1}, \quad (1.5)$$

čia:

T – kelio dangos konstrukcijos funkcionavimo trukmė metais;

N₀ – eismo intensyvumo priklausomaisiais kelio dangos konstrukcijos funkcionavimo metais;

q – eismo intensyvumo vidutinio metinio prieaugio koeficientas.

Kelių dangos konstrukcijos stiprio koeficientą K_{st} galima nustatyti formule:

$$K_{st} = \frac{E_f}{E_r}; \quad (1.6)$$

čia: E_f – kelio dangos konstrukcijos faktinis tampros modulis jo didžiausio susilpnėjimo metu, MPa;

E_r – dangos konstrukcijos reikalingas tamprumo modulis, MPa.

Kelio dangos vidutinės nuodylos vertė, mm per metus nustatoma formule:

$$h_v = a + \sigma n N, \quad (1.7)$$

čia: a – dangos nuodyla, mm per metus, dėl klimato veiksnių;

σ - koeficientas, kurio vertė priklauso nuo dangos tipo ir stiprio, mm/mln. t (asfaltbetonio dangai a = nuo 0,4 mm iki 0,6 mm per metus, σ = nuo 0,25 mm/mln. t iki 0,55 mm/mln. t);

Automobilio rato padangos su kelio danga sukibimas yra svarbiausias kelio eksploatacinis rodiklis eismo saugumo pažiūriu. Sukibimas, lyginant su dangos lygumo ir stiprio rodikliais, ypač yra įtakojamas aplinkos ir klimato veiksnių. Pavyzdžiui, lyjant kelio dangos stiprumo ir lygumo rodikliai visai nepasikeičia, o slidumas padidėja net du kartus. Kuo didesnis rato padangos su kelio danga sukibimas, tuo didesnis automobilio važiavimo saugumas. Paprasčiausias ir dažniausiai taikomas ratų su kelio danga sankibos koeficiento φ nustatymo metodas - pagal automobilio stabdymo kelio ilgį, ir yra apskaičiuojamas formule:

$$\varphi = \frac{v^2}{254S_{st}} \pm i, \quad (1.8)$$

čia v – automobilio važiavimo greitis, km/h;

S_{st} – stabdymo kelio ilgis, m;

i – kelio išilginis nuolydis.

Stabdymo metu nustačius automobilio pagreitį, koeficientas φ apskaičiuojamas formule:

$$\varphi = \frac{I_{\max}}{g}, \quad (1.9)$$

čia: $I_{\max}$ – didžiausias neigiamas pagreitis, m/s^2 , nustatytas stabdant automobilį;

g – laisvasis pagreitis $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Automobilių ratų sankibos su kelio danga rodiklis kinta priklausomai nuo važiavimo greičio, klimato sąlygų, padangos ir dangos nusidėvėjimo laipsnio bei dangos užterštumo. Kad sukibimo rodiklis būtų kuo aukštesnis, stengiamasi kloti šiurkščias dangas. Jų šiurkštumas priklauso nuo paviršiuje išsikišusių skaldos grūdelių formos ir išsidėstymo. Tačiau važiuojant tokia danga, greičiau dėvisi automobilio padangos ir didėja kuro sąnaudos, o taip pat išsikišę skaldos grūdelių briaunos greitai nusidėvi.

Vienas iš pagrindinių parametrų, nusakančių kelio dangos kokybę, yra kelio dangos nelygumas. Jis tiesiogiai lemia važiavimo komfortą, kuro sąnaudas, saugų eismą. Kelio dangos nelygumas aprašomas nelygumų skaičiumi, jų dydžiu ir išsidėstymu, tenkančiu kelio dangos ilgio vienetui IRI. Šis rodiklis nustatomas matematiškai apdorojus matavimo rezultatus. Lietuvoje kelio dangos nelygumas matuojamas moderniu, greitaeigiu, pirmos tikslumo klasės matavimo prietaisu – DYNATEST 5051 RSP.

Keliai laikomi geros būklės, jeigu IRI vienam kilometrui yra: keliuose su tvirta danga – 1,5-2,5 m/km; grunto ir žvyro keliuose – 3-4 m/km.

Kelio danga veikiama aplinkos veiksnių, transporto priemonių apkrovų deformuojasi. Dažniausiai šios deformacijos pasireiškia dangos nusėdimais, įlaužomis, aptrupėjimais, sutrūkinėjimais, dangos sluoksnių persistūmimais. Vilniaus Gedimino technikos universiteto (VGTU) Kelių katedroje atlikti tyrimai leido pasiūlyti eksploatacinį rodiklį, apibendrinantį minėtas deformacijas. Tai asfaltbetonio dangos suirimo lygis, kuris nustatomas formule [15]:

$$D = \left(S_d + S_{pl} + S_p + \sum_{i=1}^n l_i b_i \right) \cdot 100 / S, \quad (1.10)$$

čia S_d – tiriamojo ruožo dangos plotas su išaižomis, ištrupomis, duobėmis, įlūžomis, m^2 ;

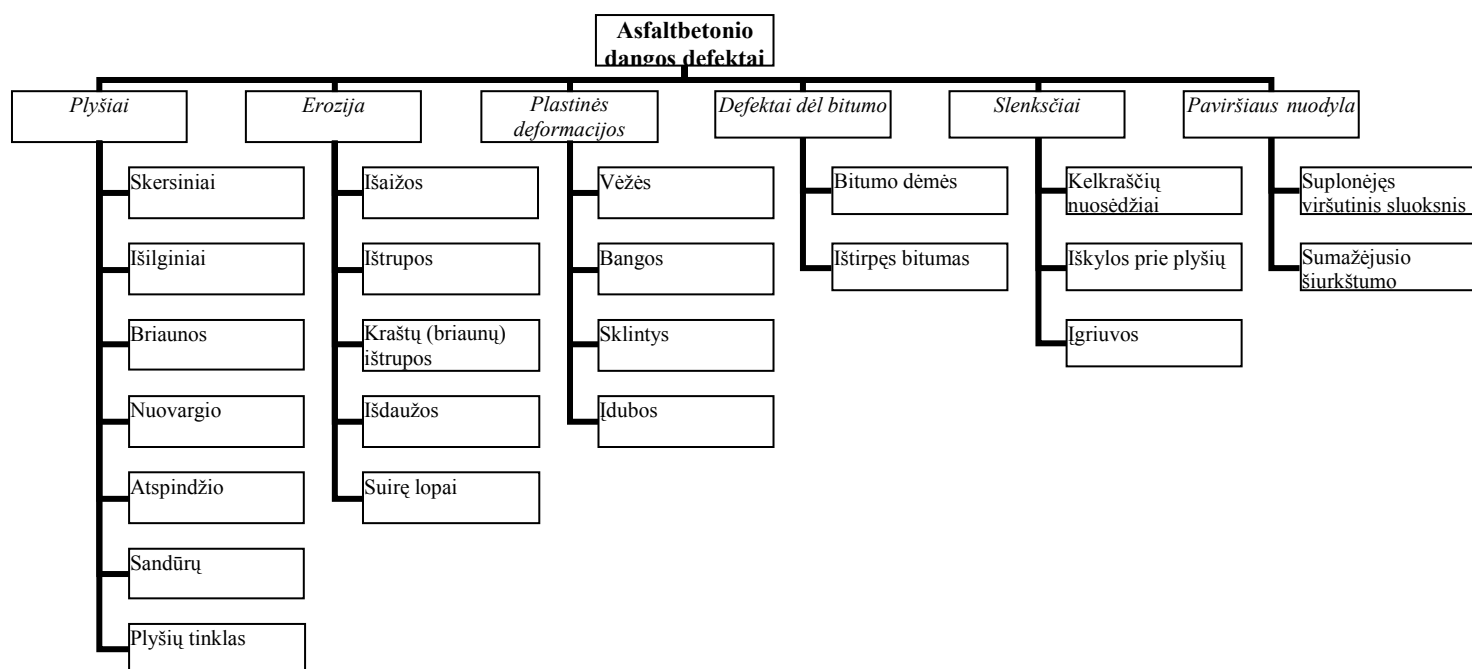
S_{pl} – dangos su plyšių tinklu plotas, m^2 ;

S_p – dangos su plastinėmis deformacijomis plotas, m^2 ;

l_i – atskiro i-tojo plyšio ilgis, m;

b_i – dangos juostos, praradusios stiprį, plotis iš abiejų i-tojo plyšio pusių, priklausantis nuo plyšio pločio, m;

S – tiriamo kelio ruožo visos asfaltbetonio dangos plotas, m^2 .



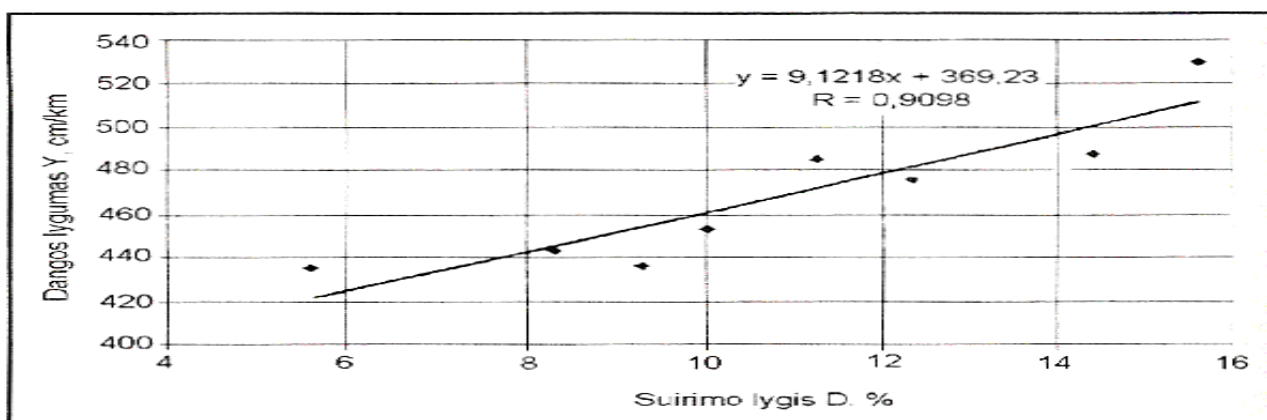
2.5 pav. Asfaltbetonio defektų grupavimo schema [18]

Dažniausiai pasitaikančios dangos deformacijos ir suirimai: *nuodilos* – pagrindinė dangos suirimo rūšis; *išaižos* – dangos paviršiaus mineralinių grūdelių apsinuoginimas: medžiagos paviršiaus plonų plėvelių, plokštelių ir smulkių grūdelių atsiskyrimas vandens, šalčio ir automobilio rato poveikyje, susidarant iki 5 mm gylio mikro nelygumams; *ištrupos* – sekanti po išaižų dangos irimo fazė: nuo dangos atsiskiria stambesni mineraliniai grūdeliai ir susidaro iki 20 mm gylio nedidelio ploto ištrupos; *kraštų išlūžiai* – dangos irimas jos sąlyčio su kelkraščiu vietose; *išdaužos* (duobės) – nuo 20 iki 100 mm, o kartais – ir didesnio gylio vietiniai suirimai, atsirandantys dėl mineralinių medžiagų grūdelių ir bitumo ar kitų organinių rišiklių nepakankamos sankibos, dėl dangos nepakankamo tankio ir kitų priežasčių; *vėžės* – šlyties deformacijos, atsirandančios dėl daugiaašių sunkiasvorių krovinių automobilių poveikio asfaltinei dangai; *bangos* – deformacijos, atsirandančios didelį plastiškumą turinčioje dangoje; *šlytis* (slinktis) – deformacijos, susidarantys važiuojančių automobilių tangentinių jėgų, atsirandančių stabdant automobilius, poveikyje; *įspaudos*

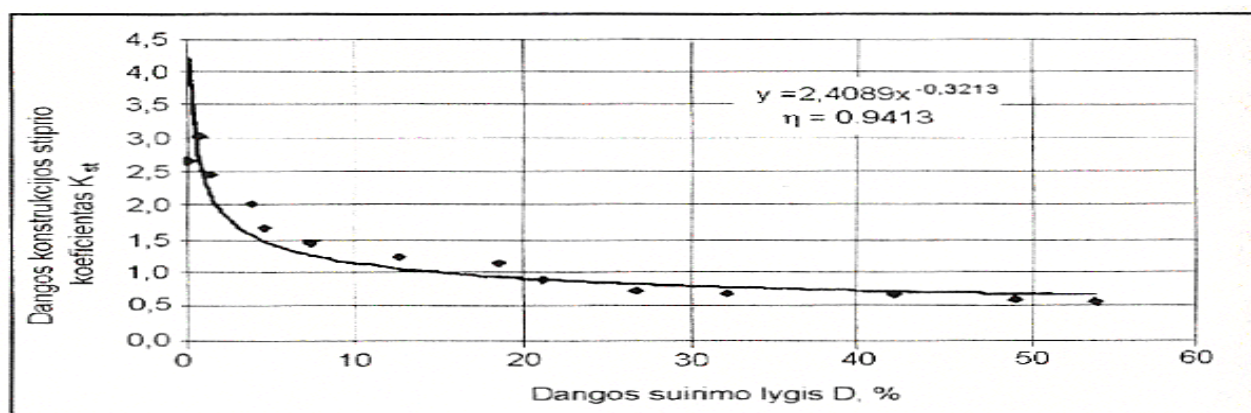
– plastiški dangos pailgėjimai, atsirandantys šiltuoju laikotarpiu; *plyšiai* –asfaltinės dangos pagrindinė suirimo rūšis, būdinga ir cementbetonio dangai.

Kelių dangos konstrukcijos suirimą ir deformacijų joje atsiradimą nulemiantys veiksniai: nenumatytos labai didelės masės automobilių važiavimas keliu, pernelyg didelis transporto priemonių eismo intensyvumas, automobilių apkrovų ir eismo intensyvumo augimo nepakankamas įvertinimas projektuojant, nepakankamas gamtos veiksnių įvertinimas, neteisingas kelio dangos konstrukcijos apskaičiavimas ir konstravimas bei vandens nuleidimo sistemos projektavimas, prastos kokybės kelių tiesimo medžiagų dangos konstrukcijoje panaudojimas ir kt.

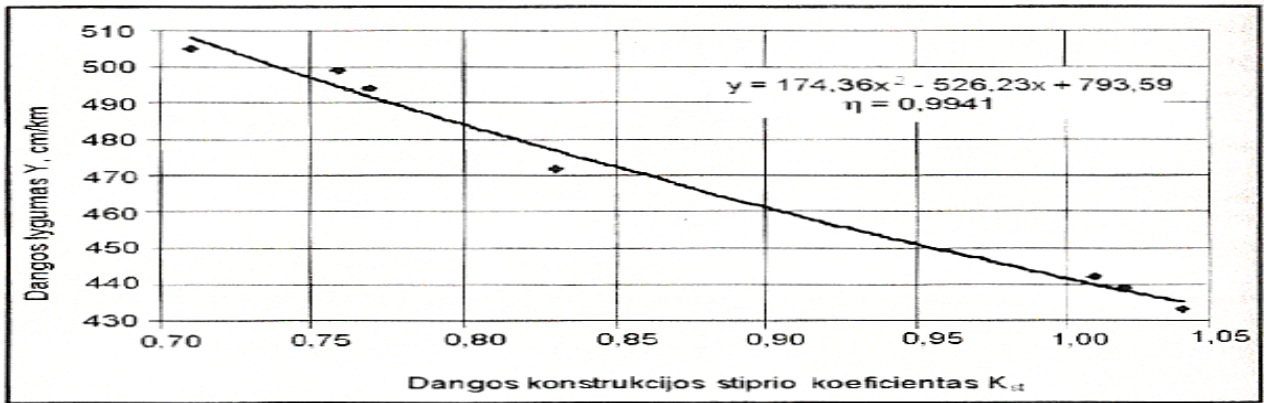
Vilniaus Gedimino technikos universiteto (VGTU) Kelių katedroje atlikti tyrimai parodė, kad rodiklis D glaudžiai susijęs su asfaltbetonio dangos lygumu Y (2.6 pav.) ir dangos konstrukcijos stipriu, apibūdinamu stiprio koeficientu K_{st} (2.7 pav.). Dangos lygumas Y priklauso nuo jos konstrukcijos stiprio koeficiento K_{st} (2.8 pav.), o rodiklio D vertės priklauso nuo asfaltbetonio dangos funkcionavimo trukmės T (2.9 pav.).



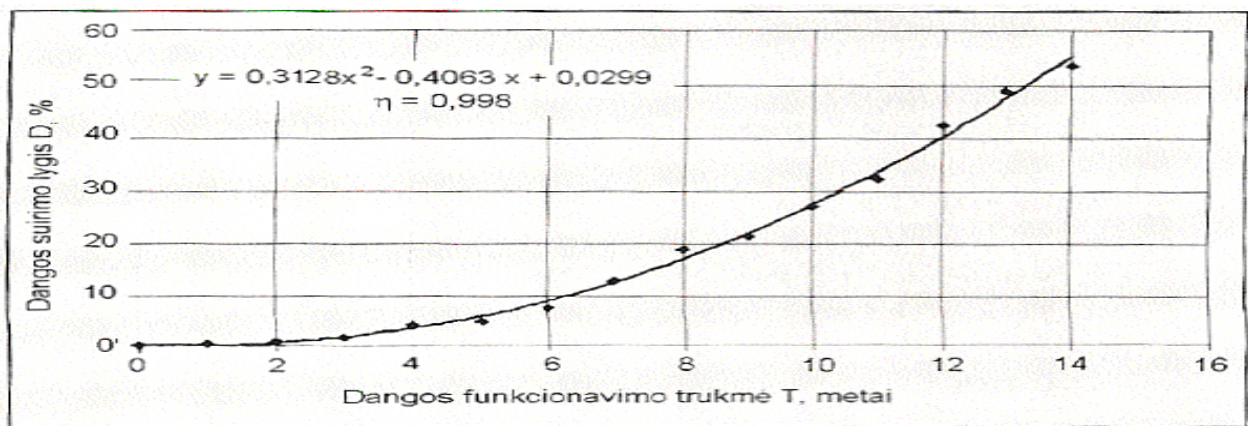
2.6 pav. Asfaltbetonio dangos suirimo lygio ir jos lygumo sietis [15]



2.7 pav. Asfaltbetonio dangos suirimo lygio ir nestandžios dangos konstrukcijos stiprio sietis [15]



2.8 pav. Nestandžios konstrukcijos stiprio ir asfaltbetonio dangos lygumo sietis [15]



2.9 pav. Asfaltbetonio dangos funkcionavimo bei jos suirimo lygio sietis [15]

Atliktų tyrimų rezultatai leido pasiūlyti racionalią metodiką automobilių kelių tarpremontiniams laikotarpiams nustatyti.

Racionaliai magistralinių kelių funkcionavimo trukmei iki vidutinio T_v ir iki kapitalinio T_k remontų nustatyti naudojamos šios formulės [15]:

$$T_v = \frac{D_1^{(1)}}{\Delta D_1^{(1)}}, \quad (1.11)$$

$$T_k = \frac{D_2^{(1)}}{\Delta D_2^{(1)}}, \quad (1.12)$$

$\Delta D_1^{(1)}$ - vidutinis rodiklio D absoliutus prieaugis per metus laikotarpiu, kol rodiklio D vertės didėja nuo 0 iki $D_1^{(1)}$;

$\Delta D_2^{(1)}$ - vidutinis rodiklio D absoliutus prieaugis per metus laikotarpiu, kol rodiklio D vertės didėja nuo 0 iki $D_2^{(1)}$.

2.5. Skyriaus išvados

1. Vienas iš pagrindinių parametru, nusakančių kelio dangos kokybę bei jos funkcionavimo trukmę, yra kelio dangos lygumas. Jis priklauso nuo dangos konstrukcijos stiprio ir nuo dangos suirties lygio. Dangos funkcionavimo trukmė priklauso nuo automobilių eismo apkrovų intensyvumo, klimato ir vietovės drėkinimo sąlygų, gruntų geologinių ir hidrogeologinių sąlygų, optimalios asfaltbetonio sudėties, projektavimo ir kelio įrengimo klaidų.
2. Kelių dangos būklė eksploataciniai rodikliai – kelio dangos lygumas, automobilio ratų su danga sukibimo koeficientas, dangos konstrukcijos įlinkis, nustatomi moderniais matavimo prietaisais, o dangos defektingumo lygis vertinamas vizualiai pagal normas.

3. LIETUVOS MAGISTRALINIŲ KELIŲ ASFALTBETONIO DANGOS BŪKLĖS IR EKSPLOATACINIŲ SAVYBIŲ ANALIZĖ

3.1. Metodika tyrimams atlikti ir duomenims apdoroti

Šiame darbe analizuojant svarbiausių magistralinių kelių dangos ir jos konstrukcijos eksploatacinių rodiklių kokybę, naudojami VĮ Transporto ir kelių tyrimo instituto atliktų matavimų duomenys. Šiems matavimams atlikti naudojami modernūs prietaisai. Dangos lygumui išmatuoti naudojamas lazerinis profilografas DYNATEST 5051 RSP, o nuo 2007 metų dangos lygumas pradėtas matuoti ir mobilia kelių tyrimo laboratorija RST – 28. Ratų sukibimui su danga išmatuoti naudojamas SRT-3 prietaisas, o dangos konstrukcijos stipriui matuoti naudojama krintančio svorio diflektometras DYNATEST 8000 FWD.

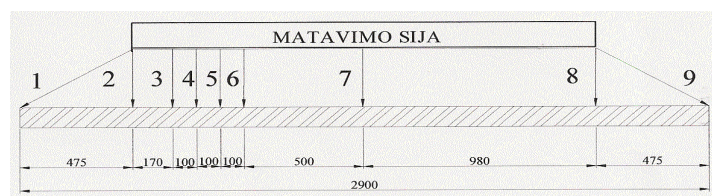
Lazerinis profilografas DYNATEST 5051 RSP 19]

Lazerinis profilografas DYNATEST 5051 RSP (3.1. pav.) – tai universalus, pirmos tikslumo klasės ir greitaeigis automobilių kelių dangos charakteristikų matavimo prietaisas, skirtas matuoti išilginį ir skersinį kelio mikroprofilį, išilginį ir skersinį kelio profilį bei kelio kreives palne. Šis prietaisas sumontuotas automobilio VW Transporter bazėje. Jį sudaro:

- ✓ giroskopas, matuojantis išilginį ir skersinį kelio dangos profilius;
- ✓ devyni lazeriniai matuokliai, matuojantys išilginį ir skersinį kelio mikroprofilius;
- ✓ du akselerometrai, eliminuojantys matavimo įrangos savuosius virpesius;
- ✓ procesorius, apdorojantis giroskopo, lazerinių matuoklių, akselerometrų ir atstumo daviklio signalus;
- ✓ personalinis kompiuteris, valdantis procesoriaus darbą ir kaupiantis matuojamus duomenis.



3.1. pav. Lazerinis profilografas DYNATEST 5051 RSP



3.2. pav. Matavimo sijoje sumontuotų lazerinių matuoklių išdėstymo schema

Automobilių kelių dangos išilginis ir skersinis mikroprofilis užrašomas devyniais lazeriniais matuokliais, kurie fiksuoja atstumą nuo matavimo sijos iki kelio dangos paviršiaus. Lazerinių matuoklių parodymai fiksuojami kas 0,147 m, apdorojami procesoriuje ir perduodami į personalinį kompiuterį. Priklausomai nuo tyrimo tikslų, matavimo įrangos programinis paketas leidžia matuoti išilginį realų kelio mikroprofilį, panaudojant aktyvią kelio dangos mikroprofilio vertinimo programą, pateikti dangos kokybės įvertinimo indeksą IRI (International roughness index). Tokia pati galimybė numatyta ir skersinio mikroprofilio (provėžų) matavimo programa, kuri pateikia realias atskaitas nuo sijos. Tačiau lazeriniame profilografe matuoklių skaičius ribotas (9 vnt.), todėl sunku tiksliai išmatuoti abiejų vėžių gylius. Siekiant užtikrinti vėžės gylio matavimo tikslumą, būtinas didesnis lazerinių matuoklių kiekis vėžių zonoje. Todėl lazeriniai matuokliai išdėstyti taip (3.2. pav.), kad būtų galima pakankamai tiksliai (± 2 mm) išmatuoti dešinės kraštinės vėžės gylį

Kelio dangos lygumo įvertinimo vieneto IRI* nustatymui mikroprofilis matuojamas dviem lazeriais, esančiais ties automobilio ratais. Prietaise sumontuoti du akselerometrai, kurie eliminuoja prietaiso virpesių įtaką lazerinių matuoklių parodymams.

Matuojant kelio dangos parametrus su lazeriniu profilografu DYNATEST 5051 RSP, būtina laikytis šių matavimo sąlygų:

- ✓ rekomenduojamas 80 km/h matavimo greitis, nes esant didesniems greičiams mažėja nelygių kelio ruožų matavimo duomenų patikimumas;
- ✓ danga turi būti sausa, nes kitu atveju, lyjant, susidariusi vandens plėvelė mažina lazerinių matuoklių pateiktų matavimų patikimumą;
- ✓ matavimus reikia atlikti nežemesnėje kaip $+5$ °C ir nedidesnėje kaip $+30$ °C oro temperatūroje;
- ✓ dangos lygumo vieneto IRI nustatymui naudoti 50 m ilgio kelio atkarpas;
- ✓ prieš kiekvieną matavimą būtina taruoti matuojamo kelio atstumo daviklį, nes pakitus oro slėgiui padangose, kinta matuojamo ruožo ilgis – tai įtakoja IRI vieneto dydį.

Nuo 1996 m. ši įranga naudojama Lietuvos kelių dangos būklei įvertinti.

Mobili kelių tyrimo laboratorija RST – 28 [19]

Kelių dangos eksploatacinių rodiklių matavimams atlikti nuo 2007 metų pradėta naudoti mobili kelių tyrimo laboratorija RST 28 (3.3 pav).



3.3 pav. Mobili kelių tyrimo laboratorija RST – 28

Šią mobilią laboratoriją sudaro matavimo sija (20 lazerinių jutiklių, 2 akcelerometrai, 2 inklinometrai, 2 dviejų ašių giroskopai), atstumo jutiklis, priekinio vaizdo kamera, GPS imtuvas, 4 dangos defektų filmavimo kameros, blykstė, apšviečianti kelią. Laboratorijos viduje yra UPS nepertraukiamas energijos šaltinis, pagrindinis kompiuteris, *DPavue* kompiuteris, procesorius ir galinės blykstės maitinimo blokas. Duomenys, užfiksuoti matavimo sija, kameromis ir atstumo matuokliais, perkeliama į standųjį diską, kuris dedamas į defektų analizavimo kompiuterį. Kompiuteryje yra lazerių tvarkymo programa RST2 ir defektų tvarkymo programa AIES.

Krintančio svorio diflektometras DYNATEST 8000 FWD [19]

Dangos stipris – rodiklis apsprendžiantis dangos sugebėjimą atlaikyti eismo apkrovas. Dangos stiprio įvertinimui naudojamas įlinkių matavimas krintančio svorio diflektometru DYNATEST 8000 FWD, kurį sudaro:

- ✓ krintančio svorio diflektometro priekaba DYNATEST 8000;
- ✓ sistemos procesorius DYNATEST 9000;
- ✓ kompiuteris ir spausdintuvas;
- ✓ automobilis – vilkikas.

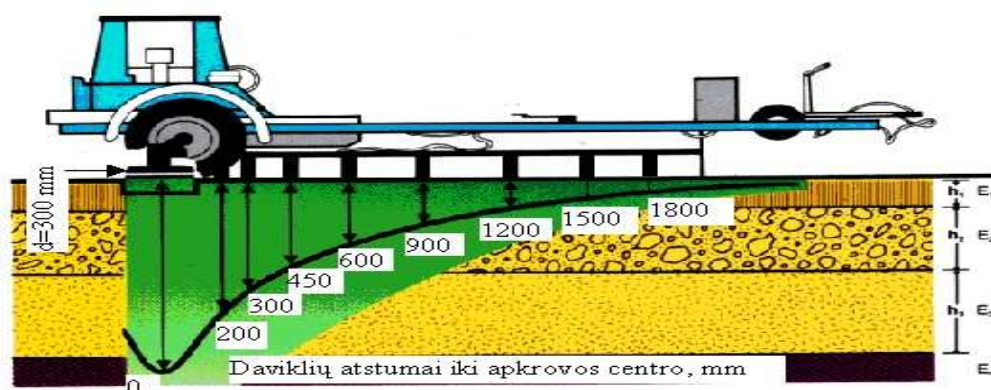
Šio diflektometro panaudojimas įgalina:

- modeliuoti jėgos amplitudę ir jos trukmę, kuri apytikriai lygiavertė judančio automobilio rato apkrovos poveikiui į kelio dangą;
- atlikti tikslius įlinkių matavimus dideliuose atstumuose nuo apkrovos centro;
- įvertinti esamų kelio dangų konstrukcijos stiprio būklę.

Diflektometras DYNATEST 8000 FWD atlieka pusiau sinusoidės formos vieno “smūgio” 25-30 μ s trukmės apkrovą, tolygią judančio rato apkrovai. Įlinkiai matuojami absoliučiu $2\% \pm 2$ mikrometrų tikslumu ir tipiniu santykinio $1\% \pm 1$ mikrometro tikslumu. Įrenginio skiriamoji

geba (įlinkių požiūriu) yra 1 mikronas. Apkrova matuojama ne mažesniu nei $2\% \pm 0.3$ kN tikslumu. Įrengimo skiriamoji geba (apkrovos požiūriu) yra nuo 0.03 iki 0.2 kN, priklausomai nuo dydžio.

Matavimo metu kelio dangos įlinkių dubuo fiksuojamas 9 davikliais (geofonais), kurių atstumai nuo apkrovos pridėties centro: 0 mm, 200 mm, 300 mm, 450 mm, 600 mm, 900 mm, 1200 mm, 1500 mm, 1800 mm. Kiekviename tiriamo ruožo taške matavimo metu buvo atliekama po 3 bandymus. Matuojant įlinkius kartu išmatuojama ir asfaltbetonio dangos temperatūra, kuri reikalinga deformacijų modulių skaičiavimui.



3.4 pav. Krintančio svorio deflektometro Dynatest 8000 schema

Dangos konstrukcinių sluoksnių deformacijos modulių skaičiavimui naudojama firmos DYNATEST programą ELMOD (Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design). Ši programa apskaičiuoja kiekvieno dangos sluoksnio deformacijos modulį dviejų, trijų arba keturių sluoksnių kelio dangos konstrukcijose, panaudojant Odemark - Boussinesq transformuotą pjūvio metodą, atsižvelgdama į dangos įlinkių dubens formą, gautą 9 geofonų parodymais, ir kelio dangos konstrukcijos sluoksnių storius, neįvertindama dangos sluoksnių medžiagų savybių. Būtina skaičiavimo sąlyga - deformacijos moduliai gilyn į sankasą privalo mažėti. Jeigu kelio dangos konstrukcija netenkina šios sąlygos galimi skaičiavimo netikslumai. Todėl tokius skaičiavimo taškus reikėtų eliminuoti.

SRT – 3 įrenginys [19]

Šis įrenginys naudojamas automobilio rato su kelio danga sukibimo koeficientui išmatuoti. SRT – 3 įrenginį sudaro:

- ✓ vienratė dinamometro priekaba;
- ✓ elektroniniai matavimo ir užrašymo prietaisai;

✓ vilkikas Ford Transit.

Matavimo principas – sankibos koeficiento matavimas tarp kelio dangos ir transporto priemonės padangų, esant visiškai užblokuotam matavimo ratui ant šlapios dangos (sudaroma dirbtinė vandens plėvelė tarp rato ir kelio dangos). Numatyta papildoma galimybė – sukibimo koeficiento maksimalios reikšmės nustatymas trumpalaikio slydimo metu (matavimo ratui pereinant iš laisvo riedėjimo režimo į slydimą). Optimalus matavimo greitis 60 km/h. ratas stabdomas panaudojant suslėgtą orą (automobilyje sumontuotas papildomas kompresorius). Automobilyje kompiuteriu kontroliuojama sumontuota automatinė vandens dozavimo sistema taip pat dinamometrinės priekabos stabdžių sistema. Matavimo rato leistini matmenys – 13, 14, 15 colių. Transporto ir kelių tyrimo institutas naudoja lygią matavimo rato padangą su išilginiais grioveliais – PIARC 165 R 15.

Sistema sudaryta iš dviejų matavimo kontūrų. Stabdymo sukimo momentas matuojamas davikliu, kuris per viršutinę kampinę svirtį sujungtas su stabdžių disko traukle. Abu matavimo kontūrai sujungti vertikalia jungtimi, turinčia jėgos daviklį. Jungtis, per visą stabdymo ciklą užtikrina jėgos matavimą davikliu. Stabdymo ciklo metu matavimo ratas pakeičia savo kampinį greitį iš laisvo sukimosi į pilną slydimą. Jėga yra lygi sukibimo jėgai F .

Be daviklių priekaboje yra sumontuota vilkimo kablo mova, kuri sustiprina kablį vertikalios sukimosi ašyje matavimo metu ir neleidžia priekabai pasisukti į ašį. Nuo dinaminės smūgių priekaba apsaugoma tam tikro standumo spyruokle. Dinamometrinės priekabos apkrova lygi 2943 N.

Klasifikatorius MARKSMAN 400 [19]

Eismo intensyvumo apskaita vykdoma automatinio skaitiklio - klasifikatoriumi MARKSMAN 400. Šis skaitiklis - klasifikatorius yra mobilus autonomiškas prietaisas su keičiamais darbo režimais. Jis lengvai įrengiamas darbo vietoje ir naudojamas transporto priemonių skaičiavimui bei klasifikavimui. Prie šio skaitiklio prijungiami 2 minkštos gumos vamzdeliai (žarnos), kurie darbo vietoje paklojami skersai kelio 1 metro atstumu vienas nuo kito. Galimi ir kiti gumos vamzdelių įrengimo būdai. Užvažiavus automobilių ratams, vamzdeliuose padidėja oro slėgis, kuris užfiksuojamas skaitiklio pneumo daviklių pagalba. Jų signalus skaitiklio schemos išanalizuoja ir įrašo informaciją apie pravažiavusią transporto priemonę į savo atmintį. Prijungus prie skaitiklio personalinį kompiuterį galima keisti jo darbo režimus ir nuskaityti sukaupią informaciją.

Tyrimų rezultatų apdorojimo metodika

Naudojantis Transporto ir kelių tyrimo instituto 2000-2009 metais atliktų tyrimų duomenimis buvo analizuojamas kelio A1 *Vilnius – Kaunas – Klaipėda* ir kelio A5 *Kaunas – Marijampolė – Suvalkai* dangos lygumas, padangos sukibimo su danga koeficientas, suirimo lygis, dangos konstrukcijos stipris. Šiems kokybės rodikliams buvo paskaičiuotas aritmetinis vidurkis, vidutinis kvadratinis nuokrypis ir patikimumas. Nubraižytos kokybės rodiklių tiesinės koreliacijos diagramos.

Aritmetinio vidurkio skaičiavimo formulė:

$$\overline{X}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij}; (1.13.)$$

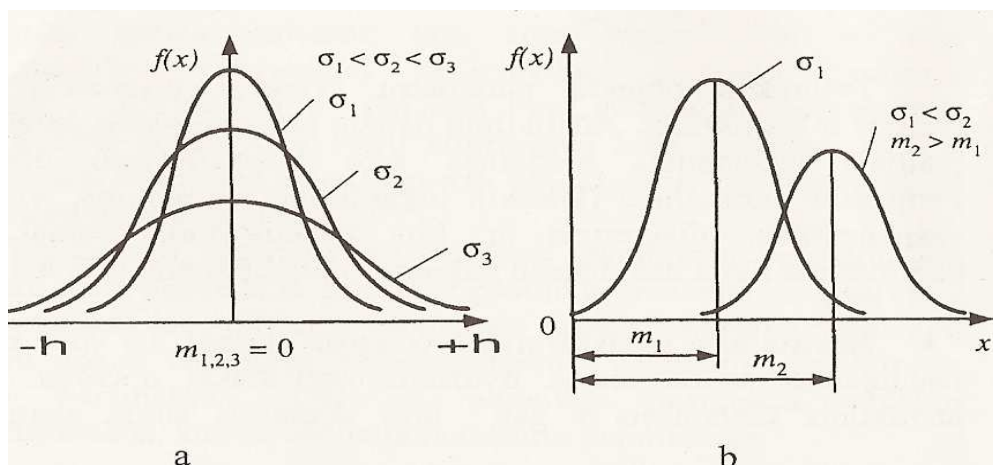
čia n – matavimo rezultatų skaičius;

$X_1, X_2, \dots, X_n$ – matavimų rezultatai.

Vidutinio kvadratinio nuokrypio skaičiavimo formulė:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}; (1.14.)$$

Eksploatacinių rodiklių patikimumas vertinamas pagal normalųjį verčių skirstinį, jo reikšmės randant statistinėse lentelėse.



3.5 pav. Normalinio skirstinio kreivės [20]

Patikimumas nustatytas taikant normalaus skirstinio funkciją $F(t)$:

$$F(t) = P(x < X_1);$$

$$t = \frac{X_l - \bar{X}}{\sigma}; (1.15.)$$

čia t – reikšmingumo lygtis, pagal kurią iš matematinės statistikos lentelių nustatomas funkcijos $F(t)$ patikimumas

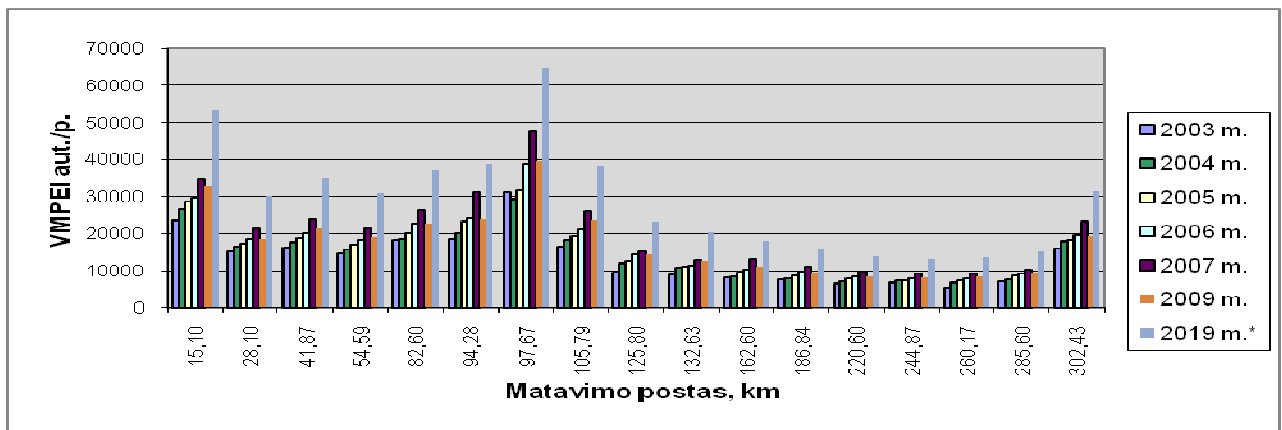
$\bar{X}$ - tiriamo rodiklio aritmetinis vidurkis;

X_1 – tiriamo rodiklio didžiausioji (leistinoji vertė);

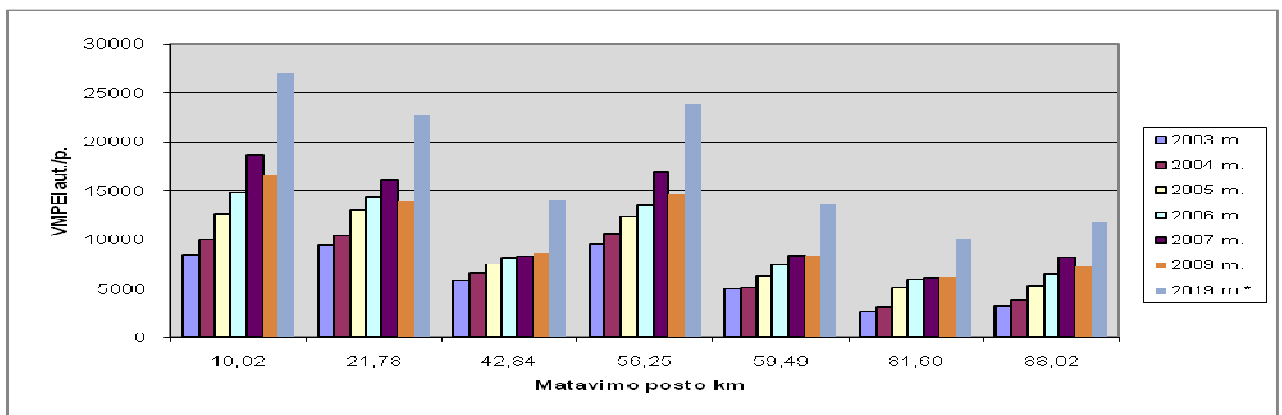
σ – tiriamo rodiklio vidutinis kvadratinis nuokrypis.

Statistinių rodiklių nustatymui buvo naudojamos kompiuterinė programa Microsoft Excel.

3.2. Svarbiausių magistralinių kelių asfaltbetonio dangos būklės ir eksploatacinių rodiklių kitimo analizė



3.6 pav. Eismo intensyvumo augimas kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ir jo prognozė 2019 metais



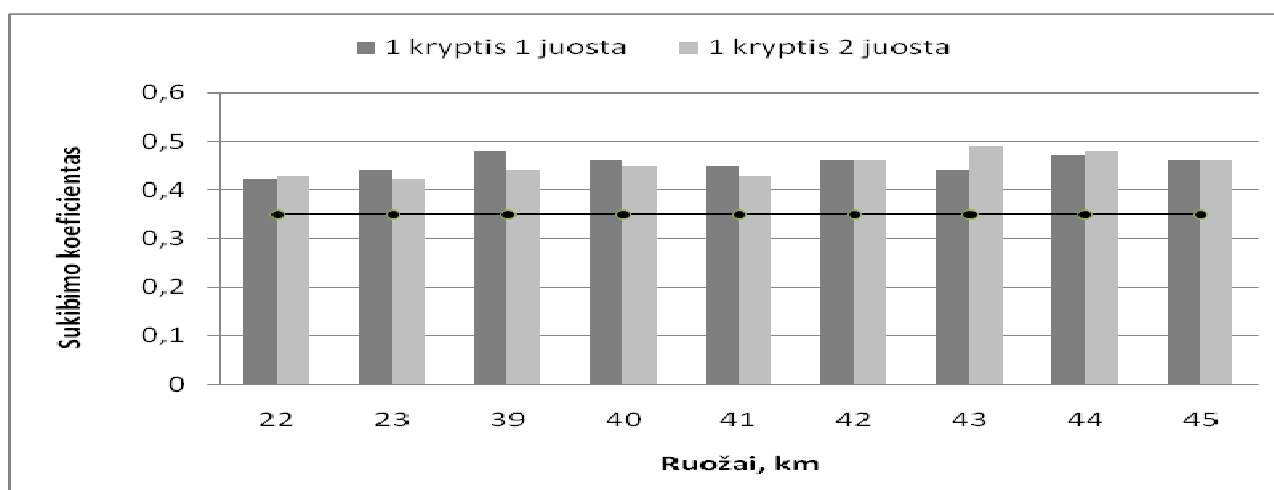
3.7 pav. Eismo intensyvumo augimas kelyje A5 Kaunas- Marijampolė -Suvalkai ir jo prognozė 2019 metais

Dangos su padanga sukibimo analizė

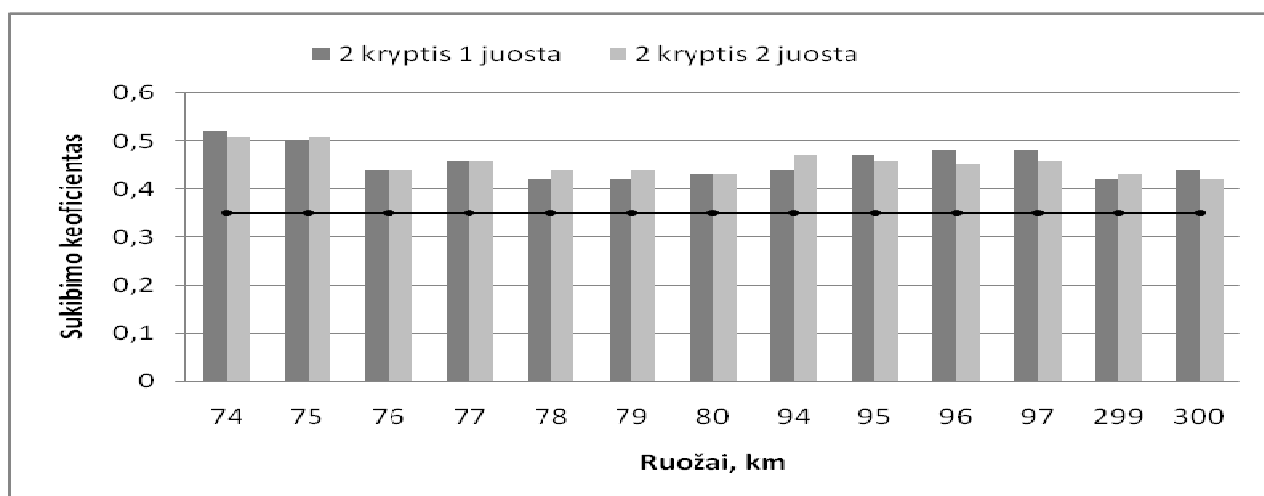
Padangos su kelio danga sukibimo rodiklis analizuojamas magistraliniuose keliuose A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ir A5 Kaunas – Marijampolė - Suvalkai. Nagrinėjami 2008 metų matavimų duomenys.

Lietuvos automobilių kelių direkcijos (LAKD) prie Susisiekimo ministerijos 2001 metais patvirtintose statybos rekomendacijose R 35 - 01 „Automobilių kelių asfaltbetonio ir žvyro dangos“ [21] reglamentuojamos šios rato sukibimo su danga koeficiento ribinės reikšmės:

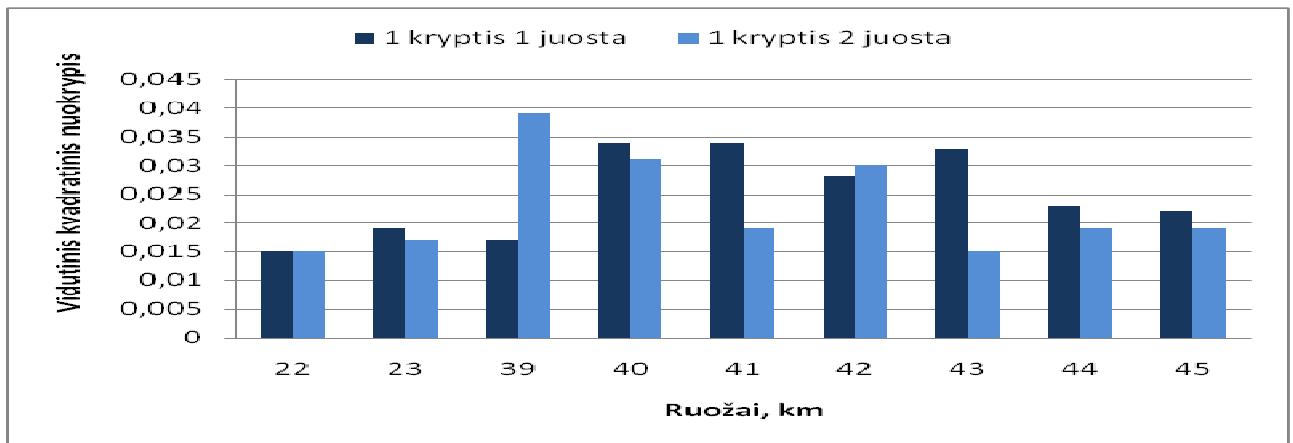
- magistraliniams keliams 0,35;
- krašto, rajoniniams keliams 0,30.



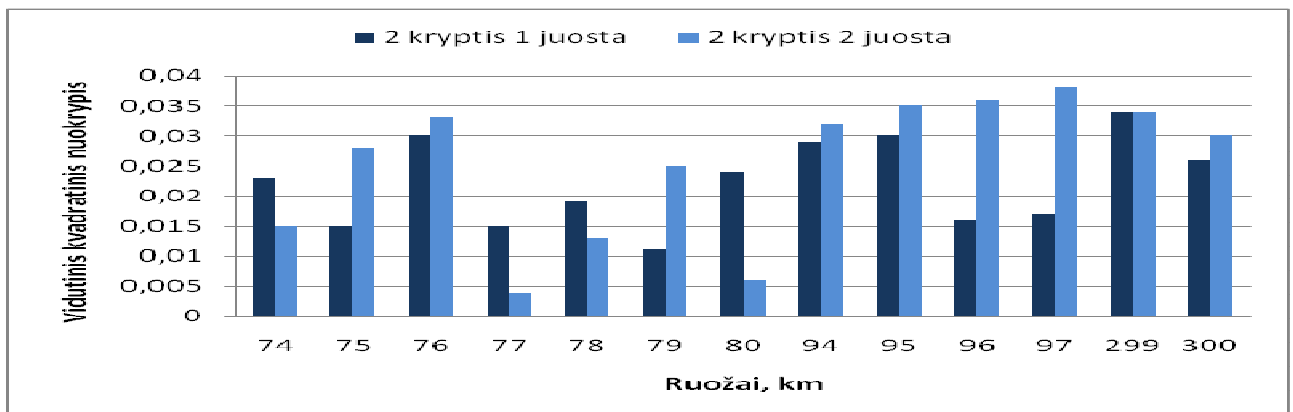
3.8 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos su automobilio ratu sukibimo koeficientas 2008 metais



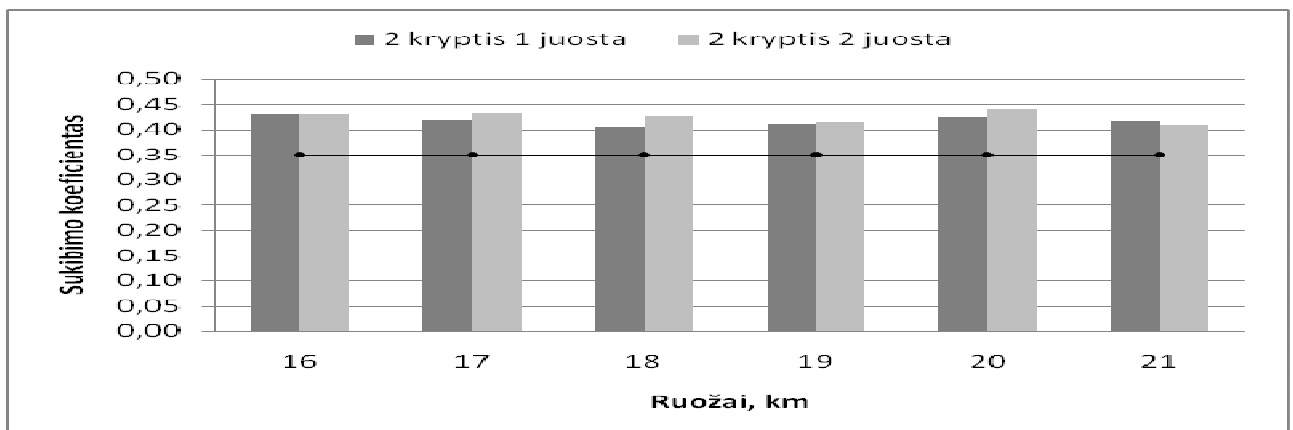
3.9 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos su automobilio ratu sukibimo koeficientas 2008 metais



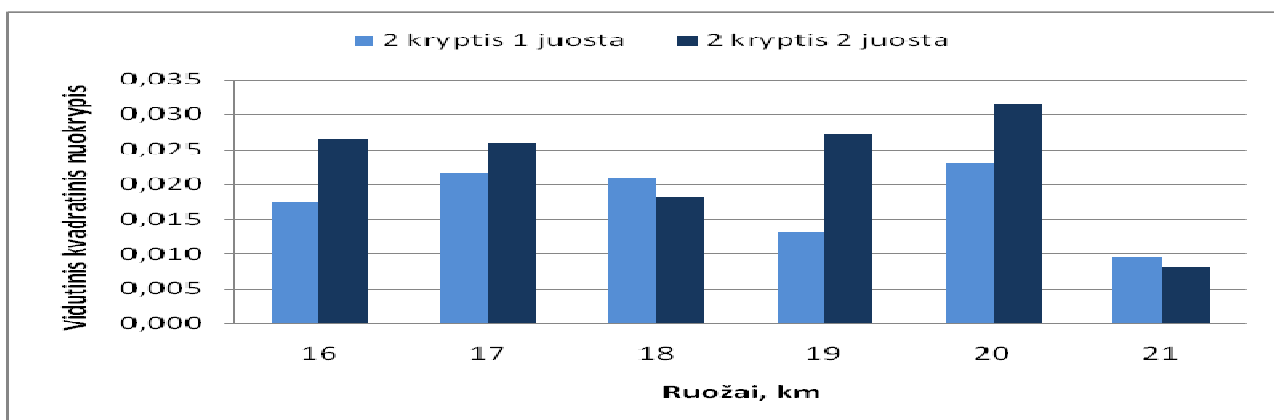
3.10 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos su automobilio rato padangos sukibimo koeficiento vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2008 metais



3.11 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos su automobilio rato padangos sukibimo koeficiento vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2008 metais



3.12 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė - Suvalkai ruožų dangos su automobilio ratu sukibimo koeficientas 2008 metais



3.13 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė - Suvalkai ruožų dangos su automobilio rato padangos sukibimo koeficiento vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2008 metais

Automobilio rato padangos su kelio danga sukibimo rodiklis nėra matuojamas per visą kelio ilgį. Matuojami tik naujai remontuoti ar rekonstruoti bei įtartini kelio ruožai. Analizuojant tyrimo duomenis pastebėta, kad matavimai kiekvienais metais atlikti skirtinguose ruožuose ir nėra ruožų, kuriuose šie matavimai būtų atlikti keletą metų iš eilės, todėl netikslinga spręsti apie sukibimo koeficiento blogėjimą ar gerėjimą visame kelio ruože.

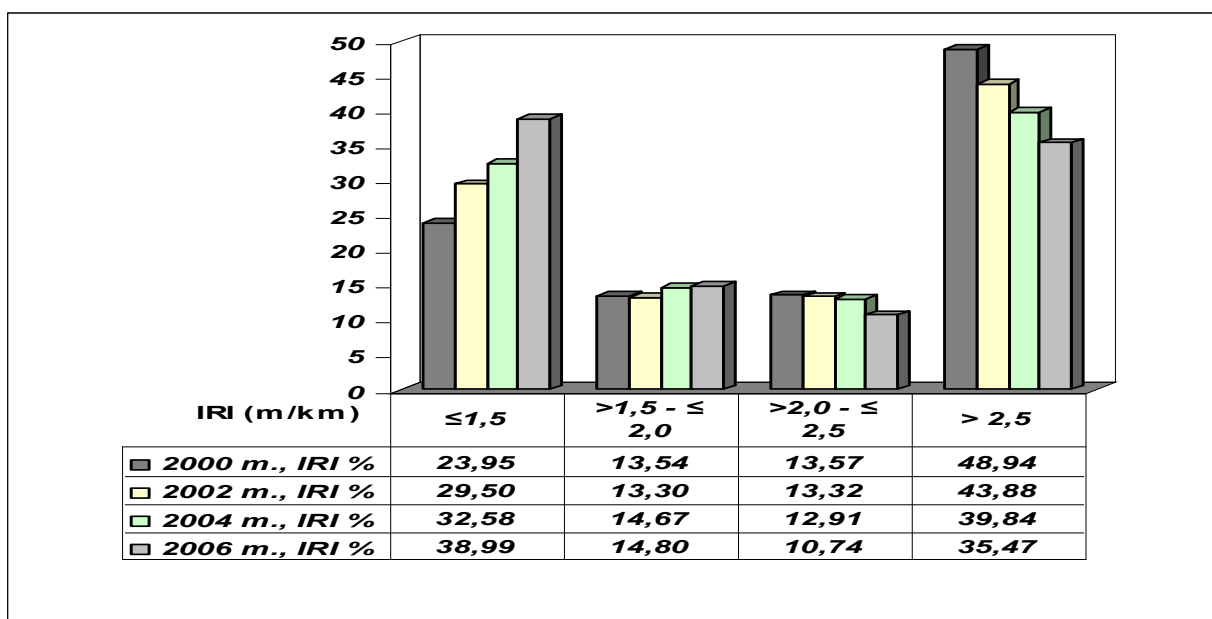
Darbe nagrinėjami 2008 metų matavimų duomenys. Matavimai keliuose buvo atliekami tik naujai rekonstruotuose arba remontuotuose kelių ruožuose, todėl, kaip matyti iš diagramų, padangos su kelio danga sukibimo rodiklis yra gerokai didesnis už ribinę reikšmę.

Dangos lygumo analizė

Kelio dangos lygumas - vienas iš pagrindinių parametrų, nusakančių kelio dangos kokybę. Jis tiesiogiai įtakoja važiavimo komfortą, kuro sąnaudas, saugų eismą.

Kelio dangos lygumas aprašomas nelygumų skaičiumi, jų dydžiu ir išsidėstymu, tenkančiu kelio dangos ilgio vienetui arba tarptautiniu lygumo vienetu IRI (International Roughness Index).

Dangos išilginis lygumas matuojamas prietaisu, kurio žingsnis ne didesnis kaip 0,25 m. Matuojama kiekvienoje eismo juostoje dviejuose vėžės pėdsakuose, rezultatus pateikiant 20 m ilgio atkarpomis IRI skalėje. Viso magistralinių kelių tinklo asfaltbetonio dangų lygumo periodiniai matavimai atliekami kas dveji metai.



3.14 pav. Magistralinių kelių dangos lygumas intervaluose [22]

2000-2006 metais magistraliniuose keliuose išmatuotas asfaltbetonio dangų lygumo rodiklis vis gerėjo – daugėjo ruožų, kuriuose $IRI \leq 2,5$ m/km, ir mažėjo ruožų, kuriuose $IRI > 2,5$ m/km. Tačiau tirtame magistralinių kelių tinkle išliko gana didelis procentas kelių ruožų, kurių lygumo rodiklis $IRI > 2,5$ m/km.

Asfaltbetonio dangų išilginio lygumo gerėjimui įtaką daro atliekami kelio dangos remontai. Lietuvos magistraliniuose keliuose, dėl atliktų remontų lygumo rodiklis gerėjo ar bent buvo sustabdytas jo blogėjimas.

2006 metais nustatyta, kad magistraliniuose keliuose asfaltbetonio dangų išilginių nelygumų rodikliai geresni už ankstesnių metų rodiklius ir pagal priežiūros lygius yra tokie:

1. 38,99 % asfaltbetonio dangų atitinka aukšto priežiūros lygio reikalavimus;
2. 14,80 % asfaltbetonio dangų atitinka vidutinio priežiūros lygio reikalavimus;
3. 10,74 % asfaltbetonio dangų atitinka žemo priežiūros lygio reikalavimus;
4. 35,47 % asfaltbetonio dangų neatitinka kelių priežiūros lygio reikalavimų magistralinių kelių dangoms.[22].

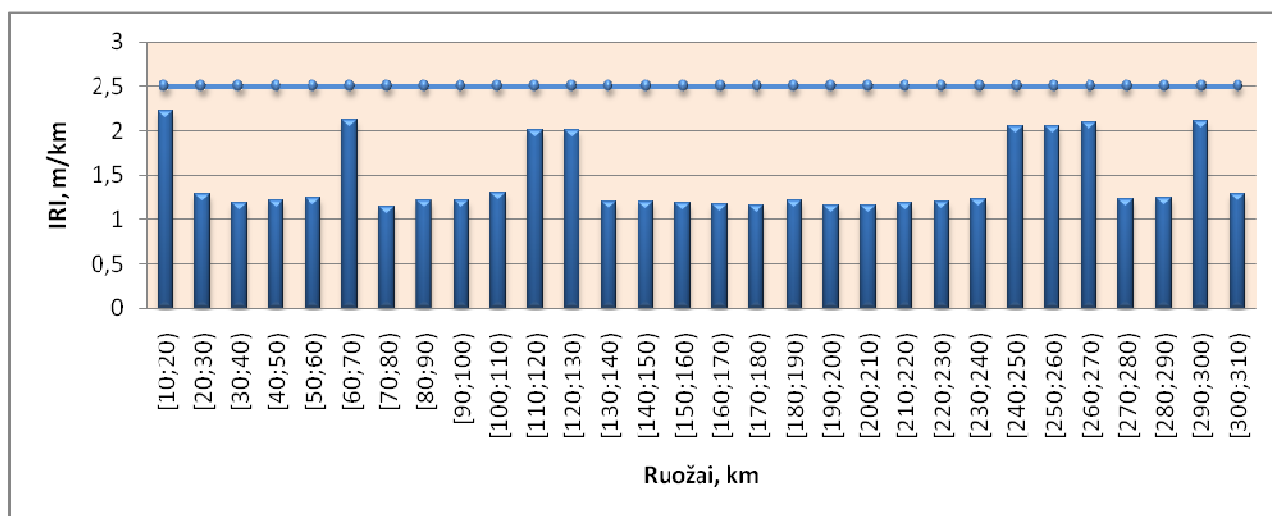
Detalesnė kelio dangos lygumo rodiklio analizė atliekama didžiausio eismo intensyvumo magistraliniuose keliuose A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda, A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai. Analizei naudojami 2000, 2004, 2006, 2007, 2009 metų matavimo duomenys. Analizuojamų kelių ilgiai yra suskirstyti į 10 km ruožus, kuriuose apskaičiuoti dangos lygumo aritmetiniai vidurkiai, vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai, patikimumas.

Lietuvos automobilių kelių direkcijos (LAKD) prie Susisiekimo ministerijos 2005 metais patvirtintame kelių priežiūros vadove „Automobilių kelių priežiūros normatyvai“ KPV PN-05 [13] reglamentuojamos šios dangos lygumo ribinės reikšmės:

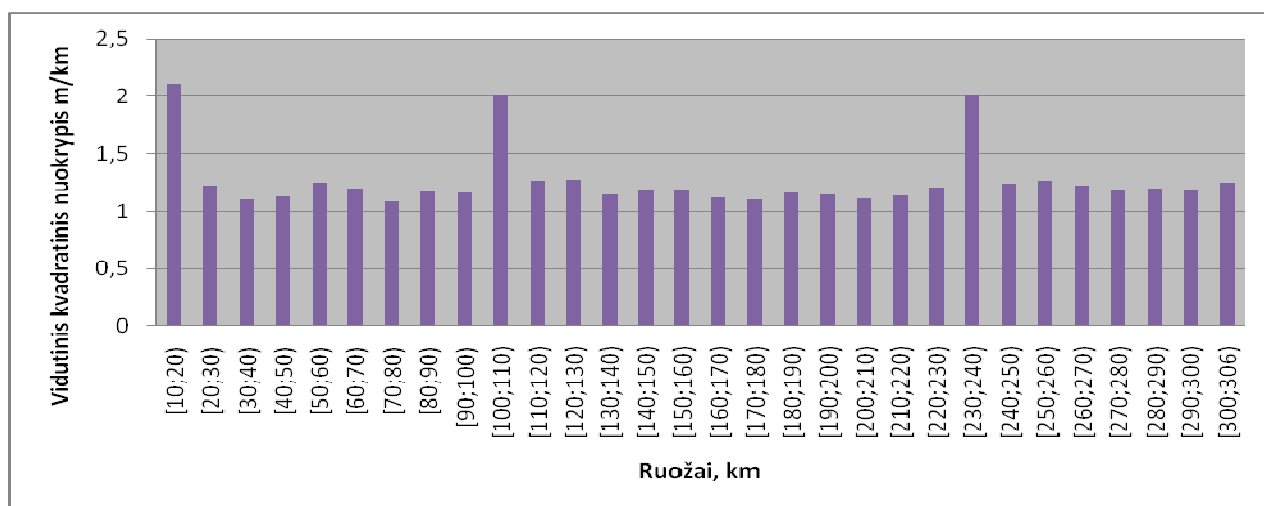
- magistraliniams keliams $\leq 2,5$ m/km;
- krašto keliams $\leq 3,5$ m/km;
- rajoniniams keliams

(viensluoksnėms dangoms) $\leq 4,5$ m/km.

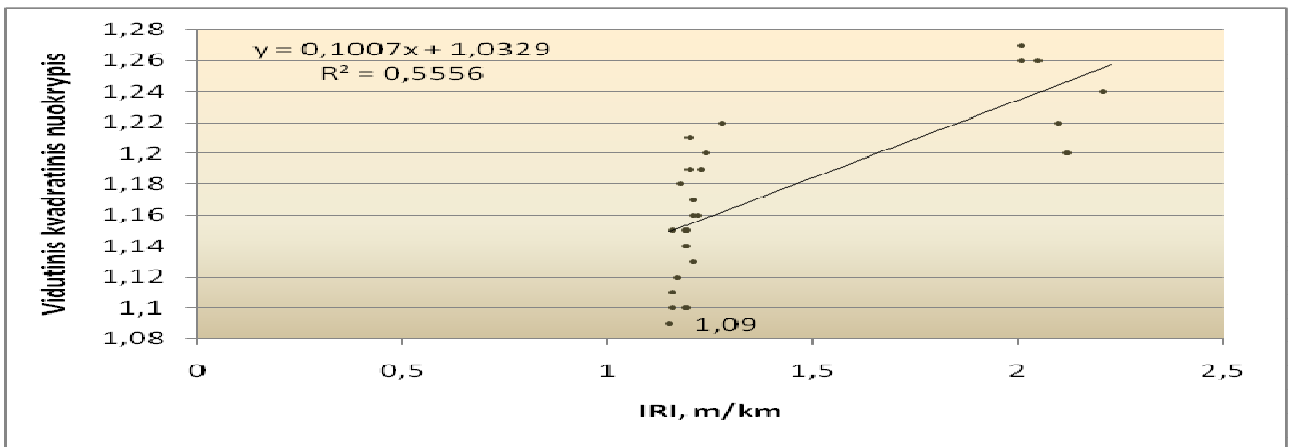
Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda dangos lygumo analizė



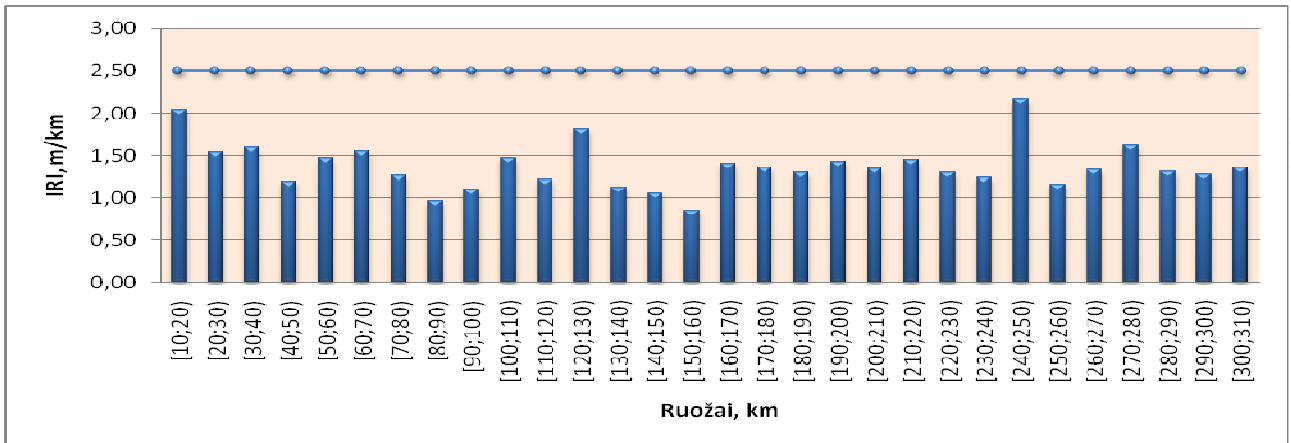
3.15 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos lygumas 2000 metais



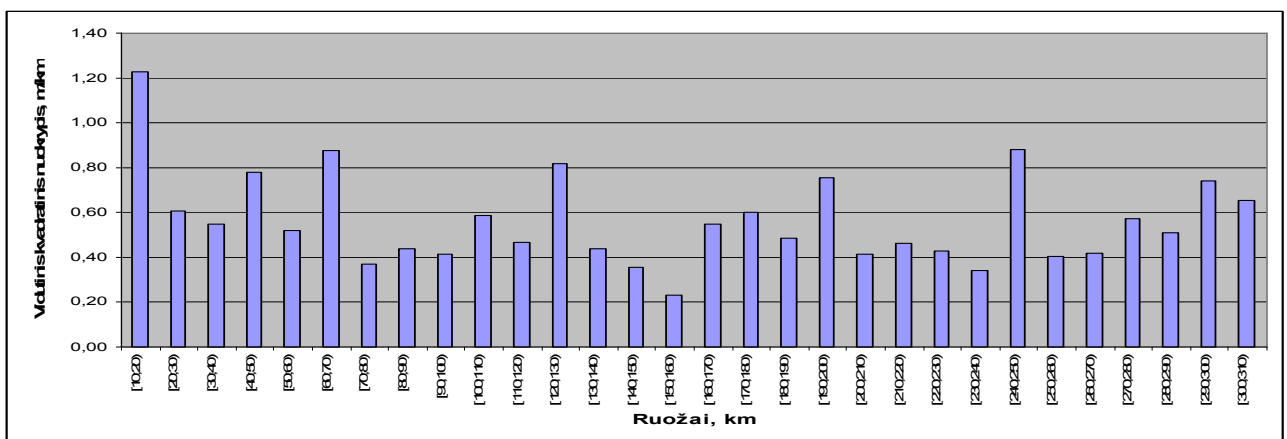
3.16 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos lygumo vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2000 metais



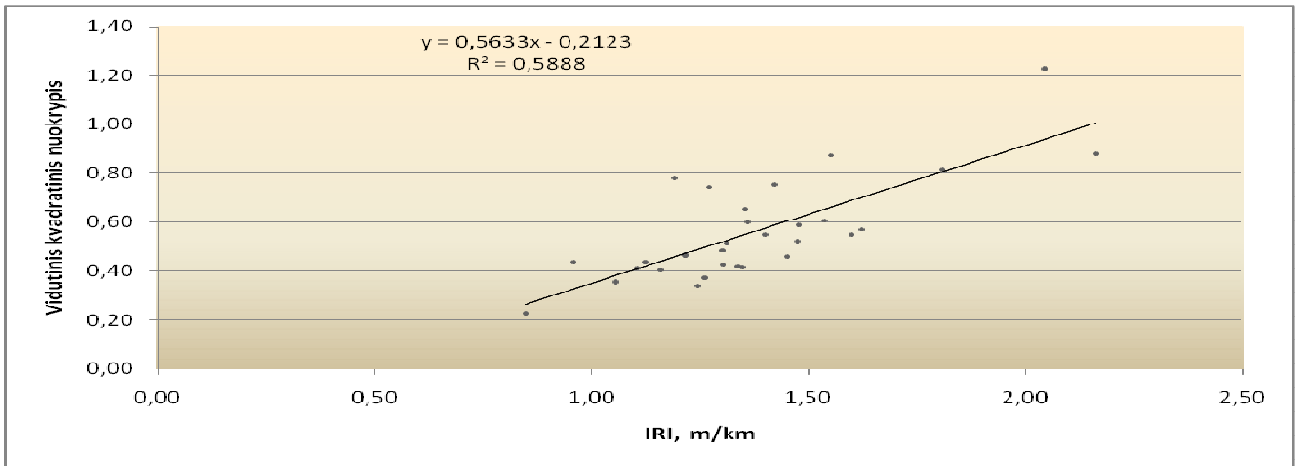
3.17 pav. Dangos lygumo vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio šietis kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2000 metais



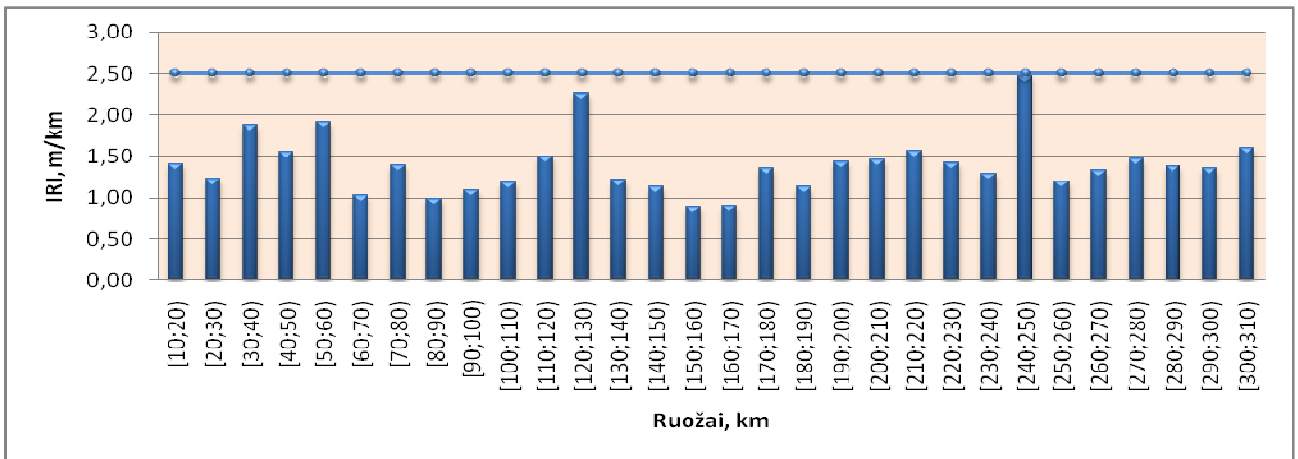
3.18 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos lygumas 2004 metais



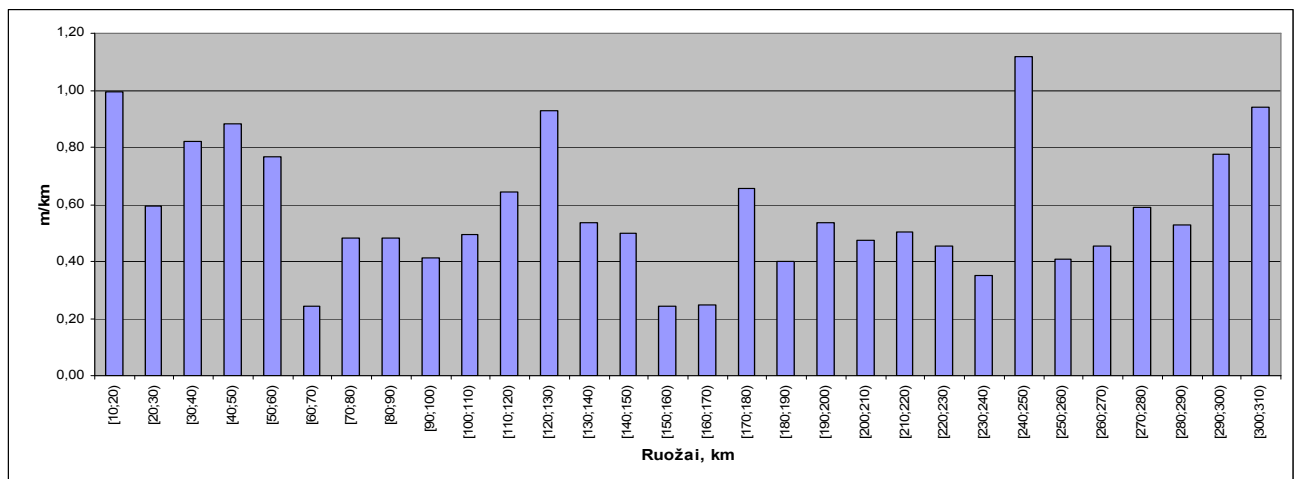
3.19 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos lygumo vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2004 metais



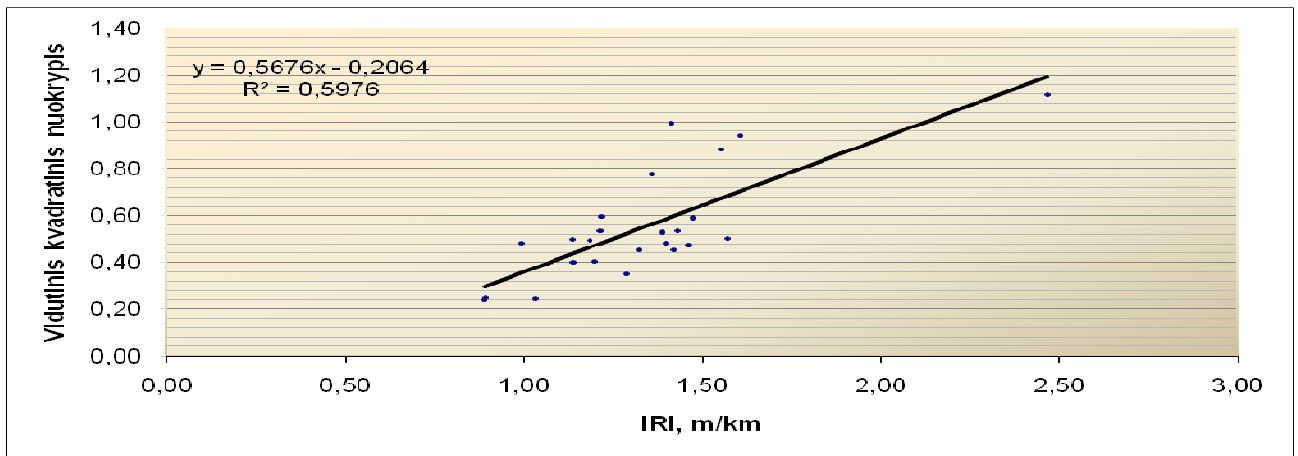
3.20 pav. Dangos lygumo vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio šietis kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2004 metais



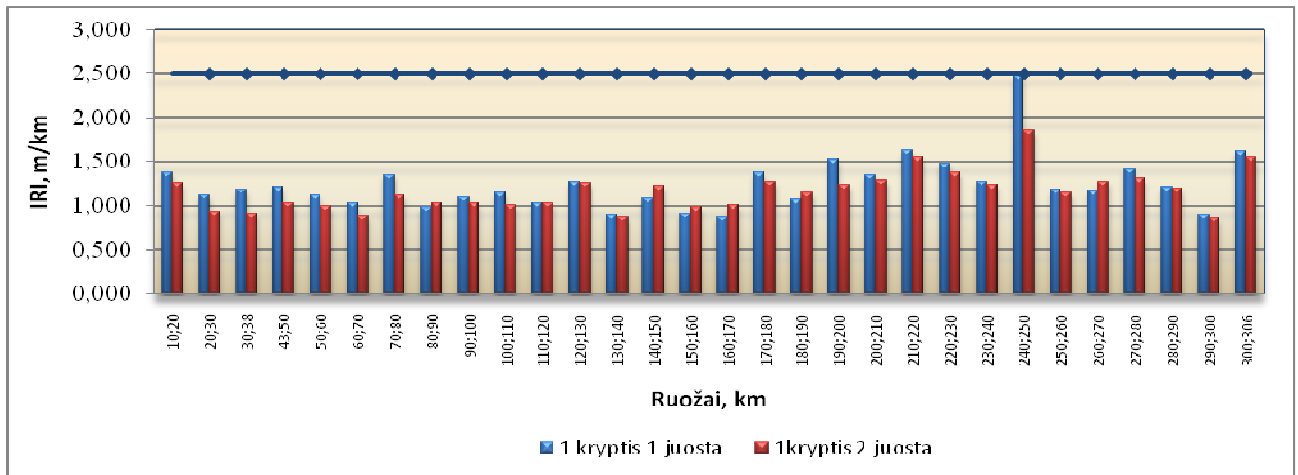
3.21 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos lygumas 2006 metais



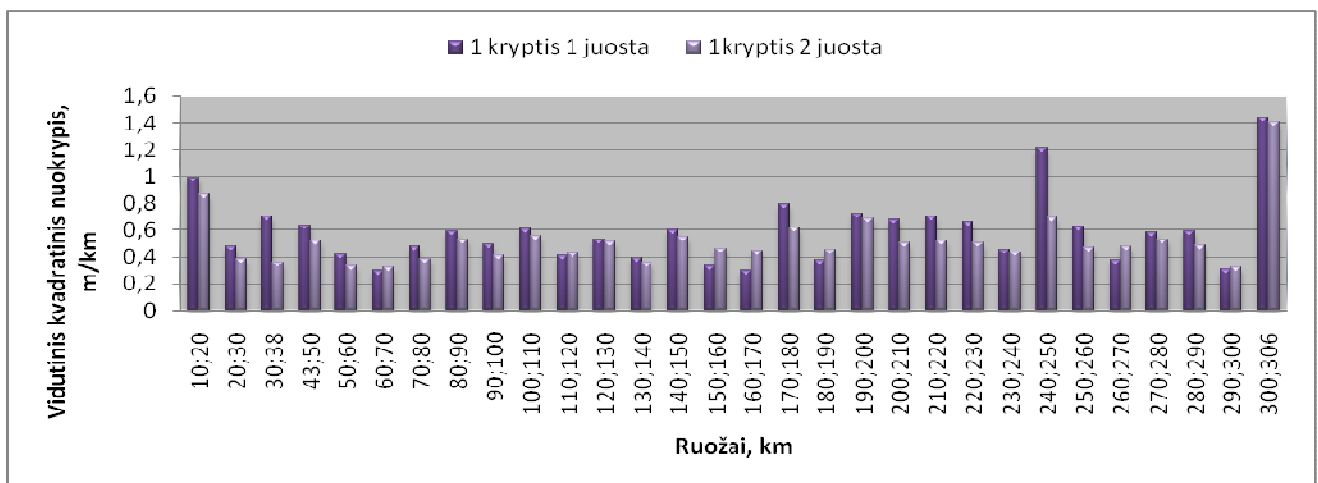
3.22 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos lygumo vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2006 metais



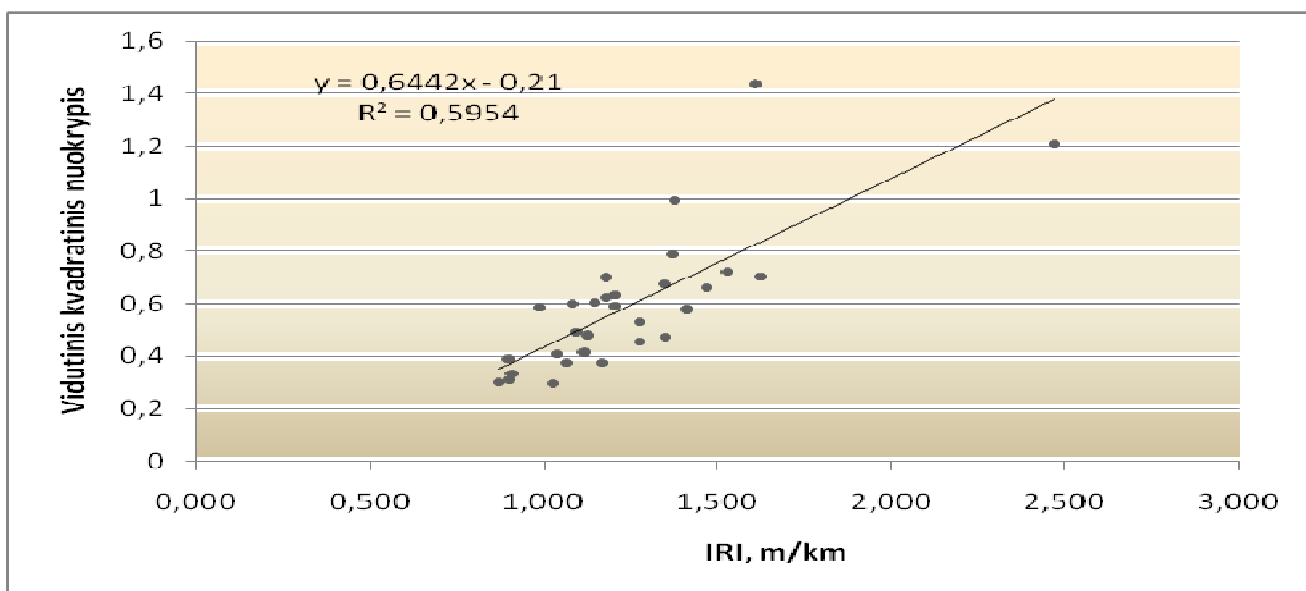
3.23 pav. Dangos lygumo vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio šietis kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2006 metais



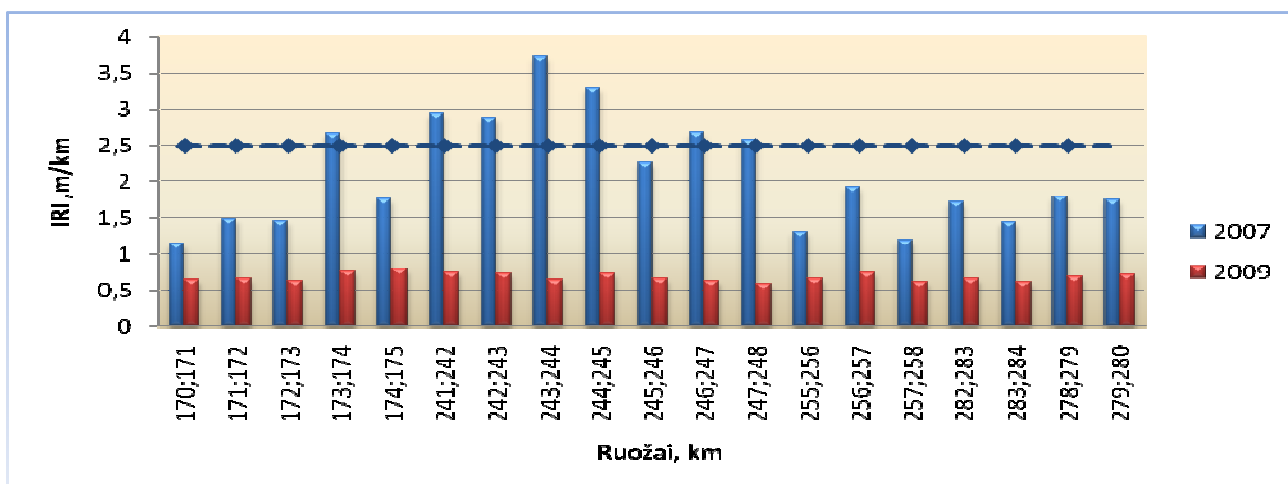
3.24 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos lygumo aritmetinis vidurkis 2007 metais



3.25 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos lygumo vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2007 metais



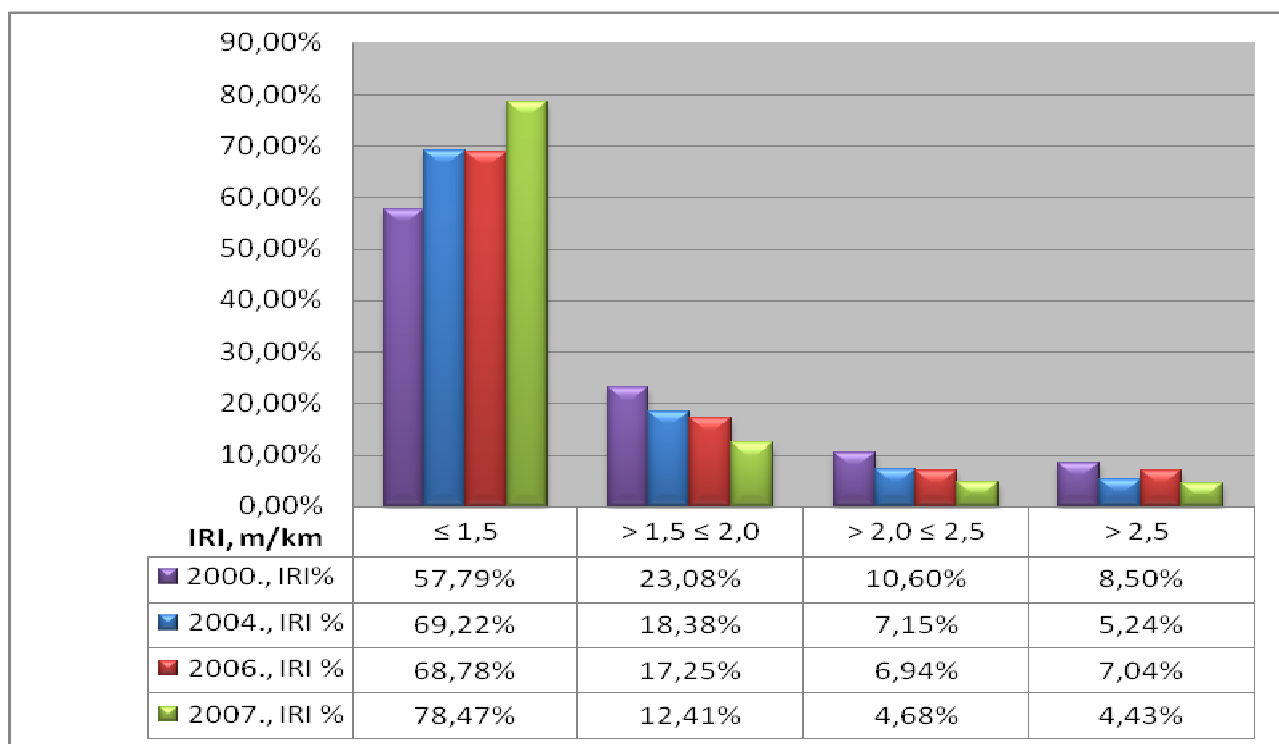
3.26 pav. Dangos lygumo vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio šietis kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2007 metais



3.27 pav. Kelio A1 Vilniaus – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos lygumo aritmetinis vidurkis 2007, 2009 metais

2000 – tųjų metų matavimo duomenis dangos lygumo aritmetinis vidurkis buvo 1,45 m/km. Ruožai, kuriuose buvo viršijama dangos lygumo aritmetinis vidurkis, sudarė 44,22 % tirta kelio ilgio. 2004-tųjų metų matavimų duomenimis dangos lygumo aritmetinis vidurkis buvo 1,38 m/km. Ruožai, kuriuose buvo viršijama dangos lygumo aritmetinis vidurkis, sudarė 38,70 % tirta kelio ilgio. 2006-tųjų metų matavimų duomenimis dangos aritmetinis vidurkis neženkiai padidėjo iki 1,40 m/km. 2006-ias metais ruožai, kuriuose dangos lygumo rodiklis buvo aukščiau už vidurkį,

sudarė 41,9 % tirta kelio ilgio, tačiau atsirado ruožų, kuriuose dangos lygumas buvo $< 1,0$ m/km. 2007-tųjų metų matavimo duomenimis dangos lygumo aritmetinis vidurkis 1 krypties 1 juostos buvo 1,24 m/km, 1 krypties 2 juostos – 1,16 m/km. Po 2007 metų ištisiniai dangos lygumo matavimai nebuvo atliekami. 2009 metais buvo matuojami tik naujai remontuoti arba rekonstruoti ruožai. Analizuojant diagramų duomenis matyti, kad 2009 metais buvo rekonstruoti arba remontuoti blogiausio dangos lygumo ruožai, kurie kiekvienais metais artėjo prie ribinės dangos lygumo reikšmės ir 2007 metais ją viršijo. 3.27 diagramoje matome kaip ženkliai pagerėjo dangos lygumas lyginant 2007 ir 2009 metų duomenis.



3.28 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų lygumas intervaluose 2000 -2007 m.

Diagramoje matyti, kad kiekvienais metais daugėjo ruožų, kuriuose dangos lygumas buvo $\leq 1,5$ m/km ir mažėjo ruožų, kuriuose dangos lygumas $> 2,5$ m/km.

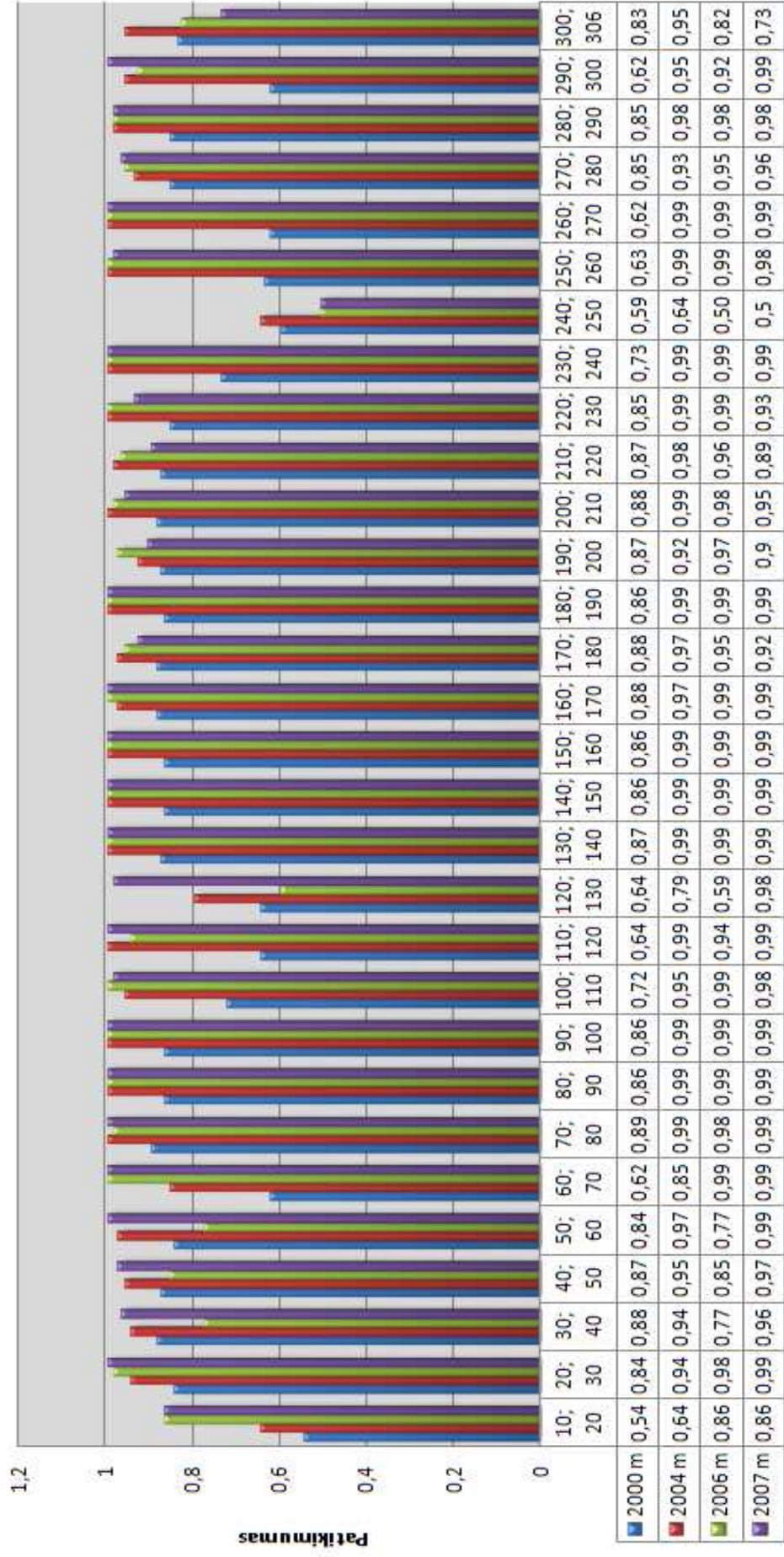
2007 metais nustatyta, kad magistraliniame kelyje A1 asfaltbetonio dangų išilginių lygumų rodikliai geresni už ankstesnių metų rodiklius ir pagal priežiūros lygius yra tokie:

1. 78,47 % kelio dangos ilgio atitinka aukšto priežiūros lygio reikalavimus;
2. 12,41 % kelio dangos ilgio atitinka vidutinio priežiūros lygio reikalavimus;
3. 4,68 % kelio dangos ilgio atitinka žemo priežiūros lygio reikalavimus;

4. 4,43 % kelio dangos ilgio neatitinka kelių priežiūros lygio reikalavimų magistralinių kelių dangoms.

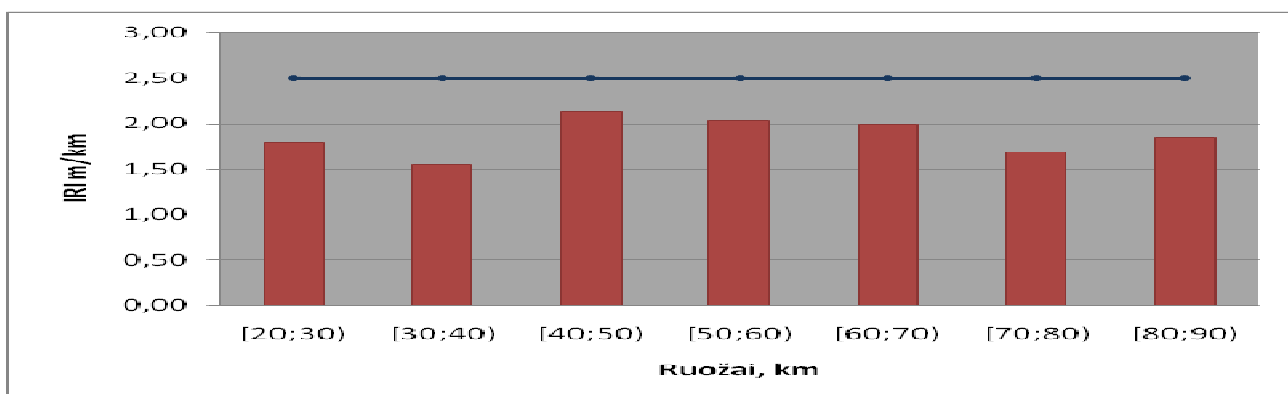
3.1 lentelė Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda dangos lygumo statistiniai rodikliai

Statistiniai rodikliai	2000 m	2004 m	2006 m	2007 m
<i>Vidurkis, m/km</i>	1,45	1,38	1,40	1,24
<i>Vidutinis kvadratinis nuokrypis, m/km</i>	1,27	0,56	0,58	0,59
<i>Dangos lygumo ir vidutinio kvadratinio nuokrypio sieties koreliacijos koeficiento reikšmė</i>	0,5556	0,5888	0,5976	0,5954
<i>Patikimumas</i>	0,78	0,93	0,92	0,94

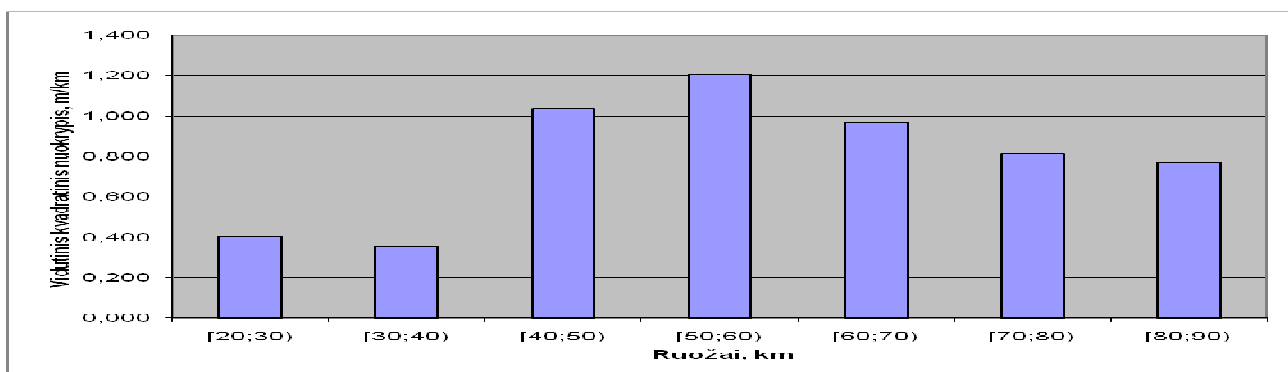


3.29 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda lygumo patikimumas 2000-2007

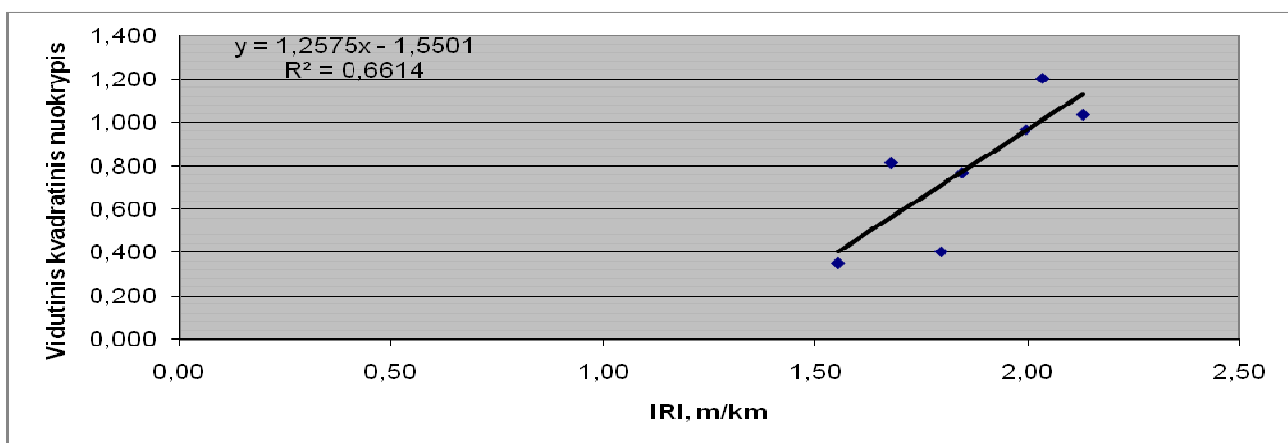
Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai dangos lygumo analizė



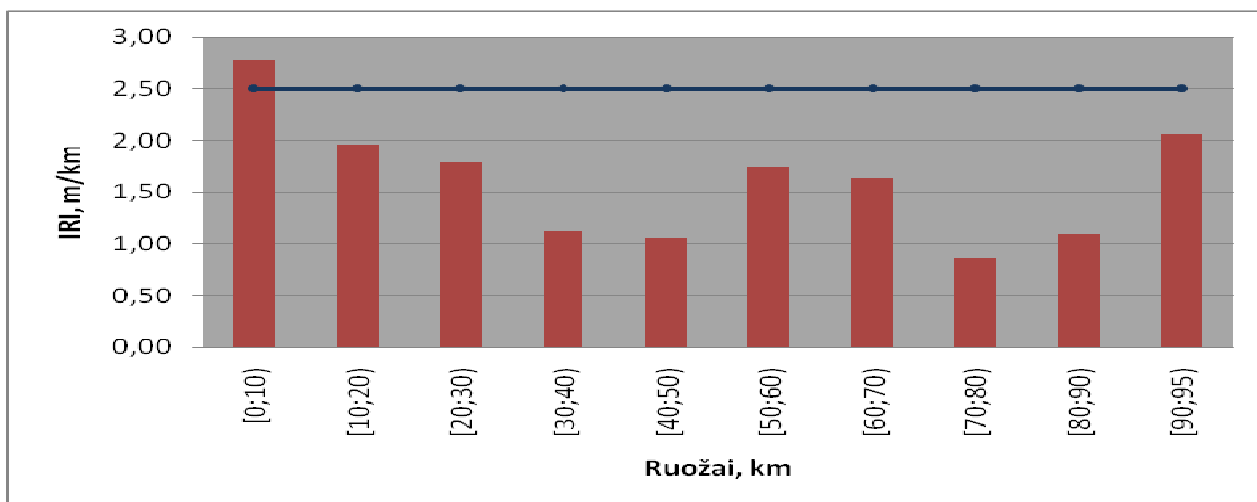
3.30 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai dangos lygumas 2000 metais



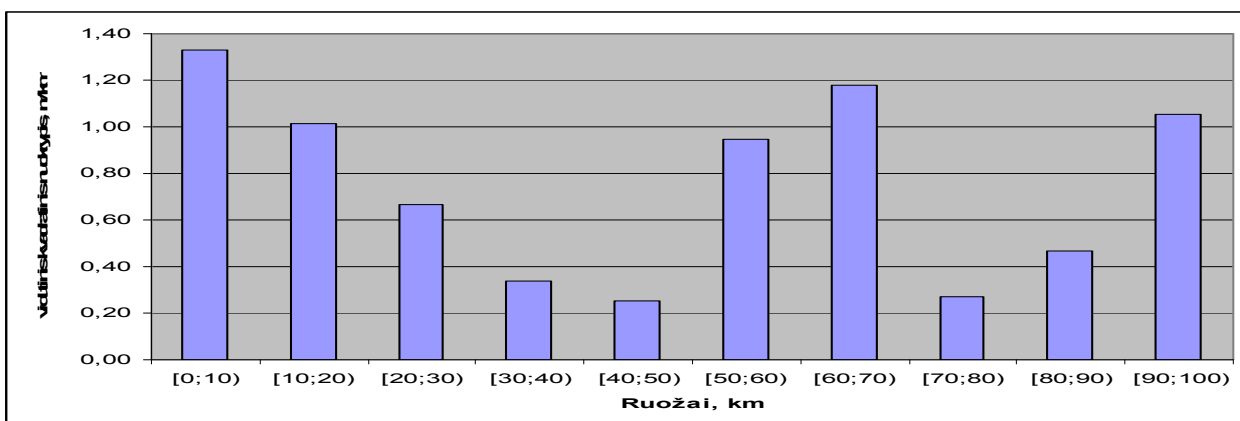
3.31 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai ruožų dangos lygumo vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2000 metais



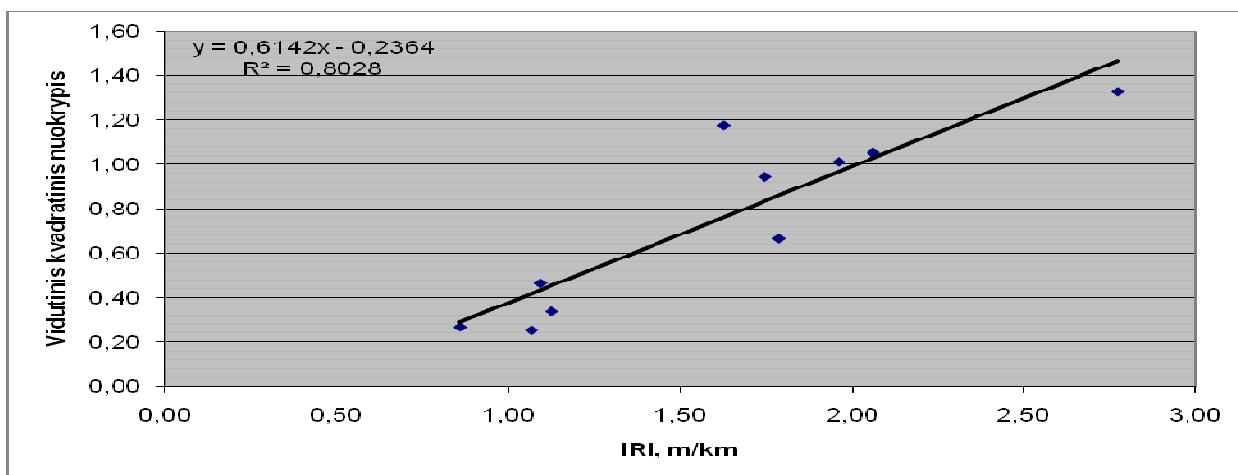
3.32 pav. Dangos lygumo vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio sietis kelyje A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai 2000 metais



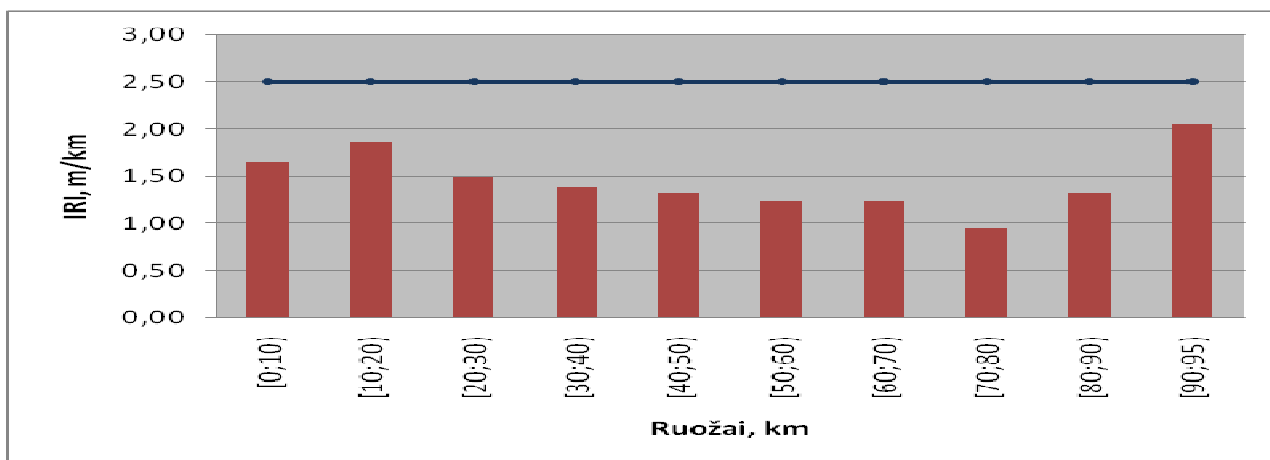
3.33 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai dangos lygumas 2004 metais



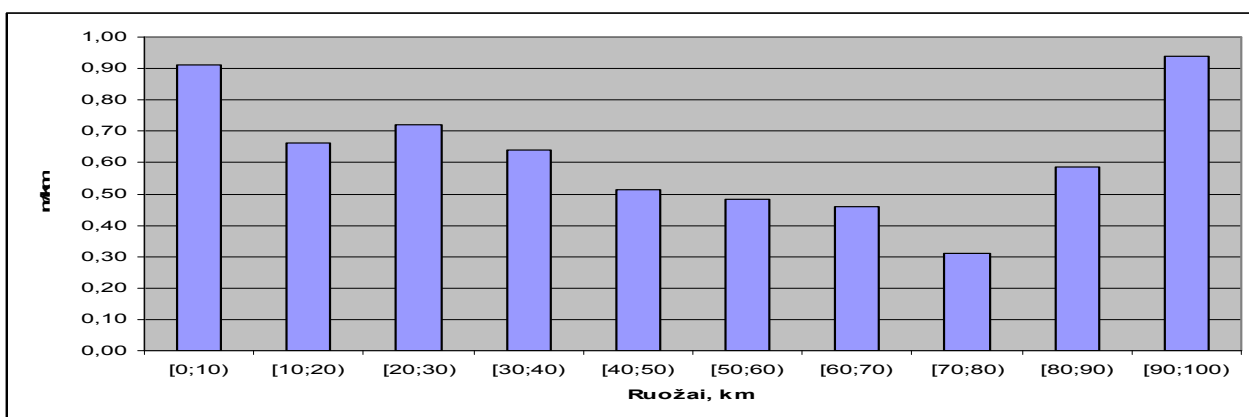
3.34 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai ruožų dangos lygumo vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2004 metais



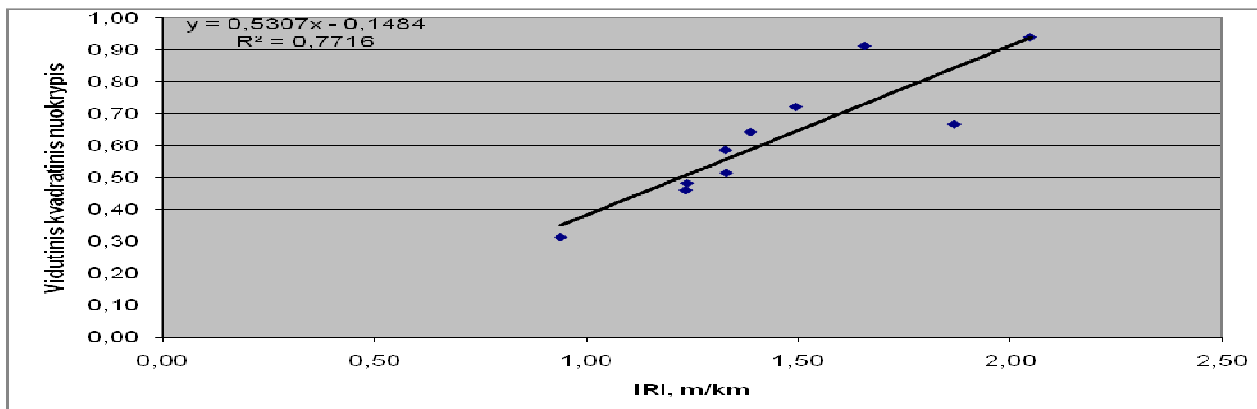
3.35 pav. Dangos lygumo vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio šietis kelyje A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai 2004 metais



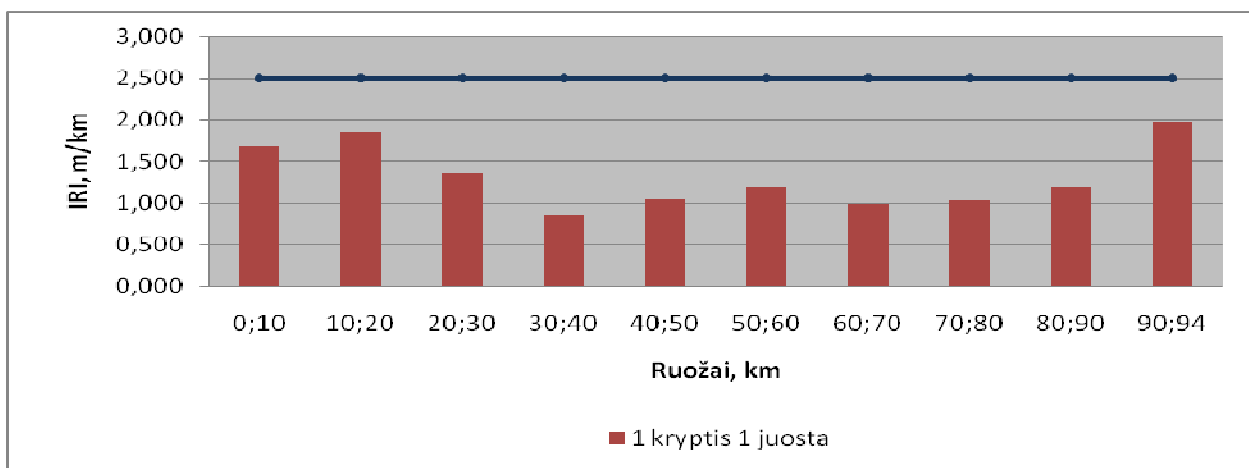
3.36 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė– Suvalkai dangos lygumas 2006 metais



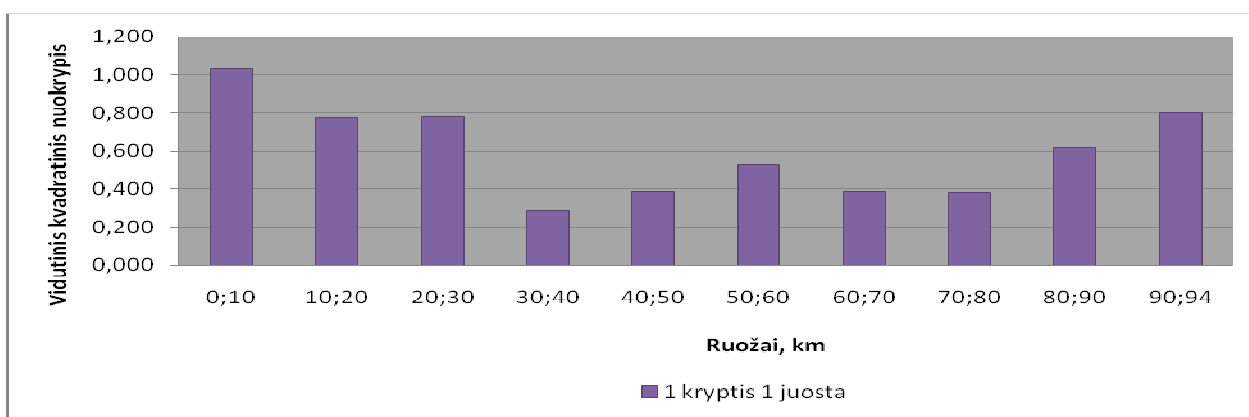
3.37 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai ruožų dangos lygumo vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2006 metais



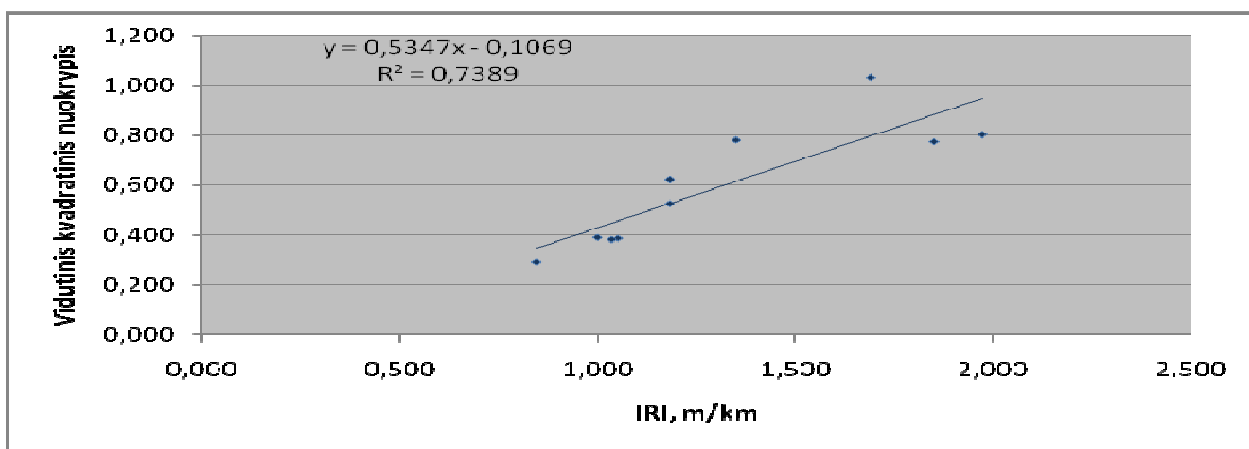
3.38 pav. Dangos lygumo vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio sietis kelyje A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai 2006 metais



3.39 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė- Suvalkai dangos lygumas 2007 metais

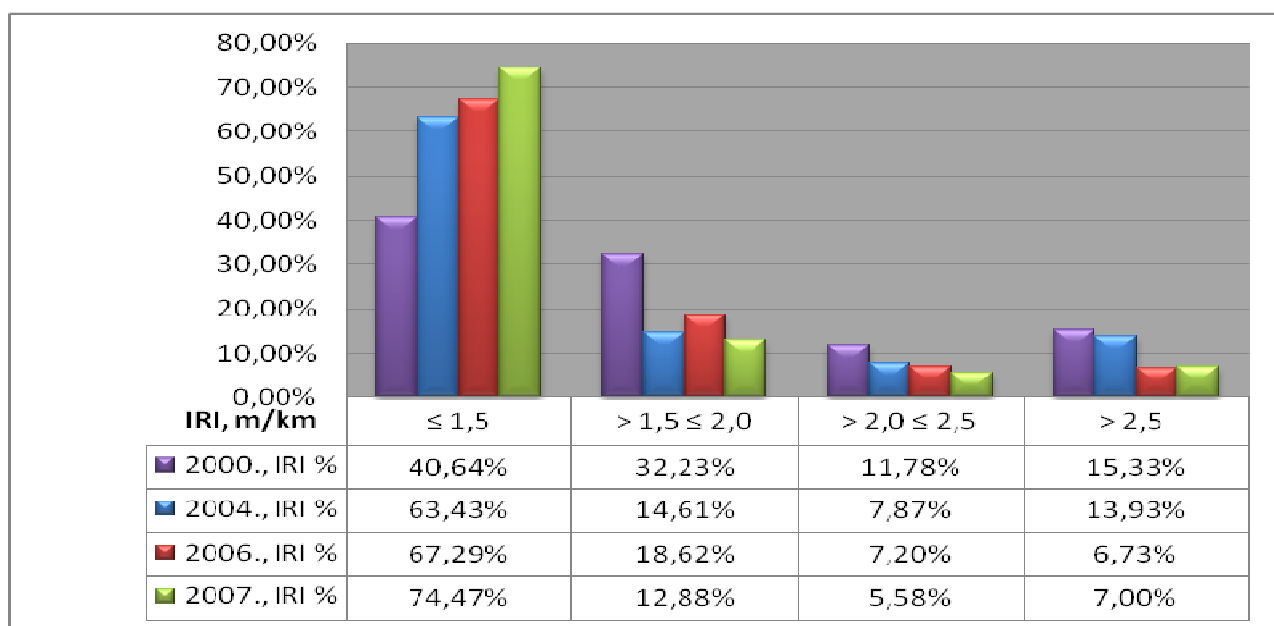


3.40 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai ruožų dangos lygumo vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2007 metais



3.41 pav. Dangos lygumo vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio sietis kelyje A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai 2007 metais

Analizuojant Via Baltica magistralės atkarpos A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai dangos lygumo 2000, 2004, 2006, 2007 metų duomenis, matyti, kad 2000 – tųjų metų matavimo duomenimis kelio dangos lygumo aritmetinis vidurkis buvo 1,86 m/km, ruožai, kurie viršijo šią reikšmę sudarė 43,45 % tirta kelio ilgio. 2004 - tųjų metų matavimo duomenimis kelio dangos lygumo aritmetinis vidurkis buvo 1,61 m/km, o ruožai, kurių lygumo rodiklis viršijo šią reikšmę, sudarė tik 14,3% tirta kelio ilgio. Analizuojant 2006 - tųjų metų matavimo duomenis matyti, kad dangos lygumo aritmetinis vidurkis sumažėjo iki 1,45 m/km, o ruožai, kurių lygumo rodiklis viršijo šią reikšmę, sudarė 47,55 % tirta kelio ilgio. 2007 – tųjų metų duomenimis dangos lygumo aritmetinis vidurkis buvo 1,31 m/km, ruožai, kurie viršijo šią reikšmę sudarė 39,46 % tirta kelio ilgio.



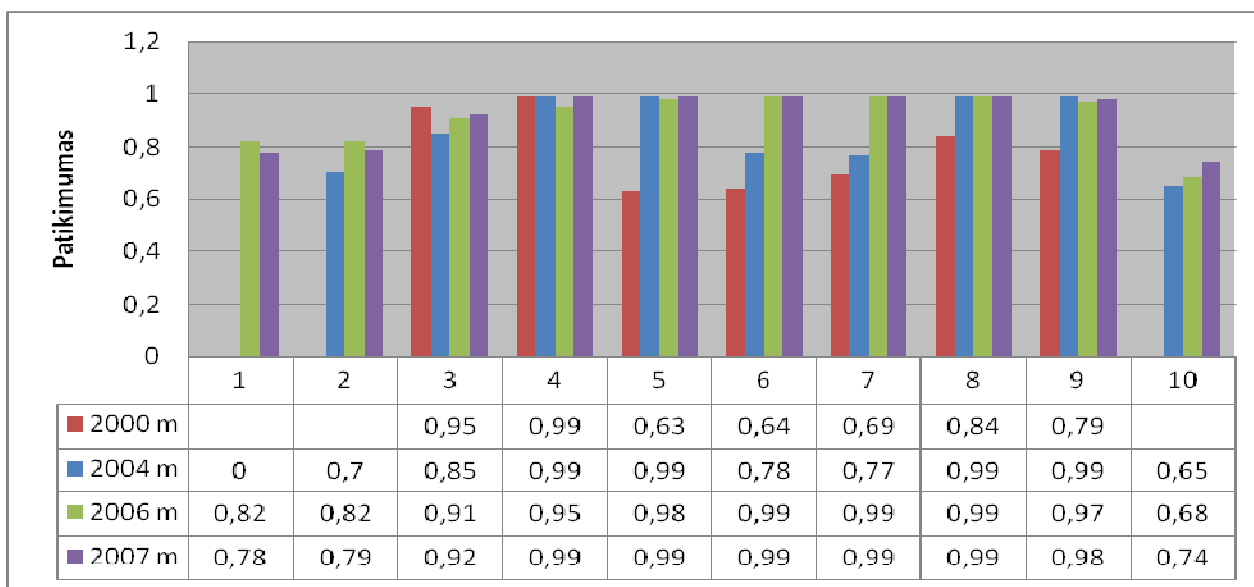
3.42 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai ruožų lygumas intervaluose 2000-2007 m.

Diagramoje matyti, kad kiekvienais metais daugėjo ruožų, kuriuose dangos lygumas buvo $\leq 1,5$ m/km ir mažėjo ruožų, kuriuose dangos lygumas $> 2,5$ m/km.

2007 metais nustatyta, kad magistraliniame kelyje A5 asfaltbetonio dangų išilginių lygumų rodikliai geresni už ankstesnių metų rodiklius ir pagal priežiūros lygius yra tokie:

1. 74,47 % kelio dangos ilgio atitinka aukšto priežiūros lygio reikalavimus;
2. 12,88 % kelio dangos ilgio atitinka vidutinio priežiūros lygio reikalavimus;
3. 5,58 % kelio dangos ilgio atitinka žemo priežiūros lygio reikalavimus;

4. 7,00 % kelio dangos ilgio neatitinka kelių priežiūros lygio reikalavimų magistralinių kelių dangoms.



3.43 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai lygumo patikimumas 2000-2007 m

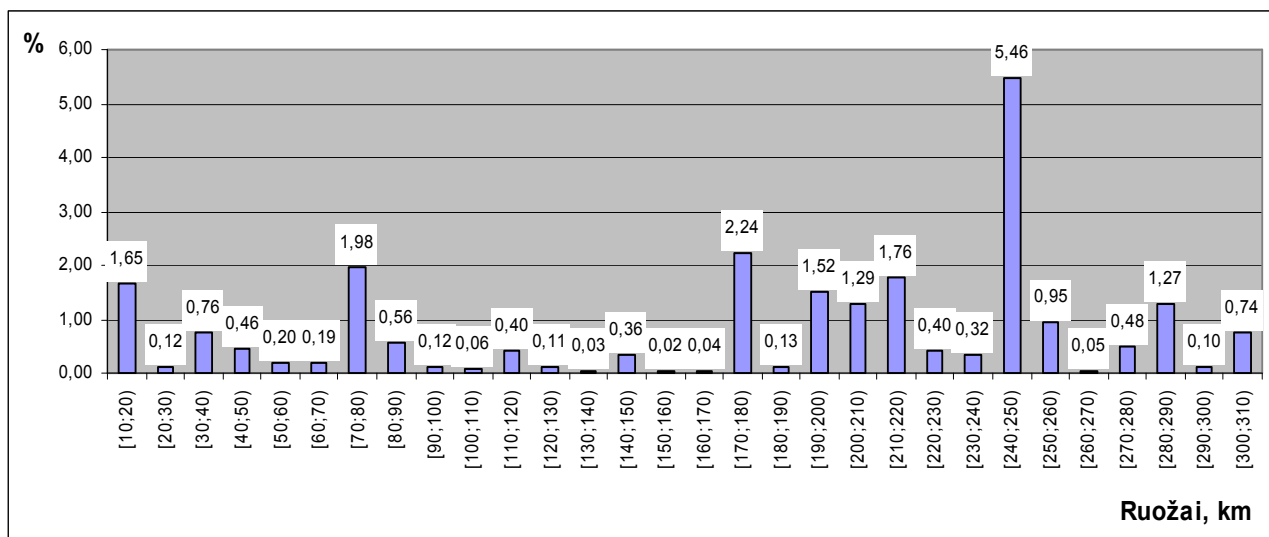
3.2 lentelė Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai dangos lygumo statistiniai rodikliai

Statistiniai rodikliai	2000	2004	2006	2007
Vidurkis, m/km	1,86	1,61	1,45	1,31
Vidutinis kvadratinis nuokrypis, m/km	0,79	0,75	0,62	0,59
Dangos lygumo ir vidutinio kvadratinio nuokrypio sieties koreliacijos koeficiento reikšmė	0,6614	0,8028	0,7716	0,7389
Patikimumas	0,79	0,77	0,91	0,92

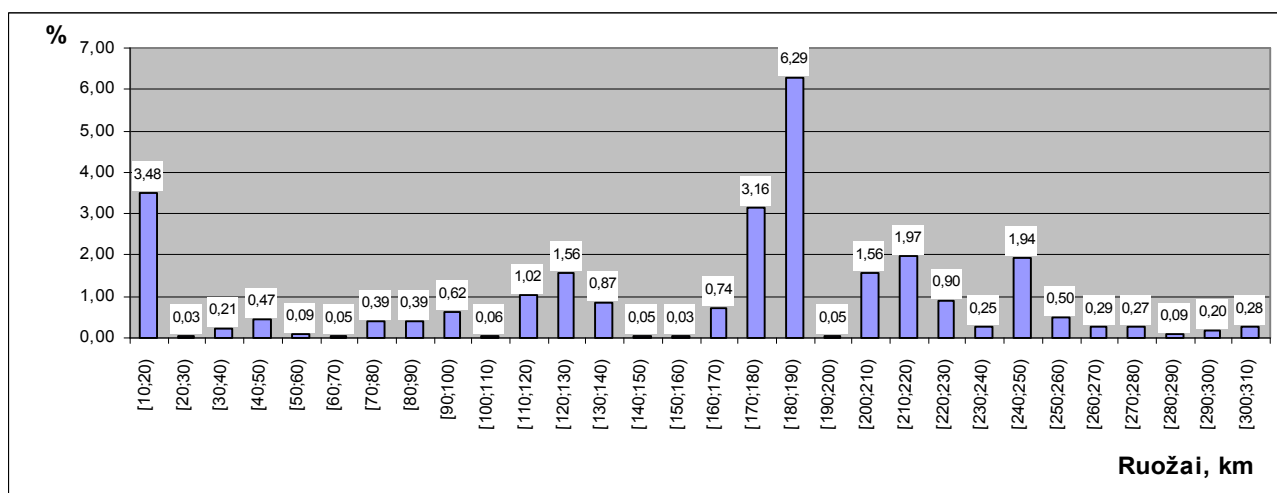
Dangos suirimo laipsnio analizė

Dangos suirimo rodiklis Lietuvoje pradėtas matuoti tik nuo 2007 metų, įsigijus naują mobilią kelių tyrimo laboratoriją RST – 28. Šia mobilią laboratoriją išmatuotas dangos suirimo laipsnis parodo kiek procentų suirusios ar pažeistos dangos yra 20 metrų kelio ruože.

Dangos suirimo lygio analizė atlikta padalinus visą kelio ilgį į 10 km ilgio ruožus. Kiekvienam ruožui nustatytas dangos suirimo lygio suminė reikšmė. Dėl didesnio eismo apkrovimo analizuojamos abiejų eismo kryptių pirmos važiuojamosios juostos.

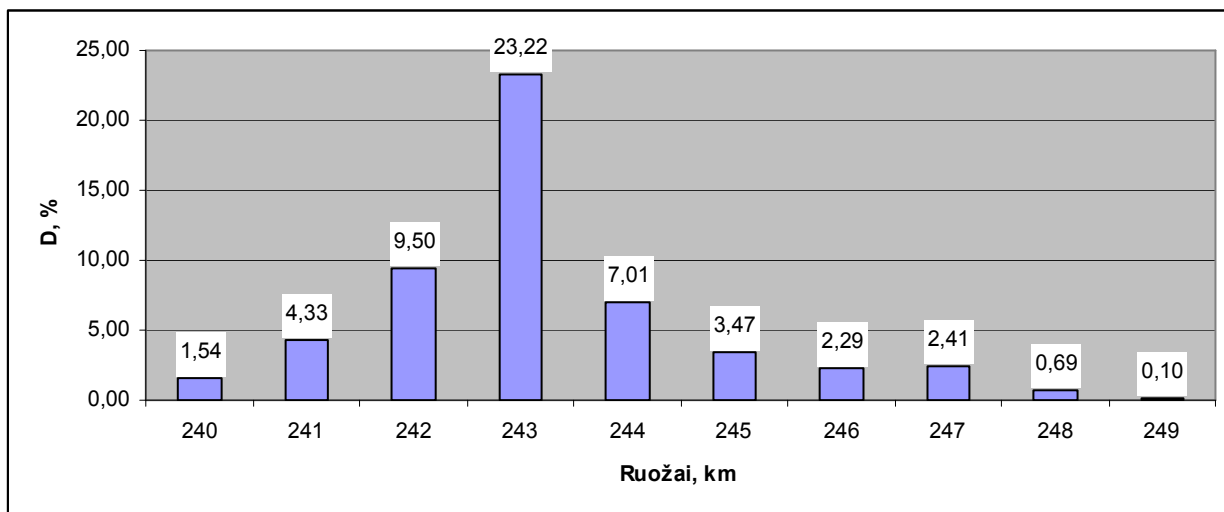


3.44 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 1 krypties 1 juostos ruožų suirimo lygis 2007 metais

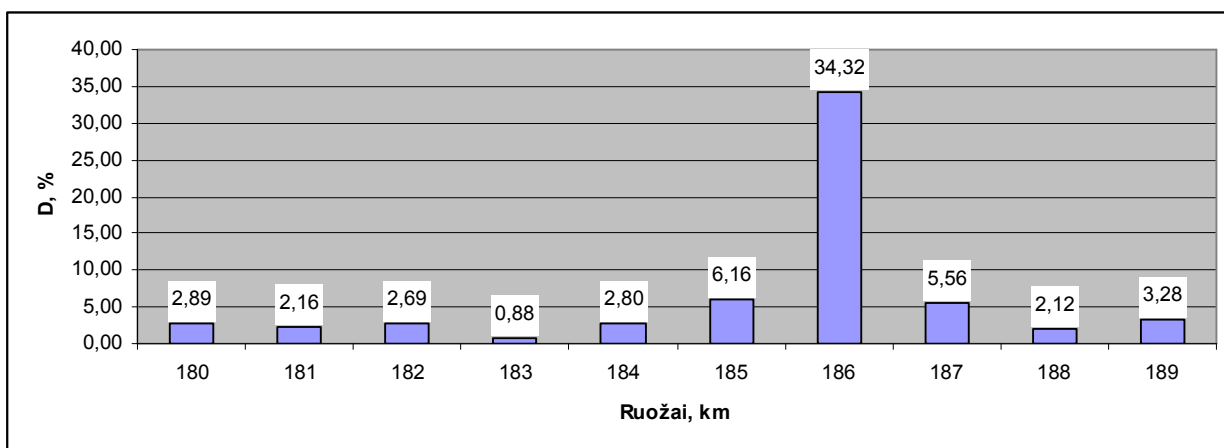


3.45 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2 krypties 1 juostos ruožų suirimo lygis 2007 metais

Apskaičiavus dangos suirimo lygį 10 kilometrų ilgio ruožuose matyti, kad daugumoje ruožų suirusi danga sudaro $< 1\%$ viso dangos ruožo ilgio, tai rodo, kad pagal nustatytą vertinimo sistemą [15] danga yra puikios būklės. Tačiau, nepaisant to, yra ruožų, kuriuose dangos suirimo reikšmės yra gerokai didesnės. Todėl norint įvertinti tikslesnę dangos suirimo būklę šiuose ruožuose atlikta detalesnė analizė. Didelio laipsnio suirimo 10 km ruožai išskaidyti į 1 km ruožus.



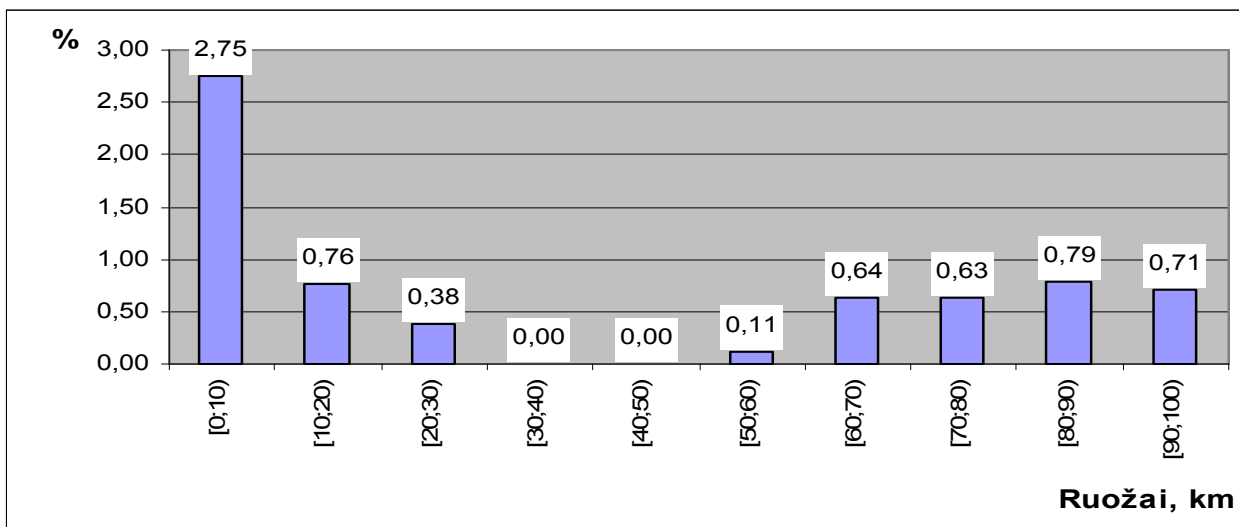
3.46 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 1 krypties 1 juostos [240;249] km suirimo lygis 2007 metais



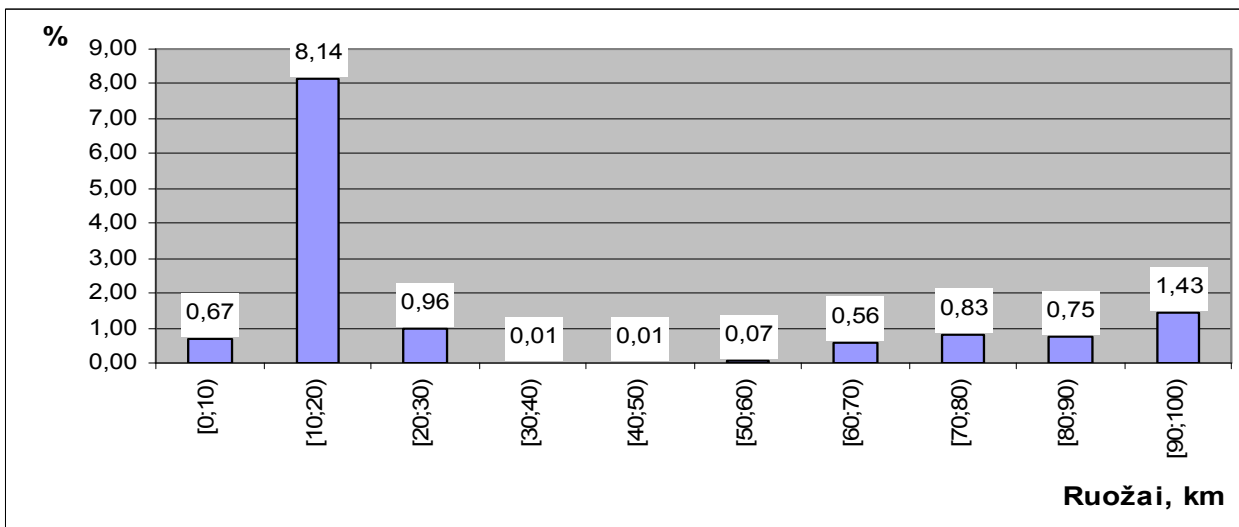
3.47 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2 krypties 1 juostos [180;189] km suirimo lygis 2007 metais

Įtartinuose kelio ruožuose dangos suirimo laipsnį D apskaičiavus kiekviename kilometre matyti, kad yra kilometrų, kuriuose dangos suirimo lygis yra labai didelis. Pagal nustatytas

rekomendacijas [15], 243 kilometre danga - blogos, o 186 kilometre - visai blogos būklės. Šiems kelio ruožams būtinas kapitalinis dangos ir jos konstrukcijos remontas, kuris pagal rekomendacijas [15] tikslinga atlikti dangos suirimo laipsniui D pasiekus 16 % ribą.

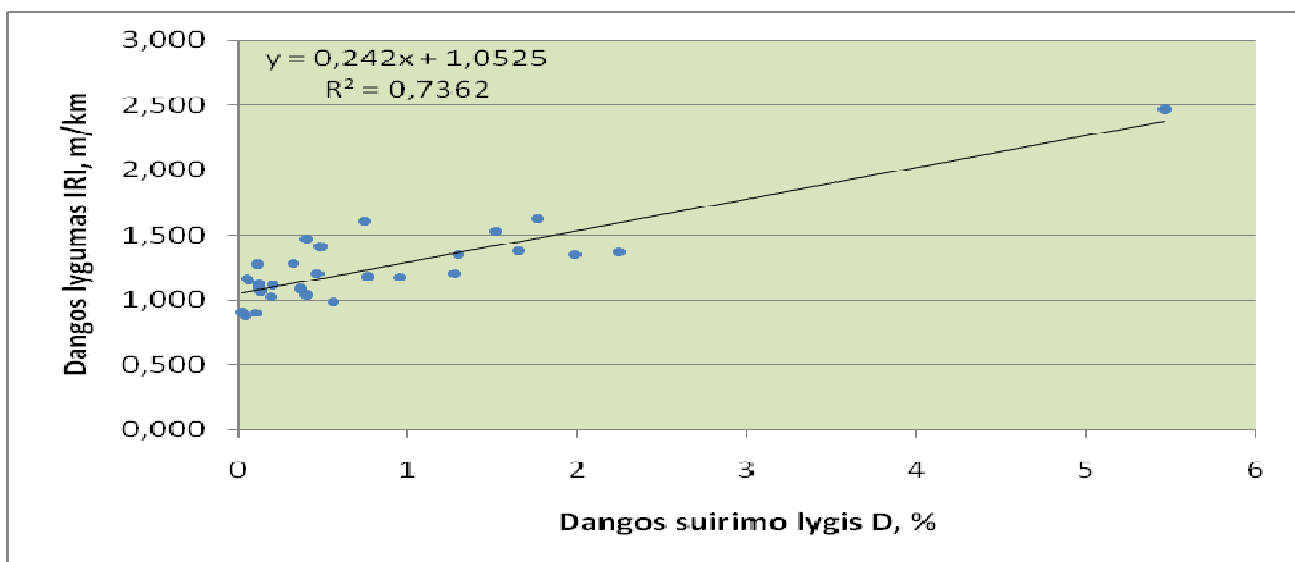


3.48 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai* 1 krypties ruožų suirimo lygis 2007 metais

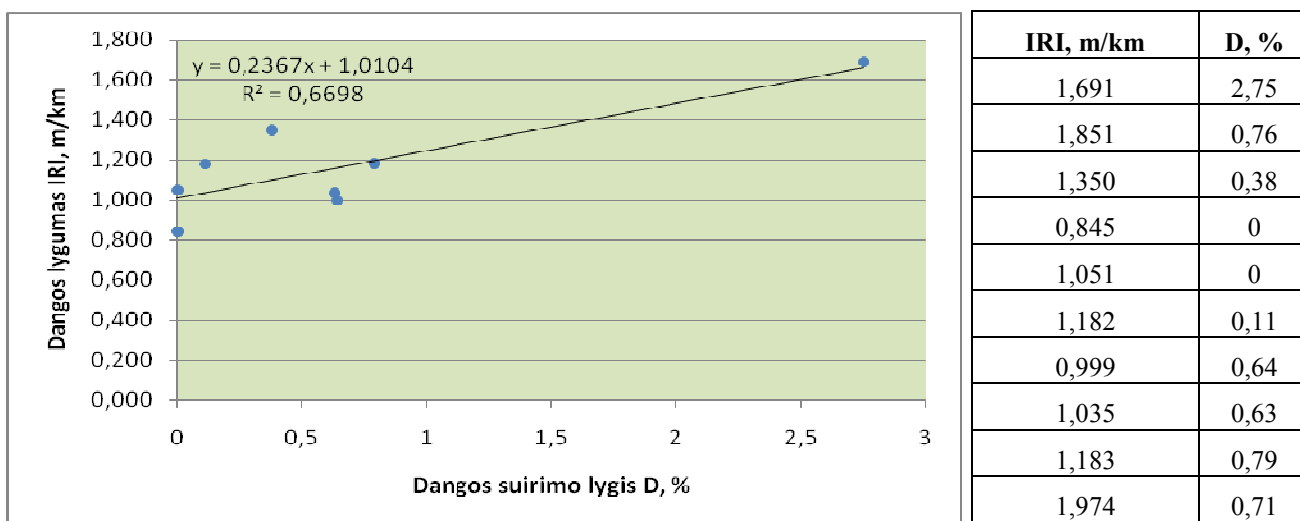


3.49 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai* 2 krypties ruožų suirimo lygis 2007 metais

Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai* dangos suirimo laipsnio atlikta analizė rodo, kad kelyje yra taip pat ruožų, kuriuose dangos suirimo laipsnis yra aukštas.



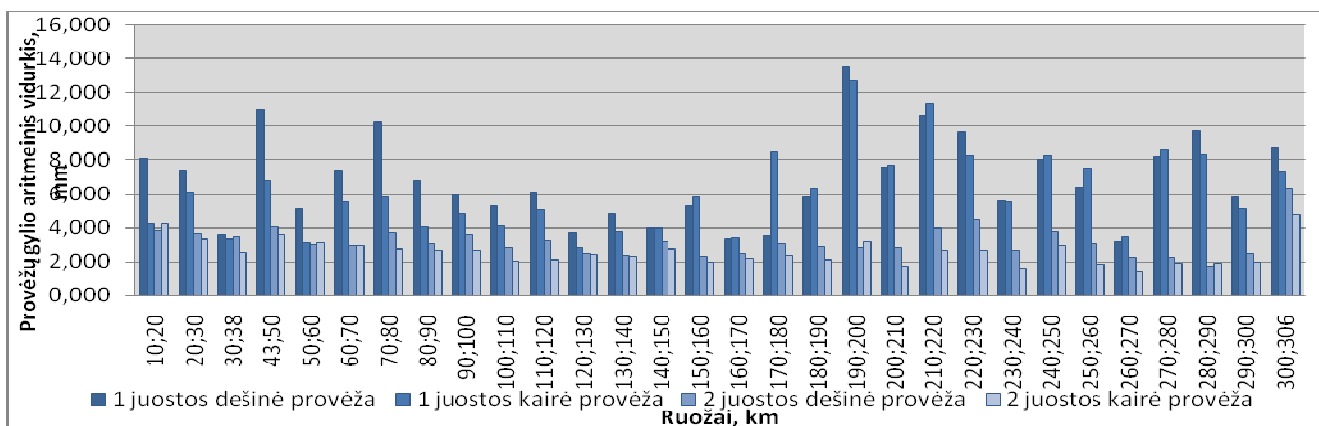
3.50 pav. Dangos lygumo ir suirimo lygio sietis magistralėje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2007 m (diagramos duomenys pateikti priede)



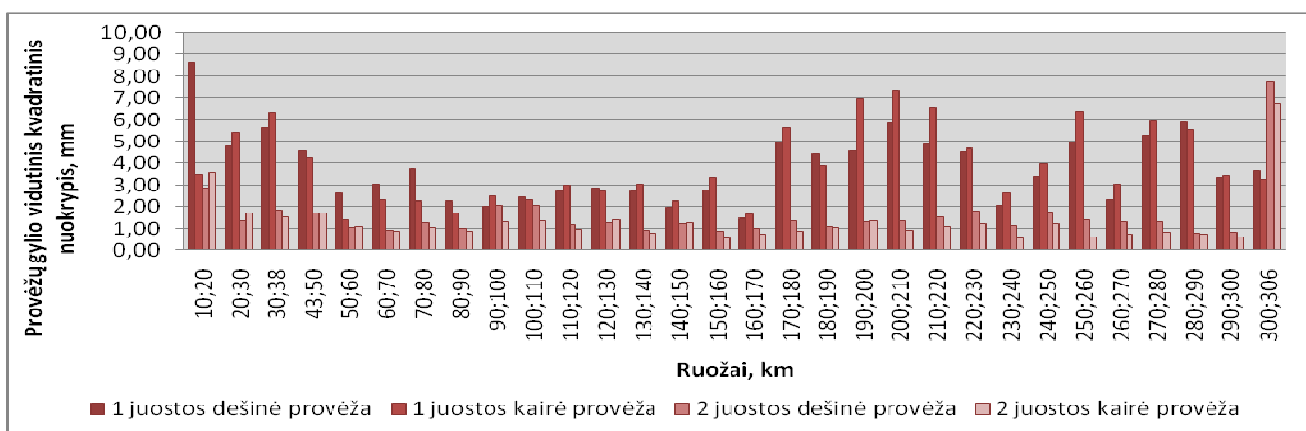
3.51 pav. Dangos lygumo ir suirimo lygio sietis magistralėje A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai 2007 m duomenys

Provėžų gylio analizė

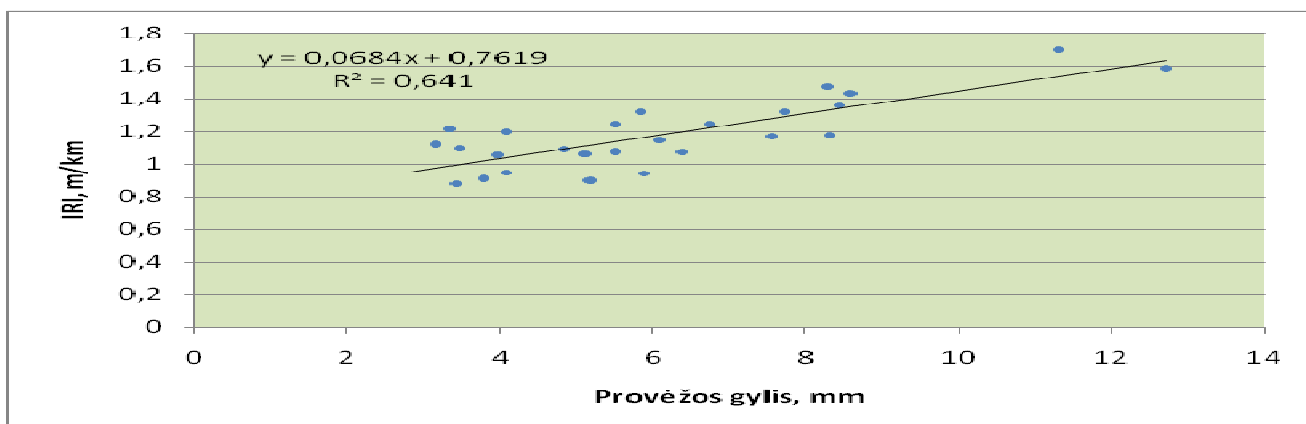
Lietuvos automobilių kelių direkcijos (LAKD) prie Susisiekimo ministerijos 2005 metais patvirtintame kelių priežiūros vadove „Automobilių kelių priežiūros normatyvai“ KPV PN-05 [13] reglamentuojama ≤ 40 mm provėžų gylio ribinė reikšmė magistraliniame kelyje.



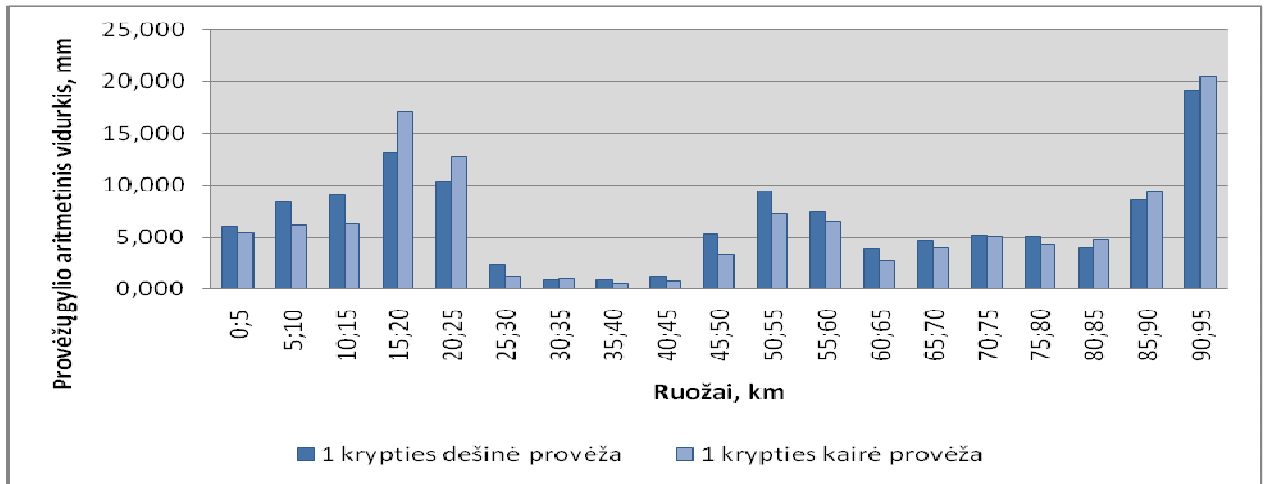
3.52 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 1 krypties 1 ir 2 juostų provėžų gylių aritmetiniai vidurkiai



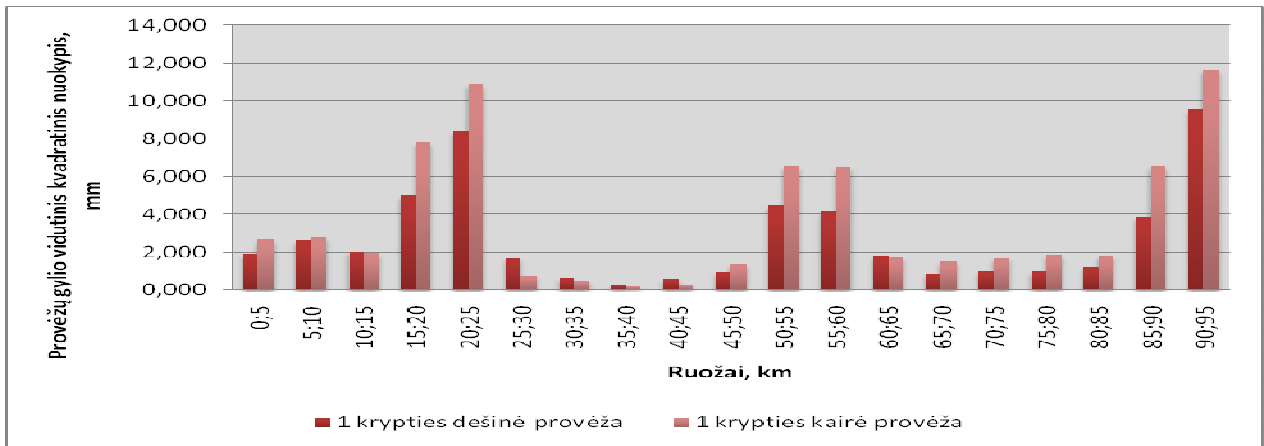
3.53 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 1 krypties 1 ir 2 juostų provėžų gylių vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai



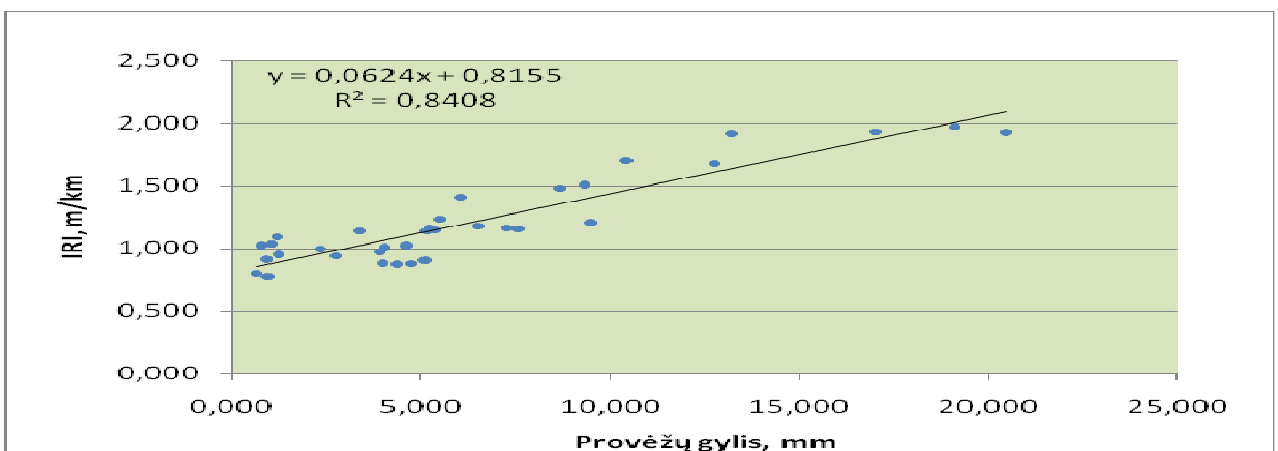
3.54 pav. Dangos lygumo aritmetinio vidurkio ir provėžų gylis aritmetinio vidurkio šaltinis kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda (diagramos duomenys pateikti priede)



3.55 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai provėžų gylių aritmetiniai vidurkiai



3.56 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai provėžų gylių vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai

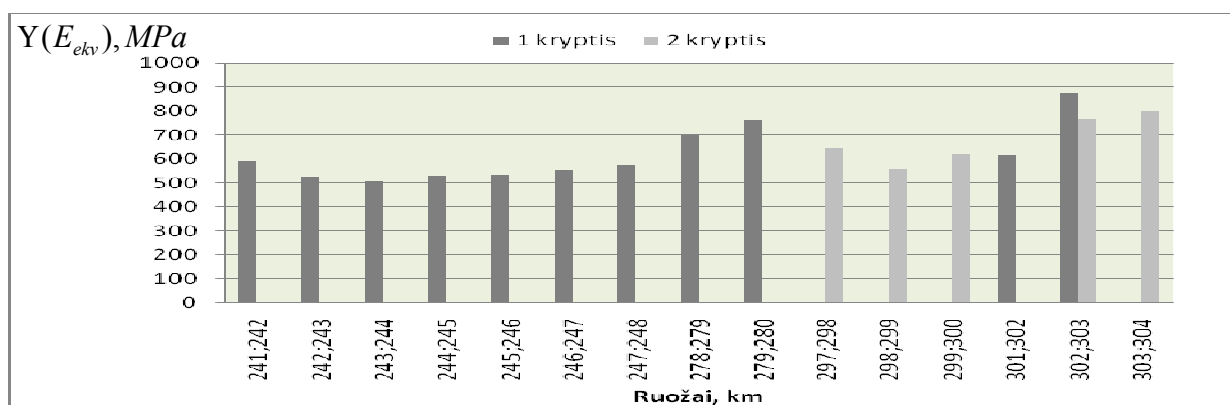


3.57 pav. Dangos lygumo aritmetinio vidurkio ir provėžų gylis aritmetinio vidurkio sietis kelyje A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai (diagramos duomenys pateikti priede)

Atlikus provėžų gylį analizę galima teigti, kad provėžos neviršija nustatytos ribinės 40 mm reikšmės nei viename nagrinėjamame 10 km ruože. Provėžos giliausios pirmos važiuojamosios juostos kairėje pusėje. Dangos lygumo ir provėžų gylį sieties aukštas koeficientas parodė, kad keliuose A1 ir A5 provėžos daro didelę įtaką kelių lygumui.

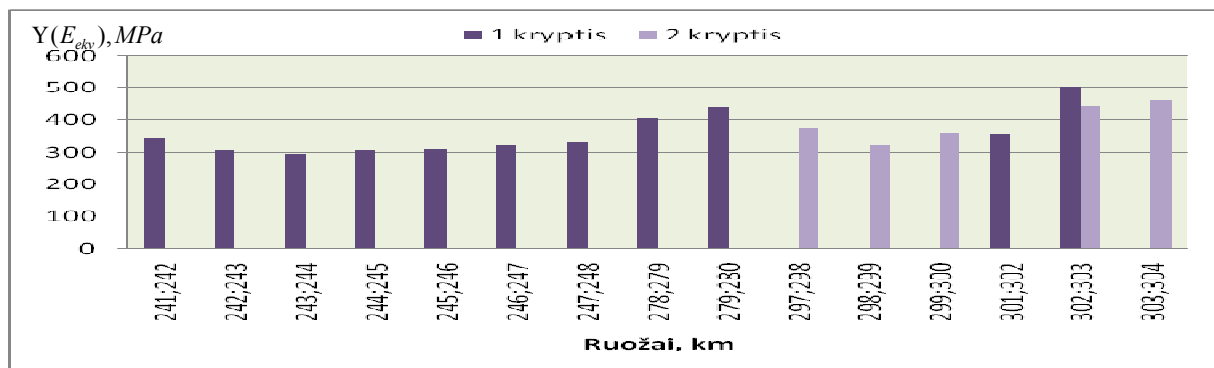
Dangos stiprumas analizė

Magistralėje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda dangos stiprumas 2007 metais buvo matuotas 16 kilometrų. Kiekvienam kilometrui buvo nustatytos statistinės charakteristikos: aritmetinis vidurkis $\bar{Y}$, vidutinis kvadratinis nuokrypis σ bei patikimumas.

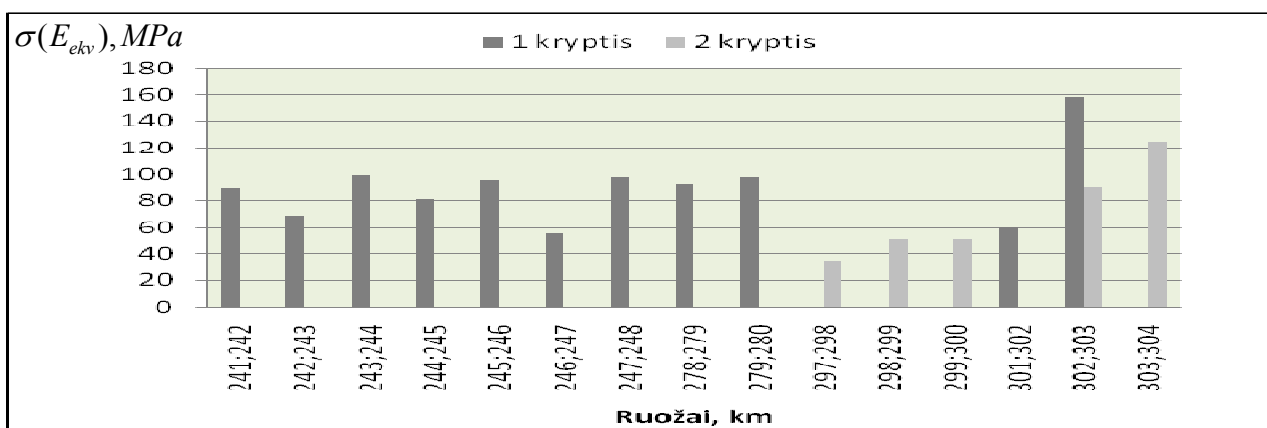


3.58 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos ekvivalentinio deformacijos modulio vidurkiai 2007 metais ($n = 20$)

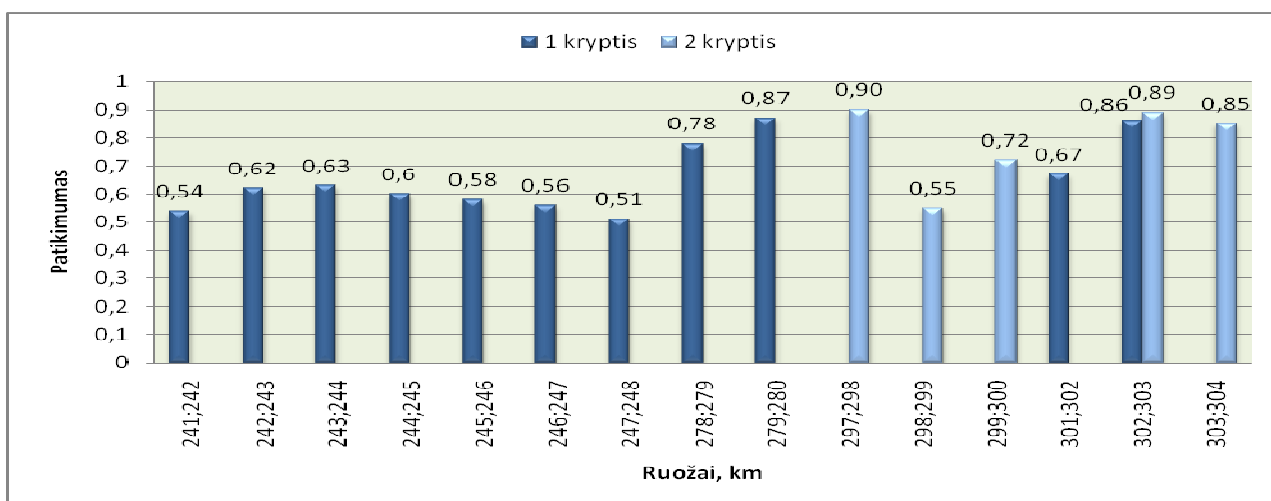
Tyrimais nustatyta, kad Lietuvos klimatinėmis sąlygomis pavojingiausias dangos periodas yra pavasaris (kovo – balandžio mėnesiai) [23]. Dangos stiprio sumažėjimo dėl sezono veiksnių koeficientas, nustatytas trijų metų tyrimais, $E_{kv} = 0,58$ [23]. Pritaikius šį koeficientą, perskaičiuoti dangos konstrukcijos ekvivalentinio deformacijos modulio vidutiniai dydžiai pateikti 3.59 pav.



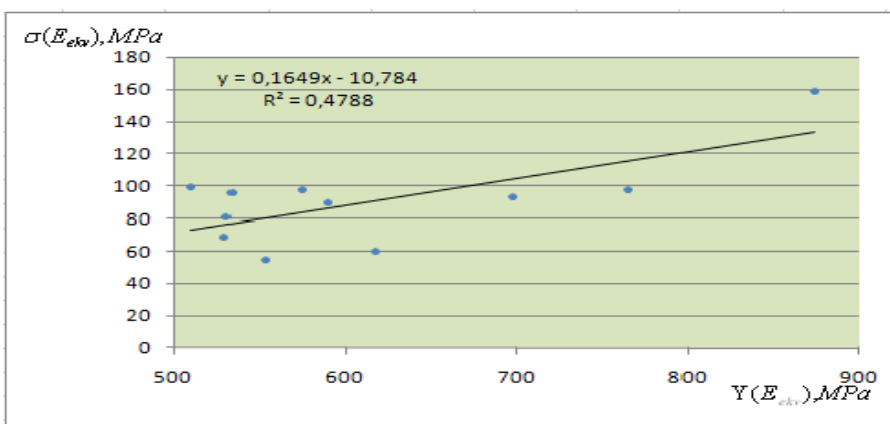
3.59 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos ekvivalentinio deformacijos modulio vidurkiai 2007 metais pritaikius sezoniškumo koeficientą ($n = 20$)



3.60 pav. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos ekvivalentinio deformacijos modulio vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2007 metais (n = 20)

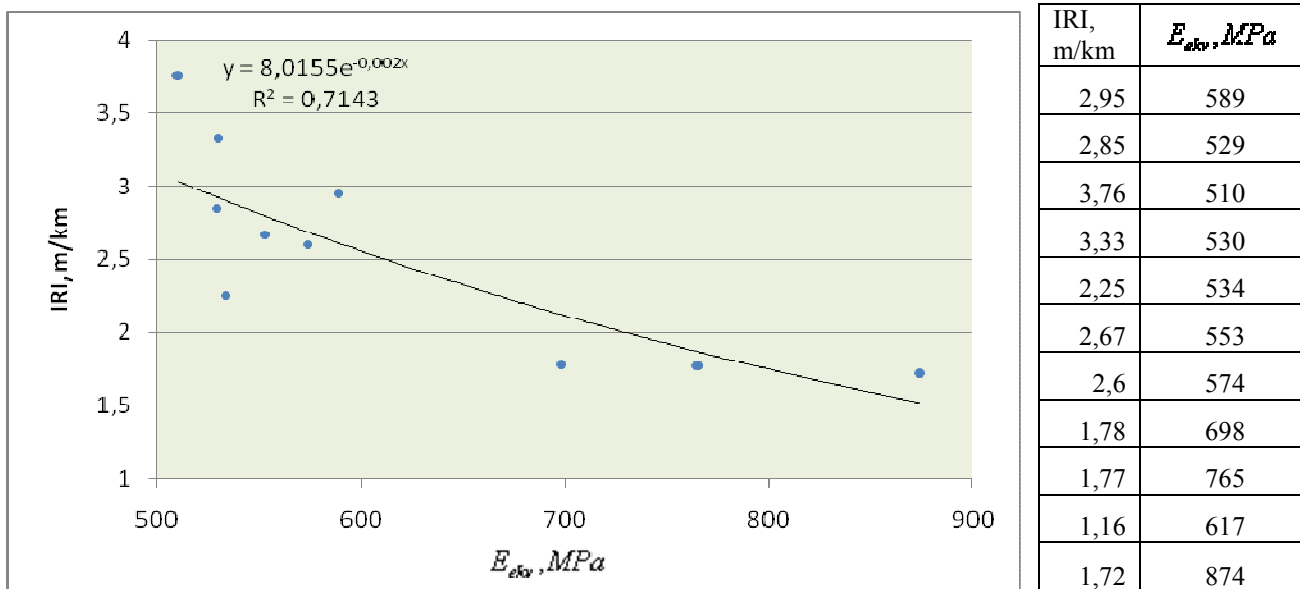


3.61 pav. A1 Kelio Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožų dangos ekvivalentinio deformacijos modulio patikimumas pritaikius sezoniškumo koeficientą

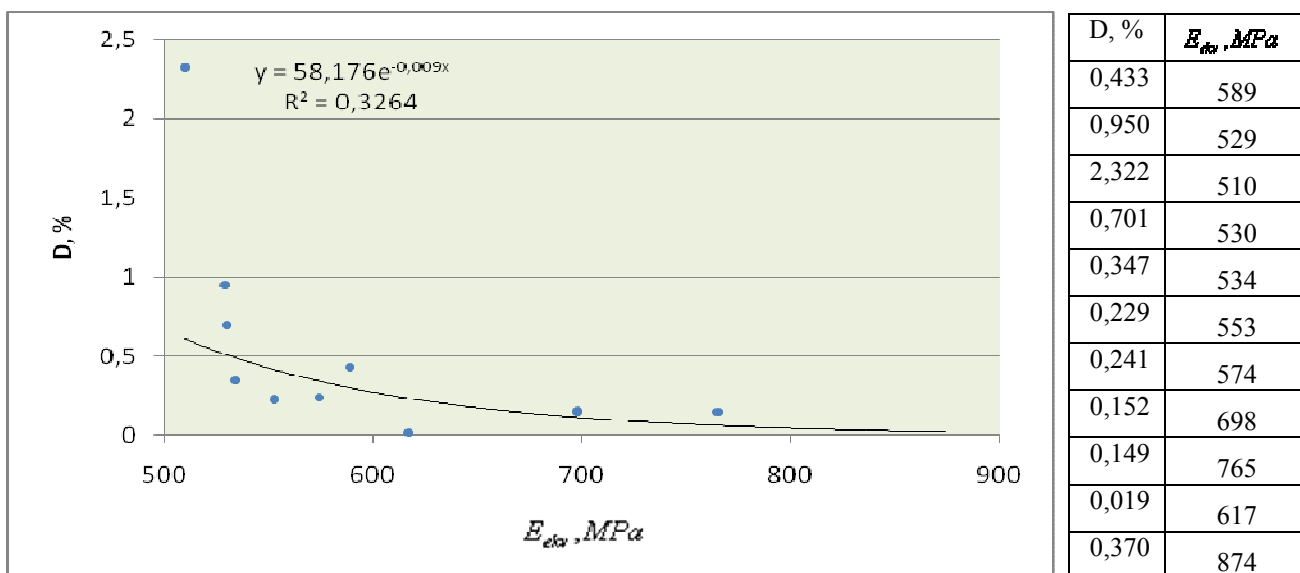


3.62 pav. Deformacijos modulio vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio šietis magistralėje Vilnius – Kaunas - Klaipėda (n = 20)

$Y(E_{ekv}), MPa$	$\sigma(E_{ekv}), MPa$
589	90
529	69
510	99
530	81
534	96
553	55
574	98
698	93
765	98
617	60
874	159

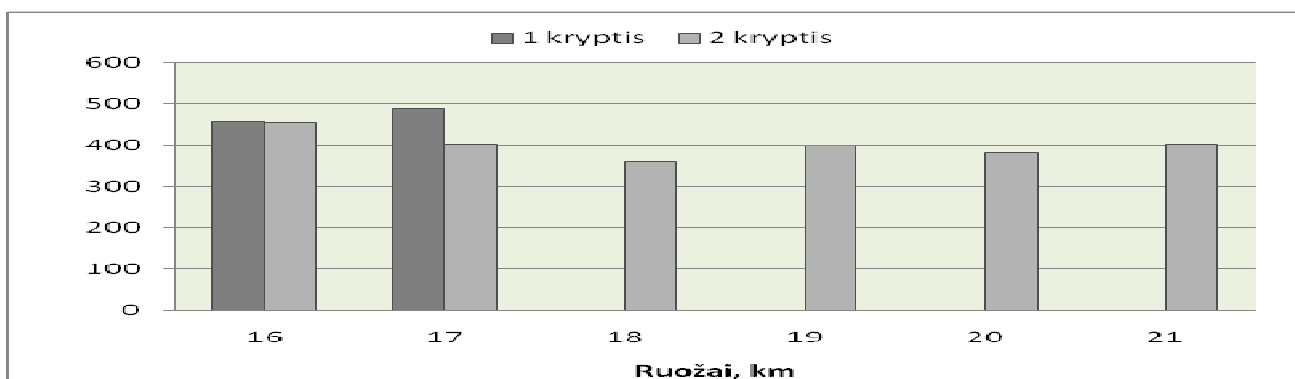


3.63 pav. Dangos lygumo mažėjimo ir ekvivalentinio deformacijos modulio sietis kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2007 m duomenys

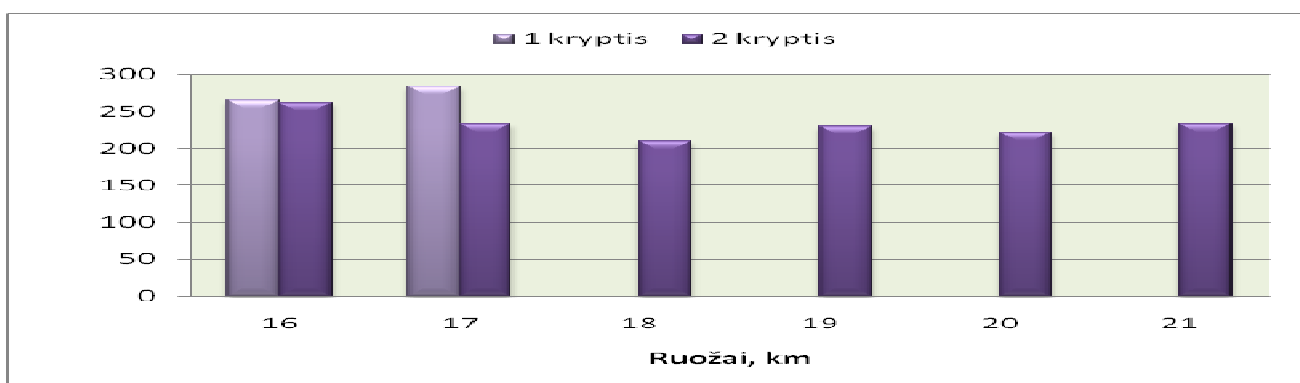


3.64 pav. Dangos suirimo laipsnio didėjimo ir deformacijos modulio sietis kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2007 m duomenys

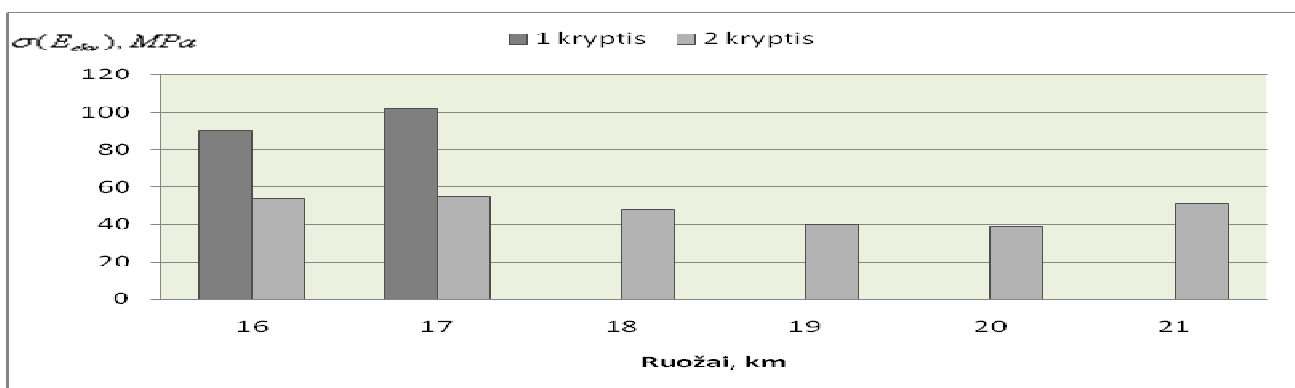
Magistralėje A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai dangos stiprumas 2006 metais buvo matuotas 8 kilometruose.



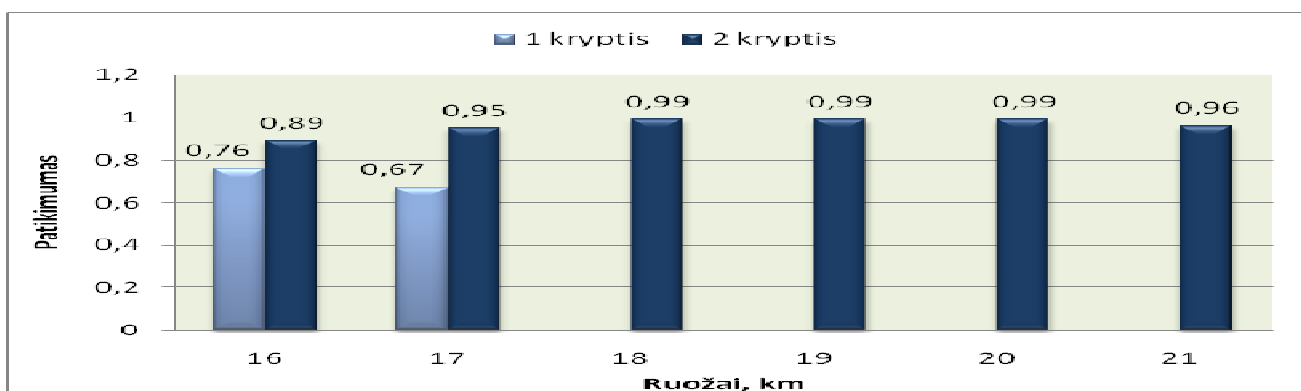
3.65 Kelio A5 Kaunas – Marijampolė - Suvalkai ruožų dangos ekvivalentinio deformacijos modulio vidurkiai 2006 metais (n = 20)



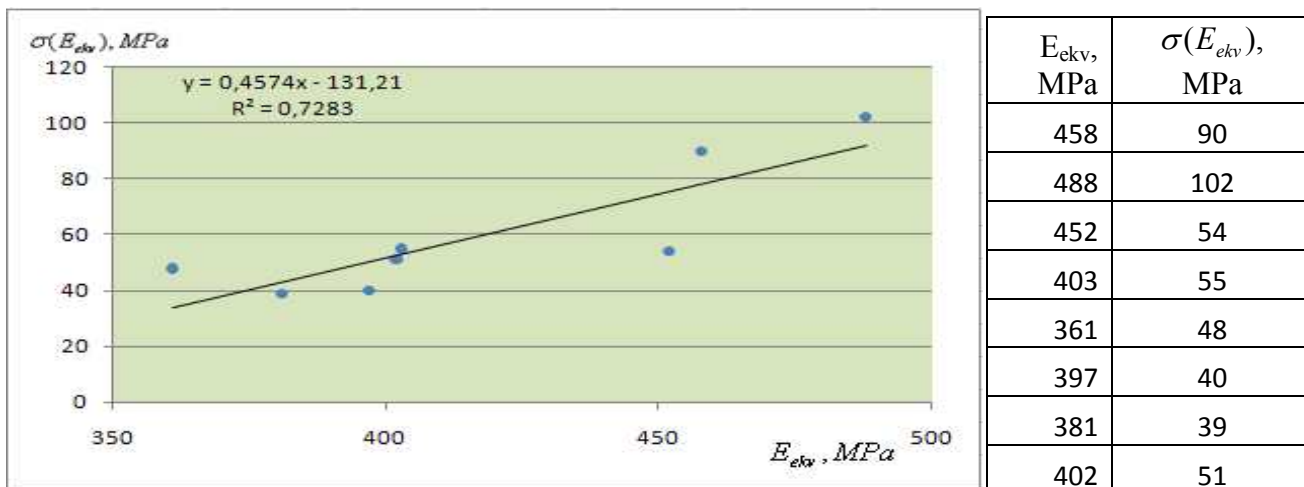
3.66 Kelio A5 Kaunas – Marijampolė - Suvalkai ruožų dangos ekvivalentinio deformacijos modulio vidurkiai 2006 metais pritaikius sezoniskumo koeficientą – 0,58 (n = 20)



3.67 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė - Suvalkai ruožų dangos ekvivalentinio deformacijos modulio vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai 2006 metais (n = 20)



3.68 pav. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai ruožų dangos ekvivalentinio deformacijos modulio patikimumas



3.69 pav. Deformacijos modulio vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio šietis magistralėje Kaunas – Marijampolė - Suvalkai (n = 20)

3.3. Skyriaus išvados

Atlikus svarbiausių Lietuvos magistralinių kelių eksploatacinių rodiklių analizę galima daryti šias išvadas:

1. 2008 metais kelyje A1 Vilnius – Kaunas - Klaipėda matuotų ruožų dangos sukibimo koeficiento aritmetinis vidurkis buvo 0,45, o vidutinis kvadratinis nuokrypis 0,023. Kelyje A5 Kaunas – Marijampolė - Suvalkai matuotų ruožų dangos sukibimo koeficiento aritmetinis vidurkis buvo 0,42, o vidutinis kvadratinis nuokrypis 0,020.

2. Keturių metų tyrimo rezultatai parodė, kad kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda vidutinis dangos lygumas 2000 metais buvo 1,45 m/km, 2004 metais - 1,38 m/km, 2006 metais jis neženkliai blogėjo iki 1,40 m/km, o 2007 metais dangos lygumo vidurkis gerėjo iki 1,24 m/km. Keturių metų tyrimo duomenų analizė kelyje A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai parodė, kad vidutinis dangos lygumas 2000 metais buvo 1,86 m/km, 2004 metais – 1,61 m/km, 2006 metais – 1,45 m/km, 2007 metais – 1,31 m/km. Galima teigti, kad tirtuose keliuose stebimas dangos lygumo nuoseklus gerėjimas.
3. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda nustatytas dangos lygumo vidutinis kvadratinis nuokrypis 2000 metais - 1,27 m/km, 2004 metais - 0,56 m/km, 2006 metais – 0,58 m/km, o 2007 metais – 0,59 m/km. Kelio A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai dangos lygumo vidutinis kvadratinis nuokrypis 2000 metais – 0,79 m/km, 2004 metais – 0,75 m/km, 2006 metais – 0,62 m/km, o 2007 metais 0,59 m/km.
4. Atlikus 2007 metų dangos suirimo lygio matavimo duomenų suminę analizę – apskaičiavus suirusios dangos plotą procentais 10 - ties kilometrų kelio ruožuose, matyti, jog magistralinių kelių dangoje defektų yra mažai. Kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda, pirmos krypties, pirmoje juostoje 10 - ties kilometrų ruožai, kuriuose defektingumo lygis buvo mažesnis už 1 % sudarė 70 % tirta kelio ilgio, o antros krypties, pirmoje juostoje, 10 - ties kilometrų ruožai, kuriuose defektingumo lygis buvo mažesnis už 1 %, sudarė 73 % tirta kelio ilgio. Tačiau, nepaisant to, šioje magistralėje, pirmos krypties, pirmoje juostoje, 243 kilometre ir antros krypties, pirmoje juostoje, 186 kilometre, pagal suirimo lygio normas reikalingas kapitalinis remontas. Magistralėje A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai pirmos krypties juostoje 10 - ties kilometrų ruožai, kuriuose defektingumo lygis buvo mažesnis už 1% sudarė 90 % bendro kelio ilgio, o antros krypties antroje juostoje – 80 % bendro kelio ilgio. Taip pat buvo ruožų, kuriuose reikalingas skubus kapitalinis remontas.
5. Susiejus 2007 metų dangos lygumo matavimo duomenis su 2007 metų dangos suirimo lygio matavimo duomenimis kelyje A1 Vilnius - Kaunas – Klaipėda, šios priklausomybės koreliacijos santykio rodiklio vertė buvo $R^2 = 0,7362$, o kelyje A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai - $R^2 = 0,6698$.
6. Atlikus 2007 metų provėžų gylį atliktų matavimų duomenų statistinę analizę galima teigti, kad provėžos neviršija nustatytos 40 mm ribinės reikšmės nei viename nagrinėjamame kelyje. Provėžos giliausios yra pirmose kelių juostose, nes joms tenka didžiausios sunkiųjų automobilių apkrovos.

7. Dangos lygumo aritmetinio vidurkio ir provėžų gylis aritmetinio vidurkio priklausomybės koreliacijos santykio vertė kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda - $R^2 = 0.641$, o kelyje A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai - $R^2 = 0,8408$.
8. 2007 metais kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda išmatuoti 16 - koje kilometrų dangų deformacijos moduliai. Remiantis šiais duomenimis nustatytas vidutinis ekvivalentinis deformacijos modulis – $E_{ekv} = 635$ MPa, pritaikius sezoniškumo koeficientą 0,58, $E_{ekv} = 368$ MPa. Vidutinis kvadratinis nuokrypis – 84 MPa. 2006 metais kelyje A5 Kaunas – Marijampolė - Suvalkai išmatuoti 8 - niuose kilometruose dangų deformacijos moduliai. Vidutinis ekvivalentinis deformacijos modulis – $E_{ekv} = 418$ MPa, pritaikius sezoniškumo koeficientą 0,58, $E_{ekv} = 242$ MPa. Vidutinis kvadratinis nuokrypis – 60 MPa.
9. Dangos lygumo mažėjimo ir ekvivalentinio deformacijos modulio priklausomybės koreliacijos santykio vertė kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda – $R^2 = 0,7143$.
10. Dangos suirimo masto ir deformacijos modulio priklausomybės koreliacijos santykio vertė kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda – $R^2 = 0,3264$.

4. LIETUVOS AUTOMAGISTRALIŲ ASFALTBETONIO DANGOS KOKYBĖS RODIKLIŲ VERTINIMAS

4.1 Asfaltinės dangos ir jos konstrukcijos rekomenduojami leistinieji eksploataciniai rodikliai

Siekiant nustatyti svarbiausių magistralinių kelių dangos būklę ir pateikti rekomendacijas jų dangos remontams planuoti, reikia sunorminti kelių dangos lygumą Y. Nustatant vidutinį dangos lygumą 2007 metais Lietuvos A1 ir A5 keliuose buvo apskaičiuota, kad kelyje A1 Vilnius – Kaunas - Klaipėda 78,47 proc. duomenų patenka į intervalą 0-1,5 m/km ir tik 4,43 proc. išmatuotų ruožų viršijo ribinę 2,5 m/km vertę. Kelyje A5 Kaunas – Marijampolė – Suvalkai 74,47 proc. duomenų patenka į intervalą 0-1,5 m/km ir tik 7,00 proc. išmatuotų ruožų viršijo ribinę 2,5 m/km vertę.

Išnagrinėjus, magistralinių kelių A1 ir A5 ruožų, kuriuose nebuvo vykdomi rekonstrukcijos darbai visą nagrinėjamą 2000-2009 metų laikotarpį, vidutinį lygumą, galima daryti prielaidą, kad dangos lygumas per metus vidutiniškai pablogėja 0,087 m/km. Trečiajame skyriuje atlikti tyrimai rodo, kad kiekvienais metais dangos vidutinis lygumas IRI gerėjo – daugėjo ruožų, kuriuose dangos lygumas buvo $\leq 1,5$ m/km ir mažėjo ruožų, kuriuose dangos lygumas buvo $\geq 2,5$ m/km.

Taip pat analizuojant 2009 m naujai rekonstruotų magistralinio kelio A1 Vilnius – Kaunas - Klaipėda ruožus (4.1 lentelė) matome, kad dangos lygumo rezultatai svyruoja 0,59 - 0,88 m/km intervale. Naujai rekonstruotų dangų lygumo vidurkis - 0,72 m/km, vidutinis kvadratinis nuokrypis – 0,15 m/km.

4.1 lentelė Kelio A1 Vilnius –Kaunas – Klaipėda 2009 m naujai rekonstruotų dangų vidutinio lygumo ir standartinio nuokrypio duomenys

<i>Kilometrai</i>	<i>Lygumas, IRI m/km</i>	<i>Standartinis nuokrypis, m/km</i>
170;171	0,73	0,113
171;172	0,73	0,106
172;173	0,68	0,120
173;174	0,80	0,117
174;175	0,78	0,157
241;242	0,67	0,151
242;243	0,69	0,156
243;244	0,71	0,126
244;245	0,75	0,200
245;246	0,7	0,134
246;247	0,69	0,126
247;248	0,66	0,091
255;256	0,72	0,134
256;257	0,76	0,166
257;258	0,66	0,130

4.1 lentelės pabaiga

282;283	0,72	0,170
283;284	0,67	0,156
278;279	0,76	0,195
279;280	0,80	0,148
	0,72	0,15

Lietuvos automobilių kelių direkcija (LAKD) prie Susisiekimo ministerijos 2005 metais patvirtino „Automobilių kelių priežiūros normatyvai“ KPV PN-05 [13], kuriuose pateiktos kelių dangos kontroliuojamų parametrų leistinosios bei ribinės vertės. Dalis šių reikalavimų pateikta 4.2 lentelėje.

4.2 lentelė. Kelių dangos parametrų leistinosios ir ribinės vertės

<i>Lygumas</i>	<i>Matavimo vienetas</i>	<i>Leistina vertė</i>	<i>Ribinė vertė</i>
- magistraliniuose keliuose	m/km	$\leq 1,5$	$\leq 2,5$
- krašto keliuose	m/km	$\leq 2,5$	$\leq 3,5$

Kadangi šiuolaikinės kelių tiesimo technologijos ir darbų kokybė leidžia Lietuvoje pasiekti naujai įrengtos dangos lygumą pagal $IRI \leq 0,90$ m/km, siūlau griežtinti leistiną lygumą. Su tikimybe $P = 0,9$ nustatome leistiną naujai įrengtos dangos lygumo pagal IRI vertę.

$$Y(IRI)L = Y(IRI) + 1,29 \sigma = 0,90 + (1,29 \times 0,15) = 1,1 \text{ m/km.}$$

Ribinė dangos lygumo vertė pagal 4.1 lentelę bus pasiekta dangos funkcionavimo trukmei esant $T = 16$ m. Tačiau, remiantis šaltinyje [28] nustatyta vidutine magistralinių kelių funkcionavimo trukme $T = 10$ m, lygumo reikšmė bus 1,97 m/km. Su tikimybe $P = 0,9$ nustatome ribinę dangos lygumo pagal IRI vertę.

$$Y(IRI)R = Y(IRI) + 1,29 \sigma = 1,97 + (1,29 \times 0,18) = 2,2 \text{ m/km.}$$

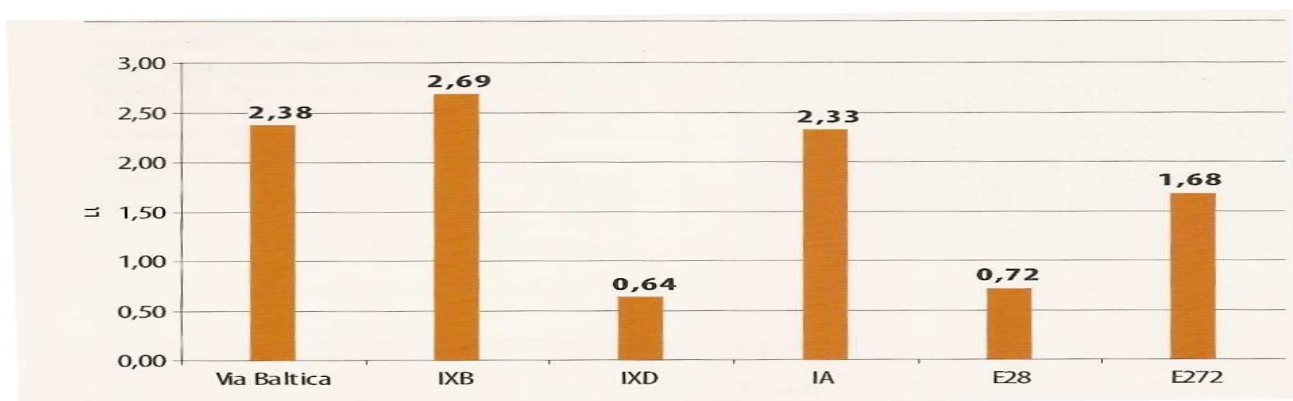
Trečiame bei ketvirtame skyriuje atlikti tyrimai bei skaičiavimai sudarė sąlygas naujai įvertinti lygumo, svarbiausio dangos kokybės rodiklio, normatyvuose numatytas leistinas bei ribines vertes. Šių verčių užtikrinimui reikėtų sunorminti dangos lygumo vienodumą. Remiantis nustatyta Lietuvos automagistralių dangos lygumo aritmetinio vidurkio ir vidutinio kvadratinio nuokrypio sietimi, 1,1 m/km dangos leistino lygumo vidutinis kvadratinis nuokrypis turėtų būti 0,4 m/km, o 2,2 m/km dangos ribinio lygumo – 1,0 m/km (4.3 lentelė).

4.3 lentelė. Kelių dangos parametrų siūlomos leistinosios ir ribinės vertės

<i>Lygumas</i>	<i>Matavimo vienetas</i>	<i>Leistina vertė</i>	<i>Ribinė vertė</i>
<i>Matuojant pagal IRI lygumo aritmetinis vidurkis</i>	m/km	$\leq 1,1$	$\leq 2,2$
<i>Matuojant pagal IRI lygumo vidutinis kvadratinis nuokrypis</i>	m/km	$\leq 0,4$	$\leq 1,0$

4.2. Kelių eksploatacinių savybių gerinimo svarba

Augant eismo intensyvumams ir kartu didėjant magistralinių kelių svarbai, kelio eksploataciniai rodikliai turi būti nuolat tobulinami ir gerinami, kad būtų užtikrintas saugus, patogus ir nepertraukiamas transporto priemonių eismas. Pagrindinės su magistralių danga susijusios problemos šiuo laikotarpiu – spartus provėžų vystymasis ir dangos lygumo mažėjimas. Todėl daugiausia dėmesio skiriama kokybiniams dangos parametrams – tam, kad jos stiprumas ir lygumas, rato su danga sukibimas atitiktų magistraliniams keliams keliamus reikalavimus.



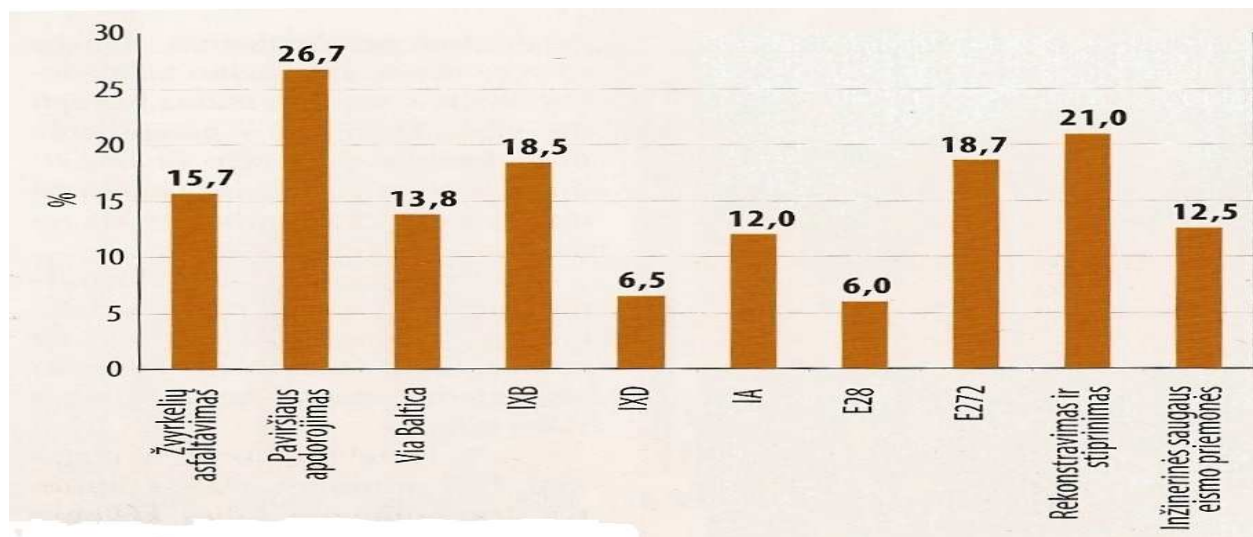
4.1 pav. Į tarptautinius koridorius investuoti 1 Lt grynoji nauda projekto gyvavimo laikotarpiu 2008 m kainomis [7]

4.4 lentelė. Nagrinėjamų magistralinių kelių remonto darbų kiekiai per paskutiniuosius 15 metų [7].

<i>Kelio Nr.</i>	<i>Ilgis iš viso, km</i>	<i>Suremontuotų kelio ruožų ilgis, km</i>					
		<i>prieš 0-5 m.</i>	<i>prieš 6-7 m.</i>	<i>prieš 8-9 m.</i>	<i>prieš 10-12 m.</i>	<i>prieš 13-15 m.</i>	<i>prieš 16 m. ir seniau</i>
<i>A1</i>	592,60	169,53	125,83	69,42	88,69	36,86	102,29
<i>A5</i>	119,32	72,47	22,47	10,82	9,52	4,04	0,00
<i>Iš viso</i>	711,92	242,00	148,30	80,24	98,21	40,90	102,29

Pastaba: ruožai su skiriamąja juosta vertinti atskirai pagal eismo kryptis

Iš 4.4 lentelės duomenų matome, kad kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda yra ruožų, kuriose kelio danga tarnauja 16 m ir daugiau. Nors atliktų dangų analizė parodė, kad kelių dangos vidutinis tarpremontinis laikotarpis svyruoja nuo 8-10 metų.



4.2 pav. Įgyvendintų projektų vidinė gražos norma [7]

Diagramose matyti kaip svarbu laiku investuoti į kelių priežiūrą, remontą ar rekonstrukciją

Nuolat vyksta tyrimai kelių tiesybos technologijų tobulinimo klausimais. Tiriamos ir nustatomos optimalios medžiagų sudėtys, prailginančios kelio dangos ir jos konstrukcijos tarnavimo laiką.

Prognozuojama, kad krovinio transporto srautas per 20 metų padidės 3-4 kartus. Todėl labai svarbu parengti tokių dangos konstrukcijos remonto projektus, metodus ir medžiagas, kad kelias kuo ilgiau išlaikytų projektines eksploatacines savybes arba jos mažai pakistų.

Todėl prieš parenkant vieną ar kitą dangos atnaujinimo metodą svarbu ištirti esamus dangos būklės parametrus, dangos stiprumą, dangos konstrukcijos darbo sąlygas, žemės sankasos būklę. Todėl turi būti atliekami detalūs geodeziniai ir geologiniai tyrinėjimai, kurių metu surenkami duomenys apie dangos geometrinius nuokrypius, dangos konstrukcijos sluoksnius ir jų tinkamumą naudoti, dangos konstrukcijos režimą, žemės sankasos stabilumą.

Kaip jau buvo paminėta kelio dangos kokybę lemia daugybė veiksnių. Geologinių ir hidrologinių veiksnių įtakai sumažinti siūlau šias priemones:

- tinkamo drėkinimo režimo sureguliuavimas įrengiant drenažo sistemas, ruožuose, kuriuose aukštas gruntinio vandens lygis;

- silpnų sankasos gruntų dalinis arba visiškas pakeitimas gamtiniais smėliais ar žvyro mišiniais, prieš tai paklojus tinkamų savybių geosintetinės medžiagos sluoksnį.

Fizinių veiksnių įtakai sumažinti siūlomos šias priemonės:

- gaminti kokybiškus, labiausiai tinkančius konkrečioms dangos pažaidoms taisyti asfaltbetonio ir kitus asfaltinius mišinius, bitumus, bitumų mastikas ir kitas medžiagas;
- taikyti asfaltbetonio dangos sluoksnių šiuolaikinius regeneravimo metodus, perdirbant asfaltbetonį gamykloje arba atnaujinant vietoje;
- gaminti lietojo asfaltbetonio ir mikroasfalto mišinius ir iš jų įrengti atsparius erozijai, pleišėjimui bei dilimui kelių dangos viršutinius sluoksnius;
- taikyti racionalias ir naujas kelių asfaltinės dangos dilimo sluoksnių technologijas;
- dangą stiprinti ant senos dangos klijuojant geotekstilę, o, ją pagruntavus, ant jos klojant naują asfaltbetonio sluoksnį – tai brangi, bet gera priemonė paveldėtiems plyšiams pašalinti;
- kelio dangoje atsirandančias pažaidas reikėtų taisyti nedelsiant – kuo skubiau jos bus užtaisytos, tuo ilgiau funkcionuos danga.

Dangos su automobilio ratu sukibimo koeficientui gerinti įvairiose užsienio šalyse naudojami įvairūs būdai. Tai dažniausiai daroma atliekant vidutinį remontą, atstatant nusidėvėjusį asfaltbetonio dangos sluoksnį, darant vieno ar dviejų viršutinių sluoksnių apdorojimą. Todėl didinant sukibimo koeficientą Lietuvos magistraliniuose keliuose naudinga būtų panaudoti kitų šalių patirtį.

Tam, kad padidinti asfaltbetonio šiurkštumą, reikia į asfaltbetonio mišinį įterpti priedą iš polimerinių medžiagų.

Vokietijoje geras sukibimo koeficientas gaunamas iškart po klojimo į karštą asfaltą išspaudžiant atsijas. Vengrijoje populiarus 5 cm storio drenuojantis asfaltbetonis. Šis asfaltas turi 15 – 18 % porėtumą. Į drenuojančio asfaltbetonio grūdelių sudėtį įeina 0 - 5 ir 5 - 12 mm frakcijos. JAV sumažėjo avarių skaičius dėl dangaus slidumo, pradėjus kloti nuodytos sluoksnį iš mišinio, kurį sudaro 76 % akmens medžiagos, kurių stambumas iki 9 mm ir 15 % bituminės emulsijos.

Naujai įrengtos dangos didelis šiurkštumas pasiekiamas, kai naudojamas karkasinis asfaltbetonis (stambesnių dalelių 5 mm grūdelių dalis sudaro 50 – 65% skaldos kiekio). Tokios dangos sukibimo koeficientas siekia daugiau kaip 0,5.

Taip pat populiarus būdas, kai į smulkiagrūdį asfaltbetonį išspaudžiama skalda apdorota bitumu. Šis metodas lengvai įgyvendinamas ir geras rezultatas pasiekiamas iš kart paklojus dangą.

Šiam metodui įgyvendinti naudojama granitinė 12 -18 mm stambumo skalda, apdorota bitumu. Skaldos sąnaudos yra 12 kg/m².

JAV siūlo drenuojančią šiurkščią dangos konstrukciją, kuri susideda iš trijų sluoksnių: apatinio nepraleidžiančio vandens, kuris klojamas su dideliu nuolydžiu vandeniui nutekėti ir dviejų drenuojančių sluoksnių paklotų be skersinio nuolydžio. Šios konstrukcijos privalumas, kad vanduo greitai nubėga nuo važiuojamosios dalies ir pasiekiamas geras šiurkštumas.

Gerinant kelių eksploatacines savybes regeneracijos būdu, kada panaudojamas senas asfaltbetonis taikant naujas technologijas pasiekiamas draugiškas veiksnys aplinkai. Taip, sunaudojant atliekas, mažiau teršiama gamta ir prisidedama prie aktualus šių dienų aplinkosaugos uždavinio sprendimo.

4.3. Skyriaus išvados

Apžvelgus ketvirtą skyrių galima padaryti šias išvadas:

1. Šiuolaikinės kelių tiesimo technologijos leidžia Lietuvoje pasiekti naujai įrengtos dangos lygumą $IRI \leq 0,9 \text{ m/km}$. Taip pat, atlikus neremontuotų ruožų per visą tiriamąjį laikotarpį dangos lygumo analizę, nustatyta, kad dangos lygumas per metus pablogėja vidutiniškai 0,087 m/km.
2. Atlikti tyrimai bei skaičiavimai sudarė sąlygas naujai įvertinti lygumo - svarbiausio dangos kokybės rodiklio, normatyvuose numatytas leistinas bei ribines vertes. Leistiną dangos lygumo vertę siūloma sumažinti iki 1,1 m/km, o ribinę – iki 2,2 m/km.
3. Magistralinių kelių eksploatacinių savybių gerinimas būtinas, nes Lietuva atsilieka nuo Europos Sąjungos kelių infrastruktūros išsivystymo lygio ir dėl to, jog keliai nevisiškai pritaikyti didelėms šių dienų transporto apkrovoms atlaikyti.
4. Atliekant kelių eksploatacinių savybių gerinimą svarbu ir naudinga naudoti valstybių, turinčių gerą kelių tinklo patikimumą, patirtimi.

BENDROSIOS IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Atliktų mokslo darbų tyrimų analizė leido nustatyti, kad kelių dangos ir jos konstrukcijos kokybė ir funkcionavimo trukmė priklauso nuo automobilių eismo intensyvumo ir sudėties, klimato, hidrologinių ir geologinių gruntų sąlygų, dangos konstrukcijos sluoksnių storio bei stiprio, naudojamų medžiagų kokybės, projektavimo ypatybių ir daugelio kitų veiksnių.
2. Nuo kelių eksploatacinių savybių tiesiogiai priklauso išlaidos transporto priemonėms eksploatuoti ir srauto važiavimo greitis, o nuo šių rodiklių priklauso ekonomikos augimo efektyvumas;
3. Pagrindinis asfaltbetonio dangos būklę charakterizuojantis rodiklis yra lygumas, kurio dydis priklauso tiesiogiai nuo dangos suirimo lygio.
4. Siekiant operatyviai ir pakankamai tiksliai nustatyti kelių būklę, reikia naudotis matematinės statistikos metodais.
5. Nustatant vidutinį dangos lygumą pastebima šio rodiklio gerėjimo tendencija. Apibendrinus 2007 metų matavimo duomenis matyti, kad 95 % duomenų patenka į 0 – 2,5 m/km intervalą, ir tik 5 % išmatuotų duomenų viršijo ribinę reikšmę.
6. Remiantis, 2008 metais Lietuvos magistraliniuose keliuose matuotais padangos ir kelio dangos sukibimo rodikliais, galima teigti, kad 100 % duomenų buvo didesni už 0,35 ribinį koeficientą.
7. 2007 metais matuotas defektingumo laipsnis parodė, kad 97 % matuotų 20 metrų ruožų yra geros būklės ir tik 3 % matuotų ruožų turi didesnę nei 8 % defektingumo laipsnį, kuriam esant reikia atlikti profilaktinį kelio dangos remontą.
8. Atlikus 2007 metų provėžų gylį atliktų matavimų duomenų statistinę analizę galima teigti, kad provėžos neviršija nustatytos 40 mm ribinės reikšmės nei viename nagrinėjamame kelyje. Provėžos giliausios yra pirmose kelių juostose, nes joms tenka didžiausios sunkiųjų automobilių apkrovos.
9. Dangos lygumo mažėjimo ir ekvivalentinio deformacijos modulio priklausomybės determinacijos koeficiento vertė kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda – $R^2 = 0,7143$. Dangos suirimo masto ir deformacijos modulio priklausomybės determinacijos koeficiento vertė kelyje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda – $R^2 = 0,3264$
10. Atlikti tyrimai bei skaičiavimai sudarė sąlygas naujai įvertinti lygumo - svarbiausio dangos kokybės rodiklio, normatyvuose numatytas leistinas bei ribines vertes. Leistiną dangos lygumo vertę siūloma sumažinti iki 1,1 m/km, o ribinę – iki 2,2 m/km.

LITERATŪRA

1. Puodžiukas V. Asfaltbetonio dangų būklės tyrimai ir stiprinimo poreikis Lietuvos keliuose. Daktaro disertacija: technikos mokslai, statyba (7J). Vilnius, 1999. 115 p.
2. Gražulis A., Imbrasas V., Jazbutis R. A. Lietuvos automobilių kelių tobulinimo raida 1950 – 2000 m. Lietuvos automobilių kelių direkcija, 2001. 113 p.
3. VĮ Transporto ir kelių tyrimo institutas. 2002-2015 metų Lietuvos Respublikos Valstybinės reikšmės kelių priežiūros ir plėtros programą. II tomas, aprašomoji dalis. Kaunas, 2001. 93 p.
4. Lietuvos automobilių kelių direkcijos internetinis tinklalapis. Interneto prieiga www.lra.lt.
5. Statistikos departamento prie Lietuvos Respublikos Vyriausybės internetinis tinklalapis. Interneto prieiga www.stat.gov.lt.
6. Butkevičius S. Sunkiasvorio transporto įtaka automobilių kelių asfaltbetonio dangos funkcionavimo trukmei. Daktaro disertacija: technologijos mokslai, statybos inžinerija (02 T). Vilnius, 2007 137 p.
7. Puodžiukas V., Miškinis D. Lėšų reikia ne kelininkams, o kelių naudotojams. Lietuvos keliai. Vilnius: Lietuvos automobilių kelių direkcija, 2009, Nr. 1. 4 – 11 p.
8. Petkevičius K. Mokslo tyrimo darbo ataskaita. Lietuvos automagistralių asfaltbetonio dangos patikimumo analizė. Vilnius Gedimino technikos universitetas, Kelių katedra: 2003. 142 p.
9. Rokas S. Automobilių kelių dangų slidumo ir eismo saugumo problemos. Lietuvos mokslinės techninės informacijos ir techninės ekonominės analizės mokslinio tyrimo institutas. Vilnius: LIMTI 1977. 72 p.
10. Braga A. Dangų degradacijos modeliai ir jų taikymas Lietuvos automobilių keliams. Daktaro disertacija: technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T. Vilnius: 2005. 154 p.
11. Bendoravičienė G. Lietuvos automagistralių asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos kokybės rodiklių analizė. Magistrantūros baigiamasis darbas: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, 2005. 84 p.
12. Pakalnis A., Dimaitis M. Kelio dangos lygumo vertinimas Lietuvoje. Lietuvos keliai. Vilnius: Lietuvos automobilių kelių direkcija, 2001, Nr. 2. 52 – 56 p.
13. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. Kelių priežiūros vadovas. 1 dalis. KPV PN – 05. Automobilių kelių priežiūros normatyvai. Vilnius: 2005. 56 p.
14. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerija. Automobilių kelių remontų planavimo normatyvai. Vilnius, 2004. 22 p.

15. Petkevičius K. Automobilių kelių asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos tarpremontiniai laikotarpiai ir metodika jiems nustatyti. Mokslo žurnalo „STATYBA“ priedas. Vilnius: Technika, 2000. 44-53 p.
16. Petkevičius K. Automobilių kelių asfaltbetonio dangos būklės tyrimai ir jų rezultatų taikymas: habilitacijos procedūrai teikiamų mokslo darbų apžvalga. Technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T), Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika, 2008. 39 p.
17. САЛЛЪ А. О., ЗОЛОТАРЕВ В. А., РАДОВСКИЙ Б. С., ИЛЬЕВ Э. Б. Расчетные характеристики асфальтобетонов применительно к ВСН 46-72// Автомоб. дороги. 1977. NE 5. С. 28-30 p.
18. Kazys Petkevičius. Automobilių kelių sisteminė analizė. Mokomoji knyga. Rankraštis: 2005. 134 p.
19. VĮ Transporto ir kelių tyrimo instituto internetinis tinklalapis. Prieiga per internetą www.tkti.lt
20. Višniakas I, Slivinskas K. Patikimumo teorija. Objektų kokybės vertinimo ir patikimumo skaičiavimų metodikos nurodymai. Vilnius: Technika, 2005. 90 p.
21. Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos. Statybos rekomendacijos R 35 – 01. Automobilių kelių asfaltbetonio ir žvyro dangos. Vilnius: 2001. 119 p.
22. Mocekainis V. Magistralinių kelių asfaltbetonio dangų būklė. Lietuvos keliai. Vilnius: Lietuvos automobilių kelių direkcija, 2006, Nr. 2. 64 – 67 p.
23. Šiaudinis G., Čygas D. Determination Of Seasonal Effects On The Structural Strength Of Asphalt Pavements. The Baltic Journal Of Road And Bridge Engineering. 2007, Vol II, No 2, p. 67-72.
24. Puodžiukas V., Dimaitis M., Pakalnis A. Krintančio svorio deflektometro panaudojimas kelio dangų stiprumui įvertinti Lietuvoje. Transportas (*Transport Engineering*). Vilnius: ISSN 1392-1533, 1999, XIV t., Nr. 5. 215 – 219 p.
25. Šiaudinis G. Relationship Of Road Pavement Deformation Moduli, Determined By Different Methods. The Baltic Journal Of Road And Bridge Engineering. 2006, Vol I, No 2. 77-81 p.
26. Puodžiukas V. Pakalnis A. Determination Of Seasonal Factors For Structural Condition Values Of Bituminous Pavements. Journal Of Civil Engineering And Management. 2002, Vol VIII, No 2. 133-137 p.
27. Puodžiukas V., Kamaitis Z. Asfaltbetonio dangų stiprinimas ir jo įtakos kelio dangos lygumui modeliavimas. Statyba (Civil Engineering). 1999, V tomas, Nr. 6. 386 – 392 p.

28. Jazdauskas G. Deflektometro naudojimas kelių dangoms tirti. Lietuvos keliai. Vilnius: Lietuvos automobilių kelių direkcija, 2004, Nr. 1. 56 – 59 p.
29. Predkelis G. Nuo Via Baltica iki Rail Baltica. Lietuvos keliai. Vilnius: Lietuvos automobilių kelių direkcija, 2004, Nr. 2. 44 – 49 p.
30. Morkus E., Domatas A. Automagistralė A1 šiandien ir rytoj. Lietuvos keliai. Vilnius: Lietuvos automobilių kelių direkcija, 2007, Nr. 2. 8 -11 p.
31. Kairys A., Ramanavičius R. Krovininis transportas europinės reikšmės keliuose. Lietuvos keliai. Vilnius: Lietuvos automobilių kelių direkcija, 2006, Nr. 1. 26 – 30 p.
32. Palšaitis E., Vidugiris L. Automobilių kelių projektavimas. Vilnius: technika, 1999, 437 p.
33. Petreson W. Road Deterioration and maintenance Effects: models for planning and management. The Highway Design and Maintenance standard series. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, 1987.
34. Petkevičius K. Sivilevičius H. Automobilių kelių asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos reikiamos savybės ir racionali funkcionavimo trukmė. Transportas (*Transport Engineering*). Vilnius: ISSN – 1392 – 1533, 2000, XV t., Nr. 4. 184 – 195 p.
35. Getautis E., Sivilevičius H. Lietuvos valstybinės reikšmės kelių asfaltbetonio dangos provėžų gylio statistinis tyrimas ir vertinimas. Transporto inžinerija (*Transport Engineering*). 2009, 1 tomas, Nr. 6. 14 – 18 p.
36. Sivilevičius H. Tranzito transporto įtaka asfaltbetonio dangų gyvavimo trukmei. Transportas (*Transport Engineering*). 1997, Nr. 2(15). 38 – 44 p.
37. Tebodin Consultants and Engineers O’Sullivan and Graham. Enhancement of the DAVASEMA Pavement Management System. Pavement Performance Modeling, 1996. 43p.
38. A. A. Juzėnas, K. Skėrys. Automobilių kelių dangų kokybės vertinimo sistema. 1 dalis. Metodikos rekomendacijos. Vilnius: Technika, 1996.
39. А. П. Васильев, В. М. Сиденко. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения. Москва: Транспорт, 1990
40. Практическая бизнес - статистика. Четвертое издание. Эндрю Ф. Сигелю Москва - Санкт - Петербург - Киев, 2002.
41. Kelių techninis reglamentas KTR 1.01:2008. Automobilių keliai. Aplinkos ministerija. Susisiekimo ministerija. Vilnius, 2008.

42. Lietuvos automobilių kelių direkcija. Automobilių kelių investicijų vadovas. Kaunas, 2006. 91 p.
43. VĮ Transporto ir kelių tyrimo institutas. Asfaltbetonio dangų defektų nustatymo metodika. Kaunas, 1994 m. 45 p.
44. Automobilių keliai. Statistiniai bandymo rezultatų vertinimo metodai. LST – 1485. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 1997. 8 p.

PRIEDAI

IRI, m/km	D,%
1,379	1,65
1,126	0,12
1,182	0,76
1,205	0,46
1,116	0,2
1,027	0,19
1,351	1,98
0,986	0,56
1,096	0,12
1,148	0,06
1,039	0,4
1,278	0,11
0,898	0,03
1,086	0,36
0,909	0,02
0,874	0,04
1,372	2,24
1,067	0,13
1,527	1,52
1,348	1,29
1,624	1,76
1,471	0,4
1,279	0,32
2,467	5,46
1,18	0,95
1,169	0,05
1,412	0,48
1,207	1,27
0,901	0,1
1,609	0,74

1 lentelė. Dangos lygumo ir suirimo lygio sieties magistralėje A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2007 m duomenys

IRI, m/km	Provėžos gylis, mm
1,414	4,251
1,145	6,087
1,216	3,335
1,245	6,755
1,121	3,165
1,075	5,513
1,318	5,831
0,946	4,075
1,088	4,846
1,199	4,087
1,059	5,112
1,258	2,823
0,91	3,789
1,053	3,963
0,941	5,875
0,878	3,435
1,359	8,443
1,072	6,377
1,586	12,729
1,316	7,732
1,702	11,31
1,473	8,282
1,242	5,52
2,581	8,282
1,168	7,555
1,093	3,474
1,433	8,588
1,173	8,321
0,898	5,178
1,601	7,373

2 lentelė. Dangos lygumo aritmetinio vidurkio ir provėžų gylio aritmetinio vidurkio sietis kelyje A1
Vilnius – Kaunas – Klaipėda 2007 m duomenys

IRI, m/km	Provėžų gylis, mm
1,412	6,041
2,126	8,472
1,868	9,022
1,917	13,195
1,704	10,418
0,996	2,364
0,914	0,920
0,776	0,944
0,955	1,233
1,147	5,369
1,208	9,486
1,156	7,557
0,974	3,928
1,025	4,606
1,163	5,210
0,907	5,100
0,882	4,018
1,484	8,682
1,974	19,116
1,235	5,502
1,992	6,134
1,712	6,282
1,932	17,033
1,683	12,774
1,091	1,196
1,035	1,045
0,797	0,650
1,025	0,797
1,139	3,368
1,163	7,278
1,179	6,521
0,943	2,756
1,010	4,040
1,143	5,141
0,874	4,358
0,877	4,736
1,510	9,331
1,931	20,473

3 lentelė. Dangos lygumo aritmetinio vidurkio ir provėžų gylio aritmetinio vidurkio sietis kelyje A5
Kaunas – Marijampolė – Suvalkai 2007 m duomenys